

**¿SON FAVORABLES LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA SU
IMPLEMENTACION?**

Un análisis exerгético de los recursos en el departamento de Antioquia.

**GERSSON JAIR AYALA ARENALES
MARIA ANGELICA RODRIGUEZ ARDILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMIA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA
2014**

**¿SON FAVORABLES LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA SU
IMPLEMENTACION?**
Un análisis exerгético de los recursos en el departamento de Antioquia.

**GERSSON JAIR AYALA ARENALES
MARIA ANGELICA RODRIGUEZ ARDILA**

Trabajo de Grado para optar al título de
ECONOMISTA

**DIRECTOR
PhD. GONZALO ALBERTO PATIÑO BENAVIDES
ECONOMISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE ECONOMIA Y ADMINISTRACIÓN
BUCARAMANGA
2014**

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por guiarme siempre por el sendero correcto en los momentos de alegría y dificultad. A mi padre Benigno, mi abuela Evelia y mis tíos, por su esfuerzo, esmero, dedicación y educación a lo largo de la vida. A mis familiares y amigos por acompañarme en el proceso formativo de vivir.

A Angélica por su valiosa compañía, su soporte espiritual e incondicional y el ánimo que me ha brindado en este arduo proceso.

GERSSON JAIR AYALA ARENALES

A Dios por ser la fuerza motora de mi vida y guiarme en la mejor dirección. A mi familia y en especial a mi abuela Otilia y a madre María Smith por su dedicación, esfuerzo y apoyo en mis estudios.

A Gersson por brindarme su compañía, amor y amistad. Sobre todo el apoyo y ánimo en el desarrollo de este proyecto. Gracias por mostrarme que el amor es un voto de confianza.

MARÍA ANGÉLICA RODRÍGUEZ ARDILA

A la Universidad Industrial de Santander y a los profesores por la formación académica que nos brindaron. A Andrés León por crear los lazos entre estudiantes de Economía y el grupo de investigación de Ingeniería Química CIDES.

GERSSON AYALA Y ANGÉLICA RODRIGUEZ

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. MARCO TEORICO	20
1.1. EL COSTE EXERGÉTICO COMO HERRAMIENTA DE VALORACIÓN	27
2. UNA MIRADA A LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	36
2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	39
2.2. MARCO NORMATIVO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	41
2.3. PANORAMA INTERNACIONAL DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	43
2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.	45
2.4.1. Energía Solar	46
2.4.2. Energía Eólica.	51
2.4.3. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's).	54
2.4.4. Energía de la Biomasa.	57
2.4.5. Energía Geotérmica.	58
3. EVALUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	61
3.1. PANORAMA GENERAL DEL SECTOR ELÉCTRICO ANTIOQUEÑO.	63
3.1.1. Cobertura de Energía eléctrica en el departamento	65
3.1.2. Dinamismo empresarial en el sector eléctrico	68
3.2. ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA	71
3.2.1. Energía Solar.	72
3.2.2. Energía de la Biomasa.	73
3.2.3. Energía de Eólica.	73

3.2.4. Energía Hidráulica.	74
3.2.5. Energía Geotérmica.	75
4. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FUENTE NO CONVENCIONAL DE ENERGÍA RENOVABLE LÍDER EN EL DEPARTAMENTO	76
4.1. VALORACIÓN EXERGÉTICA: ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA SOLAR	92
4.1.1. Análisis de resultados	100
4.2. COSTE EXERGÉTICO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: Un análisis de cálculo a las energías renovables líderes en el departamento	103
4.3. LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN MASIVA DE LOS RECURSOS RENOVABLES	107
4.3.1. Nuevas formas de producir y distribuir la energía	109
CONCLUSIONES.	112
BIBLIOGRAFÍA.	115
ANEXOS.	120

LISTA DE TABLAS.

Pág.

Tabla 1. Clasificación, usos y aplicaciones de las energías renovables.....	45
Tabla 2. Potencial de radiación solar por región.....	51
Tabla 3. Densidad de potencia del viento por región.....	53
Tabla 4. Cuencas Hídricas.	57
Tabla 5. Principales empresas del sector energético en Antioquia	69
Tabla 6. Producción de Biodiesel a partir de Jatropha	78
Tabla 7. Aerogenerador eje horizontal de baja potencia	82
Tabla 8. Costos del proyecto eólico.....	83
Tabla 9. Proyecto Geotérmico, Macizo volcánico del Ruiz.....	85
Tabla 10. Costos del proyecto geotérmico	86
Tabla 11. Proyecto electrificación de residencia por paneles fotovoltaicos	88
Tabla 12. Costos del proyecto solar	89
Tabla 13. Proyecto Hidromarmato.....	90
Tabla 14. Costos del proyecto Hidroeléctrico	91
Tabla 15. Precio de venta Solar Vs. PCH.....	92
Tabla 16. Sistema de conexión.	96
Tabla 17. Resultados cálculos exergéticos	99
Tabla 18. Rendimiento de la conexión	99
Tabla 19. Cantidad de Energía solar útil en Antioquia.....	101

LISTA DE GÁFICAS.

	Pág.
Gráfica 1. Variación porcentual del PIB de Colombia y Antioquia.....	61
Gráfica 2. Cobertura en energía eléctrica en áreas de cabecera municipal.....	66
Gráfica 3. Cobertura en energía eléctrica en área rural.....	67
Gráfica 4. Comportamiento de la demanda mensual de energía.....	68

LISTA DE IMÁGENES.

	Pág.
Imagen 1. Principales países con capacidad instalada por tipo de energía 2012.	44
Imagen 2. Energía Solar Fotovoltaica.	48
Imagen 3. Tipos de Concentradores.	50
Imagen 4. PCH con embalse.....	55
Imagen 5. PCH a filo de agua.	56
Imagen 6. Proceso productivo de biodiesel a partir de Jatropha.....	79
Imagen 7. Montaje aerogenerador eólico.....	83
Imagen 8. Instalación fotovoltaica para un hogar.	94
Imagen 9. Sistema fotovoltaico de la compañía Isagen S.A. en Medellín.	95
Imagen 10. Proyectos del SENA regional Antioquia	111

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
Anexo A. LEYES DE LA TERMODINÁMICA.	120
Anexo B. CLASIFICACIÓN DE LOS INCENTIVOS DE LA LEY 1715.	121
Anexo C. CAPACIDAD INSTALADA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD 2012.	121
Anexo D. RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA.	122
Anexo E. DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA A 20 M DE ALTURA PROMEDIO MULTIANUAL.	123
Anexo F. POTENCIAL HIDROENERGÉTICOS EN COLOMBIA.	125
Anexo G. POTENCIAL DE BIOMASA EN COLOMBIA.	126
Anexo H. POTENCIAL GEOTÉRMICO.	127
Anexo I. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN EL PIB.	128
Anexo J. TABLA DE CLÚSTERES ESTRATÉGICOS EN LA ECONOMÍA GLOBAL.	128
Anexo K. TABLA DE LA ESTRUCTURA EMPRESARIAL DE LOS CLÚSTERES EN ANTIOQUIA.	129
Anexo L. CONTRIBUCIÓN REGIONAL A LA GENERACIÓN DEL PIB DE ELECTRICIDAD Y GAS.	129
Anexo M. CAPACIDAD INSTALADA EN ANTIOQUIA Y CHOCÓ (MW).	130
Anexo N. DISTRIBUCIÓN DE CAPACIDAD INSTALADA POR AGENTE (%). ...	131
Anexo O. ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA.	131
Anexo P. NIVEL DE INCIDENCIA SOLAR EN COLOMBIA.	133

GLOSARIO.

COSTE ECOLÓGICO: Es el coste unitario del impacto ambiental de un stock físico en el que se tiene como punto de inferencia el coste exergético.

COSTE EXERGÉTICO: Es la suma de todos los recursos que han sido necesarios para construir un producto a partir de sus componentes, expresado en unidades exergéticas. El coste exergético es una medida cuantificada de la causalidad.

ENTALPÍA: Magnitud termodinámica, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

ENTROPÍA: índice de la cantidad de energía no disponible en un sistema termodinámico dado, en un momento dado de su evolución.

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.

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.

EXERGOECOLOGÍA: Es el coste de exergía y ecología que necesita ser utilizada a lo largo de su ciclo de vida, desde que se extraen las materias primas que lo conforman, hasta que éstas se devuelven a la Naturaleza completamente repuestas.

MARCO NORMATIVO: Conjunto general de normas, criterios, metodologías, lineamientos y sistemas, que establecen la forma en que se deben desarrollarse las acciones para alcanzar los objetivos propuestos en el proceso de determinadas actividades económicas.

NEGUENTROPÍA: Es la tendencia natural de que un sistema se modifique según su estructura y se plasme en los niveles que poseen los subsistemas dentro del mismo.

SISTEMA: Viene del griego *synistanai* y contiene nociones que significan reunir, juntar, colocar juntos. En la actualidad en concepto de sistema hace referencia a una unidad, un todo integrado, un conjunto, cuyas propiedades y características emergen de las relaciones y conexiones entre los elementos que lo configuran y del todo con el entorno en el cual se halla escrito.

SUBSISTEMA: Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas (sinergia) y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos.

RESUMEN

TITULO: ¿SON FAVORABLES LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA SU IMPLEMENTACION?: Un análisis exergético de los recursos en el departamento de Antioquia*.

AUTORES: AYALA ARENALES, Gersson Jair - RODRÍGUEZ ARDILA, María Angélica**.

PALABRAS CLAVES: Energía, fuentes no convencionales de energía renovable, eficiencia, termoeconomía, exergía, entropía, coste exergético, coste ecológico.

CONTENIDO: Las características que presenta Colombia respecto a su cambio climático y la acelerada reducción en el promedio de lluvias, la hacen vulnerable a posibles amenazas al recurso natural hídrico. Es por esta razón que se hace necesario diversificar la canasta energética para así evitar posibles pérdidas de eficiencia, como también, conocer y determinar el potencial de los recursos de las energías renovables con las que cuenta el departamento de Antioquia.

Como primera medida se debe identificar y caracterizar la energía renovable con mayor potencial para su implementación en el corto plazo y asimismo se evalúa la energía que registra el mejor rendimiento en el futuro próximo, tomando como referencia el término eficiencia energética, el cual permite establecer los costes físicos que se deben sacrificar en obtener el mayor contenido energético aprovechable, además de comparar el impacto ecológico que incide en el proceso de producir energía eléctrica a partir de fuentes convencionales y no convencionales de energía.

Los resultados obtenidos, proporcionan una caracterización de los recursos, su ubicación geoestratégica en el departamento para las zonas que no hacen parte del sistema de interconexión nacional, el nivel de incidencia de la innovación en el uso de estas tecnologías y lineamientos para la implementación masiva de los recursos renovables, además de ofrecer nuevas formas de producir y distribuir dicha energía.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Economía y Administración. Director Gonzalo Alberto Patiño Benavides.

ABSTRACT

TITLE: RENEWABLE ENERGIES ARE FAVORABLE FOR IMPLEMENTATION? : An exergetic analysis of the resources in the department of Antioquia*.

AUTHORS: AYALA ARENALES, Gersson Jair - RODRÍGUEZ ARDILA, María Angélica**.

KEYWORDS: Energy, non-conventional renewable energy sources, efficiency, thermoeconomic, exergy, entropy, exergetic cost, ecological cost.

ABSTRACT: The characteristics that present Colombia regarding their climate change and rapid reduction in average rains make it vulnerable to potential threats to water natural resource. It is for this reason that is necessary to diversify the energy basket in order to avoid some loss of efficiency, as well perceive and determine the potential of renewable energy resources that comprise the department of Antioquia.

As first step should be to identify and characterize the most promising renewable energy for its implementation in the short term and also evaluate the energy that recorded the best performance in the near future, taking by reference the term energy efficiency. It is allow for the physical cost that must be sacrificed to get the most usable energy content and also compare the ecological impact that affects the process of producing electricity from conventional and non-conventional sources of energy.

The results provide a characterization of resources, its strategic geographical location in the department for areas that are not part of the national interconnection system, the level of impact of innovation in the use of these technologies and guidelines for the mass implementation of renewable resources and finally offer new ways to produce and distribute such energy.

* Graduation Project.

** Faculty of Human Sciences. School of Economy and Administration. Director Gonzalo Alberto Patiño Benavides.

INTRODUCCIÓN

Antioquia es uno de los departamentos con una enorme biodiversidad floral, vegetal y animal, asimismo, cuenta con una gran riqueza hídrica, que es aprovechada con centrales hidroeléctricas para abastecer no solo a la región si no en muchas ocasiones a diversos sectores del país con energía segura, económica y confiable; el sector genera una gran influencia en la composición de la canasta energética colombiana, distribuyéndose de la siguiente manera: aproximadamente el 80% está compuesta por centrales hidroeléctricas, después los combustibles fósiles y en una pequeña medida la energía eólica, solar y biomasa.

Sin embargo, Colombia no está exenta del cambio climático y de los fenómenos naturales que acarrea. Tal como se ha evidenciado en los últimos años, la tendencia a la reducción en el promedio de lluvias, es una huella ineludible que compromete y amenaza considerablemente el recurso natural y por ende la seguridad energética del país. La necesidad de acelerar la diversificación en la canasta energética antioqueña, ante las posibles pérdidas de eficiencia es una realidad patente, y evaluar la favorabilidad de los recursos en las fuentes no convencionales de energía renovable se hace una obligación de notorio requisito.

Por todo lo anterior, se debe exponer las características actuales con las que cuenta el subsector e identificar las fuentes renovables líderes en el departamento, además de realizar un análisis al potencial del stock físico de las energías alternativas y poder sentar las bases en el camino de la implementación de esta nueva clases de tecnologías energéticas.

La energía útil proveniente de dichas fuentes limpias es el primer paso para reconocer y evaluar el aprovechamiento óptimo en el territorio. La exergía es la herramienta que sirve como análisis de medición, y más exactamente es en el coste exergético que se encuentra la suma de todos los recursos aprovechables que han sido necesarios para obtener en últimas, la tan anhelada eficiencia energética con alta entropía, bajos costes de producción y nulos impactos medioambientales.

El análisis previo tan solo se puede concebir en la economía, si se parte de enajenarse del pensamiento de evaluación monetaria actual y se introduce en la evaluación de los costes físicos de los recursos naturales, bajo los pilares fundamentales de la termoeconomía y especialmente de la segunda ley de la termodinámica, puesto que estas observaciones presentan ventajas frente al estudio tradicional energético – económico y pueden dar el paso hacia un nuevo espectro dentro del análisis económico en cuanto a la eficiencia energética contenida en un recurso natural se refiere.

También se hace necesario ofrecer lineamientos alternativos para la implementación masiva de los recursos renovables en el departamento, en el que se expondrán la mayor rapidez a la penetración de estas fuentes limpias en el mercado energético, además de presentar nuevas formas de producir y generar energía útil, a través del uso efectivo de innovaciones tecnológicas sin tener que recurrir a altas pérdidas de eficiencia energética.

1. MARCO TEORICO

La energía en la actualidad es considerada un sinónimo de vigor, de virtud y poder para obrar, sin embargo en su más amplia dimensión física la energía es la causa capaz de transformarse en trabajo mecánico. En la filosofía y en concepto físico la energía “es la constancia (en el sentido de permanencia) en medio del cambio; Para Heráclito lo invariante era el fuego como sinónimo de sustancia etérea que podía ser transformada en los objetos comunes”¹

Las fuentes que proveen las energías se denominan recursos energéticos y a su vez estas se encuentran clasificadas en fuentes convencionales de energía (Petróleo, gas, carbón, energía nuclear, energía eléctrica, entre otras), las cuales tienen como características el encontrarse completamente desarrolladas, en su mayoría altamente contaminantes y en uso de recursos no renovables; Por otra parte las fuentes no convencionales de energías renovables (Energía solar, energía eólica, biomasa, etc.), se determinan como energías limpias y funcionales, además de utilizar recursos renovables, aunque su tecnología aún está en fase de desarrollo. Las anteriores en su todo, por medio de un conjunto de actividades industriales y comerciales que las extraen y transforman para colocarlas en el mercado, se le denominan sector energético.

La energía posee características únicas pero poco preponderantes dentro de la economía, si bien, es en sí misma la esencia y fuerza principal del desarrollo a escala industrial en el modelo económico actual, no deja de ser más que un bien intermedio (contemplada como un proceso de mano de obra) en el pensamiento económico alejándola de ser considerada sustancial en la contabilidad económica en general, es decir, se agrega a las cuentas del ingreso nacional de un país como

¹ AMOROCHO, Enrique y OLIVEROS, Germán. Apuntes sobre energía y recursos energéticos, 2001. p. 17.

el valor agregado del sector energético. Es por ello que abordar el concepto de energía (vista como un recurso natural) y economía ha sido uno de los retos más fehacientes para las doctrinas del pensamiento económico.

La economía actual desarrollada a partir de los principios neoclásicos y contrastados en los clásicos, ha permitido ahondar hoy en día en los conceptos que se interesan en encontrar el punto de sinergia entre la economía y las huellas físico-químicas que abordan otras ciencias. Es en este sentido, que nace el sendero sobre el cual economistas como Nicholas Georgescu-Roegen han centrado sus investigaciones para poder dar respuesta a algunos interrogantes que florecen entre la fina brecha que une a la economía con las ciencias físicas.

Inicia por criticar que, la economía de hoy en día es una “cinemática *sin tiempo*” plagada de “modelos econométricos cada vez más complicados que a menudo sólo sirven para ocultar los problemas económicos más fundamentales”². Asimismo asevera que el hombre en su vida económica, se fundamenta en actuar mecánicamente en el proceso económico y propone que los recursos naturales deben ser pieza fundamental para el análisis económico, sostenido en el pilar elemental de la termodinámica y la física Eisteniana.

El autor deja en claro que, “el proceso económico no es un proceso aislado y autónomo, y no puede funcionar sin un intercambio continuo que altera el entorno de modo acumulativo, ni tampoco sin verse influido por esas alteraciones”³. Es decir, el proceso de la economía debe ser visto como una sinergia de todas las variables que conforman, afectan y cambian su sistema.

Georgescu-Roegen parte del hecho de aceptar que tanto en la economía como en la mecánica, se debe producir como regla general, la completa reversibilidad.

² CONFERENCIA LÍMITES AL CRECIMIENTO: EL ESTADO DE LOS BOSQUES Y EL MEDIO AMBIENTE. Resumen: Energía y mitos económicos, 1972. p. 780.

³ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The entropy law and the economic process, 1976. p. 276.

Distingue que la energía mecánica (cinética más potencial) y la constancia de la masa son los primeros principios de conservación en ser reconocidos por la ciencia, además, la energía mecánica que ingresa a un proceso debe resultar en exactamente la misma cantidad y calidad, dicho en otras palabras, el movimiento de la energía no puede producir alteraciones en ni una ni otra, acercándose así a los planteamientos de las leyes de la termodinámica.

Es en la segunda ley de la termodinámica (ley de la entropía, para ampliar sobre estas leyes ver: Anexo 1) donde encuentra que el hombre solo puede usar una forma particular de la energía, dividiéndose esta energía en aprovechable o libre, la cual se puede transformar en trabajo, y energía no aprovechable o ligada⁴, la cual no puede ser transformada. La formulación más compleja, aunque equivalente, es que la entropía de un sistema cerrado aumenta continua (e irrevocablemente) hacia un máximo, es decir, “la energía disponible se transforma continuamente en energía no disponible hasta desaparecer por completo”⁵.

Conviene distinguir que es la termodinámica, por medio de su ley de la entropía, la que distingue las cualidades insondables que los economistas deben hacer entre los recursos valiosos o de baja entropía y los productos finales, que no son más que desechos sin valor o de entropía alta. En otras palabras, “La paradoja sugerida por esta idea, a saber, que todo lo que el proceso económico hace es transformar en desecho la materia y energía valiosa... Esto nos obliga a reconocer que el verdadero producto del proceso económico no es el flujo material de desechos, sino el aún misterioso flujo inmaterial del goce de la vida”⁶

⁴ Dicha energía recibe el nombre de entropía y es considerada como un índice del desorden (de disipación) no sólo de la energía, sino también de la materia.

⁵ CONFERENCIA LÍMITES AL CRECIMIENTO: EL ESTADO DE LOS BOSQUES Y EL MEDIO AMBIENTE. Óp. Cit., p. 786.

⁶ Ibíd., p.788.

Visto en el diario vivir, se puede decir que siempre que exista un gasto de energía en un proceso, se aprovechara una cantidad apreciable de energía (Baja entropía o Neguentropía), pero a su vez, se desechara o se convertirá en inutilizable otra parte de ella (Entropía alta) debido al trabajo realizado, sin embargo, todo se encontrara “estable” mientras la entropía del medio ambiente se incremente más que la entropía compensada del organismo. Cabe denotar que la misma similitud es desarrollada en el proceso económico, ya que nunca se podrá volver al mismo punto de equilibrio, este último no fue considerado dentro del paradigma neoclásico.

El autor agrega que, todo organismo lucha incansablemente por recompensar su continua degradación entrópica absorbiendo su neguentropía, lo que se ejemplifica en que la radiación solar de millones de años absorbida por el planeta tierra se almacena en combustibles fósiles, es por ello que podemos quemar la energía solar librada de la degradación en forma de petróleo o carbón y utilizarla al día de hoy, por tal razón se produce el proceso entrópico. Igualmente se observa que es el hombre quien más desencadena la alta entropía debido a su contaminación medio ambiental. Por otra parte, existen dos fuentes de baja entropía: “los limitados stocks (que incluye entre los flujos) de materiales (minerales) de la corteza terrestre y el inagotable a escala humana, flujo de energía solar”⁷.

Esta línea de argumentación sentó las bases de la denominada Termoeconomía y a su vez logró realizar la unión de la economía y ecología, de la economía ambiental y de la teoría del decrecimiento económico. Esa iniciativa presento la cuarta ley de la termodinámica como extensión de la segunda y agrego la imposibilidad teórica del reciclaje completo.

⁷ GEORGESCU-ROEGEN. Óp. cit., p. 278.

Se ha examinado hasta aquí los pasos que adoptó la economía para tomar conciencia de los términos de la energía, su inclusión como sistema en el proceso económico y el registro de la superdestrucción termodinámica a los que son sometidos los recursos naturales. A este propósito debemos agregarle el de evaluar las energías renovables⁸, desde el punto de vista de la termoeconomía, debido al desarrollo teórico de la investigación y a su sinergia con la disciplina estudiada.

La economía de los últimos tiempos se ha enfocado en la búsqueda de la valoración económica de la naturaleza, para ser adherida a las cuentas de la economía tradicional y como una forma particular de ofrecer el sendero óptimo y aprovechar los recursos naturales. Si bien, la economía ambiental trabaja en metodologías de valoración que pueden ser discutibles, la economía ecológica profundiza en evaluaciones como lo son el requerimiento final de materiales, las huellas ecológicas, las mochilas ecológicas, entre otras.

Estos métodos de análisis desarrollan el reto de darle un valor monetario a los recursos naturales, siendo en algunos casos aprovechables y aplicables, y en otros alejados de las bases teóricas del pensamiento económico, puesto que, no se puede hablar de capital natural e incorporarlo al sistema económico como una mera valoración monetaria unidimensional que se enajena de los impactos ambientales y de los daños estructurales causados al planeta tierra, como también, de la cantidad de desechos energéticos desperdiciados en estos procesos. Así y todo ha sido una constante el continuar trabajando en darle valor a los recursos naturales en las ramas económicas, por ende, surgen diversos puntos de vista que conducen al espacio en el que debe cuestionar si: ¿es el dinero la mejor medida para el coste físico de los recursos naturales?

⁸ Tal como lo sostiene Georgescu-Roegen con el flujo de la energía solar.

Debe quedar bastante claro que se trata de una labor imposible el cuantificar a los recursos naturales en términos monetarios, sería intentar evadir asuntos tan importantes como la huella, desechos ecológicos y omitir los principios básicos de la física desarrollados por la ciencia, aminorándolos de una forma que nunca pueda llegar a ser apreciable. Sin embargo, en el peor de los casos, suponiendo que se base solamente en aspectos monetarios, sería catastrófico incluso para las naciones el poder valorar un recurso natural ante la estela cambiante de los mercados y las monedas.

¿En dónde se encuentra la respuesta a este problema? En el segundo principio de la termodinámica, según Naredo y Valero⁹ si el coste es un sacrificio de recursos, y los recursos una vez consumidos, lo han sido para siempre, se deduce que debemos contemplar este hecho como la base de la contabilidad física, en donde la termodinámica provee la energía, entropía y exergía. Es por este hecho que la termoeconomía no muestra interés en el precio ni el valor, sino solo en el coste, el cual nunca será posible de calcular si no se logra fundamentar con vehemencia físico-matemática.

Pareciera por lo anterior que la energía, entropía y exergía tienen las características para evaluar el stock físico; Sin embargo, la primera solo mide la cantidad y no tiene en cuenta la distinción de calidad¹⁰. La entropía ofrece solo una dimensión del problema, ya que tan solo puede distinguir la cantidad de energía liberada o desperdiciada, asimismo, posee unidades poco conocidas de medición¹¹. A pesar de todo la exergía emerge como la unión de los componentes característicos de la energía y la entropía, pues es susceptible al cambio de energía y calidad, y tiene en cuenta la energía liberada.

⁹ NAREDO, José y VALERO, Antonio. Desarrollo económico y deterioro de ecológico. Madrid: Fundación Argentaria, 1999. p.193-194.

¹⁰ Se sabe que un kilowatio-hora en forma de energía eléctrica da más uso que el mismo en forma de agua caliente o fría.

¹¹ Energía/Temperatura.

La exergía es la proporción de energía que puede ser transformada en trabajo mecánico, algunos la definen como la energía utilizable, la disponibilidad que se tiene y en la última mitad de siglo: exergía. En el campo físico e ingenieril es altamente utilizada aunque su aplicación y análisis es contemporáneo. En otras palabras, el concepto de exergía nos indica la mínima energía aprovechable que se tiene que aplicar en la producción de un universo¹² dado.

De la misma manera, la exergía es una herramienta que mide la calidad de la energía, por ejemplo, en la industria se puede identificar qué cantidad de energía es aprovechable en un proceso, o a su vez, conocer cuanta energía se pierde al realizar un trabajo. La exergía carece de una ley de conservación exergética, sin embargo, cumple con el supuesto de que cualquier fenómeno y una inalterable pérdida de exergía, la cual se traduce en pérdida sustancial e irrecuperable de los efectos útiles de la energía.

La exergía puede ser desintegrada en diferentes factores, siendo de mayor relevancia, la exergía física y la exergía química. Estos se pueden calcular por la entalpía y entropía, respectivamente. “Aunque la exergía (balance de exergía = balance de energía – T_0 x Balance de entropía) es también unidimensional, tiene dimensiones energéticas y es sensible a la cantidad y calidad de la energía intercambiada, así que si un proceso genera entropía (σ), disminuye la exergía en un ritmo $To\sigma$ ”¹³.

¿Por qué es entonces la exergía un buen candidato como unidad de medida del coste? La exergía participa en todas las propiedades del concepto de coste, según Valero y Naredo¹⁴, es aditiva y puede ser calculada a partir de su proceso de producción, sólo que este proceso necesita ser considerado reversible en todas sus etapas. En términos prácticos para análisis con relevancia económica-

¹² Entiéndase universo como un sistema y sus alrededores.

¹³ *Ibíd.*, p. 194.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 194.

ecológica pocas veces se hacen balances energéticos de materiales en los que la componente térmica tenga importancia, ello se debe a que casi todos los intercambios se hacen a temperatura ambiente, y en este caso la exergía térmica es nula.

A primera vista se infiere que es la exergía quien provee la referencia del coste real de las cosas, es decir, la exergía tiene todas las características para emplearse como marco de observación. Sin embargo, es en el coste exergético donde se encuentra la clave del método de análisis de la eficiencia energética que permite comparar entre dos o más clases de energía cual presenta su entropía más baja o su mayor contenido energético aprovechable. El método de coste exergético se encuentra estructurado por unos límites de análisis y por un marco conceptual, como también por un estado de referencia, siendo este último más de orden teórico que de relevancia numérica.

1.1. EL COSTE EXERGÉTICO COMO HERRAMIENTA DE VALORACIÓN

Las precisiones metodológicas de las que parte el modelo teórico, son un marco de referencia hacia el cual conducen los supuestos, para después exponer el cálculo metodológico del coste exergético. Para Valero y Naredo¹⁵, el marco de referencia se encuentra dado por:

Ambiente muerto: caso hipotético donde el ambiente de la tierra es homogéneo, con todas las sustancias mezcladas, a la más baja reactividad, sin energía cinética, ni potencial a una temperatura ambiental, P_0 , T_0 . La cantidad de elementos químicos en cualquier composición inicial siempre es posible

¹⁵ Ibid., p. 194.

termodinámicamente alcanzar un estado de equilibrio a una presión y temperatura también dadas.

La magnitud de estos cambios: La diferencia de valores obtenidos de exergía para una sustancia con respecto a dos ambientes de referencia posibles es inapreciable en términos prácticos.

Cabe observar que el estado muerto se trata de una interpretación razonable más que de una realidad factible. En el segundo argumento se quiere aclarar que siempre se podrá calcular un estado muerto a partir de un equilibrio dado. Por último, la magnitud de los cambios, pretende esclarecer que los valores obtenidos no son apreciables en la realidad debido a que el coste termodinámico de todo flujo energético carece de materialidad. De lo anterior se derivan los límites de análisis, donde Valero y Naredo¹⁶, los define como:

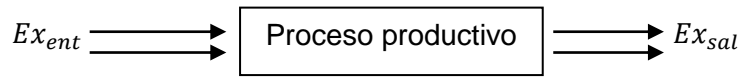
Para todos los flujos que atraviesan los límites entrando al proceso habrá que medir su exergía, la diferencia entre la exergía entrante menos la del producto y la de los residuos y subproductos emitidos será la irreversibilidad externa. El coste exergético debe incorporar todas esas irreversibilidades.

El coste exergético unitario es el cociente entre el coste exergético real de un producto y su exergía, su valor es adimensional y mide el número de unidades de exergía necesarias para obtener una unidad de producto.

En este orden de ideas, el principio de irreversibilidad se puede ejemplificar como un sistema representado en una caja negra donde entran y salen flujos energéticos y en la cual la exergía que entra menos la que sale es la irreversibilidad que acontece dentro del proceso.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 195.

$$\sum Ex_{ent} - \sum Ex_{sal} = I_{int} \quad \text{Ecuación (1)}$$

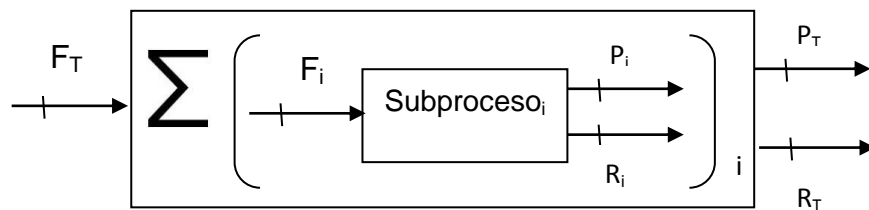


El objetivo en cualquier proceso productivo a nivel humano, es obtener efectos que se consideran útiles. Sin embargo, en la mayoría de casos los resultados obtenidos no son los esperados, por tanto desemboca en que los flujos energéticos desarrollen residuos sólidos, líquidos y/o gaseosos. Estos últimos tienen una característica en común: están cargados de exergía no aprovechable. Es por ello que el objetivo final de la producción sería el poder hacer un uso efectivo de los desechos, es decir, que agote o aproveche esa exergía en el proceso productivo hasta lograr que se esté en equilibrio con el estado de referencia. Sería el mejor escenario inocuo al que se lograría llegar, donde se realice una maximización de los beneficios a escala energética. En términos reales y prácticos, los efectos residuales no solo existen, sino que lograr deshacerse de ellos cuesta un consumo adicional de recursos.

Dentro de un flujo energético se encuentran residuos y productos y estos a su vez poseen subproductos, los cuales si bien no son registrados, tienen un valor en el mercado y deben ser objeto de análisis. Se debe agregar que en un proceso productivo se obtienen varios productos simultáneamente, los cuales conforman un producto final en conjunto, que inicia desde el residuo puro y continuo hasta finalizar en el producto puro. El concepto anterior, se enajena de la termodinámica, sin embargo es abordado por algunos autores en la termoeconomía, donde muestran el papel preponderante que juega la exergía en este aspecto y lo definen como exergoeconomía.

De lo anterior se puede afirmar que, se debe recuperar la definición de coste como un sacrificio contabilizado de recursos. Hay que identificar los recursos que se ponen en juego en un proceso. No todos los flujos que entran tienen por qué ser

recursos, pueden ser, por ejemplo, producto sin elaborar. Tampoco todos los flujos que salen deben estar en la categoría de productos-residuos. Pueden ser recursos sin consumir o agotar. Por otra parte, no todos los recursos se utilizan al principio del proceso productivo, sino que puede ser en etapas intermedias, de la misma manera que los residuos y subproductos pueden producirse en estadios intermedios. En otras palabras, la identificación del propósito productivo afecta también a la clasificación de los flujos de entrada como recursos o no y además que el modelo de caja negra no es válido definitivamente. Es necesario desagregar, identificando en cada subproducto que es recurso, F, producto, P, y residuo, R¹⁷.



Es necesario recalcar que cada subproducto está ceñido a la segunda ley de la termodinámica, además, los flujos de entrada y salida como recursos, productos y residuos, deben ser analizados como un propósito productivo que no se contempla en la termodinámica. Todo lo expuesto es un paso para el reparto de costes.

$$F = P + R + I \left[\begin{array}{l} F_i = P_i + R_i + I_i \quad (\text{Subproceso}) \\ F_T = P_T + \sum R_i + \sum I_i \quad (\text{Proceso agregado = Sistema}) \end{array} \right. \quad \text{Ecuación (2)}$$

El proceso de análisis expuesto acaece por medio de cinco reglas que conducen a un procedimiento de cálculo de costes, que se fundamenta en una teoría físico-matemática, comparable a la teoría Input – Output de Leontieff, y en la que se incluye los temas tratados con anterioridad y se esboza el concepto de exergía como la piedra angular en la asignación de costes para recursos, productos y residuos. El proceso de analizar costes exergéticos está dado por:

¹⁷ *Ibíd.*, p. 202.

Regla 1. El coste exergético es una propiedad conservativa. Por tanto el coste de los flujos de entrada debe repercutirse íntegramente en los de salida de un sistema. Si indicamos con un asterisco el concepto de coste exergético de un flujo, entonces:

$$F^* = P^* + R^* \quad \text{Ecuación (3)}$$

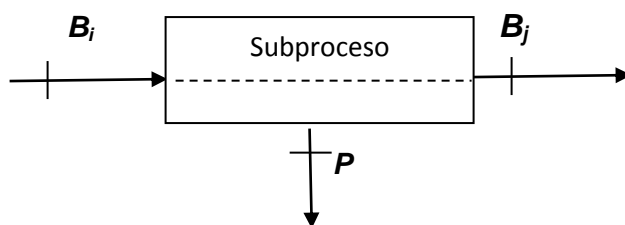
Ya que las irreversibilidades internas no son un flujo que atraviese los límites del sistema¹⁸.

Regla 2. El coste exergético de los recursos que entran a un sistema es igual a su exergía:

$$F_T^* = F_T, \text{ o bien } K_{F_T}^* = 1 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Designando k^* como base coste exergético unitario. Esto se debe a que queremos calcular el coste de los productos referido a unos límites de análisis. El proceso de producción de los recursos anterior a estos límites no es objeto de consideración en este análisis particular¹⁹.

Regla 3. (De los recursos): Todo recurso no consumido en un subproceso tiene el mismo coste exergético unitario que el recurso de entrada del que proviene, es decir²⁰:



$$\text{si } F = B_i - B_j$$

$$\text{Ecuación (5)}$$

$$\text{Entonces } k_i^* = k_j^*$$

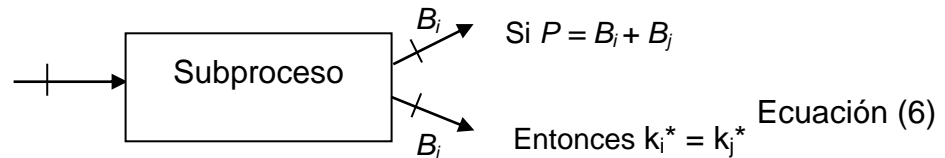
¹⁸ *Ibíd.*, p. 203.

¹⁹ *Ibíd.*, p. 203.

²⁰ *Ibíd.*, p. 203.

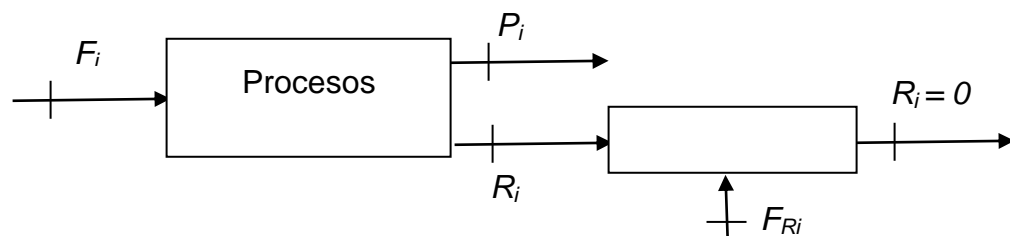
Siendo B_i y B_j las exergías de los flujos que constituyen el recurso y genéricamente $k^* = B^*/B$.

Regla 4. (De los productos): Todos los productos producidos simultáneamente en un subproceso tienen el mismo coste exergético unitario, es decir:



En otras palabras, que el reparto de costes de producción se realiza en proporción a la exergía de los productos producidos simultáneamente y no en proporción a la energía o la masa u otra propiedad particular del proceso²¹.

Regla 5. (De los residuos): El coste exergético que se asigna a los residuos es la cantidad de recursos que específicamente son necesarios para deshacerse de ellos es decir²²:



El cálculo de costes no puede estar completo sin la internalización de los costes de los residuos, La práctica industrial y la contabilidad económica consiguiente pueden aceptar o incluso les conviene dejar los residuos sin desactivar aun a riesgo de pagar una multa por ello. Cuando buscamos el verdadero coste de las cosas, su coste exergético, no podemos hacer esto porque la naturaleza no

²¹ *Ibíd.*, p. 204.

²² *Ibíd.*, p. 204.

entiende de saldos económicos. Los costes exergéticos deben ser internalizados, los económicos dependen de las leyes y de la voluntad de los individuos. Por ello, paralelamente al proceso de producción de productos existe el proceso de producción de residuos que deben ser desactivados a costa de consumir recursos adicionales. Es decir, en realidad existen dos ecuaciones²³:

$$\begin{array}{r} F - P = R + I \\ F_R + R = I_R \end{array}$$

Ecuación (7)

$$(F+F_R) - P = (I + I_R)$$

Al igual que un producto no se forma en la frontera de salida de un sistema, tampoco lo hace un residuo. Por tanto, igual que existe el <<proceso de formación del coste de los productos>>, también existe el <<proceso de formación del coste de los residuos>>²⁴.

Este fenómeno es muy interesante porque los residuos se forman en alguna parte del proceso productivo pero se exhausta generalmente en otra. El principio de <<quien contamina paga>>, también debe aquí aplicarse. Por ello las ecuaciones anteriores deben considerarse a nivel de subproceso²⁵.

Las implicaciones filosóficas también son interesantes. Aunque el coste exergético se asocia a las irreversibles que han tenido lugar para producir un producto, es decir²⁶:

$$B^* = B + I$$

Ecuación (8)

La *localización* de las irreversibilidades no tiene por qué coincidir con su *causalización* y, por tanto, con su coste. En el caso de la producción de residuos es clara. Si una empresa emite efluentes que son finalmente diluidos por el medio

²³ *Ibíd.*, p. 205.

²⁴ *Ibíd.*, p. 205.

²⁵ *Ibíd.*, p. 205.

²⁶ *Ibíd.*, p. 205.

ambiente a costa de daños irreparables o no, la degradación del medio es la irreversibilidad, I_R , producida en ese proceso, pero la causa no está en el medio ambiente, obviamente está en el proceso productivo que generó esos efluentes. *El coste exergético es una medida cuantificada de la causalidad.* De acuerdo con Aristóteles, existen cuatro causas, la *causa materialis* que fácilmente puede identificarse con los recursos empleados; *causa finalis*, que se asocia al <<para qué>> que se han consumido los recursos, que es obviamente el objeto de la producción o producto; la *causa efficiens*, que se asocia al mecanismo físico que hace posible la producción y cuya cuantificación está en la irreversibilidad del proceso y es una medida de nuestra ignorancia; y finalmente la *causa formalis*, que se relaciona con la estructura y organización física del proceso productivo y cuya imagen es el modelo matemático que permite que se relacionen los flujos de entrada con los de salida del proceso²⁷.

Aunque el modelo clásico de causalidad se ajusta bien a la estructura F-P-R aquí descrita, no debemos olvidar el *effectum residualis* que Aristóteles olvidó. Todo proceso productivo es a la vez un proceso de producción de residuos, y en último extremo todos los productos terminan convirtiéndose en residuos, así que al final $P = R$ ²⁸.

En resumidas cuentas, el modelo teórico expuesto tiene como cimiento el calcular los costes exergéticos fundamentados en el segundo principio de la termodinámica al contraste de la exergía. Se debe tener claro que la suficiencia exergética solo se logra cuando se clasifican los flujos en recurso, producto y residuo; Un producto podrá convertirse en residuo dependiendo de su uso y valor que se le asigne, así como también un proceso productivo ha sido producto en algún momento de un proceso previo.

²⁷ *Ibid.*, p. 205.

²⁸ *Ibid.*, p. 206.

Por último cabe destacar que este tipo de análisis pretende fijar la exergía como medida universal de los flujos de energía que se intercambian en los procesos, esto con el fin de aumentar considerablemente la entropía y a su vez disminuir la contaminación al medio ambiente que se produce en este intercambio energético. Es necesario decir que a esta teoría es de notoria obligatoriedad el lograr una sinergia con estudios posteriores monetarios para los recursos naturales y conquistar por parte del pensamiento económico moderno, el insondable mundo de la valoración crematística a las distintas fuentes de energía.

2. UNA MIRADA A LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Uno de los grandes medidores de bienestar y progreso de una sociedad es el consumo de energía. La base de la vida humana del mundo depende del petróleo a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, así mismo, crece el consumo de energía. Es decir, una sociedad moderna como la de hoy depende totalmente del uso de la electricidad, por tal razón el concepto de “crisis energética” toma una gran importancia; éste surge cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Hay que tener en cuenta que el modelo económico actual se fundamenta en el crecimiento continuo y exige de tal forma una demanda igualmente creciente de energía.

Las energías renovables aparecen como una posible solución a los problemas que se enfrenta el Planeta Tierra de contaminación y agotamientos de las reservas de combustibles de origen fósil. Las energías renovables, son aquellas que aprovechan directamente los recursos considerados inagotables como el Sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación, los residuos o el calor del interior de la Tierra²⁹. Esta clase de energía se produce de manera continua y es inagotable, además de ser una fuente limpia de producir y abastecer energía al mundo, siendo respetuosa con el medio ambiente.

Las energías renovables se encuentran en una subcalsificación muy importante en el sector de energía, debido a que, tienen una gran capacidad para reducir la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero, además de aprovechar las fuentes de energía locales que son descentralizadas, al ser recursos propios del territorio. Así mismo, éstas no se ven afectadas por la volatilidad que sufre el mercado, también vale la pena mencionar que estipulan la

²⁹ UPME, 2006. Energías Renovable: Descripción, tecnologías y usos finales. p. 7

creación de empleo, crecimiento económico y desarrollo tecnológico para la región.

La discusión que se da sobre la utilización de fuentes de energía renovable, representa un cambio ineludible que tendrá que producirse en las próximas décadas, con el propósito de mejorar las condiciones del medio ambiente, vivir en un territorio más sano y así mantener la especie humana en el Planeta Tierra.

Las ventajas que cabe destacar en el uso de las energías renovables son los beneficios ambientales, estas fuentes de energía limpia permiten reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la presencia de CO₂ a la atmosfera, ayudando a mitigar el cambio climático. Así mismo, no generan residuos de difícil tratamiento. Así mismo, el carácter inagotable de las energías renovables hace de ellas muy ventajosas porque se puede generar energía perpetua sin interrupciones. También son recursos que se encuentran en todos las zonas del planeta, lo que significa que se pueden implementar globalmente, de este modo genera tecnologías propias y genera cinco veces más empleos que las energías fósiles.

Las Barreras que presentan las energías renovables en Colombia que obstruyen su libre desarrollo y progreso son varias; entre los que se destacan:

- Falta de marcos regulatorios para productores pequeños e independientes.
- Dificultades al acceso en la red de transmisión y gran cantidad de requerimiento de conexión a la red.
- Costos iniciales elevados de las tecnologías.

- Impuestos a la comercialización y la importación de equipos; esta barrera solo afecta a ciertas tecnologías limpias.
- Subsidios directos o indirectos a los combustibles fósiles.
- Carencia de incentivos financieros. Es cierto que existen algunos incentivos económicos que otorga el Gobierno, pero no son suficientes para generar grandes estímulos a los inversionistas.
- Falta incorporar las energías renovables en las políticas energéticas y marcos regulatorios nacionales.
- Falta de acceso a crédito y financiamiento, tanto para productores como para consumidores.
- Falta de conocimiento de las nuevas tecnologías energéticas y poco personal cualificado para la instalación y mantenimiento de los equipos; vale la pena mencionar que esta barrera solo aplica para ciertas tecnologías energéticas como la eólica o la solar, pero ya existen programas educativos tanto profesional como técnico de alta calidad para instruir y capacitar.
- Falta de interés y de fondos económicos por parte del Gobierno para investigaciones y desarrollo de tecnologías propias.

2.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Desde tiempos remotos el ser humano ha aprendido a aprovechar la energía proveniente de la biomasa, la radiación solar, el movimiento del agua, el viento y de la geotermia. Esta clase de energías que son renovables, cuentan con un potencial inagotable y han sido pieza clave para el desarrollo de diversas actividades económicas, por lo menos hasta la revolución industrial, cuando se empieza a usar en gran escala la enorme cantidad de energía que contiene fuentes no renovables. Los antecedentes históricos más lejanos que se tienen del uso de esta clase de fuentes, es en el transporte, como principal ejemplo la navegación en vela, usando la energía eólica como base para impulsar los navíos, así mismo, los molinos de viento aparecieron para mejorar algunos procesos agrícolas utilizando como fuerza motora el viento. Posteriormente los molinos de agua establecieron los principales fundamentos de la energía hidráulica, paralelamente a esto, se remodelaron esta clase de edificaciones para aprovechar más la energía proveniente del sol.

Pero desde la revolución industrial, las energías renovables se dejaron de lado, manifestando que éstas eran muy volátiles e inestables por los imprevistos cambios climáticos. De este modo, el progreso de las fuentes renovables se vio obstruido por el mayor uso de combustibles fósiles y los inventos desarrollados como los motores térmicos y máquinas a vapor, que requerían una gran cantidad de energía para su funcionamiento.

En 1973 el modelo de explotación de recursos energéticos entro en crisis, debido a la crisis del petróleo presentada en esa época, activando por primera vez la alarma del agotamiento de los recursos energéticos, que hasta ese entonces eran abundantes y baratos. A partir de esa fecha las energías renovables volvieron a ser consideradas como una fuente alternativa a las energías tradicionales, por la

disponibilidad en el presente y futuro, el poco impacto ambiental negativo que provocan, entre otra razones que se han mencionado en este trabajo.

Fue hasta 1992 que Colombia retomó el tema de las energías renovables. En ese año, el país comenzó a conformar las bases para establecer un programa de desarrollo de estas fuentes, realizándose los primeros estudios que mostraron las verdaderas capacidades que tiene la nación respecto a las diferentes fuentes de energía renovable. Es decir, el gobierno colombiano empezó a preocuparse por la preservación del medio ambiente y por la estabilidad energética, iniciando una dinámica importante especialmente en las Zonas No Interconectadas, con proyectos e incentivos para la innovación de nuevas tecnologías de energías renovables, promoviéndolas con recursos provenientes de diversos programas e instituciones que se desprenden del Ministerio de Minas y Energía como por ejemplo el IPSE.

La verdad es que, la producción de energía en el futuro, además de considerar las distintas tecnologías energéticas con sus posibilidades y limitaciones debe enfrentarse con desafíos mayores –más allá de las dificultades técnicas o científicas- desafíos que se mueven en la esfera política y que a su vez, éstas se debieran basar en unos planteamientos éticos sobre el desarrollo económico de la sociedad en general. Incluso antes del agotamiento de las materias primas fósiles, el aumento de los conflictos económicos por unos recursos convencionales en declive parece inevitable debido a la convergencia de dos curvas antagónicas: la disponibilidad decreciente de energías fósiles y la del aumento en el consumo³⁰.

³⁰ PICÓ HERAS, Sergio. Desarrollo e implementación de las energías renovables. Cataluña: Universidad de Cataluña, 2002. p. 4.

2.2. MARCO NORMATIVO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

A continuación se hará una breve descripción de todo el marco normativo relacionado con las energías renovables en Colombia.

- **Ley 142 de 1994**

La ley 142 resulta ser la pionera en la regulación de los servicios públicos domiciliarios en el país, incentivando una fuente no convencional de energía como lo es el gas natural. Esta ley le impone a la Comisión de Regulación de Energía y Gas, funciones para la regulación en cuanto a la autogeneración y cogeneración de energía. Adicionalmente, en esta ley también se define políticas para la gestión integral de residuos sólidos y peligrosos con el objetivo de minimizar los impactos al hombre y al medio ambiente.

- **Ley 143 de 1994**

La ley 143 es conocida como la “Ley Eléctrica”, en esta ley se le atribuye a la UPME la función de elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional –PEN-, el cual debe brindar los lineamientos para el desarrollo del sector energético en el país. Esta ley se constituyó en la gran impulsadora de proyectos hasta finales de la década del noventa cuando la recesión económica golpeo fuertemente el sector y condujo al desarrollo de proyectos en los sectores de mayor confianza en el país como el hídrico y el carbón mineral.

Consecuentemente en esta Ley, se designaron las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de la electricidad, al mismo tiempo, se dispuso que el Estado debía ser el encargado de “asegurar la adecuada incorporación de los aspectos ambientales en la planeación y gestión de las actividades del sector” y “Abastecer la demanda de electricidad bajo criterios

económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país”³¹

- **Ley 697 de 2001**

La Ley de 697 es la que promueve la utilización de energías alternativas, además pone en cabeza del Ministerio de Minas y Energías la responsabilidad de promover y adoptar programas para este tipo de energías. Mediante esta ley se declara el Uso Racional y Eficiente de la Energía –URE-, y sus objetivos se definen en el Artículo 1, como: “Asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de maneras sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales”.

- **Ley 1715 de 2014.**

El objeto de la Ley es “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”³²

Dicha ley tiene como finalidad “establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la

³¹ UPME. Formulación de un Plan de desarrollo para la Fuente no convencionales de energía en Colombia. Bogotá, 2010, p. 2-5.

³² UPME. Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las Energías Renovables no Convencionales al Sistema energético nacional. Cartagena, 2014. p. 10.

inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional”³³.

Asimismo, Colombia con la Ley 1715 de 2014 ha generado una serie de incentivos para quienes estén interesados en invertir en proyectos de fuentes no convencionales de energía renovables, de este modo promover el desarrollo y uso de tecnologías limpias, con el motivo de diversificar la canasta energética del país (Ver: Anexo 2).

2.3. PANORAMA INTERNACIONAL DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

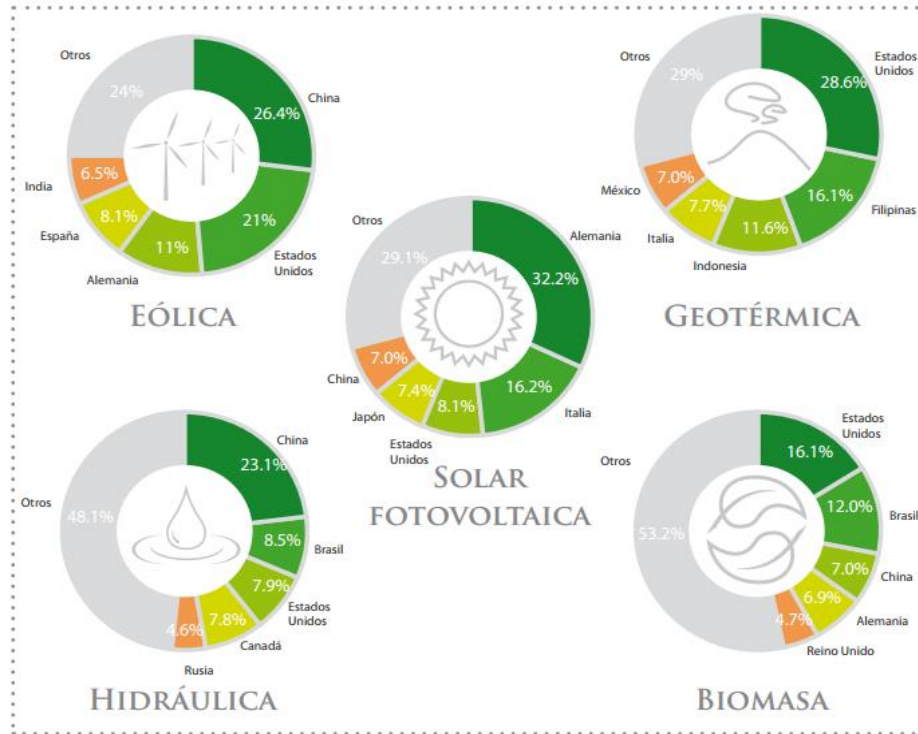
La capacidad total instalada de generación eléctrica con energías renovables en el 2012 tuvo un total de 1.471 GW, la participación de las centrales hidroeléctricas fue del 67% y la de los parques eólicos del 19%. Las energías renovables alcanzaron el 26% de la generación total de energía eléctrica global (5,640 GW). Los factores más importantes que han contribuido en el impulso de las energías renovables, sobre todo las energías: eólica y solar, han sido: el avance tecnológico, la disminución de costos en tecnologías, la promoción de los gobiernos para el desarrollo sustentable, entre otros factores³⁴ (Ver: Anexo 3).

La generación de energía eléctrica de las energías renovables en el 2012, se distribuyó de la siguiente manera:

³³ *Ibid.*, p. 12.

³⁴ PRO MEXICO. Energías Renovables. México D.F. 2013, p. 10.

Imagen 1. Principales países con capacidad instalada por tipo de energía 2012.



Fuente: Pro México, 2013.

El consumo de electricidad generada por fuentes renovables en el mundo creció un 8% en el 2010 con respecto al año anterior. Así mismo, en el 2010 se obtuvo un total de 4,154 TWh, representando el 22% de participación en el consumo total de energía eléctrica global. Las regiones que lideran en el consumo de energía renovable son Asia-Pacífico, Norteamérica y Europa.

Así mismo se pronostica que para el 2035 la capacidad instalada para la generación de electricidad con fuentes renovables incrementara un 48%, es decir, será de 3437 GW, representando el 40% total del sistema eléctrico global. Se estima que las principales fuentes de generación eléctrica serán la hidráulica y eólica, siguiéndole la solar fotovoltaica. Al igual, la demanda de energía renovable se prevé que crecerá significativamente, las regiones que se espera demanden más estas fuentes son Europa y China que en conjunto representarían el 26% del

uso de las energías renovables, siguiéndole Estados Unidos demandando un 11% del total³⁵.

Lo anterior refleja un panorama positivo para las fuentes renovables y su participación en la generación de energía eléctrica, se denota que los países se están comprometiendo la implantación de tecnología energéticas limpias para contribuir con la mitigación del cambio climático y asegurar su estabilidad energética utilizando los recursos renovables.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.

Las fuentes renovables de energía su amplitud se han clasificado en seis grandes grupos principales:

Tabla 1. Clasificación, usos y aplicaciones de las energías renovables.

RECURSO	TECNOLOGÍA	ELEMENTOS	APLICACIÓN
SOLAR	Fotovoltaica.	Celdas Solares.	Electricidad.
	Térmica.	Colectores.	Calor, electricidad.
	Pasiva.	Muros, ventanas, etc.	Calor, iluminación.
EÓLICA	Generación eléctrica.	Aerogeneradores.	Electricidad.
	Fuerza motriz.	Aerobombear.	Fuerza motriz.
BIOMASA	Digestión anaerobia.	Biodigestor.	Biogás combustible.
	Gasificación.	Gasificador.	Gas combustible.
	Pirólisis.	Pirolisador.	Combustible.
	Fermentación alcohólica.	Destilería.	Bioetanol.
	Esterificación.	Unidad de esterificación.	Biodiesel.
	Combustión.	Hornos, calderas.	Calor, electricidad.

³⁵ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Chapter 6: Renewable energy outlook. En: World Energy Outlook 2013. París: IEA Publications, 2013. p. 203.

HIDRÁULICA	Centrales hidroeléctricas.	Pequeñas centrales hidráulicas.	Electricidad.
	Pequeños aprovechamientos.	Ruedas.	Fuerza motriz.
OCÉANOS.	Mareas.	Barreras, turbinas.	Electricidad
	Olas.	Flotadores, columnas, aparatos focalizantes.	Electricidad
	Diferencia de temperatura.	Turbinas, condensadores.	Electricidad.
	Corrientes marinas.		Electricidad.
GEOTERMIA	Generación eléctrica.	Plantas de energía.	Electricidad.
	Usos directos.	Aguas termales.	Calor, recreación, salud.

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2006.

2.4.1. Energía Solar

La energía solar se define como la energía producida por reacciones nucleares al interior del Sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar)³⁶. Así mismo, la energía contenida en la radiación solar es transformada, con las tecnologías adecuadas, en energía térmica o eléctrica. Esta transformación se hace por medio de captadores como células fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos. Vale la pena mencionar que la energía solar es la fuente de energía renovable que más desarrollo ha presentado en los últimos años, con respecto a las otras clases de tecnologías limpias y es la que más expectativas tiene para el futuro.

Como lo explica la UPME, el Sol irradia energía a una tasa de $3,9 \times 10^{26}$ vatios, sobre la parte superior de la atmósfera, nuestro planeta recibe una radiación solar de 174 petavatios, aproximadamente el 30% se regresa al espacio, mientras que

³⁶ UPME, 2006. Óp. cit, p. 10.

los océanos, nubes y masas terrestres absorben la restante. Para aprovechar la energía solar, poder capturarla, transformarla y distribuirla, se utilizan diferentes tipos de tecnologías: Activas y pasivas.

En las tecnologías activas se incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Por otro lado las técnicas pasivas, son aquellas que aprovechan la radiación solar sin utilizar dispositivo alguno o aparatos intermedios, mediante la apropiada ubicación, orientación hacia el Sol y diseño de los edificios, utilizando correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos de los mismos: aislamientos, tipo de cubiertas, protecciones, espacios con ventilación natural, entre otras. Usando los criterios de arquitectura bioclimática se puede disminuir de forma significativa la necesidad de climatizar los edificios y de iluminarlos.

- **Energía Solar Fotovoltaica.**

“La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas. La corriente eléctrica que se produce puede ser almacenada en baterías para ser utilizada inmediatamente o en el momento en que el usuario lo requiera en usos domésticos, comerciales e industriales”³⁷

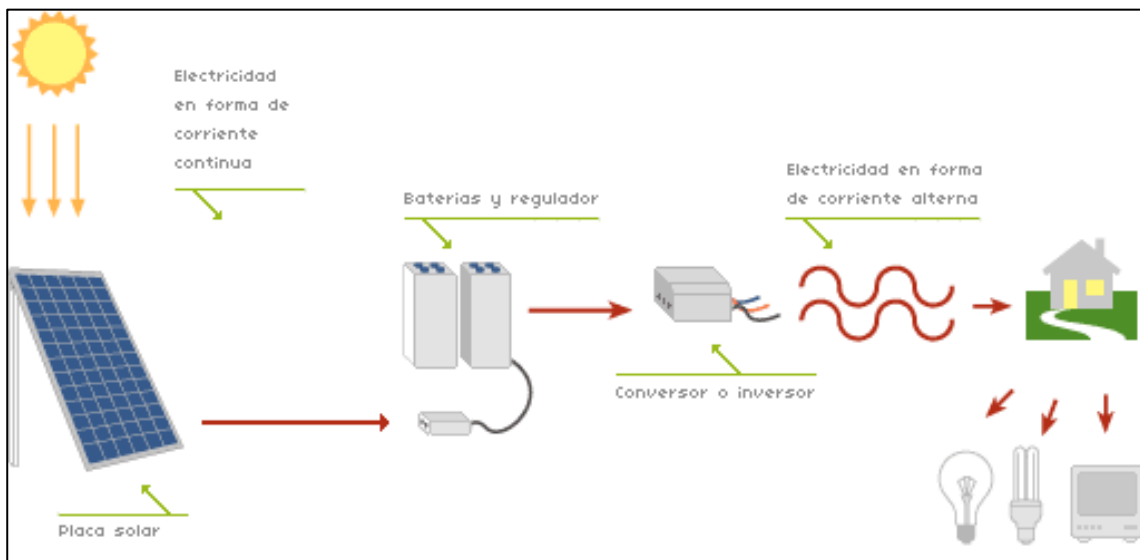
El funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos sirve cuando el campo de módulos fotovoltaicos³⁸ transforma en corriente eléctrica la energía proveniente del sol que se recibe en el día. La energía eléctrica que los módulos fotovoltaicos envían a la batería y que ésta suministra a la carga pasa por el controlador de carga, cuya función es de proteger a los otros elementos del sistema contra

³⁷ *Ibíd.*, p. 13.

³⁸ Las células solares son frágiles y generan poca energía, por tanto es necesario agruparlos para producir suficiente energía y proporcionar mayor potencia. La unión de varias células solares, da lugar a los módulos fotovoltaicos.

sobrecargas o descargar excesivas, altas corrientes y bajos voltajes. Todos los módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que provean la potencia deseada³⁹. La ilustración 1 muestra lo anterior descrito.

Imagen 2. Energía Solar Fotovoltaica.



Fuente: UPME, 2010.

Los **Paneles Solare Fotovoltaicos** consisten en una agrupación de células⁴⁰, encapsuladas en dos capas de etileno, vinilo y acetato, entre una lámina delantera de vidrio y una capa trasera de polímero termoplástico. Para aumentar la resistencia mecánica del panel se le agrega una estructura de aluminio y de esta forma hace más fácil el anclaje del módulo a las estructuras de soporte. Las células más utilizadas y empleadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio, existen tres clases:

³⁹ *Ibíd.*, p. 14

⁴⁰ Las células solares son un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino.

- Células de silicio monocristalino: son las que están constituidas por un único cristal de silicio, esta clase de células son de color azul oscuro. El rendimiento oscila entre 15 y 21%
- Células de silicio policristalino: Están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, disminuyendo su rendimiento. Su color es azul, pero más intenso que el de las células monocristalinas. El rendimiento oscila entre 14 y 20%
- Células de silicio amorfo: Son menos eficientes que las células de cristalino pero son menos costosas. Se emplean para mecanismos de poca intensidad eléctrica como calculadores o relojes.

- **Energía solar Térmica.**

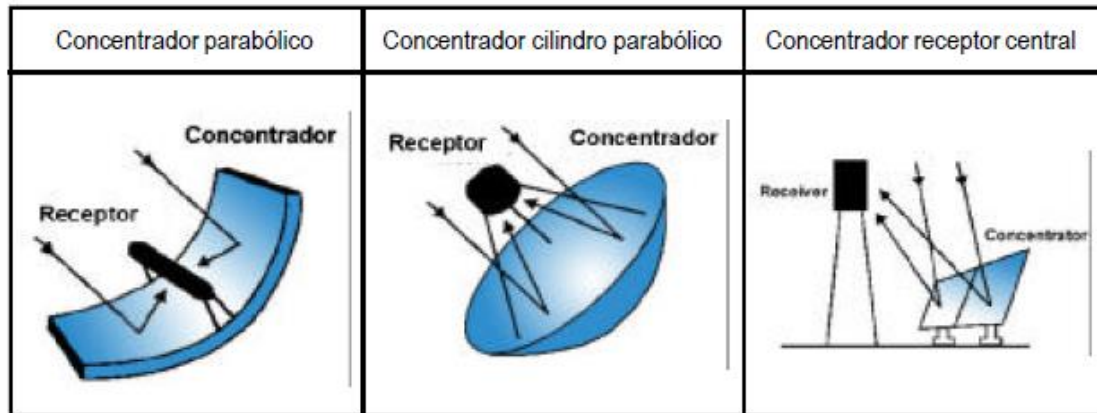
Utiliza la energía del Sol para producir calor. "El aprovechamiento de la energía solar térmica basa su tecnología en la captación de la radiación por medio de elementos denominados colectores solares o concentradores. Estos sistemas están diseñados para proveer grandes cantidades de energía y calor"⁴¹.

Los colectores de energía solar térmica se clasifican en:

- Colectores de alta temperatura
- Colectores de temperatura media
- Colectores de baja temperatura

⁴¹ Ibíd., p. 15.

Imagen 3. Tipos de Concentradores.



Fuente: UPME, 2010.

Los usos directos de la energía solar térmica son varios, estos sistemas de calentamiento con colector de placa plana, usan la radiación solar para diversas aplicaciones, entre las que más se destacan:

- Secado solar
- Potabilización de agua
- Calentamiento de agua

La energía solar térmica es la más adecuada para la producción de agua caliente. Para suplir el 60% de las necesidades de agua caliente potable en una vivienda, solo se requiere instalar 2 m² de paneles solares.

- **Potencialidad Recuso solar en Colombia.**

Gracias al posicionamiento geo-estratégico 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 país⁴². Lo anterior descrito se muestra en la Tabla 2.

⁴² UPME, 2010. Óp. cit., p. 61.

Tabla 2. Potencial de radiación solar por región.

REGIÓN.	RADIACIÓN SOLAR (kWh/m ² /año)	
	Desde	Hasta
Guajira	1.980	2.340
Costa Atlántica	1.260	2.340
Orinoquia	1.440	2.160
Amazonia	1.440	1.800
Andina	1.080	1.620
Costa Pacífica	1.080	1.440

Fuente: UPME – IDEAM (2005).

En Colombia se han realizados estudios especiales para conocer las potencialidades en cuestion de recursos naturales, por tal razón la UPME junto con el IDEAM desarrollaron en el 2005 un documento de referencia en el país que contiene 13 mapas, para cada mes del año y uno adicional que muestra el promedio anual en “Energía Solar”, este documento fue demoninado como “Atlas de Radiacion Solar de Colombia⁴³” (Ver: Anexo 4).

2.4.2. Energía Eólica.

El viento es el movimiento del aire que es provocado indirectamente por el Sol. Los movimientos de las masas de aire se originan por las diferencias en temperatura caudados por la radiación solar. Cuando el aire se calienta su densidad se hace menor y sube mientras que las capas frías descienden. Así se establece una doble corriente de aire, cuya velocidad es mayor, mientras es más alta la diferencia de temperatura⁴⁴. La energía eólica, es aquella energía que se obtiene por el movimiento del viento, es decir, la energía cinética que se genera por las corrientes de aire, es transformada en energía útil.

⁴³ El Atlas de Radiación Solar de Colombia, es definido como un compendio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta por metro cuadrado.

⁴⁴ UPME, 2006. Óp. cit, p. 18.

El principal uso de la energía eólica es producir electricidad, por medio de aerogeneradores, que se conectan a las redes de distribución de energía eléctrica. Vale la pena mencionar que los parques eólicos que existen cada vez se vuelven una fuente menos costosa y más competitiva. Las pequeñas instalaciones de tecnologías eólicas pueden ser una solución viable, especialmente en regiones no interconectadas a la red eléctrica.

Normalmente las mejores zonas para el aprovechamiento de la energía eólica se encuentran ubicadas en costas, por las grandes cantidades de corrientes térmicas de aire que se generan entre el mar y la tierra. Asimismo, se presentan condiciones similares en las zonas montañosas y grandes llanuras continentales.

- **Aerogeneradores.**

Los aerogeneradores son un generador eléctrico que se mueve gracias a una turbina y ésta su vez es ejecutada por el viento. La tecnología se basa en los principios básicos de los molinos de viento que se utilizaban antes de la Revolución Industrial. Actualmente, la tecnología implementada para aprovechar el recurso eólico consiste en convertir la energía cinética en mecánica a través de un rotor hélice, por medio de un sistema de transmisión mecánico que hace girar el rotor del generador, gracias a la rotación de las hélices la energía mecánica se convierte en energía eléctrica.

Existen diversos tipos de aerogeneradores, dependiendo de su eje de rotación, la potencia y el tipo de generador.

- Aerogeneradores de eje horizontal
- Aerogeneradores de eje vertical
- Microeólica

- **Potencialidad Recurso eólico en Colombia.**

Según el Plan Energético Nacional 2010, en Colombia la mayor disponibilidad de recurso eólico se encuentran en la costa Atlántica, donde los vientos aumentan en dirección a la península de La Guajira. La tabla 3 muestra un resumen de densidad de potencia de viento en las regiones con mejor potencial en el país.

Tabla 3. Densidad de potencia del viento por región.

REGIÓN	DENSIDAD DE POTENCIA A 20 m (W/m²)	DENSIDAD DE POTENCIA A 50 m (W/m²)
Guajira	1000 – 1331	2744 – 3375
San Andrés	125 – 216	216 – 343
Santanderes	125 – 216	343 – 512
Costa Atlántica	216 – 512	729 – 1331
Casanare y Llanos Orientales	125 – 216	216 – 343
Boyacá	125 – 216	216 – 343
Límites entre Tolima y zona cafetera	216 – 512	512 – 729
Golfo de Urabá	125 – 216	343 – 512

Fuente: UPME – IDEAM (2006)

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), realizaron un estudio llamado Atlas de Viento y Energía Eólica, el cual presenta la distribución espacial del viento en superficie por medio de una colección de mapas para cada mes y un último que agrupa el promedio anual, éstos reflejan en que época del año es más favorable el desarrollo de la energía eólica. (Ver: Anexo 5).

Gracias a este tipo de estudios en Colombia, se ha podido investigar los lugares más cualificados para el desarrollo de proyectos de energía eólica. El país cuenta

con un enorme potencial estimado de energía eólica de 21 GW únicamente en La Guajira, pero el país hasta ahora solo ha instalado 19.5 MW en esta zona y traduce en que solo es explotado el 0.4% del potencial de este recurso. El Parque Eólico Jeripachí es el que aprovecha esta capacidad, este proyecto fue desarrollado por la suma de varios factores y agentes, pero los que más se destacan son: las Empresas Públicas de Medellín (EPM), quien asumió el riesgo financiero para la instalación del parque, y el Banco Mundial (BM) que también lo apoyo.

2.4.3. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's).

Una PCH es un instalación donde se utiliza la energía hidráulica para genera electricidad, hasta 10.000 kW; son considerados como energía limpia ya que el diseño y construcción de su tecnología para generar energía eléctrica ocasionan bajos impactos ambientales, además de que se utilizan en zonas aisladas donde pueden ser operadas por personal local⁴⁵.

- **Tipos de PCH's**

El objetivo principal del aprovechamiento de las cuencas hídricas es convertir la energía potencial de las masas de agua en energía eléctrica. El nivel de potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento hídrico que está condicionado al nivel del caudal de agua y su altura del salto.

Existen diferentes tipos de PCH's, estas varían según su concepción arquitectónica, su altura de caída de agua y su régimen de flujo. De acuerdo con la altura los aprovechamientos se pueden clasificar de la siguiente manera.

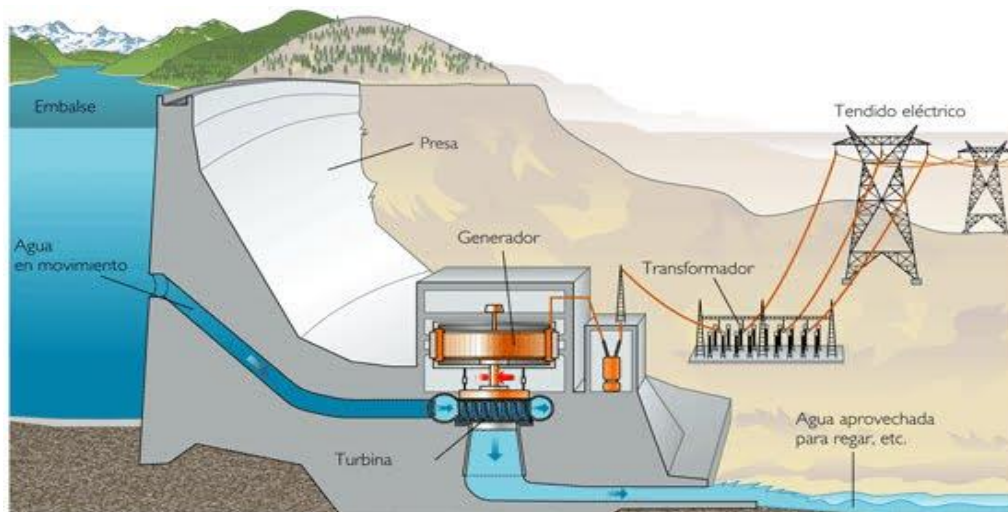
- Alta caída: Salto de más de 150 m.
- Media caída: el salto tiene que oscilar entre 50 y 150 m.
- Baja caída: su salto tiene una altura entre 2 y 20 m.

⁴⁵ Ibíd., p.33.

Otro criterio para clasificar las PCH's, es de acuerdo a su función y forma de captación:

PCH con embalse: Esta clase de captación tiene la posibilidad de almacenar las aportaciones de agua de un río. El almacenamiento se lleva a cabo a través de la construcción o utilización de un embalse edificado previamente. Estas PCH's pueden regular el caudal de agua, enviándola a las turbinas con el fin de generar energía eléctrica.

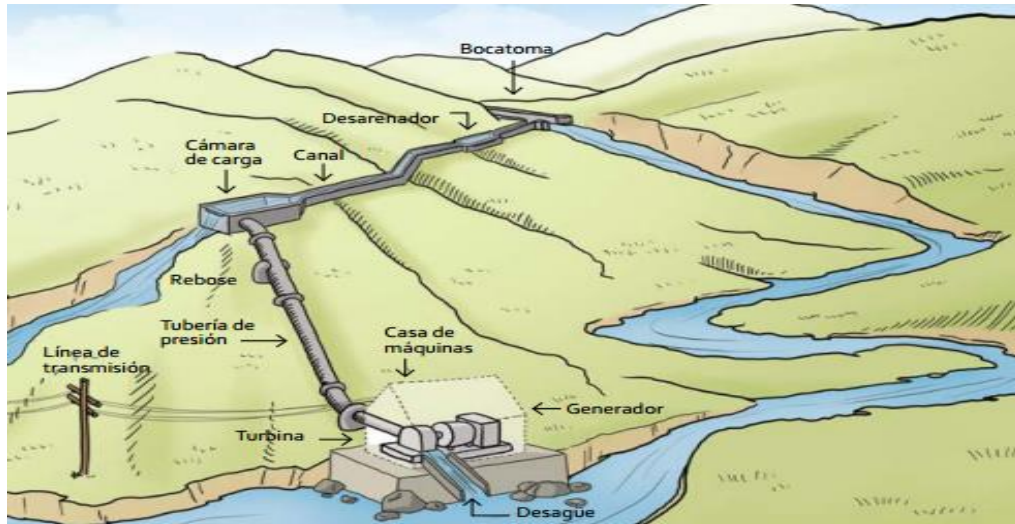
Imagen 4. PCH con embalse.



Fuente: UPME, 2006

PCH a filo de agua: Es la que aprovecha los desniveles naturales del cauce del río. Por medio de una presa desvían una parte del caudal a través de un canal de derivación hasta la cámara de carga, allí se encuentra conectada la tubería que conduce el agua con la mayor pendiente hacia el edificio central, donde están la turbinas, generadores eléctricos y otra clase de aparatos y mecanismos de regulación y control. Una vez el agua cede su energía a la turbina, se evacua mediante un canal de descarga que la devuelve nuevamente al su cauce.

Imagen 5. PCH a filo de agua.



Fuente: UPME, 2006.

- **Potencialidad del Recurso PCH's en Colombia.**

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. En Colombia existen 720.000 cuencas y micro cuencas y cerca de 1.600 cuerpos de agua, identificados como lagunas, lagos y embalses, con volumen aproximado de 26.300 millones de m³ y reservas aproximadas de 140.879 km³ de agua subterránea⁴⁶ (Ver: Anexo 6).

En la siguiente tabla se muestran las principales cuencas y su grado de participación en el país.

⁴⁶ UPME, 2010. Óp., cit., p. 64.

Tabla 4. Cuencas Hídricas.

CUENCA	ÁREA CUBIERTA DEL TERRITORIO NACIONAL	OFERTA HÍDRICA	POBLACIÓN
Ríos Magdalena y Cauca	25%	11%	70%
Ríos Orinoco, Amazonas, Sinú, Atrato, Catatumbo y Sierra Nevada de Santa Marta	75%	89%	30%

Fuente: UPME, 2010

2.4.4. Energía de la Biomasa.

La biomasa se define como cualquier material que su procedencia sea ambiental o animal, puesto que proviene de organismos vivos, así como los bosques, selvas, vegetación, los desechos agrícolas, animales y urbanos e industriales de tipo orgánico que pueden ser utilizados para producir energía.

De todas las energías renovables, la biomasa es la que más se utiliza y aprovecha a nivel mundial, representa el 14% del consumo energético. La biomasa suministra combustibles complementarios a los fósiles, especialmente en el sector de transporte, ayudando a suplir la creciente demanda de consumo energético mundial. Lo que significa que en un futuro esta clase de fuente podría ser la que sustituya a los combustibles fósiles, por medio de los agrocombustibles líquidos (bioetanol, biodiesel), gaseosos (gas metano) y sólidos (leña).

- **Formas de aprovechar la biomasa.**

Para poder aprovechar la energía contenida en la biomasa es necesario transformarla a través de tecnologías, dependiendo de la clase y cantidad de biomasa se utiliza una tecnología específica. Con esta fuente renovable se puede obtener energía eléctrica, térmica y fuerza motriz, según sea la necesidad. Se clasifican en:

- Gasificación.
- Digestión anaerobia.
- Combustión.
- Biocombustibles.

- **Potencialidad Recuso biomasa en Colombia.**

Según la UPME, el potencial de biomasa es de 16.267 MWh/año de energía primaria o potencial bruto con 658 MWh/año de aceite de combustible, 2.620 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. La capacidad instalada de generación con residuos de biomasa es de 26,9 MW que corresponden a plantas en ingenios azucareros que utilizan bagazo de caña mezclado con carbón para la generación eléctrica⁴⁷ (ver: Anexo 7).

2.4.5. Energía Geotérmica.

Geotermia significa “Calor de la Tierra”. Bajo la corteza terrestre, existe una capa superior del manto y se trata de una roca líquida caliente llamada magma. La corteza terrestre flota sobre ese magma. Por cada 100 metros bajo la superficie de la tierra la temperatura se incrementa cerca de 3°C. El agua al pasar cerca de rocas calientes muy por debajo de la superficie retorna en forma de agua caliente a temperaturas de más de 148°C (agua termal) o en forma de vapor⁴⁸.

Generalmente los sitios más apropiados para aprovechar este calor se encuentran muy cerca de los volcanes, cuando el agua que se ha filtrado del subsuelo, se manifiesta en la superficie y en los manantiales termales que descargan agua caliente y vapor. Se puede extraer y transformar el agua caliente o vapor de los

⁴⁷ *Ibíd.*, p. 67.

⁴⁸ UPME, 2006. *Óp. cit.*, p. 39.

yacimientos geotérmicos para generar energía eléctrica. Los principales usos de la energía geotérmica, son los siguientes:

- Generación de energía eléctrica.
- Turismo y recreación, debido a los yacimientos de agua que son utilizados en piscinas termales.
- Baños medicinales.
- Actividades industriales, como calefacción, procesamiento de alimentos, lavado y secado de lana, fermentación, industria papelera, producción de ácido sulfúrico, manufactura de cemento, entre otros.
- Agricultura y piscicultura.
- Calefacción residencial e invernaderos para plantas.

- **Las Tecnologías de la Energía Geotérmica.**

Los fluidos que están contenidos en la geotermia se pueden utilizar para generar energía eléctrica, sin embargo, se necesita una tecnología especial para que el proceso de generación eléctrica sea exitoso, es así como Isagen⁴⁹ en su estudio para el desarrollo de proyectos geotérmico en Colombia, explica las tecnologías utilizadas en este campo:

Flash: También conocida como abierta o de vapor directo. Es utilizada cuando los fluidos geotérmico con temperaturas superiores a 200°C en la planta. Esta tecnología consiste en que los fluidos geotérmicos pasan por un separador de vapor y agua, el vapor se inyecta a una turbina que a su vez mueve el generador eléctrico, pasando luego a un condensador. El fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de reinyección.

⁴⁹ ISAGEN. Notas para la investigación y desarrollo de proyectos geotérmicos en Colombia. Colombia, 2010. p. 19.

Binaria: También llamado ciclo cerrado. Esta tecnología es utilizada cuando hay fluidos geotérmicos con temperaturas mayores a 100°C e inferiores a los 200°C. En esta tecnología binaria, los fluidos geotérmicos calientan un compuesto orgánico por medio de un intercambiador de calor. Se usan compuestos orgánicos como n-pentano, amoniaco. Entre otros que, a su vez, mueve un generador eléctrico, pasando luego a un condensador y retornando al ciclo. El fluido geotérmico que ha cedido el calor retorna al reservorio mediante pozos de reinyección.

- **Potencialidad Recuso Geotérmico en Colombia.**

El IPSE y la Organización Latinoamericana de Energía identificaron tres áreas para su potencial geotérmico: i) Azufral, en el departamento de Nariño, donde se localiza el volcán Azufral, ii) el Negro-Tufiño de Cerro, situado entre Colombia y Ecuador, en donde el volcán Chiles se encuentra sobre una cámara magnética de 5-10 kilómetros de profundidad con temperaturas entre 220°C y 230°C, temperaturas óptimas para la utilización en la generación geotérmica de energía, y iii) Paipa, localizada en la Cordillera Oriental en Boyacá, en donde las rocas sedimentarias y el magma se encuentran a una profundidad de aproximadamente 5 kilómetros. Además de estas localizaciones, un área en el Macizo Volcánico Ruiz-Tolima es prometedora y está planeada para la investigación por INGEOMINAS⁵⁰ (Ver: Anexo 8).

Actualmente Colombia no cuenta con generación de energía eléctrica aprovechando la geotermia. Por su parte ISAGEN, ha realizado una serie de estudios sobre energías renovables y fuentes no convencionales, con el propósito de avanzar en su desarrollo y potencial de aprovechamiento⁵¹.

⁵⁰ UPME, 2010. Óp. cit, p. 65.

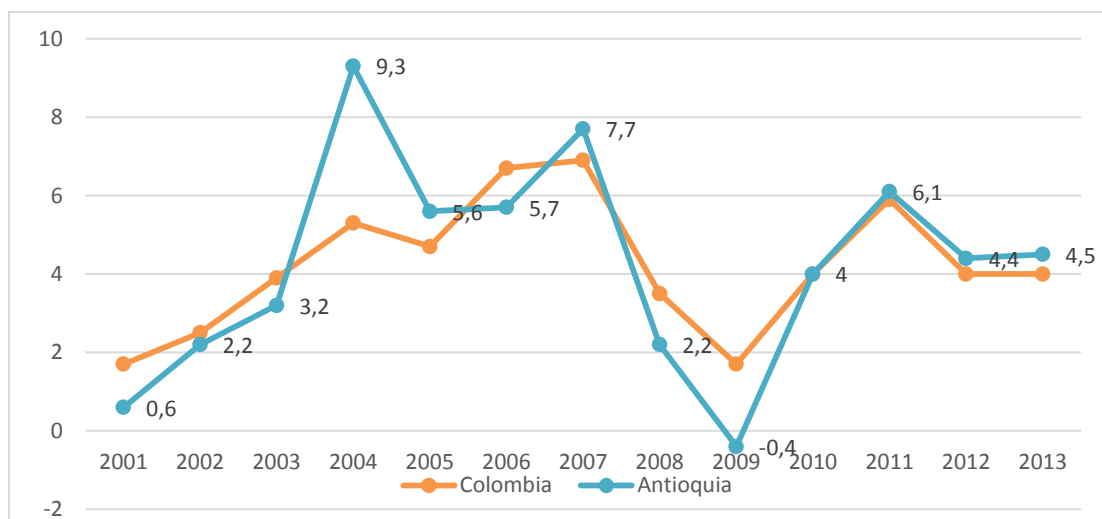
⁵¹ ISAGEN. Óp. cit, p. 31.

3. EVALUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Antioquia se encuentra situado en el noreste de Colombia y ocupa un territorio de 63.612 KM². Este departamento se caracteriza por tener una de las economías más dinámicas de la nación, debido a su alta inversión extranjera directa, su actividad financiera y social regional, y a su capital Medellín, que es catalogada como una de las ciudades líderes en cuanto a empresas de talla nacional e internacional se refiere.

De acuerdo con las estadísticas del DANE⁵² en el año 2012, el PIB del departamento de Antioquia fue de COP \$86,287 miles de millones⁵³ y una tasa de crecimiento de 4,5% en el PIB, siendo para el 2013 el tercer año consecutivo en el que presenta un crecimiento superior respecto al país.

Gráfica 1. Variación porcentual del PIB de Colombia y Antioquia



Fuente: DANE – Cuentas Departamentales 2013.

⁵² Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Informe de coyuntura económica regional: Antioquia. 2012, p. 4.

⁵³ Tasa de crecimiento anual del PIB por departamento, base precios corrientes.

Se registra que el dinamismo de la economía Antioqueña posee características únicas que la convierte en uno de los departamentos líderes en Colombia, esto se refleja en que si bien, el crecimiento del PIB se soporta cada vez más en el sector privado, para el año 2012 la participación porcentual en el PIB en Antioquia se ubicó en el segundo lugar con el 13% (Ver: Anexo 9), tan solo por debajo de Bogotá D.C.

Antioquia posee un crecimiento sobresaliente sobre las demás departamentos del país, debido al dinamismo en su actividad económica y al soporte de la especialización productiva de la región basada en seis clústeres, promovidos como mecanismo estratégico en la economía regional. Estos están constituidos así:

- Clúster Energía eléctrica.
- Clúster textil /Confección diseño y moda.
- Clúster construcción.
- Clúster turismo de negocios, ferias y convenciones.
- Clúster servicios de medicina y odontología.
- Clúster tecnología, información y comunicación.

Los anteriores, representan el 27% del PIB de Antioquia (USD 12.690 millones), del cual, cada punto de crecimiento del PIB en 0,33 es contribuido por los clústeres; Ellos aportan el 31% de la base empresarial de Antioquia (Ver: Anexo 10) y 33,4% de los activos, así mismo, protagonizan el 44% de las empresas nuevas cada año (Ver: Anexo 11), el 45% de las exportaciones industriales de Antioquia y el 34% de los empleos del Valle de Aburra⁵⁴.

Cabe resaltar que, el sector eléctrico posee los activos y la participación total de ellos es más alta (USD 26.052 millones y 17,6%, respectivamente) en

⁵⁴ CÁMARA DE COMERCIO DE MEDELLÍN PARA ANTIOQUIA. Antioquia crece pese a un semestre difícil. Medellín. 2013, p. 7.

comparación con los demás clústeres. Por otra parte Antioquia presenta un atractivo panorama en exportaciones e importaciones y ha alcanzado niveles crecientes de inversión extranjera directa. Además, la actividad económica que presenta mayor participación es la industria (10,7%), seguido del comercio (9,1%), actividades inmobiliarias y alquiler de vivienda (8,2%), construcción de edificaciones (5,1%) y actividades financieras (5%).

El sector empresarial antioqueño es reconocido por su sólida estructura empresarial tanto nacional como internacionalmente prueba de ello, es que actualmente cuenta con 19 de las 100 mejores empresas de la nación. Según el Ranking de la revista Dinero⁵⁵, Antioquia posee a EPM como la segunda empresa con mayores utilidades en país con COP \$12,6 billones, asimismo, cuenta en la cuarta posición con Almacenes éxito y en el sector energético se destaca ISA, Isagen, entre otras.

Por último Medellín es un complemento atractivo con un excelente ambiente de negocios, una completa y competitiva plantilla de servicios públicos, una infraestructura turística, hotelera de la mejor calidad, una plena y eficiente red de servicios de transporte, una mano de obra altamente calificada en sectores financieros y de salud que la hacen uno de los polos de mayor atracción en Latinoamérica.

3.1. PANORAMA GENERAL DEL SECTOR ELÉCTRICO ANTIOQUEÑO.

Antioquia es el departamento líder del país en cuanto a producción de energía eléctrica se refiere, este sector jalona la producción nacional e incluso más de la mitad de la energía del país, se produce en esta región. Sus fortalezas son la generación, distribución y comercialización, como también la fabricación de

⁵⁵ REVISTA DINERO. Las primeras 50 de las cinco mil empresas. 06 de diciembre de 2013.

maquinaria y aparatos eléctricos. Su contribución al PIB departamental en electricidad es el segundo más alto del país (Ver: Anexo 12).

El territorio geográfico Antioqueño disfruta de tener importantes caídas de agua y excelentes suelos, por ello es sede de algunas de las más grandes centrales hidroeléctricas del país. El sector energético es uno de los más dinámicos de Medellín, donde buscan jalonar este sector con beneficios para la nación entera, prueba de ello es que a través del departamento se difunde el 87% del transporte de la energía eléctrica y el 37% de su distribución, Genera 40.000 empleos directos y representa el 2,5% del PIB nacional. Además, “en Antioquia se administra alrededor del 55% de toda la energía del país, siendo fuerte el departamento en transformadores, aisladores, postes, herrajes y servicios de ingeniería y consultoría, además agregando que las exportaciones para el año anterior fueron de aproximadamente 205 millones de dólares”⁵⁶.

La capacidad instalada con que cuenta Antioquia junto al departamento del Chocó y que hace parte del sistema interconectado nacional – SIN, es la de mayor concentración de potencia a nivel nacional con 4,257.2 MW (Ver: Anexo 13) con una producción de 3,792.2 MW procedentes de energía hidráulica. Esta participación se ha alcanzado gracias a la efectiva explotación realizada por Antioquia como un primer requisito e insumo para la producción de energía hidroeléctrica por la combinación entre precipitación y montañas.

Una muestra de ello es el Norte Antioqueño, quienes poseen una riqueza en fuentes de agua, destacándose los ríos Cauca, Ituango, Guadalupe, entre otros, donde han logrado aprovechar estos recursos en la producción de hidroelectricidad, con desviaciones y canalizaciones de importancia que de este modo les permite contar con los embalses de Troneras, Miraflores, Riogrande I, Riogrande II, Porce II y en ejecución porce III.

⁵⁶ CÁMARA DE COMERCIO DE MEDELLÍN PARA ANTIOQUIA. Óp. Cit. p. 9.

Otro aspecto que cabe resaltar es la participación por parte de las compañías generadoras en función de la capacidad instalada (Ver: Anexo 14). El sistema eléctrico de Antioquia se fundamenta en plantas de generación centralizadas, alimentadas por principales fuentes hídricas e interconectadas a la red de transmisión y distribución nacional. Sin embargo el caso Antioqueño no se enajena de la situación nacional, ya que un porcentaje considerable de municipios carecen de la conexión al sistema de interconexión, es decir, dicho territorio hace parte de las zonas no interconectadas – ZNI (Ver: Anexo 15).

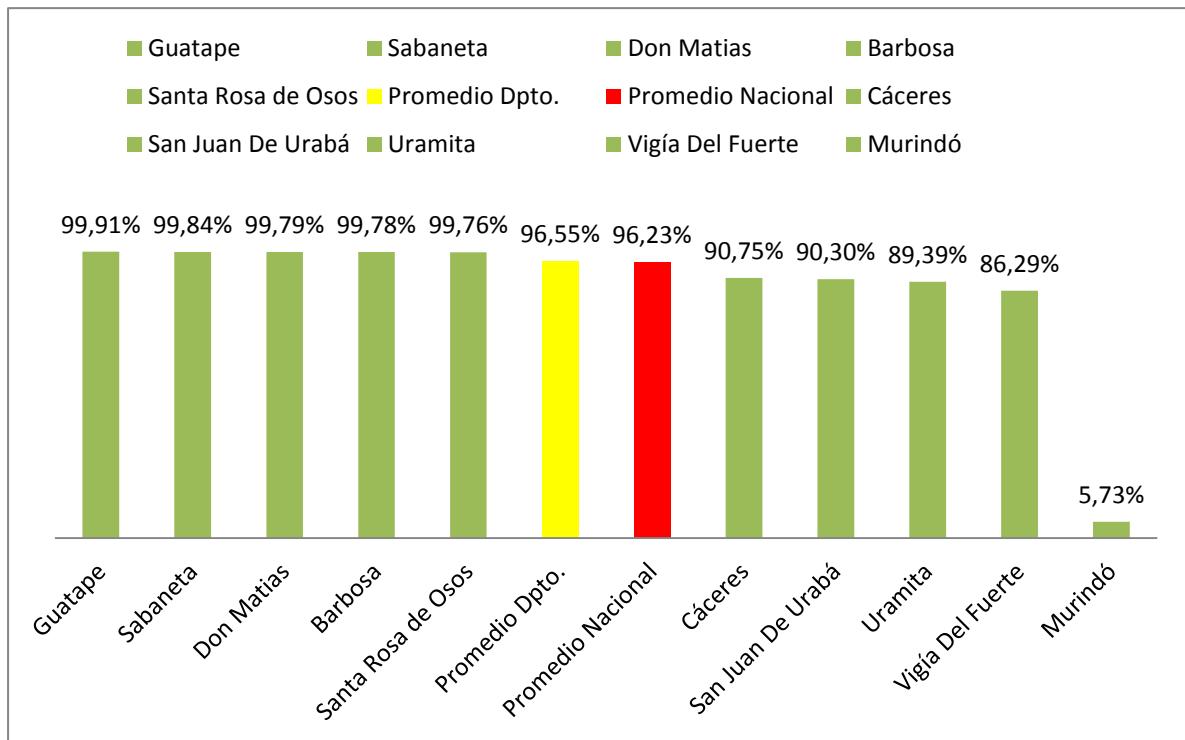
Las Empresas Públicas de Medellín – E.P.M. tiene la mayor participación en el mercado energético con 3,259.5 Mega-Watts en promedio al mes. A su vez que la otra compañía Antioqueña, Isagen, cuenta con 2,181.9 MW, que la ubican en la tercera mayor producción.

3.1.1. Cobertura de Energía eléctrica en el departamento

Antioquia goza de una considerable producción de energía eléctrica no solo en la región sino incluso del país, como consecuencia le permite ofrecer en su mayoría servicios de calidad y cobertura al departamento y logra en aproximadamente el 97% el abastecimiento masivo de energía por medio del sistema de interconexión nacional de energía generada por hidroeléctrica.

Tal como se evidencia en el gráfico 2, el promedio del departamento se encuentra levemente más alto (96,55%) que el promedio nacional (96,23%) e inclusive cuenta con cabeceras municipales por encima de la media como el caso de Guatapé (99,91%) que constituye en su territorio una de las Hidroeléctricas de mayor prominencia en el país. Otro aspecto que cabe resaltar es los municipios de Uramita (89,39%), Vigía del Fuerte (86,29%) y Murindó (5,73%), siendo los últimos dos, consideradas zonas que pertenecen a la red no interconectada del país.

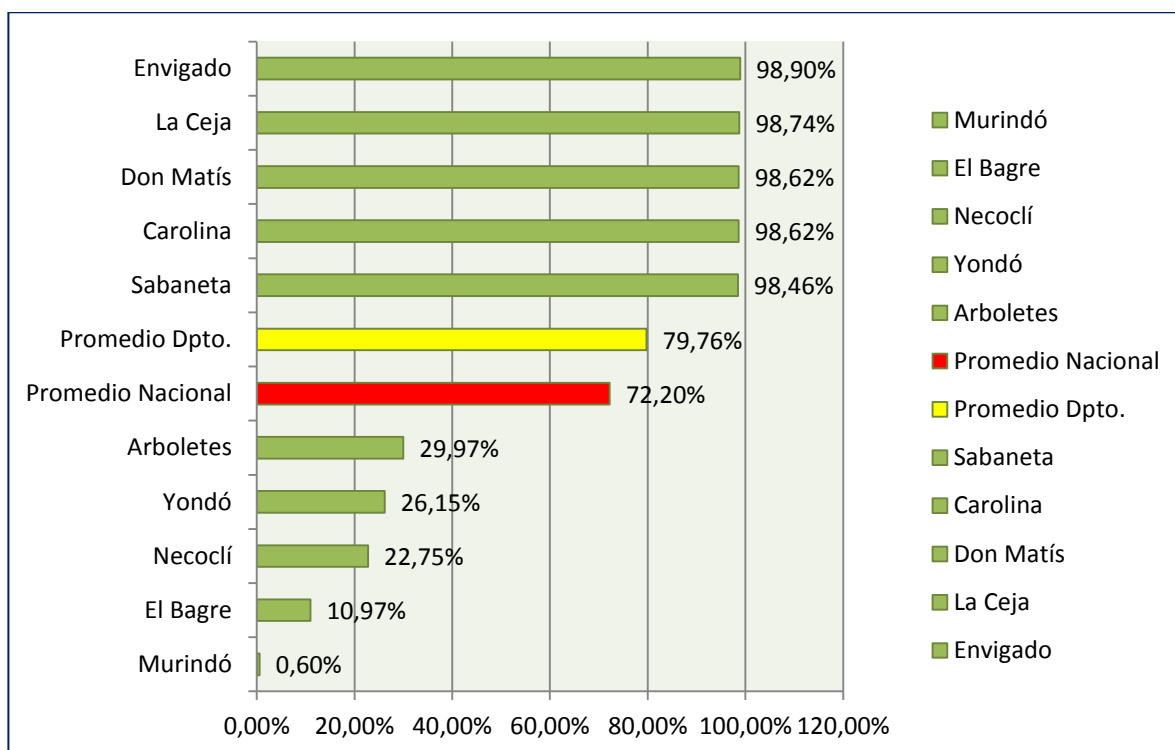
Gráfica 2. Cobertura en energía eléctrica en áreas de cabecera municipal.



Fuente: Federación Colombiana de Municipios – FCM 2012.

A nivel nacional, en cuanto a las coberturas en cabecera municipal, cuarenta y seis de los municipios de Antioquia se encuentran dentro de las cien primeras posiciones que gozan de cobertura, algunos de ellos son Guatapé (3), Sabaneta (5), Don Matías (8) y Barbosa (9), entre otros. Es una lástima que en las áreas rurales no suceda la misma situación, ya que el departamento cuenta con zonas deplorables en cuanto a prestación del servicio se refiere (Ver: gráfico 3). Ello se debe a que aun siendo potencia en generación, producción y distribución, carece de prestar el servicio básico de energía en su totalidad para el departamento, además de contar con zonas rurales de difícil acceso a las cuales la cobertura de energía es casi nula por parte del SIN.

Gráfica 3. Cobertura en energía eléctrica en área rural.



Fuente: Federación Colombiana de Municipios – FCM 2012.

Las cabeceras más allegadas geográficamente a la capital Antioqueña, gozan de una excelente prestación del servicio, tal como sucede en Envigado (98,90%), La Ceja (98,74%), entre otros. En el área rural Antioqueño los porcentajes en algunas zonas se encuentran muy por debajo de la media nacional como lo es Arboletes (29,97%), Yondó (26,15), Necoclí (22,75%), El Bagre (10,97%) y siendo un caso alarmante el de Murindó con tan solo 0,60% de cobertura. En este orden, de los 125 municipios del departamento de Antioquia, 15 poseen coberturas inferiores al 50%, entre los que cabe mencionar Chigorodó (48,52%) y El Bagre.

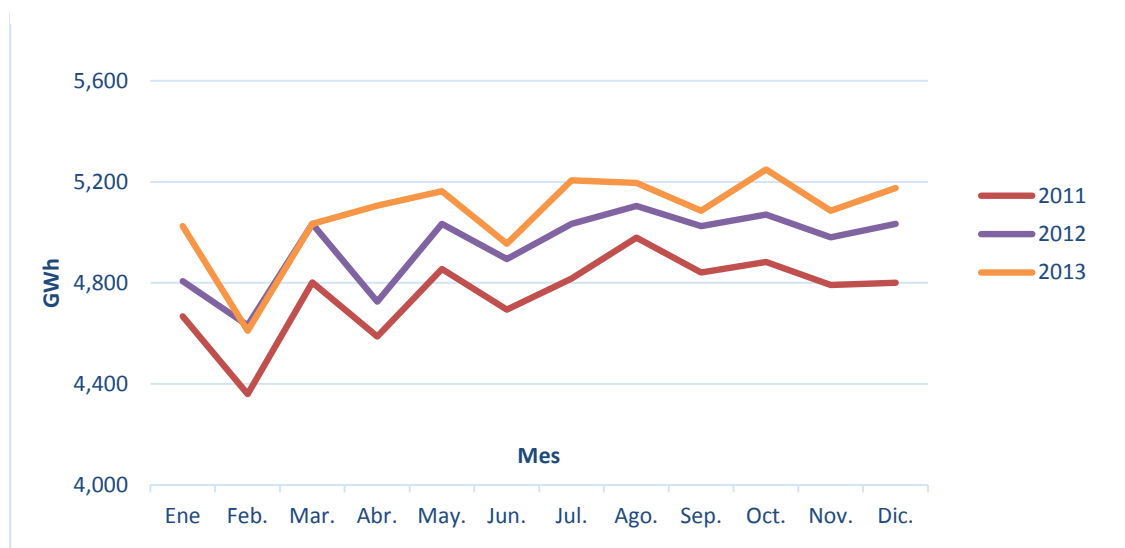
Entre 50 y 75 mil familias del departamento no cuentan con interconexión o con autogeneración de energía y aún existen zonas aisladas de la subregión que no cuentan con interconexión eléctrica. La mayoría de estas zonas tienen como característica encontrarse alejadas del casco urbano, principalmente en los

municipios del mal llamado lejano oriente, por ejemplo en zonas allegadas a Sonsón, Argelia, San Carlos y San Francisco.

La demanda de electricidad en Colombia está conformada por el agregado de la energía distribuida y comercializada al interior del país por el Sistema Interconectado Nacional, la cual se destina tanto al consumo residencial como a la producción de todos los demás sectores económicos.

El comportamiento de la demanda mensual de energía en Colombia en los años 2011, 2012 y 2013 (ver gráfica 4), se denota algunas diferencias en el comportamiento de 2013, es así como en febrero la magnitud de la demanda fue inferior a la del 2012 mientras que el crecimiento fue del 3.1%, esto se debió a que 2012 fue un año bisiesto.

Gráfica 4. Comportamiento de la demanda mensual de energía.



Fuente: XM S.A. E.S.P. Expertos en Mercados.

3.1.2. Dinamismo empresarial en el sector eléctrico

La participación de Antioquia se ha alcanzado básicamente a las grandes empresas en el tema de energía, puesto que cuenta por una parte con empresas de gran tamaño en cuanto a actividades de generación, transmisión,

comercialización y distribución se refiere, como también, un tejido empresarial en crecimiento y consolidación dedicada a la fabricación de equipos y materiales eléctricos, cuya dinámica futura está íntimamente ligada a los procesos de internacionalización liderados por las grandes compañías. Las empresas destacables en el departamento son:

Tabla 5. Principales empresas del sector energético en Antioquia

Empresas de generación, transmisión, distribución, comercialización	
Empresas Públicas de Medellín E.S.P.	Medellín
Empresas de comercialización	
Energía y servicios S.A. E.S.P. (IEYS)	Rionegro
Comercializadora Eléctrica de Colombia S.A. E.S.P. (COEDECO)	Medellín
Facelco Servicios S.A. E.S.P.	Medellín
Empresas de Generación	
Isagen S.A. E.S.P.	Medellín
Merilétrica S.A. E.S.P.	Medellín
Empresas de Transmisión	
Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. (ISA)	Medellín

Fuente: Comisión de regulación de energía y gas - CREG.

Para citar algunos ejemplos, E.P.M. cuenta con una capacidad efectiva neta en el sistema de 2.574 MW, conformada por 15 centrales de generación en operación (trece hidroeléctricas, una térmica y una eólica) y la capacidad de almacenamiento útil de agua en sus embalses (calculada respecto a su mínimo físico) es de 1.606 millones de metros cúbicos, equivalentes a 3.468,2 GWh, que constituyen el 21,2% (en energía almacenada), de la capacidad de los embalses del sistema nacional (16.340 GWh). Estos embalses son: Riogrande II, Troneras, Miraflores, Porce II, Porce III (la de mayor capacidad de sus sistema), Quebradona, Playas y el peñol – guatapé, siendo este último uno de los más grandes del país y con la mayor capacidad de regulación y almacenamiento, así mismo socio del proyecto hidroeléctrico pescadero.

Isagen posee y opera varias de las principales centrales de generación eléctricas ubicadas en el departamento, como lo son la central hidroeléctrica San Carlos (capacidad instalada: 1.240 MW), Central Hidroeléctrica Jaguas (170 MW), central hidroeléctrica Calderas (26MW), entre otras, además de estimular y liderar programas de eficiencia energética para el uso racional de energía y sustitución de energéticos⁵⁷.

Por otra parte, la labor que realiza la gobernación de Antioquia a través del Instituto de Desarrollo de Antioquia (IDEA) ha centralizado su esfuerzo en la construcción de la central hidroeléctrica Hidroarma, la cual está ubicada en límites con el departamento de Caldas y tiene una capacidad combinada de 174 Megavatios y un promedio anual esperado de generación de 1,39 gigavatios; Este y otros proyectos como lo son Porce I,II y III e Hidrotuango, entre otras, constituyen la utilización progresiva de cuencas geográficas en el departamento. Cabe destacar que la generadora de energía eléctrica Hidrotuango es considerada el proyecto más grande en la historia del país con una generación de 2.400 megavatios y con una inversión superior a los 5.500 millones de dólares.

En resumidas cuentas, la utilización de condiciones naturales de agua como materia prima para la producción de energía, es quizás, de las más usadas en el mundo contemporáneo en donde se pueden obtener grandes beneficios económicos, pero a su vez generan impacto ambiental y ecológico a escala estratosférica, acompañado de ineficiencias energéticas en su sistema. A pesar de todo, los recursos renovables de energía emergen como una posible opción al deterioro de los ecosistemas, para reducir los daños que están afrontando el planeta por el cambio climático y el uso desbordado de combustibles fósiles.

⁵⁷ ISAGEN S.A. Informe de gestión 2013. Medellín: 2013. p. 7.

3.2. ENERGÍAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCE-R) son consideradas la opción más idónea para frenar el deterioro de ecosistemas y reducir a gran escala los cambios que afronta el planeta por el cambio climático. Las energías renovables tienen la capacidad en fase preliminar de poder brindar el desarrollo sustentable, mitigando así el impacto climático y brindando una fuente alternativa para la canasta familiar.

América Latina y el Caribe son líderes en el mundo en explotación de fuentes de energía renovables, ahondando en tecnificación en biocombustibles eficientes e hidroelectricidad. No obstante el potencial de desarrollo de nuevas fuentes de energía apenas está comenzando a ser aprovechado. Ello es debido a los costos de la energía generada por estos medios que la hacen poco rentable y competitiva con las ya instauradas, así como también, la lenta aceptación e implementación que ha tenido en el mercado.

Antioquia cuenta con un posicionamiento geográfico estratégico, ubicándose en el trópico y en el sistema montañoso de los Andes, lo que significa que tiene un importante potencial para el desarrollo de todo tipo de energías renovables, pero su aprovechamiento en el país se encuentra muy alejado de su capacidad potencial, debido a que no se están generando las condiciones adecuadas para el desarrollo de proyectos de esta índole.

Sin embargo, hay una necesidad creciente de ingresar nuevas tecnologías participantes en la matriz energética Antioqueña, que proporcionen una mayor diversificación y confiabilidad en las fuentes que se utilizan para generar energía en el departamento y a través de ello mantener y proporcionar una verdadera seguridad energética. Así mismo, cada día se hace más evidente los problemas

ambientales que se están generando por el cambio climático a nivel mundial, creando la obligación al departamento de implementar las nuevas tecnologías de generación de energía limpia para mitigar y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

3.2.1. Energía Solar.

En Antioquia el nicho de mercado de la energía solar es incipiente y aún le faltan muchos años para poder consolidarse como una fuente de generación masiva de energía limpia.

En el marco de desarrollo del proyecto que fue liderado por el CIDES y la UPME⁵⁸, al hacerse el acercamiento y comunicación con los diferentes actores involucrados en proyectos de FNCE-R y recopilarse los datos de esta clase de actores se encontró que Antioquia tiene aproximadamente 40 proyectos en los diversos ámbitos de estudio.

Entre los proyectos ejecutados se destacó la instalación de paneles solares térmicos para hoteles y clínicas para generar agua caliente en sus instalaciones; como también se encontró proyectos en hogares, entidades educativas y comerciales que utilizan paneles solares fotovoltaicos para generar su propia energía eléctrica. Vale la pena destacar que en Antioquia se está incursionando en las diferentes tecnologías de energía solar como cargadores para celulares y portátiles, alumbrado para carreteras, parques, sitios recreacionales, entre otros, que funcionan con energía solar.

⁵⁸ Levantamiento de información y conocimiento de actores involucrados, potencialidades, proyectos y acciones en Fuentes no Convencionales de Energía Renovable (FNCE-R) para la Zona Norte, Oriente y Occidente de Colombia

3.2.2. Energía de la Biomasa.

Esta clase de energía es implementada sobre todo en zonas rurales y no interconectadas; como la tecnología de la biomasa aún está en fase de desarrollo, el ámbito que más se destaca en su uso es el investigativo, puesto que existe un gran interés por parte de universidades en la investigación y creación de nuevas tecnologías para aprovechar los desechos agrícolas y orgánicos encontrados en la región.

De esta clase de proyectos de investigación se destaca el grupo QUIREMA, quienes tienen proyectos terminados en gasificación en Cascarilla de arroz, descomposición catalítica de glicerol, producción biodiesel vía transesterificación, entre otros. Los proyectos de investigación en ejecución está el reformador catalítico de glicerol, el Prototipo para la generación de energía eléctrica y térmica en núcleos aislados de Iberoamérica mediante hibridación y Producción de biodiesel vía catálisis. Por otra parte tienen un proyecto sobre la gasificación usando residuos forestales (para hacer un escalado). Así mismo, por sus investigaciones tan innovadoras, están esperando que se les otorgue una patente por su estudio de la Producción de Biodiesel a partir de jatropa.

Esto demuestra el interés que tiene el departamento por desarrollar la energía de la biomasa y así poder incursionar en este mercado de forma masiva para aprovechar los desechos y disminuir la contaminación en la región.

3.2.3. Energía de Eólica.

En Antioquia existen aproximadamente 9 proyectos de energía eólica, cabe resaltar que el desarrollo de algunos proyectos no se realizan en el departamento, si no en otras regiones del país pero su iniciativa por aprovechar los recursos renovables en Colombia si comienzan en Antioquia, como es el ejemplo del Parque Eólico Jeripachí localizado en La Guajira que cuenta con una potencia

instalada de 19.5 MW, fue desarrollado y financiado en gran parte por Empresas Públicas de Medellín.

Esta clase de tecnología por tener un costo inicial tan alto y requerir zonas especiales para su funcionamiento, no se ha desarrollado cabalmente en el país. Pero se pretende con el futuro incursionar más en este tipo de energía limpia, para aprovechar el gran potencial eólico con el que cuenta el país.

3.2.4. Energía Hidráulica.

Antioquia es uno de los departamentos con gran riqueza hídrica, es así que las diversas empresas del sector eléctrico aprovechan los caudales de los ríos, para generar energía eléctrica por medio de PCH's.

La energía hidráulica es la más aprovechada no solo en Antioquia sino en todo el país, por ende es la más desarrollada e implementada para generar energía en zonas lejanas donde no tienen acceso a ella por las redes nacionales, por lo tanto la gran mayoría de proyectos que se realizan en Antioquia con respecto a FNCE-R son de PCH's, puesto que es una de las más rentables, confiables y sólidas.

En el marco del proyecto liderado por el CIDES, los resultados obtenidos muestra que la energía generada por PCH's abarcan un aproximado el 70% del total de proyectos encuestados, la mayoría de ellos están en la fase de ejecución o ya finalizados, así mismo existen unos cuantos que se encuentran en estudios de pre factibilidad para la construcción de la pequeña central.

Estos resultados demuestran cómo se mantiene la tendencia de utilizar las cuencas hídricas como fuente de energía eléctrica.

3.2.5. Energía Geotérmica.

Solo existen dos proyectos de energía geotérmica y son liderados por ISAGEN, éstos se encuentran en la fase de planeación. Colombia hasta ahora no ha incursionado en este tipo de tecnologías.

Empezar a evaluar las potencialidades geotérmicas del país es una buena señal, que refleja el interés por empezar a diversificar la matriz energética con fuentes renovables, contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero y a la innovación tecnológica del país.

4. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FUENTE NO CONVENCIONAL DE ENERGÍA RENOVABLE LÍDER EN EL DEPARTAMENTO

El fundamento de este análisis cobra vida con el fin de identificar cual fuente no convencional de energía renovable de Antioquia, posee las características más óptimas para lograr la eficiencia energética. El punto de partida se realiza por medio de la información obtenida en la encuesta realizada a las fuentes primarias en calidad de investigadores - adscritos al Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES) - por los autores de esta obra, donde, se adquirió información valiosa en cuanto a cada tipo de energía renovable se refiere, a los proyectos desarrollados, sus barreras y oportunidades, entre otras.

Si bien, para efectos prácticos todas las FNCE-R, en cierto modo pueden llegar a ser aplicables para generación de energía, algunas poseen avances y cualidades notorias que permiten identificar su potencial de eficiencia energética, aceptación comercial y menor impacto medioambiental.

El primer objetivo es analizar la capacidad de potencia instalada y la eficiencia en el proceso de todos los proyectos obtenidos durante la investigación de campo, para así crear un patrón único entre estas dos variables, es decir, tomar un proyecto representativo de cada tipo de energía no convencional donde tengan en común similares capacidades de potencia instalada y eficiencias en el proceso.

Es de suma importancia aclarar que, el objeto de tener en cuenta estas dos variables, se debe en últimas al fin de nuestra investigación, en la cual se realiza un análisis a la exergía, dicho en otras palabras, se trata de un análisis sistémico donde se valora la energía con la mejor eficiencia o con la más baja entropía en uso y generación.

Los siguientes criterios de evaluación a tener en cuenta, es el comportamiento de cada proyecto, su nivel de aceptación, la vida útil de esta tecnología, la madurez de la tecnología, los impactos y residuos que genera, entre otras. Por otra parte se exponen los costos en que se incurren en la planificación, montaje, puesta en marcha y funcionamiento de los proyectos. Por último se hace una comparación de precios entre las dos energías que presentan las mejores características y que pudiesen llegar a liderar la producción de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía renovable.

Los datos obtenidos de la investigación revelan que en Antioquia se encuentran más de 129 actores, los cuales lideran diferentes proyectos en energía eólica, solar, biomasa, geotérmica y pequeñas centrales hidroeléctricas. Entre los que cabe destacar:

- **Biomasa:**

Los proyectos de biomasa que se llevan a cabo en el departamento son relativamente pocos, ello debido a que aún no se percibe la biomasa como una energía para la implementación masiva en áreas urbanas, sino que tan solo se ha desarrollado en procesos de refrigeración y/o secado por absorción en zonas agrícolas no interconectadas. Otros proyectos se enfocan en estudios técnicos para plantas de ingenios azucareros que utilizan el bagazo de caña mezclado con carbón para la generación de energía eléctrica a pequeña escala.

Actualmente la biomasa es vista como la alternativa más viable para el reemplazo de los combustibles fósiles, puesto que sus principales investigaciones se basan en aprovechar los residuos orgánicos y agrícolas para la producción de biocombustibles amigables con el medio ambiente. Pero su tecnología aún le falta avanzar para alcanzar una mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica, descartándola como energía líder en el departamento de Antioquia. A continuación

se describirá un proyecto de Biomasa, realizado por el grupo de investigación QUIREMA de la Universidad de Antioquia.

Descripción Proyecto de Estudio: Para llevar a cabo una investigación de calidad es necesario contar con diversas fuentes de financiación, es así como el grupo QUIREMA cuenta con alianzas extranjeras para su ampliar sus fuentes financieras. Este grupo desarrolla investigaciones de residuos generados en la producción del Biodiesel, denominado glicerol. El proyecto más importante que están llevando a cabo se llama Producción de Biodiesel a partir de Jatropha.

Tabla 6. Producción de Biodiesel a partir de Jatropha

Nombre del proyecto	Producción de Biodiesel a partir de jatropha		
Estado actual del proyecto	En marcha	Potencia Instalada	5 KW/h
Objetivo de la iniciativa	Desarrollar catalizadores heterogéneos para la producción de biodiesel	Cantidad de energía generada/ transformada	43,2 MW
Tipo de proyecto	Investigación aplicada	Eficiencia del proceso	30%
Fuente de energía	Biomasa (gas/líquido/sólido)	Tiempo útil de la tecnología	25 años
Conocimiento local de la tecnología	Medio	Nivel de aceptación de la tecnología	Muy aceptada
Área de terreno	N/A.	Madurez de la tecnología	Demostrativa
Impactos que genera la instalación de tecnología	Ninguno	Residuo que genera el proceso	Glicerol (se vuelve a usar, es un subproducto)

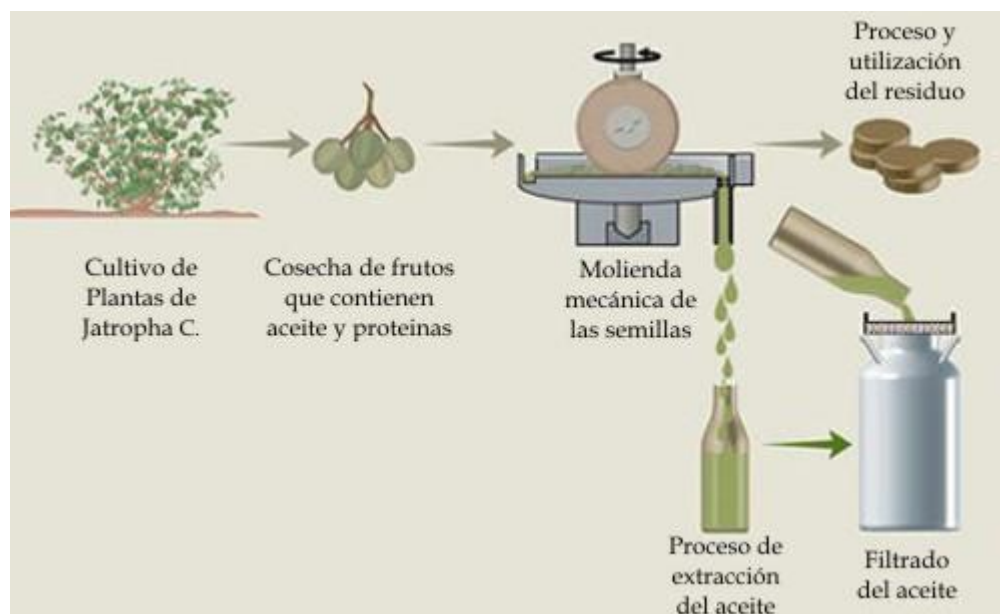
Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

El grupo QUIREMA, tiene como objetivo en sus líneas de investigación avanzar y crear nuevas formas de aprovechamiento de la Biomasa y de los residuos que genera su proceso, son de fácil manejo y tienen un grado bajo de contaminación al medio ambiente. El proyecto de Producción de Biodiesel a partir de Jatropha, solo tiene una eficiencia en el proceso del 30%, siendo un porcentaje de

aprovechamiento muy bajo, puesto que el estado de la tecnología utilizada está en la fase demostrativa y tiene un nivel medio en su conocimiento. Pero vale resaltar los esfuerzos del grupo de investigación hace para desarrollar y avanzar en las tecnologías utilizadas en la biomasa, para mejorar su proceso de obtención de energía y su eficiencia.

Este tipo de energía es considerada la de mayor practicidad debido a su simple proceso de producción – tal como se expone en el siguiente gráfico - además de ser amigable con el medio ambiente.

Imagen 6. Proceso productivo de biodiesel a partir de Jatropha.



Fuente: BIOSOL S.A. Recuperado de: www.biodisol.com

A pesar de su practicidad en el proceso, no es suficiente para el éxito en la implementación de forma masiva, puesto que en el acceso de a la red de transmisión hay una serie de restricciones y reglamentos que a menudo no permiten con facilidad integrarse a ella, así mismo los requerimientos a la conexión de la red son muy estrictos y provocan que en algunos casos los

proyectos de generación de energía por biomasa no se realicen y su interés disminuya.

Es claro que para el desarrollo de proyectos o investigaciones son necesarios equipos especiales que no son conseguidos en el país, pero existen impuestos a la importación de esta clase de equipos, aumentando su precio. Así mismo, como se mencionó anteriormente, para el desarrollo de las investigaciones es indispensable contar con buenos recursos financieros pero en Colombia hay una carencia de incentivos de esta clase y no existen créditos especiales para proyectos de energía renovable, por ello se recurre a las uniones temporales con grupos de investigaciones extranjero y entes financiadores internacionales.

Del mismo modo, los proyectos de Biomasa encuentran que el mercado es incipiente y pequeño, por la baja confianza de los consumidores en el uso de estas tecnologías. Otras desventajas que tiene este tipo de fuentes renovables es la falta de personal cualificado y de mecanismos de formación, la falta de aceptación por parte de los consumidores y el rechazo cultural a los cambios que implica la utilización de fuentes de energías renovables.

- **Eólica:**

Los proyectos de energía eólica llevados a cabo en Antioquia son pocos, debido que el valor inicial de la inversión es muy alto, el nivel de conocimiento de la tecnología es medio y su madurez aún se encuentra en estado demostrativo, por lo tanto es mediadamente aceptada por la comunidad, debido a la percepción de incertidumbre y riesgo frente al desempeño de la tecnología, por ende el mercado es pequeño e incipiente.

Así mismo hay otros factores que afectan el desarrollo de proyectos eólicos en el país, por ejemplo, el sector energético colombiano tiene altas barreras de entrada,

controles estrictos a la oferta y a menudo con subsidios a la energía convencional, por consiguiente existe una fijación poco favorables de precios de la electricidad, así mismo falta un marco regulatorio para productores pequeños e independientes. Por otro lado al ser una tecnología medianamente aceptada tiene altas restricciones para su construcción, en ocasiones la dificultad para el mantenimiento de los sistemas energéticos es ocasionada por la falta de personal cualificado y de mecanismos de formación en el país, porque solo hasta hace poco tiempo se está incursionando en la energía eólica.

Una barrera que afecta a casi todos los proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable es la carencia de incentivos financieros, haciendo poco atractivo invertir en investigaciones relacionadas con fuentes renovable, así mismo la falta de consideración con las externalidades crean desventajas con respecto a otros proyectos de energía limpia.

Vale la pena resaltar que para implementar la energía eólica y que tenga resultados óptimos, estables y confiables durante todos los meses del año, es importante realizar un estudio climatológico para ver qué condiciones presentan la zona donde se pretende hacer la instalación, es decir, tiene que poseer las características necesarias y contar con las condiciones climatológicas requeridas para el funcionamiento de los aerogeneradores, en resumen, esta clase de tecnología no se puede implementar en cualquier región del país, tiene que cumplir con unos requisitos medioambientales especiales para su funcionamiento. Como es el caso del Parque Eólico Jeripachí, localizado en la Guajira, que tiene un potencial instalado pero 19.5 MW, pero aun no es aprovechado todo el potencial de generación eléctrica con el que cuenta este parque.

Descripción Proyecto de Estudio: El proyecto a evaluar se denomina Aerogeneración de eje horizontal de baja potencia, desarrollado por la Universidad

Pontificia Bolivariana de Antioquia. El proyecto de estudio tiene una eficiencia en el proceso del 45%, para su instalación se requiere una pequeña cantidad de terreno, no genera residuo alguno pero tiene un impacto visual y auditivo, que vuelve un poco molesta la tecnología eólica para uso urbano.

Tabla 7. Aerogenerador eje horizontal de baja potencia

Nombre del proyecto	Aerogenerador eje horizontal de baja potencia (UPB)		
Estado actual del proyecto	Terminado	Potencia Instalada	0.4 KW/h
Objetivo de la iniciativa	Desarrollar un aerogenerador para aprovechamiento de recurso eólico de baja velocidad	Cantidad de energía generada/ transformada	3456 KW
Tipo de proyecto	Investigativo y creación de nuevas tecnologías, innovación	Eficiencia del proceso	45%
Fuente de energía	Eólica	Tiempo útil de la tecnología	20 años
Conocimiento local de la tecnología	Medio	Nivel de aceptación de la tecnología	Medianamente aceptada
Área de terreno	4 m ²	Madurez de la tecnología	Demostrativa
Impactos que genera la instalación de tecnología	Visual y auditivo	Residuo que genera el proceso	Ninguno

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

Este proyecto es liderado por la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín a cargo del docente Cesar Nieto quienes Poseen proyectos terminados sobre aerogeneradores eje vertical, eje horizontal de baja potencia, secado solar termohidronico, refrigeración solar y gasificación de biomasa.

Se dedican a programas académicos relacionados con energía eléctrica como de fuentes no convencionales de energías renovables, en el cual cuentan con 12 estudiantes activos en la modalidad de posgrado y 275 egresados, siendo su año de inicio en 1998 y 2000 respectivamente. Poseen varios actores financiadores

como también de recursos propios (UPB). Los perfiles profesionales con que cuenta la universidad son variados, cuentan con 5 profesionales de pregrado, 5 magisters y 5 doctores. Cuentan con 3 laboratorios (Tunerl de viento, Eq. Med., radiación) y con equipos informáticos (Transys, Fluen, Comsol, EES).

Tabla 8. Costos del proyecto eólico

Costos	
Costos de instalación de la tecnología	US \$15496
Capital de inversión del proyecto	US \$154.959 ⁵⁹

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

De la tabla anterior se observa el alto costo de capital requerido para la puesta en marcha de un proyecto eólico de baja generación energética, siendo esta una de las principales desventajas de este tipo de energía respecto a la hidráulica.

Imagen 7. Montaje aerogenerador eólico.



- **Geotérmica:**

⁵⁹ TRM diciembre 2013.

En Antioquia solo se están desarrollando dos proyectos de energía geotérmica, pero a diferencia de los tipos de energía anteriores, los proyectos de geotermia apenas están en la fase de planeación, aunque su tecnología a nivel mundial es madura, el conocimiento en el país es muy bajo, de ahí el poco número de proyectos realizados en Colombia comparado con otros países que tienen ya varios proyectos implementados y en funcionamiento. Un aspecto que cabe resaltar es que se espera que más adelante disminuya el costo real de la tecnología, por lo tanto el uso de la energía geotérmica en un futuro puede ser más competitivo, por la disminución de su valor inicial, favoreciendo los costos y precios de la generación de energía.

Descripción Proyecto de Estudio: Los dos proyectos existentes en materia d geotermia son liderados por ISAGEN S.A, esta compañía es de origen público-privada, donde poseen una amplia gama de proyectos dentro de diferentes sectores de la energía como también dentro de las fuentes no convencionales de energías renovables. En la actualidad todos sus proyectos se encuentran en fase de planeación.

Actualmente la compañía no comercializa ningún servicio con FNCE-R, sin embargo la prospectiva a 3 años es de generación eólica y geotérmica (5 años). En los dos últimos años no han ofrecido energía generado por fuentes renovables, no tienen nuevos productos, ni tampoco han diversificado su oferta debido a que sus proyectos se encuentran en fase de planeación.

El Proyecto geotérmico Macizo volcánico del Ruíz, es una planta de generación geotérmica en Colombia. Se encuentran diferentes organizaciones involucradas en él, como BID, Colciencias, UNAL, La Geo, UNAM, Servicio Geológico Colombiano e Isagen S.A. E.S.P.

Se estima que la eficiencia del proyecto oscilara entre 30 a 35%, su vida útil será de 20 años, esta tecnología genera residuos en el proceso de generación de energía como CO₂ y H₂S, en pequeñas cantidades. En el área de construcción los impactos que generara son visuales, auditivos y de olores.

Tabla 9. Proyecto Geotérmico, Macizo volcánico del Ruiz

Nombre del proyecto	Geotérmico, Macizo volcánico del Ruiz		
Estado actual del proyecto	Planeación	Potencia Instalada	50 MW
Objetivo de la iniciativa	Construir una planta de generación geotérmico y desarrollar geotermia en el país	Cantidad de energía generada/ transformada	416 GW
Tipo de proyecto	Comercial	Eficiencia del proceso	30% a 35%
Fuente de energía	Geotérmica	Tiempo útil de la tecnología	20 años
Conocimiento local de la tecnología	Insuficiente	Nivel de aceptación de la tecnología	Medianamente aceptada
Área de terreno	De 8 a 10 m ²	Madurez de la tecnología	Madura
Impactos que genera la instalación de tecnología	Visual, auditivo y olores.	Residuo que genera el proceso	CO ₂ , H ₂ S en bajas cantidades

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

Los inconvenientes que se presentan actualmente y que afectaran a la fase en construcción de la tecnología, son los siguientes: fijación poco favorable de los precios de la electricidad, el acceso a la red de transmisión y los requerimientos de conexión a la red y una la falta de incentivos financieros. Vale la pena mencionar que como hasta el momento no existe una planta de generación geotérmica no se ha detectado otra clase de barreras que afecte el éxito del proyecto, solo existen previsiones al respecto.

Con respecto a los costos, se encuentra que la inversión inicial del proyecto es muy alta, por lo tanto hace que la energía geotérmica este en desventaja con

respecto a otras fuentes renovables que son más económicas y asequibles en forma financiera para la instalación y puesta en marcha de los proyectos para la generación de energía eléctrica.

Tabla 10. Costos del proyecto geotérmico

Costos	
Capital de inversión del proyecto	US \$ 200.000.000
Costos de instalación de la tecnología	US \$4000 ⁶⁰ por KW instalado

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

- **Solar:**

Antioquia le está apostando al desarrollo de proyectos de energía solar en los diferentes ámbitos, por ejemplo existen varias instalaciones de paneles solares en hoteles para calentar el agua; por las ventajas del uso de estas fuentes hace que sean una alternativa muy utilizada en zonas urbanas.

Además, por el gran impulso que ha tenido la energía solar en el mundo genera constantemente avances tecnológicos - como la creación de barcos, autos y pequeños aviones impulsados por energía solar-, que mejoran la eficiencia de los paneles solares que por consiguiente se da una reducción en su costo. Se podría decir que la fuente convencional líder de energía renovable en el departamento sería la solar.

Sin embargo no todo es favorable para este tipo de tecnología, es cierto que el costo de los paneles han disminuido, pero no lo suficiente para hacerla accesible para la instalación en hogares por parte de los consumidores.

En el estudio de campo que se realizó en el proyecto liderado por el CIDES, se obtuvo que la instalación de paneles solares para satisfacer por completo la

⁶⁰ TRM diciembre 2013.

demanda energética⁶¹ de un hogar promedio de Colombia costaría alrededor de siete millones de pesos⁶², sin incluir los costos de instalación y mantenimiento, esto se traduce en que la tasa de retorno de la inversión realizada por el consumidor tardaría muchos años. Por consiguiente es posible que aún falte mucho tiempo antes que la energía solar sea utilizada de forma masiva en el país.

Por ahora, solo se ve con una posible alternativa para reemplazar en un futuro la energía hidroeléctrica, o como un plan de contingencia por los cambios climáticos y los fuertes fenómenos del niño que hostigan al país.

Descripción Proyecto de Estudio: En Antioquia existen varios proyectos de energía solar, pero a continuación se evaluará uno realizado por ES Energía Solar, esta es una empresa que ofrecen los servicios de Calentamiento de agua doméstica, de piscinas y generación de energía por medio de paneles solares. Han ofrecido FNCE-R durante los últimos 2 años, así mismo han desarrollado nuevos servicios y también han adquirido nuevos productos relacionados con el sector.

Este proyecto consiste en la electrificación de una residencia por medio de paneles solares fotovoltaicos. La eficiencia del proceso es del 40% con una potencia instalada de 1.25 KW/h.

⁶¹ Una casa consume aproximadamente 120 KW/h al mes.

⁶² Este valor incluye: Los paneles solares, las baterías, los inversores y el cableado.

Tabla 11. Proyecto electrificación de residencia por paneles fotovoltaicos

Nombre del proyecto	Electrificación de residencia por paneles fotovoltaicos		
Estado actual del proyecto	En marcha.	Potencia Instalada	1.25 KW/h
Objetivo de la iniciativa	Proveer energías limpias en viviendas	Cantidad de energía generada/ transformada	1,8 MW
Tipo de proyecto	Comercial	Eficiencia del proceso	40%
Fuente de energía	Solar	Tiempo útil de la tecnología	25 años
Conocimiento local de la tecnología	Insuficiente	Nivel de aceptación de la tecnología	Medianamente aceptada
Área de terreno	10 m ²	Madurez de la tecnología	Madura
Impactos que genera la instalación de tecnología	Visual	Residuo que genera el proceso	Ninguno

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

Los mayores inconvenientes que esta empresa ha encontrado para el desarrollo de este proyecto es el acceso a la red de transmisión, lo requerimiento de conexión a la misma, los impuestos a la comercialización y a la importación de equipos. Así mismo, los subsidios a los combustibles fósiles les afecta directamente porque se vuelve menos competitivos en su precio.

También existe un bajo nivel de confianza por parte de los consumidores por el uso de esta tecnología, además la falta de personal cualificado y de mecanismos de formación hasta ahora, afectan el desarrollo exitoso de los proyectos solares.

Igualmente el alto costo inicial de las tecnologías influye de manera negativa en los consumidores a la hora de decidir implementar esta fuente renovable en su hogar. A continuación se podrá observar los valores de los equipos necesarios para instalar un panel.

Tabla 12. Costos del proyecto solar

Costos	
Equipo	Valor ⁶³
Regulador /Controlador	US \$596
Paneles	US \$1679
Inversores	US \$615
Capital de inversión	US \$9815
Costos de instalación	US \$490

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES),.

- **Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH)**

Las pequeñas centrales hidroeléctricas siempre han gozado con una alta aceptación en la implementación de su tecnología, por esta razón la mayoría de proyectos que se desarrollan en Antioquia en relación con las energías renovables, son de PCH's.

Su tecnología es muy madura, su conocimiento es alto y sobre todo la eficiencia que tiene es de aproximadamente 85%, no genera residuos en su proceso y su impacto es mínimo. Las PCH's tienen ventajas donde las otras fuentes renovables encuentran barreras, Colombia por ser un país rico hídricamente, favorece a este tipo de energía que se pueden instalar en casi cualquier parte del país, por ser el tipo de energía más utilizada la fijación de su precio comercial es menor, favoreciendo su competitividad en el mercado; existen políticas gubernamentales que regulan y privilegian el uso de las energías hídricas, igualmente tiene acceso completo a la red de transmisión y conexión a la misma.

Así mismo, existe un alto conocimiento en esta tecnología en el país, por ende hay una gran cantidad de programas y mecanismos de formación para educar a un personal para que sea cualificado, también existen incentivos financieros para el desarrollo de estos proyectos, no hay impuestos a la comercialización o importación de equipos y sobre todo hay una gran gama de créditos y diversas

⁶³ TRM diciembre 2013.

formas de financiar los proyectos llevados a cabo, teniendo como aliada las políticas energéticas, que favorecen el uso de la energía hídrica.

Descripción Proyecto de Estudio: Existen una gran cantidad de proyectos d PCH's, pero se resalta el liderado por MC2 HIDROMARMATO, esta es una empresa que ofrece y comercializa energía electica por medio de pequeñas centrales hidroeléctricas, aprovechando los caudales de los ríos de Antioquia.

El proyecto de la PCH Hidromarmato tiene como finalidad aprovechar el caudal del río Arquia para producir, comercializar y distribuir energía eléctrica. A continuación se describirán las principales características del proyecto.

Tabla 13. Proyecto Hidromarmato

Nombre del proyecto	Hidromarmato		
Estado actual del proyecto	En marcha	Potencia Instalada	4500 KW/h
Objetivo de la iniciativa	Generar energía eléctrica propia y aprovechar el caudal del río Arquia	Cantidad de energía generada/ transformada	3888 MW
Tipo de proyecto	Comercial	Eficiencia del proceso	85%
Fuente de energía	PCHs.	Tiempo útil de la tecnología	50 años
Conocimiento local de la tecnología	Alto	Nivel de aceptación de la tecnología	Muy aceptada
Área de terreno	10.500 m ²	Madurez de la tecnología	Madura
Impactos que genera la instalación de tecnología	Visual	Residuo que genera el proceso	Ninguno

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES).

Es indispensable analizar los valores de los equipos necesarios para la instalación de la PCH para hacer un análisis más detallado y poder determinar cuál es la fuente de energía líder en el departamento.

Tabla 14. Costos del proyecto Hidroeléctrico

Costos	
Equipos	Valor⁶⁴
Material eléctrico	180785,124 USD
Equipos (Turbina, bomba, generador)	929752,066 USD
Sistema de control	61983,741 USD
Estudios de factibilidad	206611,57 USD
Importación (sin incluir el transporte)	929752,0661 USD
Capital de inversión del proyecto	8780001,736 USD
Costos de AOM (administración, operación y mantenimiento.	206611,57 USD
Costos de transporte de la tecnología	26979,3388 USD
Subsidios	NO
Precio de venta de la energía generada	0,06198 USD / KWh

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES),

Si bien los costos de inversión de las PCH's son altos, beneficia de forma masiva a comunidades, corregimientos, pueblos, incluso ciudades. Asimismo existen incentivos financieros, subsidios y créditos por parte del gobierno a través de fondos especiales para la energización en zonas no interconectadas del país; lo anterior hace que sea rentable invertir en esta clase de proyectos y la tasa de retorno sea rápidamente recuperada.

A partir de todo lo anterior y a modo de conclusión la fuente no convencional de energía renovable líder en Antioquia se encuentran entre la solar y la PCH. Por tener los rendimientos más altos, por ser compatible con las condiciones climáticas del país (gran cantidad de radiación solar y fuentes hídricas a nivel nacional), por tener tecnologías avanzadas, no generar contaminación ni residuos al medio ambiente y ser las más aceptadas en su implementación.

Sin embargo, las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas poseen un mayor desarrollo en su tecnología, son más eficientes y cuentan con un precio de venta por KW/h más ventajoso al ser menor que el de la solar.

⁶⁴ TRM diciembre 2013.

Tabla 15. Precio de venta Solar Vs. PCH

Precio de venta USD/ kWh ⁶⁵	
Solar	PCH
0,19008 USD	0,06198 USD

Fuente: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES),

Por lo anterior se infiere que en la actualidad, la energía renovable líder en el departamento de Antioquia es la PCH, por tener el mejor comportamiento en sus costos de producción por kWh, eficiencia, contar con la mayor cantidad de ventajas y oportunidades a la hora de implementarla.

Sin embargo al hacer una proyección a futuro, se tiene como resultado que la energía solar puede llegar a ser la más óptima para su implantación masiva, puesto que, las PCH's dependen del agua como único recurso para su producción, lo cual hace que presente serias limitantes debido a los continuos cambios climáticos, el fenómeno del niño y la disminución considerable del porcentaje de lluvias, lo que desembocará en que inevitablemente escasee el preciado líquido.

4.1. VALORACIÓN EXERGÉTICA: ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA SOLAR

El interés de evaluar la potencialidad de la energía solar se encuentra sustentado en el buen rendimiento que presenta este recurso a futuro, como también, la conclusión obtenida por el economista Georgescu-Roegen, donde:

La energía solar (en todas sus ramificaciones) constituye la única y notable excepción a la contaminación térmica a la que está expuesta la energía, esto concierne a que la energía almacenada en la tierra es una existencia, mientras que la solar es un flujo, siendo necesario comprender bien la diferencia. Un

⁶⁵ TRM diciembre 2013.

ejemplo de ello es que el combustible fósil es una existencia que se encuentra dentro del planeta tierra y puede ser controlada y modificada durante siglos, sin embargo, la radiación solar está totalmente fuera de nuestro control; Está completamente determinada por condiciones cosmológicas, incluyendo el tamaño de nuestro planeta, lo que la hace única como flujo de energía⁶⁶.

Se debe agregar que, los fundamentos exergéticos son la herramienta para determinar el potencial energético, es decir, por medio de la teoría de coste exergético propuesta por Valero y Naredo, nos permite evaluar el capital físico del recurso natural para la identificación de la eficiencia en la producción y el aprovechamiento óptimo de sus recursos. Lo que es para este caso valorar la energía solar en el departamento de Antioquia.

Además de lo anterior, es necesario conocer el recurso con el que cuenta la energía solar, – tal como ya se demostró en la sección: energía solar en Antioquia – ello con el fin de comprender los alcances tecnológicos actuales hechos por el hombre en cuanto a la implementación de esta energía se refiere. A grandes rasgos, la captación de flujo solar más usada actualmente en el departamento son las celdas fotovoltaicas, en donde se tasa cierta cantidad de potencia de radiación solar y se convierte en energía eléctrica.

Para efectos prácticos de esta investigación se hizo el análisis exergético a un proyecto de instalación de energía solar fotovoltaica en residencia, con el objetivo de evaluar la mejor alternativa en eficiencia y costo. Se utilizó la instalación de una red de paneles fotovoltaicos para vivienda tipo I⁶⁷, provista por una empresa

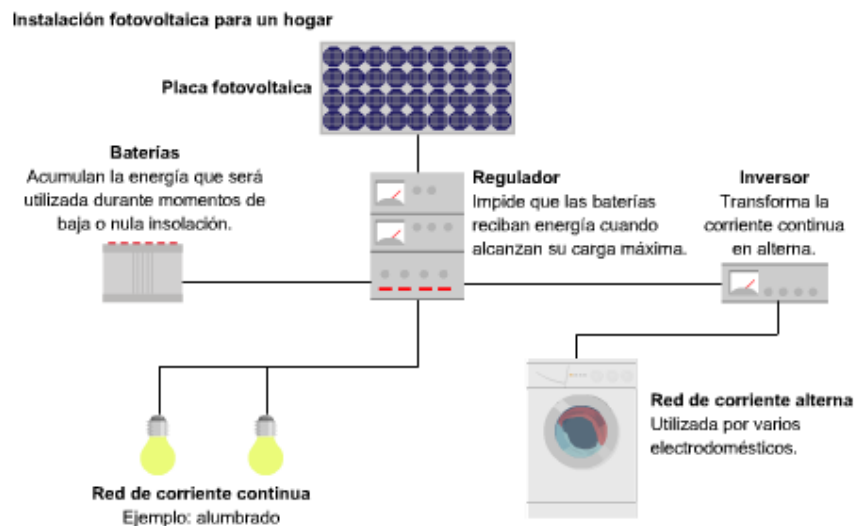
⁶⁶ CONFERENCIA LÍMITES AL CRECIMIENTO: EL ESTADO DE LOS BOSQUES Y EL MEDIO AMBIENTE. Óp. Cit., 796.

⁶⁷ Vivienda estándar generalmente citadina de uso familiar en Antioquia. Consta de 3 habitaciones, 2 baños, sala, cocina. Comedor y lavadero, además de 4 bombillas externas alrededor de la vivienda.

privada que presta el servicio en Antioquia⁶⁸ y que se expone el proyecto en la sección de energía solar (4.1) de esta obra.

A grandes rasgos la instalación del sistema fotovoltaico en una residencia se encuentra dado de la siguiente manera:

Imagen 8. Instalación fotovoltaica para un hogar.



Fuente: energía solar. Energy – Spain S.A. (recuperado de: <http://www.energy-spain.com/energia-solar/animacion-energia-solar>).

Dónde:

Paneles fotovoltaicos: Se instalan normalmente en los tejados, ya que requieren zonas sin sombras y deben estar orientados al sol del mediodía.

Célula fotovoltaica: Son dispositivos que producen una corriente de electricidad cuando reciben luz o radiación similar mediante el desprendimiento directo de portadores de carga, es decir, es el elemento encargado de transformar la energía solar en eléctrica. Cada célula produce entre 0,4 y 0,5 voltios (V) aproximadamente.

⁶⁸ Esta información fue obtenida de las visitas realizadas a los actores en la pasantía de investigación.

La luz solar es absorbida por los conductores de la célula fotovoltaica para provocar una tensión entre ambas capas, y la corriente fluye entre el polo negativo y el positivo generando electricidad, para ser conducida al regulador y poder continuar con el proceso que se muestra en el gráfico anterior.

Imagen 9. Sistema fotovoltaico de la compañía Isagen S.A. en Medellín.



Este es la clase de escenario más usado a nivel residencial en Antioquia en cuanto a instalación de paneles fotovoltaicos se refiere, con un aproximado cercano al 70% en montajes eléctricos provenientes de la energía solar. En la estimación del modelo exergético es necesario conocer los valores correspondientes al arreglo solar⁶⁹, donde se presenta:

⁶⁹ Entiéndase arreglo solar como el sistema de conexión comprendido por paneles fotovoltaicos y baterías.

Tabla 16. Sistema de conexión.

Cálculo del sistema de conexión	
N°. Paneles fotovoltaicos	8
N°. Baterías	4
Voltaje del sistema	24
Amperaje máximo del arreglo	17,88
Eficiencia de captación panel fotovoltaico	10% - 20%
Eficiencia Batería	90%

Fuente: Empresa Ecopotencia S.A. Recuperado de: <http://www.ecopotencia.com/vivienda1.pdf>

Los datos de la tabla anterior, son de vital importancia para la aproximación en el cálculo del rendimiento energético.

- **Estimación exergética solar**

B_s = Exergía

T_a = Temperatura ambiente en K (25° C)⁷⁰, 298.15 K

T_s = Temperatura del sol en K, (6000 K)

G = Radiación, $\frac{w}{m^2}$

n_f = eficiencia energética

I_m = Corriente eléctrica

V_m = Voltaje para una máxima generación de potencia

Q_s = Transferencia de calor

t = periodo de tiempo

P_u = Potencia útil

n_{ex} = Rendimiento exergético

La exergía es una propiedad de la termodinámica que permite calcular la medición de la máxima cantidad de trabajo útil de una cantidad de energía, que puede ser producido en algún entorno dado. Alrededor de esta herramienta han trabajado

⁷⁰ Este parámetro se obtiene de las condiciones estándar de medida de uso universal según la norma EN61215 de energización en celdas fotovoltaicas a nivel mundial.

múltiples autores en la última mitad de siglo. Es el caso de Petela⁷¹, quien planteó el cálculo de la exergía (B_s) contenida en la radiación isotrópica del sol, así:

Radiación solar:

$$B_s = G_s \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4T_a}{3T_s} \right) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Para el caso de la celda fotovoltaica se tiene:

$$n_I = \frac{I_m V_m}{Q_s t} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$n_{II} = \frac{n_I}{\left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4T_a}{3T_s} \right)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

El producto de $I_m V_m$ es la potencia obtenida por la celda, y t es el periodo de tiempo. La potencia obtenida por la celda como cualquier tipo de trabajo es una corriente que no genera entropía. Es decir, es pura exergía⁷². A partir de lo anterior, se desprenden las siguientes eficiencias:

$$n_I = \frac{E_u}{E_{FV}} = \frac{P_U}{I_m V_m} \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$n_{II} = \frac{Ex_u}{Ex_{FV}} = \frac{P_U}{I_m V_m} \quad \text{Ecuación (13)}$$

Para este caso, las eficiencias de energía y exergía son idénticas en la celda fotovoltaica, debido al hecho, que la electricidad es un fluido cuya exergía es igual a la cantidad de energía. “La potencia útil (P_U), se considera como el efecto útil en términos de trabajo producido por el dispositivo alimentado por la celda

⁷¹ TORCHIA, J.C.; PORTA, M.A. y CERVANTES J. G. Análisis de exergía en estado permanente de un destilador solar simple. México: Universidad Nacional de México (UNAM), 2009. p. 27.

⁷² TORCHIA, J.C.; CERVANTES J.G. Conversión de energía solar: Concepto de eficiencia. México: Universidad Autónoma de México (UNAM), 2009. p. 1053.

Fotovoltaica. Podría parecer un análisis muy simple para la expresión de eficiencias de las celdas”⁷³.

La razón es que para comparar apropiadamente la tecnología solar con tecnologías de combustible fósil y nuclear, la entrada para las eficiencias de celdas fotovoltaicas debería ser el recurso que el dispositivo ofrece, en este caso, electricidad. Así las pérdidas de energía y exergía deberían ser consideradas como aquéllas producidas en la interacción entre las celdas fotovoltaicas y el dispositivo encargado de emplear este recurso⁷⁴.

Rendimiento de la conexión:

$$n = \frac{P_{bateria}}{P_{in}} = \frac{P_{bateria}}{P_M} \frac{P_M}{P_{Mmax}} \frac{P_{Mmax}}{P_{in}} = n_1 n_2 n_3 \quad \text{Ecuación (14)}$$

El rendimiento de la conexión se calcula averiguando el cociente entre la potencia que realmente es entregada a la batería y la potencia máxima que entregaría la celda fotovoltaica⁷⁵.

Por último para el cálculo del rendimiento exergético se obtiene⁷⁶:

$$n_{ex} = \frac{\text{Flujo de exergía utilizado}}{\text{Flujo de exergía consumido}} = \frac{\text{exergías producidas en el sistema y/o medio}}{\text{exergías aportadas en el sistema y/o medio}} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Resultados:

⁷³ *Ibíd.*, p. 1053.

⁷⁴ *Ibíd.*, p. 1053.

⁷⁵ PEREDA, Isidro. Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Santiago de Chile: Pontificia universidad católica de chile, 2005. p. 69.

⁷⁶ LOZANO, M.A. Metodología para el análisis exergético de calderas de vapor en centrales térmicas. España: Universidad de Zaragoza. 1987. p. 53.

Tabla 17. Resultados cálculos exergéticos

Exergía del sol		
G	Radiación solar promedio en la región ⁷⁷	1643 W/m ²
T _a	Temperatura ambiente en K ⁷⁸	298,15
T _s	Temperatura del sol en K ⁷⁹	6000
B _s	Exergía del sol	1534,145461
B _s	Exergía del sol kW/h	1,534145461 kW/h
Exergía de la celda fotovoltaica		
I _m	Corriente eléctrica fotovoltaica	17,88
V _m	Voltaje del sistema fotovoltaico	24
P _U	Potencia útil	429,12 W
Q _s	Transferencia de calor útil ⁸⁰	278,15
t	Periodo de tiempo	25 años
n _I	Eficiencia energética	0,061710587
n _{II}	Exergía celda fotovoltaica	0,066089232 kW/h

De la exergía obtenida por la celda fotovoltaica, tan solo se alcanza a transmitir el 10%⁸¹ de su rendimiento energético al transitar al colector y a las baterías; El colector y el inversor tienen una eficiencia de 80% y 90% respectivamente, obteniéndose:

Tabla 18. Rendimiento de la conexión

Rendimiento de la conexión		
P _{bateria}	Potencia realmente entregada a las baterías	0,026435692
P _{in}	Potencia útil de la celda fotovoltaica	429,12
n	Exergía baterías	6,160442x10 ⁻⁵
n _{Fin}	Exergía producida en el sistema y/o medio	0,06615836
n _{ex}	Rendimiento exergético final	0,043119011

⁷⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Atlas de radiación solar en Colombia. 2002. p. 20.

⁷⁸ LOPEZ, Luis. Panel solar hibrido fotovoltaico/térmico con incremento de eficiencia en sistema fotovoltaico. 2009. p. 14.

⁷⁹ Estimación dada en física de la temperatura del sol en su superficie.

⁸⁰ Ibíd., p. 21.

⁸¹ PRANDO, Raúl. Curso matriz energética y energía sostenible en la industria de procesos. En: segundo módulo: energía solar térmica y fotovoltaica (segundo semestre, 2013). Lugar: UdelaR, facultad de ingeniería química, 2013, p. 4.

4.1.1. Análisis de resultados

El propósito de evaluar la energía solar en Antioquia, por medio de parámetros exergéticos, es conocer la cantidad de energía útil con que cuenta el departamento. Se debe partir, entonces, del análisis a las zonas geográficas de la región con mayor favorabilidad para la implementación de esta energía, es decir, aquellas ubicaciones geográficas que presentan un nivel de incidencia mínimo de radiación solar⁸² para su aprovechamiento óptimo

En el inventario de potencia solar en el departamento se tiene que, el terreno factible para el aprovechamiento de la energía es de 1.725.685 hectáreas⁸³, dicho en otras palabras, este valor corresponde a la cantidad de terreno que posee Antioquia con un nivel por encima de la incidencia mínima de radiación solar. Este suelo se encuentra especialmente ubicado al norte y nororiente del departamento (Ver: Anexo 16) y principalmente goza de una buena cobertura en las zonas no interconectadas de Antioquia.

El potencial de generación energética ofrecida en este territorio es de 188.558,24 MW⁸⁴. Lo que quiere decir que el recurso energético proveniente directamente del sol es bastante alto para esta zona del país, esto debido principalmente a sus condiciones climáticas y su posición geográfica dentro de la cordillera de los andes. Sin embargo el disfrute que se hace de la misma se encuentra únicamente condicionado a la cantidad de exergía o energía útil que tiene el departamento, así:

⁸² 4,5 kWh/m² para las celdas fotovoltaicas.

⁸³ LEZCANO, Diego. Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros. Medellín, 2011. p. 99.

⁸⁴ *Ibíd.* p., 99.

Tabla 19. Cantidad de Energía solar útil en Antioquia

Departamento	Hectáreas factibles (Ha)	Potencial de generación (MW)	Exergía ó energía útil (MW)⁸⁵
ANTIOQUIA	1.725.685	188.558,24	8130,445

Se puede inferir a partir de lo anterior que si bien el departamento cuenta con un alto grado de potencial de generación eléctrica a partir del sol, tan solo es redituable el 4,31% de dicha fuente energética. Es importante resaltar que el flujo solar tiene las capacidades oferentes para ser la energía renovable con mayor potencial en el mundo entero, lamentablemente el hombre carece de la tecnología necesaria para convertir este recurso en exergía o energía útil. Por otra parte, se cuenta con extensos terrenos para la adecuación de las celdas fotovoltaicas y con unas condiciones climáticas bastante buenas en comparación con el mundo entero, debido a su cercanía con el meridiano del ecuador que le permiten ofrecer los mínimos factibles de incidencia para explotar este recurso.

El panorama no es completamente desalentador en el caso de Antioquia, puesto que cada día el uso de esta tecnología es un referente de cambio en el consumo eléctrico y es este departamento el máximo exponente de ello, pues cuenta con el mayor número de empresas dedicadas a este nicho de mercado, tanto en instalación y comercialización como en ensamblaje e innovación tecnológica para el aprovechamiento del recurso. En las universidades se evidencia una inquietud continua en la mejora de la tecnología por parte de múltiples grupos de investigación registrados ante Colciencias, que se fundamentan en proponer nuevas formas de captación no solo del recurso solar sino también de otros tipos de energías renovables.

⁸⁵ Tasa calculada por los autores a partir del rendimiento exergético final para el caso Antioqueño.

Cabe entonces preguntarse si, la inferencia a la cual llega Georgescu-Roegen sobre la energía solar, en la que afirma que dicho flujo es el único capaz de ser utilizable sin ocasionar pérdidas entrópicas en su proceso, es remotamente imposible en el corto plazo. Aunque en la actualidad no se haga uso intensivo del flujo solar debido a sus limitaciones tecnológicas y de conocimiento, en un futuro próximo y gracias a los últimos adelantos que se están dando en países como España y Costa Rica, se puede llegar a producir cambios sustanciales en cuanto a la entalpía del proceso se refiere, además de la educación e instrucción masiva en el uso eficiente de las energías limpias.

Finalmente el uso del flujo solar con alta entropía, solo puede estar representado en la mejor y única expresión con la que cuenta el planeta tierra: el proceso natural de la fotosíntesis. “La fotosíntesis es el proceso químico más importante que tiene lugar en la Tierra. Sin él no habría vida, y convertir la radiación solar en sustancias orgánicas rompiendo las moléculas de CO₂ y agua a temperatura ambiental es uno de los fenómenos más fascinantes desde el punto de vista energético que quizá exista”⁸⁶.

Es la singularidad y la excepción a todas las reglas, donde se puede hacer un uso intensivo en sus anchas del recurso solar. Es en la biología, pura sin someterse a transformaciones de ningún tipo, la que domina completamente el uso aprovechable y óptimo del flujo de la energía solar sin tener repercusiones ecológicas y mucho menos medioambientales en su sistema y entorno.

⁸⁶ NAREDO Y VALERO. Óp. Cit., p. 277.

4.2. COSTE EXERGÉTICO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: Un análisis de cálculo a las energías renovables líderes en el departamento

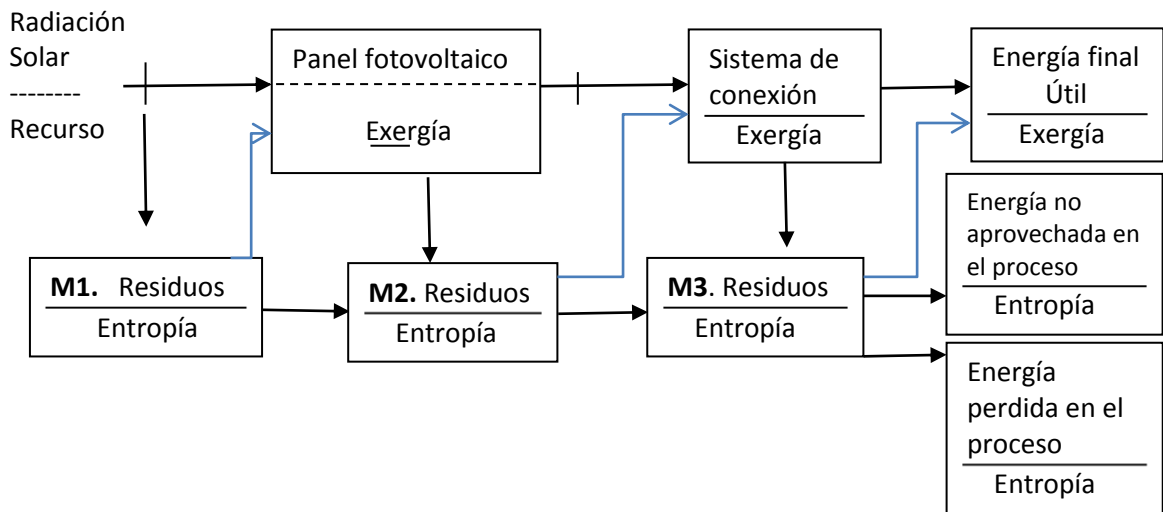
El calcular la energía útil o exergía con la que cuenta la energía eléctrica, permite construir los cimientos del análisis de coste exergético (K_{EE}^*). El coste - visto como un sacrificio de recursos que han sido necesarios para producir algo – para el caso del stock físico eléctrico, se enajena de su principio contable para ser evaluado como la incidencia realmente utilizable del flujo energético producido. Dicho en otras palabras el coste exergético debe ser analizado como las pérdidas de eficiencia en las que incurre un sistema y su entorno. Asimismo el coste exergético es un concepto relativo y propio del sistema analizado, pero este es de suma importancia práctica pues la exergía de un sistema será la misma, mientras que el cociente del coste exergético podría reducirse dependiendo de la eficiencia del uso de la exergía al atravesar un equipo o sistema dentro de un proceso.

El coste exergético es una propiedad conservativa, por tanto todo proceso que entra debe repercutir en el que sale a partir de un ambiente de referencia⁸⁷ (A.R.). Este comienzo fundamentado en el segundo principio de la termodinámica, posibilita evaluar la cantidad de energía mínima que requiere un proceso natural para brindar los recursos necesarios en la creación de un sistema dado. Es decir, el coste exergético de producir la energía eléctrica es la cantidad real de exergía necesaria para obtener dicho producto.

El flujo de entrada a un sistema se compone de recurso (F), producto (P) y residuo (R). El recurso de la energía solar es radiación solar, su producto la energía eléctrica producida de calidad y cantidad plausible para su implementación y el residuo es la cantidad de energía perdida en el proceso más aquella que se queda sin aprovechar, como también la cantidad de energía gastada en la producción de

⁸⁷ Este concepto es más de orden conceptual que de relevancia numérica.

los residuos. Se debe dejar claro que según las reglas de coste exergético un producto puede convertirse en subproductos, y un producto convertido en residuo puede volver a generarse como producto. Así se demuestra en el siguiente esquema de la energía solar fotovoltaica:



La radiación proveniente de sol tiene un estimado exergético de $1,534145461^{88}$ kW para el departamento de Antioquia, después de haber generado el residuo en el momento uno (M1.)⁸⁹. Sin embargo actualmente la producción de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos tiene una alta pérdida de eficiencia en el proceso de absorción en el momento dos (M2.), entre un 80 y 90%⁹⁰ es perdido en este punto del proceso, lo que indica que el coste exergético unitario de una unidad de exergía eléctrica en el panel solar está estimada en:

$$2,7614 \leq K^*_{EE} \leq 2,9148$$

⁸⁸ Cálculo estimado por los autores a partir del ambiente de referencia en el mediodía solar, día despejado y poca nubosidad.

⁸⁹ Entropía generada por la energía radiante emitida por el sol y recibida en una superficie terrestre. Distancia media Sol – Tierra: $149,5 \times 10^6$ Km.

⁹⁰ Cálculo estimado a partir de la eficiencia actual de un panel fotovoltaico en el rango de 10 y 20%

Los procesos de conexión al regulador, controladores y baterías en el momento dos (M2.) pueden llevarse hasta un 10%⁹¹ de la energía eléctrica producida, es decir, el proceso en el sistema de conexión eleva el coste de la energía eléctrica puesta a uso del consumidor final a aproximadamente:

$$3,0375 \leq K^*_{EE} \leq 3,2062$$

Por último, en el momento tres (M3.) el residuo final se compone por la cantidad de energía no aprovechada y la energía perdida en el sistema, igualmente se agrega la cantidad de exergía gastada en el proceso de convertir la energía en residuos. La energía en si misma termina como calor residual pues genera residuos. No debe creerse que la limitante de generar residuos tan solo se presenta en desechos tóxicos como por ejemplo los provenientes de las actividades industriales; Es la energía una causa fundamental de desechos energéticos de grandes sumas de pérdidas exergéticas y de un denso contenido entrópico. Dicho en otras palabras, paralelamente al proceso de producción de productos existe el proceso de producción de residuos que deben ser disueltos a costa de consumir recursos adicionales en el proceso.

Por todo lo anterior y acorde a la regla 5 (De los residuos), para completar este coste exergético como una internalización de los costes, se debe aumentar entre un 10 y 15% adicional el gasto de energía en la producción de desechos, para finalmente obtener:

$$3,34125 \leq K^*_{EE} \leq 3,6871$$

Al hacer un análisis comparativo con los resultados obtenidos por Valero y Naredo en el cálculo del coste exergético para la energía eléctrica (se estima entre $3,6 \leq K^*_{EE} \leq 4,4$)⁹², se infiere que el coste exergético de la energía proveniente del sol, está clasificada dentro de los rangos de la energía eléctrica que se utiliza y al final se termina convirtiendo en forma de luz, calor o movimiento.

⁹¹ Tomado a partir de la eficiencia del sistema de conexión por la empresa Ecopotencia S.A.

⁹² *Ibíd.*, p. 220.

En las pequeñas centrales hidroeléctricas, su coste exergético es sustancialmente similar al de la energía solar e incluso la estimación exergética puede utilizar menores costes físicos en el sistema, puesto que la eficiencia del proceso está cercana al 85%. En últimas la elaboración de energía eléctrica a partir de una energía renovable recalca en costes exergéticos relativamente bajos, no obstante se requiere de lograr una mayor eficiencia en la innovación tecnológica de estas fuentes en continuo crecimiento, para poder alcanzar altas entropías en los procesos y así mismo registrar el menor coste ecológico o impacto ambiental al sistema.

Ahora bien, “la producción de energía eléctrica tendrá un coste ecológico próximo a 1 – 2 si su origen es renovable”⁹³, es decir, que por cada kilovatio-hora utilizado, se destruye un kilovatio-hora en la obtención de este a lo largo de su ciclo de vida. La cantidad es ciertamente baja en el coste ecológico en comparación con las energías convencionales. A modo de ejemplo, la energía generada a partir de grandes centrales hidroeléctricas, registra “en promedio un coste ecológico unitario de 5, donde al utilizar un kilovatio-hora se requieren de cuatro más a lo largo del ciclo de vida de dicha energía”⁹⁴; Todo lo anterior suponiendo que la utilización misma de las energías no tenga efectos colaterales.

Contrario a lo que comúnmente se piensa, la energía eléctrica no tiene una gran incidencia en el coste ecológico, en efecto, “la producción de energía eléctrica es uno de los procesos térmicos industriales más eficientes – aunque sólo, entre 0,33 y 0,40, lo cual está razonablemente próximo a la eficiencia del ciclo de Carnot o máxima disponible”⁹⁵.

⁹³ *Ibíd.*, p. 221.

⁹⁴ *Ibíd.*, p. 221.

⁹⁵ *Ibíd.*, p. 221.

El problema existente es la producción de la energía eléctrica de forma masiva, puesto que las grandes centrales hidroeléctricas – poseen el mayor porcentaje de producción en Colombia – traen consigo impactos ambientales, costes ecológicos irreparables y un cambio no solo a la fauna y flora de donde se instauran, sino a la población cercana a la zona de explotación ocasionándoles cambios sustanciales en sus hábitos de vida y hasta en sus actividades económicas.

Se puede inferir a modo de conclusión que no necesariamente producir energía a gran escala a partir de las centrales hidroeléctricas es la mejor alternativa. Las pequeñas centrales hidroeléctricas emergen como la solución más óptima para su implementación masiva, pues producir energía a partir de esta fuente tiene beneficios ecológicos, económicos y sociales. Si bien se observa que tanto la energía solar como las PCH's tienen similares costes exergéticos como ecológicos, estas últimas presentan un mejor dinamismo en cuanto al precio por kilovatio producido se refiere. Pareciera que producir energía en puntos diversificados del territorio fuese un inconveniente, no obstante, a la hora de controlar la disipación de los impactos medioambientales juega un papel preponderante, lo cual lleva a un consumo unitario más elevado con costes exergoecológicos más bajos y a una mejoría en las intervenciones del control y el entorno legal.

4.3. LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN MASIVA DE LOS RECURSOS RENOVABLES

Producir energía eléctrica útil para el territorio proveniente de energías limpias y a bajo coste es el objetivo fundamental para la implementación de las fuentes renovables, de la misma manera, el evaluar dichos recursos con planteamientos exergéticos permite sentar las bases de las potencialidades con el menor coste ecológico. El incremento en la cobertura energética proveniente de fuentes

renovables, solo puede ser posible cuando sus costes unitarios de producción por kilovatio sean relativamente competitivos con el precio establecido actualmente, su coste exergoecológico sea congruente con la naturaleza y se tome conciencia del error de la producción de energía fosilizada.

Según los resultados arrojados por el estudio, las mejores alternativas evaluadas de implementación masiva para el departamento de Antioquia son la energía solar y las pequeñas centrales hidroeléctricas.

A diferencia de las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, las PCH's tienen el proceso más eficiente y de menor impacto ambiental debido al uso de la energía mecánica del agua convertida en eléctrica y enviada a las líneas que transportan la energía a las poblaciones. Es una energía con menos costes de suministros; protege el agua, flora y fauna en la zona; El ecosistema no se ve afectado y todo continúa igual que siempre; Esta considerada por las naciones unidas como la energía más limpia y segura que existe.

Las Pequeñas centrales hidroeléctricas para lograr ser competitivas tienen que ofrecer la mejor estructura para un crecimiento de la oferta energética de manera agresiva, además de evidenciar un auge en el margen para la planificación de estos proyectos por parte de las empresas que producen el recurso, no sin antes estar acompañados de una política energética futura, clara y sólida para el sector renovable con el debido cumplimiento de los pactos ambientales internacionales, y de especial afinidad con el marco del protocolo de Kioto. Es importante recalcar que para la explotación de la fuente natural se debe acatar y respetar las zonas delimitadas como resguardos indígenas, reservas naturales y paramos con los que cuenta la región.

Todo lo anterior en conjunto, harían lucir a las PCH's como la mejor alternativa para el sistema de interconexión nacional (SIN), para aprovechar los distintos caudales de caída en filo de agua con los que cuenta el departamento.

Por otra parte, para la energía solar, se debe continuar en la creación de tecnologías que hagan más eficiente el proceso de absorción de la radiación, para llegar a ser competitivas en el coste del mercado; Un ejemplo de ello es que en el 2010 el precio de un panel fotovoltaico estaba alrededor de 750 dólares, mientras que hoy en día es posible conseguirse cercano a los 250 dólares. Es por esto que el costo de los paneles y el sistema de conexión siguen impactando drásticamente en la toma de decisiones por parte de los interesados en la instalación de sus propios sistemas residenciales.

Se debe agregar que la energía solar fotovoltaica es el futuro de la producción energética debido al casi nulo impacto ambiental. Mientras tanto, la tecnología actual presenta el mejor rendimiento para las zonas no interconectadas (ZIN); Municipios como Uramita, vigía del fuerte, Murindó y demás corregimientos del lejano oriente Antioqueño, serían el escenario perfecto para el desarrollo de esta tecnología a nivel residencial, no sin desprestigiar el uso de dicha fuente en las urbes como en el caso de hoteles y clínicas donde presentan un rendimiento considerable debido a su alta escala de uso.

4.3.1. Nuevas formas de producir y distribuir la energía

Además de los tipos de energías renovables, existen proyectos que ponen a prueba la capacidad innovadora en el departamento de Antioquia, puesto que se trabaja en nuevas y valiosas formas de implementar energías limpias, todo con el único fin de enajenarse del pensamiento fosilizado que consume a la sociedad. Estos son algunos ejemplos:

- **La ciudad mítica**

Se trata de un proyecto de generación eléctrica a partir de energía solar, situado en el departamento de Antioquia y consistente en la construcción de una pequeña urbe con viviendas de calidad de tres niveles y con el uso de energía solar fotovoltaica como abastecimiento masivo de electricidad, calentamiento de piscinas y calderas para la población futura a residir en este lugar. Lo más destacable de esta idea es el uso compartido de la energía, es decir, en esta urbe se pretende evitar los residuos ocasionados por pérdidas energéticas, haciendo que la energía sobrante o no utilizable sea compartida o segregada a las demás viviendas, ello con el fin de evitar un impacto ambiental y hacer uso eficiente de la energía tomada del sol.

- **Producción de Biodiesel**

Este proyecto es desarrollado en alianza de Isagen S.A., UdeA, Jardín Botánico de Medellín y el científico Álvaro Cogollo. Consiste en dos especies oleaginosas silvestres americanas que son sometidas a rigurosos estudios en la obtención de un combustible semejante al petróleo pero de origen natural. La semilla fue encontrada por el científico, exponiéndola a diferentes pruebas durante los últimos 20 años, lo que le ha llevado a descubrir la aplicabilidad en la industria de los cosméticos. Actualmente se adelantan investigaciones en el campo de reemplazar el combustible fósil por este nuevo combustible natural en el que se obtienen rendimientos positivos.

- **Avances en tecnología**

Los proyectos desarrollados por el SENA regional Antioquia en conjunto con sus estudiantes son de características loables, puesto que actualmente se encuentran desarrollando pensamiento energético alrededor de automóviles y motocicletas (Ver: Imagen 9) a partir de energía solar, sin tener que recurrir a combustibles fósiles y con una autonomía y maniobrabilidad destacable. Otro proyecto que cabe destacar es el desarrollado a partir de aguas lluvias en el que pretenden utilizar la

energía mecánica para convertirla en energía eléctrica útil para el hogar e interconectarla a la red residencial.

Imagen 10. Proyectos del SENA regional Antioquia



CONCLUSIONES.

Dada la riqueza y el potencial de recursos energéticos con los que cuenta Colombia, ubican a la nación en una situación privilegiada frente a otros países del mundo; Ello se traduce en una ventaja que permite diversificar la canasta energética, no obstante para que esto sea posible es necesario que se aproveche el total del potencial energético del país, que se vea reflejado en la implementación efectiva de proyectos de energía renovable en relación con las exigencia de sostenibilidad ambiental, social y económica para el desarrollo energético de Colombia.

En el caso de Antioquia, la utilización de las energías renovables se encuentra cada vez más cerca de alcanzar su objetivo de inclusión masiva en el mercado energético. Si bien, algunas fuentes energéticas aún no cuentan con el desarrollo esperado como es el caso de la biomasa y geotermia, se adelantan estudios investigativos en la región que permiten palpar la utilización eficiente de estas estas energías limpias en el largo plazo, además de las incursiones tecnológicas a las que son sometidas.

La fuente no convencional de energía renovable que presenta el mejor rendimiento para su implementación masiva en el futuro próximo, es las pequeñas centrales hidroeléctricas, quienes por ser una energía renovable, limpia, con un coste unitario exergético eficiente, un coste ecológico casi nulo en el proceso, por ser competitiva en su bajo coste por kilovatio hora producido y su facilidad de adaptarse al sistema de interconexión nacional (SIN), la hacen propicia como la energía líder y desafiante de romper los paradigmas en el mercado energético. Sin embargo, las pequeñas centrales hidroeléctricas carecen de un esquema de

producción sostenible para las zonas alejadas del departamento, como lo es el lejano oriente Antioqueño. Además, dados los eventuales cambios climáticos por el que está atravesando el mundo, se hace necesario implementar un cambio drástico en el uso del recurso hídrico como fuente principal de producción energética.

Por lo anterior, la energía solar esta llamada a ser la fuente inagotable de electricidad útil no solo del departamento sino de la nación; Puesto que en la región, presentó el segundo mejor rendimiento energético útil para el uso e implementación. Actualmente la energía solar, tiene limitantes tecnológicas que la hacen poco atractiva en el mercado, debido a la ineficiencia en la captación solar y el alto costo del equipo para su instalación, lo que desemboca en verse notoriamente disminuidas sus capacidades respecto a las PCH's. El precedente antedicho se afirma en que, la capacidad estimada de radiación proveniente del sol es aproximadamente 188.558,24 MW, de los cuales tan solo se logra aprovechar el 4,31% de absorción.

A pesar de todo, la energía solar es la más idónea para su implementación en las zonas no interconectadas (ZNI) del departamento como lo es Yondó, Necoclí, el Bagre y Murindó, entre otros. Cabe destacar que las Empresas Públicas de Medellín (EPM), se encuentra trabajando en brindar nuevas formas de implementación energética solar para estas regiones apartadas y carentes del sistema de interconexión. Por otra parte, en el área urbana de Medellín se está observando una tendencia constante a la instalación de paneles fotovoltaicos para lugares de alto consumo de electricidad como lo son hoteles y clínicas. También es usado el recurso solar en algunos hogares, principalmente para el calentamiento de calderas y piscinas o en el caso de algunos ambientalistas que la aprovechan para la generación eléctrica en casas de campo.

Reconocer el potencial energético que tiene el país y las barreras que se presentan a la hora de llevar a cabo los proyectos de fuentes renovables, no es suficiente para promover la implementación de las energías renovables de forma masiva, que consecuentemente llevaría a la sustitución de los combustibles fósiles. Cabe destacar el interés de organizaciones tanto privadas como públicas en investigaciones y ejecuciones de proyectos de energías alternativas, como es el caso de ISAGEN, con el estudio de exploración geotérmico en el macizo del Ruíz, o Empresas Públicas de Medellín que asumió el riesgo de invertir e implementar el primer parque eólico en Colombia, localizado en el norte de la Guajira. Se hace necesario que para que esta clase de iniciativas funcionen y progresen, exista un mayor acompañamiento y apoyo por parte del Gobierno con recursos financieros.

Vale la pena desatacar que Colombia ha empezado avanzar en la creación de políticas energéticas con la nueva Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional; con la cual se espera aumentar los índices de desarrollo e implementación de proyectos de fuentes alternativas, por medio de los incentivos financieros que otorga la Ley a quienes inviertan en este sector.

Por último, se debe profundizar en el campo económico en la creación de una herramienta que complemente la teoría del coste exergético con el fin de evitar un análisis unidimensional donde se proponga una aproximación a la valoración monetaria de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA.

AMOROCHO, Enrique y OLIVEROS, Germán. Apuntes sobre la energía y recursos energéticos. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), 2001. 185 p. Recuperado de: http://books.google.com.co/books?id=HHZYm0mp3ZcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

CAMARA DE COMERCIO DE MEDELLÍN PARA ANTIOQUIA. Antioquía crece pese a un semestre difícil. En: Medellín: (5, Julio, 2013) cámara de Medellín, 2013. 34 p. Recuperado de: <http://www.camamedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2013/Rueda%20de%20Prensa%20junio%202013.pdf>

CONFERENCIA LÍMITES AL CRECIMIENTO: EL ESTADO DE LOS BOSQUES Y DEL MEDIO AMBIENTE. (1: 8, Noviembre, 1972: universidad de Yale, New Hawen). Resumen: Energía y mitos económicos. New Hawen, Universidad de Yale, 1972. 836 p. Recuperado de: file:///C:/Users/admin/Downloads/DOCT2065298_ARTICULO_1.PDF

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADISTICA (DANE). Informe de coyuntura económica regional: Antioquia. Bogotá D.C. 2012. 122 p. Recuperado de: http://www.dane.gov.co/files/icer/2012/ICER_Antioquia_2012.pdf

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The entropy law and economic process. 1 ed. Boston: published by arrangement with Harvard University Press, 1976. En: La ley de la entropía y el proceso económico. Traducido en: Madrid: Fundación Argentaria, 1996. 259 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Atlas Colombiano de viento y energía eólica. Bogotá: UPME e IDEAM, 2006. 102 p. Recuperado de: <http://www.si3ea.gov.co/Home/Energ%C3%ADaEolica/tabid/75/language/en-US/Default.aspx>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Atlas de radiación solar en Colombia. Bogotá: UPME e IDEAM, 2002. 22 p. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Chapter 6: Renewable energy outlook World. En: energy Outlook 2013. París: IEA Publications, 2013. 37 p. Recuperado de: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf

ISAGEN. Informe de Gestión. Medellín: Colombia, 2013. 114 p. Recuperado de <http://www.isagen.com.co/informe-de-gestion/2013/herramienta-dialogo.html>

LEZCANO, Diego. Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros. Tesis de magister en ingeniería administrativa. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas, 2011. 112 p. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5876/1/8161669.2012.pdf>

LOPÉZ, Luis. Panel solar hibrido fotovoltaico/térmico con incremento de eficiencia en sistema fotovoltaico. 2009. 24 p. Recuperado de:

<http://209.239.118.175/biblio/biblio/energia/mercado%20y%20politicas/PANEL%20SOLAR%20HIBRIDO%20FOTOVOLTAICO.pdf>

LOZANO, M.A. Metodología para el análisis exergético de calderas de vapor en centrales térmicas. Tesis Doctoral. España: Universidad de Zaragoza, Escuela técnica superior de ingenieros industriales, 1987. 426 p. Recuperado de: [http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0011/\\$FILE/cp0011.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0011/$FILE/cp0011.pdf)

NAREDO, José y VALERO, Antonio. Desarrollo económico y deterioro ecológico. Madrid: Fundación argentaria, 1999. 388 p. Recuperado de: <http://www.fcmanrique.org/publiDetalle.php?idPublicacion=113>

PEREDA, Isidro. Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mención Electricidad. Santiago de Chile: Pontificia universidad católica de chile, Escuela de Ingeniería, 2005. 159 p. Recuperado de: <http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/pereda.pdf>

PICÓ HERAS, Sergio. Desarrollo e Implementación de las Energías Renovables: Situación actual y tendencias. Tesis de ingeniería geológica. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña, departamento de ingeniería hidráulica, marítima y ambiental, 2002. 210 p. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/3428>.

PRANDO, Raúl. Curso matriz energética y energía sostenible en la industria de procesos. En: segundo módulo: energía solar térmica y fotovoltaica (segundo semestre, 2013). Lugar: UdelaR, facultad de ingeniería química, Instituto de Ingeniería química, 2013. 66 p. Recuperado de: <http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/industria/EERR-Solar.pdf>

PRO MÉXICO. Energías Renovables. México D.F.: Gibran Quiroga editores, 2014.

31 p. Recuperado de
http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726_DS_Energias_Renovables_ES.pdf

REVISTA DINERO. Las primeras 50 de las 5000 empresas. (6, Diciembre, 2013). [Citado 24, Julio, 2014]. 1 p. Disponible en: <<http://www.dinero.com/edicion-impres/caratula/articulo/las-primeras-50-5000-empresas/177765>>

TORCHIA, J.C.; PORTA, M.A. y CERVANTES J. G. Análisis de exergía en estado permanente de un destilador solar simple. México: Universidad Nacional de México (UNAM), 2009. 26 – 34 p. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v11n1/v11n1a4.pdf>

TORCHIA, J.C.; CERVANTES J.G. Conversión de energía solar: Concepto de eficiencia. En: (Memorias del XV congreso Internacional anual de la somim, 23 al 25, septiembre, 2009, Obregón, sonora, México). Memorias. México: Universidad Autónoma de México (UNAM), 2009. 1050 – 1058 p. Recuperado de: http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2009/pdfs/A5/A5_188.pdf

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME) y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (MINMINAS). Boletín estadístico de minas y energías 2008-2012. Bogotá: 2008. 240 p. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Boletin_Estad_Minas_Energy_2008_2012.pdf

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). ENERGÍAS RENOVABLES: Descripción, tecnologías y usos finales. Bogotá: 2006. 47 p. Recuperado de: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Formulación de un Plan de Desarrollo para las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE). Bogotá, Colombia: UPME (eds.), 2010. 173 p. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. Cartagena, Colombia: UPME, 2014. 59 p. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Presentaciones/2014/UPME_Renovables_Andesco.pdf

ANEXOS.

Anexo A. LEYES DE LA TERMODINÁMICA.

- Ley Cero (o principio cero) de la termodinámica⁹⁶:

Si dos sistemas están por separado en equilibrio con un tercero, entonces también deben estar en equilibrio entre ellos.

Si tres o más sistemas están en contacto térmico y todos juntos en equilibrio, entonces cualquier par está en equilibrio por separado. El concepto de temperatura se basa en este principio cero.

- Primera Ley de la termodinámica⁹⁷:

También conocida como principio de conservación de la energía para la termodinámica, establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará.

La conservación de energía será: $\Delta E = Q + W$.

- Segunda ley de la termodinámica⁹⁸:

Esta ley marca la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También se establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, la segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el primer principio. Esta ley apoya todo su contenido aceptando la existencia de una magnitud física llamada entropía, de tal manera que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero.

⁹⁶ AMOROCHO Y OLIVEROS. Óp. Cit., p. 10

⁹⁷ Ibíd., p. 10.

⁹⁸ Ibíd., p. 11.

Anexo B. CLASIFICACIÓN DE LOS INCENTIVOS DE LA LEY 1715.

Tipo de incentivos	Descripción.
Renta	<p>Reducir anualmente su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que se haya realizado la inversión, el 50% del valor total de la inversión realizada</p> <p>El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta liquidada del contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión.</p>
IVA	Los equipos, elementos, maquinarias y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre inversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potencias recursos estarán excluidos del IVA.
Aranceles	<p>Exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión con fuentes no convencionales de energía.</p> <p>Será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición este sujeto a la importación de los mismos.</p>
Depreciación acelerada de activos.	<p>Aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación con fuentes no convencionales de energía, que sean adquiridos y/o construidos, exclusivamente para este fin.</p> <p>La tasa anual de depreciación será no mayor del 20% como tasa global anual.</p>

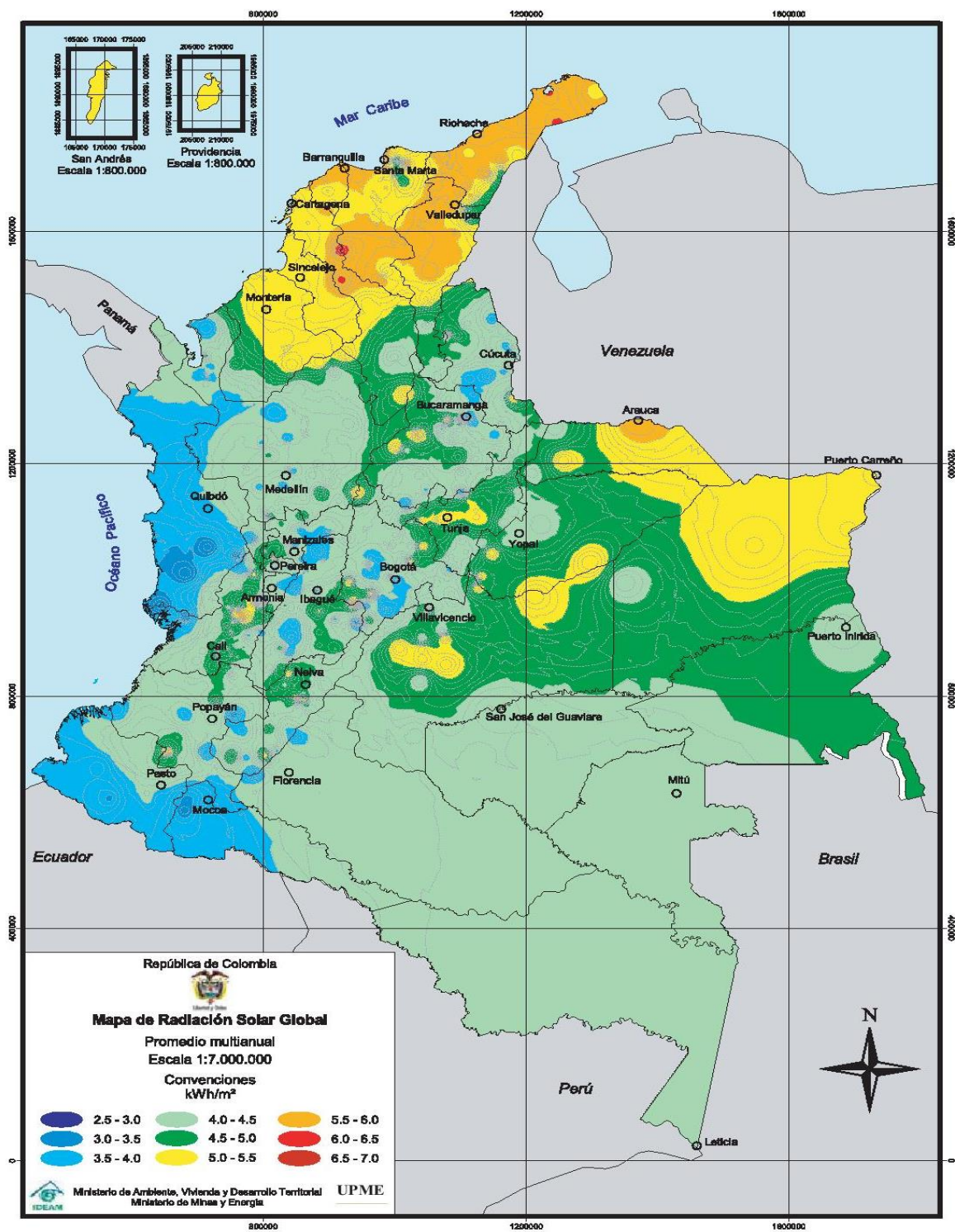
Fuente: UPME, 2014.

Anexo C. CAPACIDAD INSTALADA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD 2012

ENERGÍA	CAPACIDAD INSTALADA (GW)	CRECIMIENTO 2011 - 2012
Hidráulica	990.0	3.1%
Eólica	283	18.9%
Biomasa	83	12.2%
Solar Fotovoltaica	100	40.8%
Geotérmica	11.7	2.6%
Solar de alta concentración	2.5	56.3%
Mareomotriz	0.5	0.0%
TOTAL	1470.7	8.4%

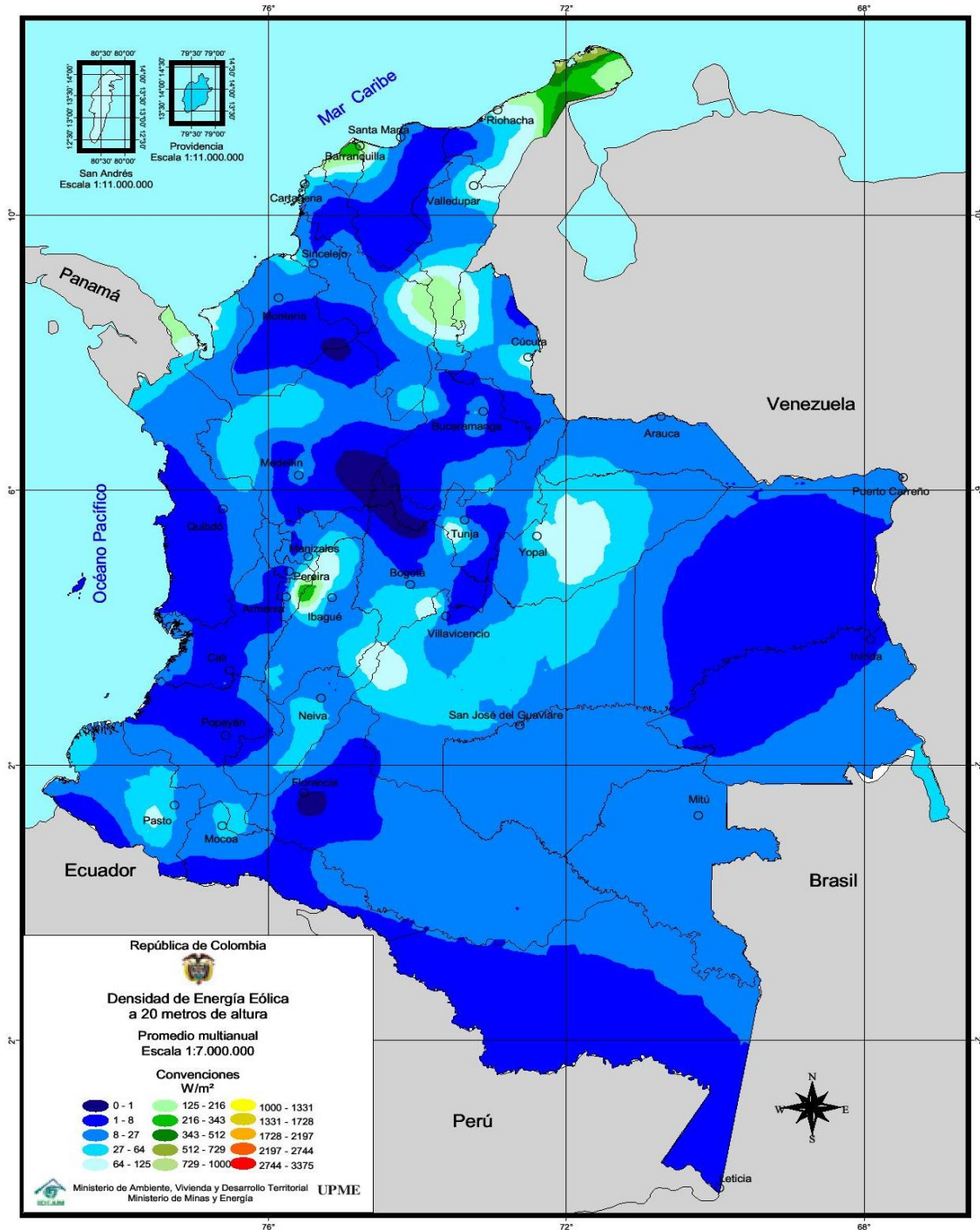
Fuente: Pro México, 2013.

Anexo D. RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA.



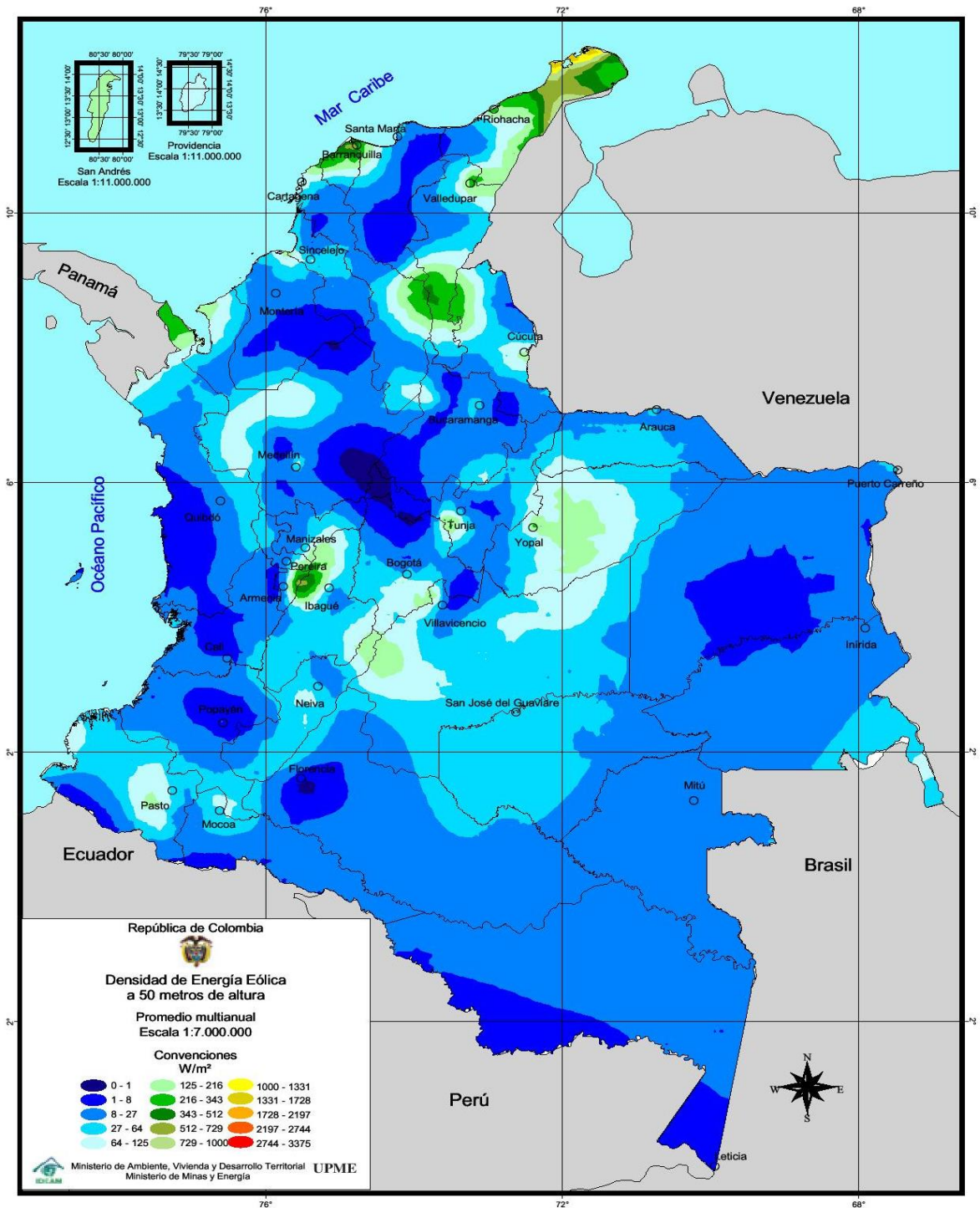
Fuente: UPME – IDEAM, 2005.

Anexo E. DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA A 20 M DE ALTURA PROMEDIO MULTIANUAL.



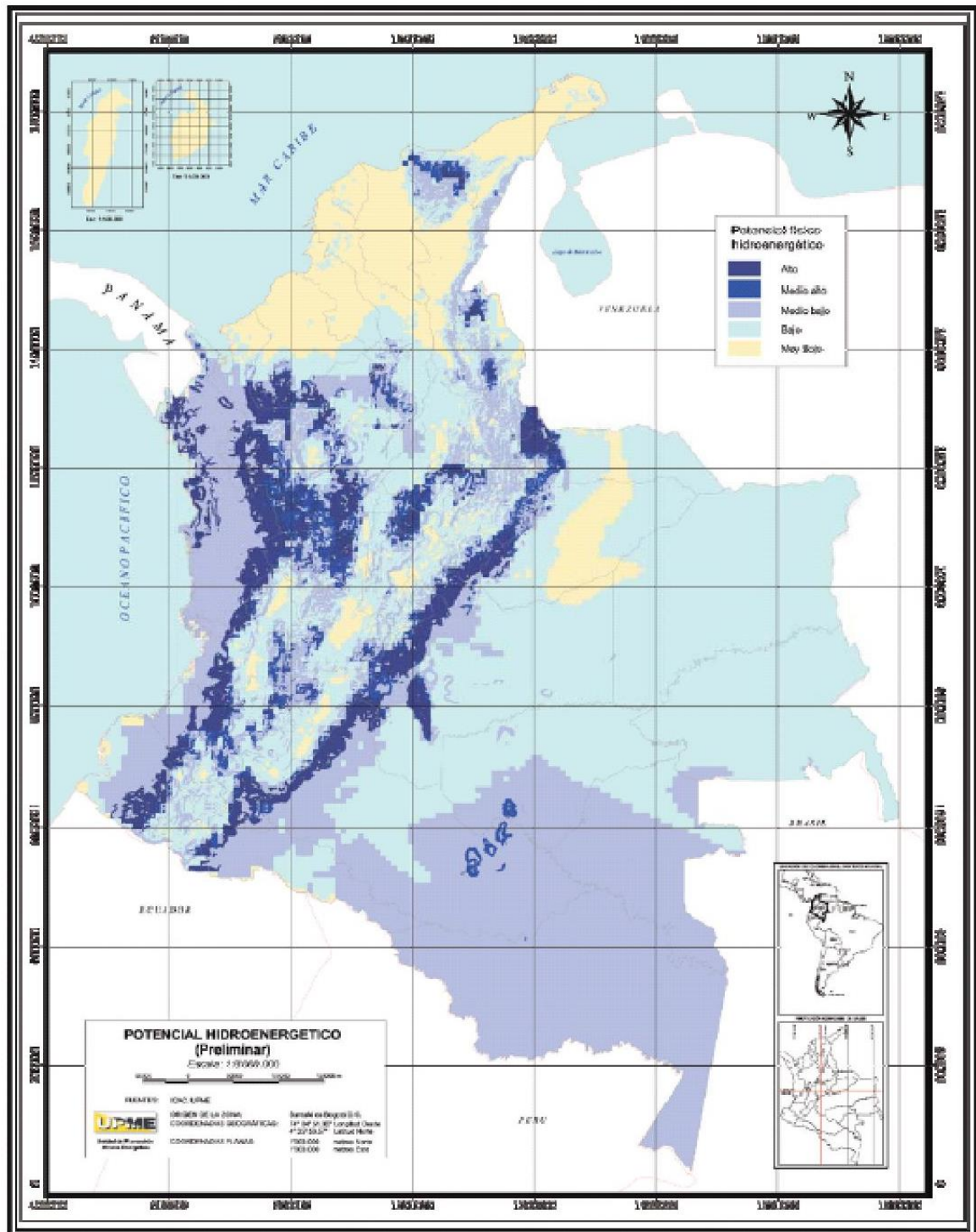
Fuente: UPME – IDEAM (2006)

DENSIDAD DE ENERGÍA EÓLICA A 50 M DE ALTURA PROMEDIO MULTIANUAL



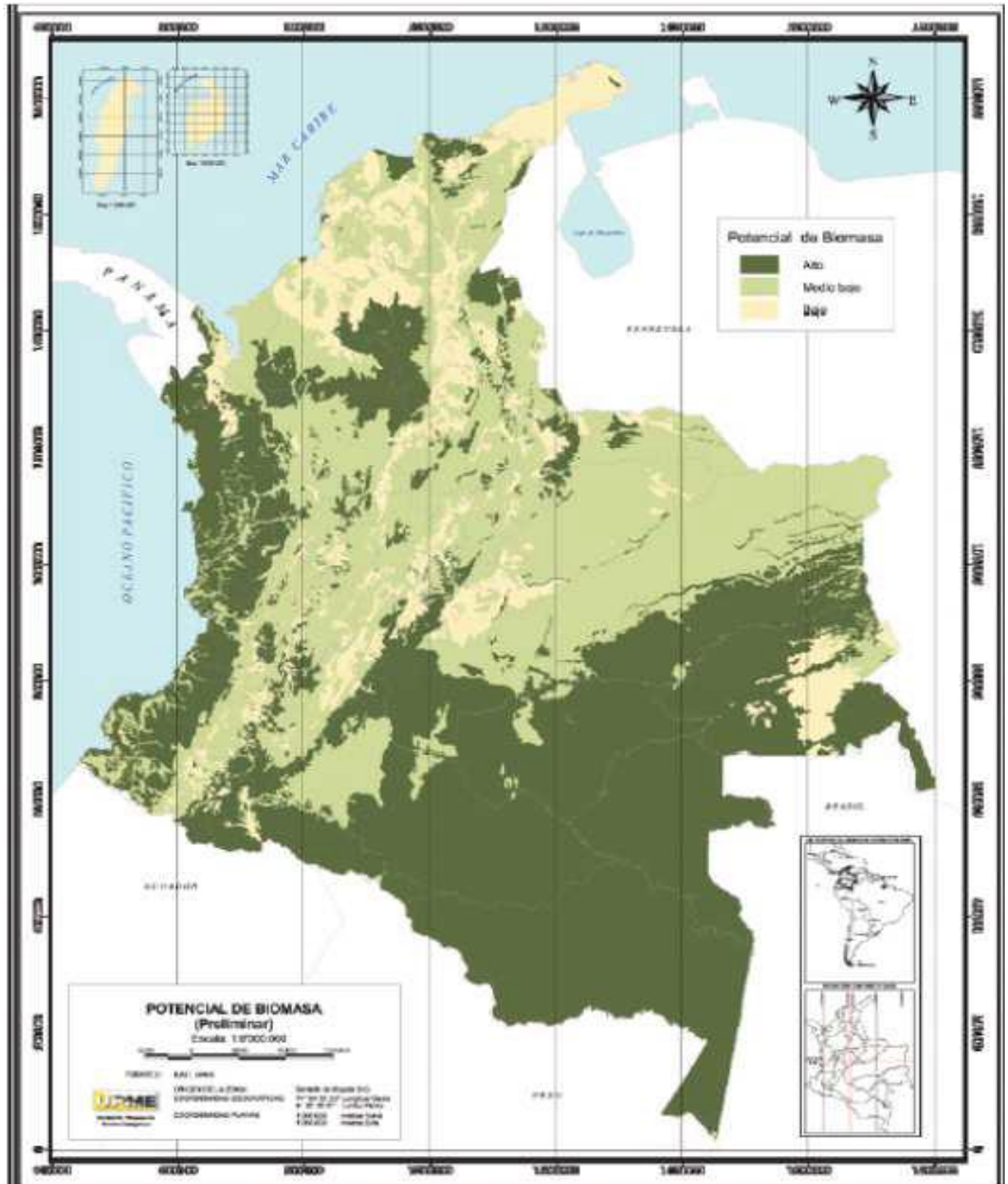
Fuente: UPME – IDEAM (2006).

Anexo F. POTENCIAL HIDROENERGÉTICOS EN COLOMBIA.



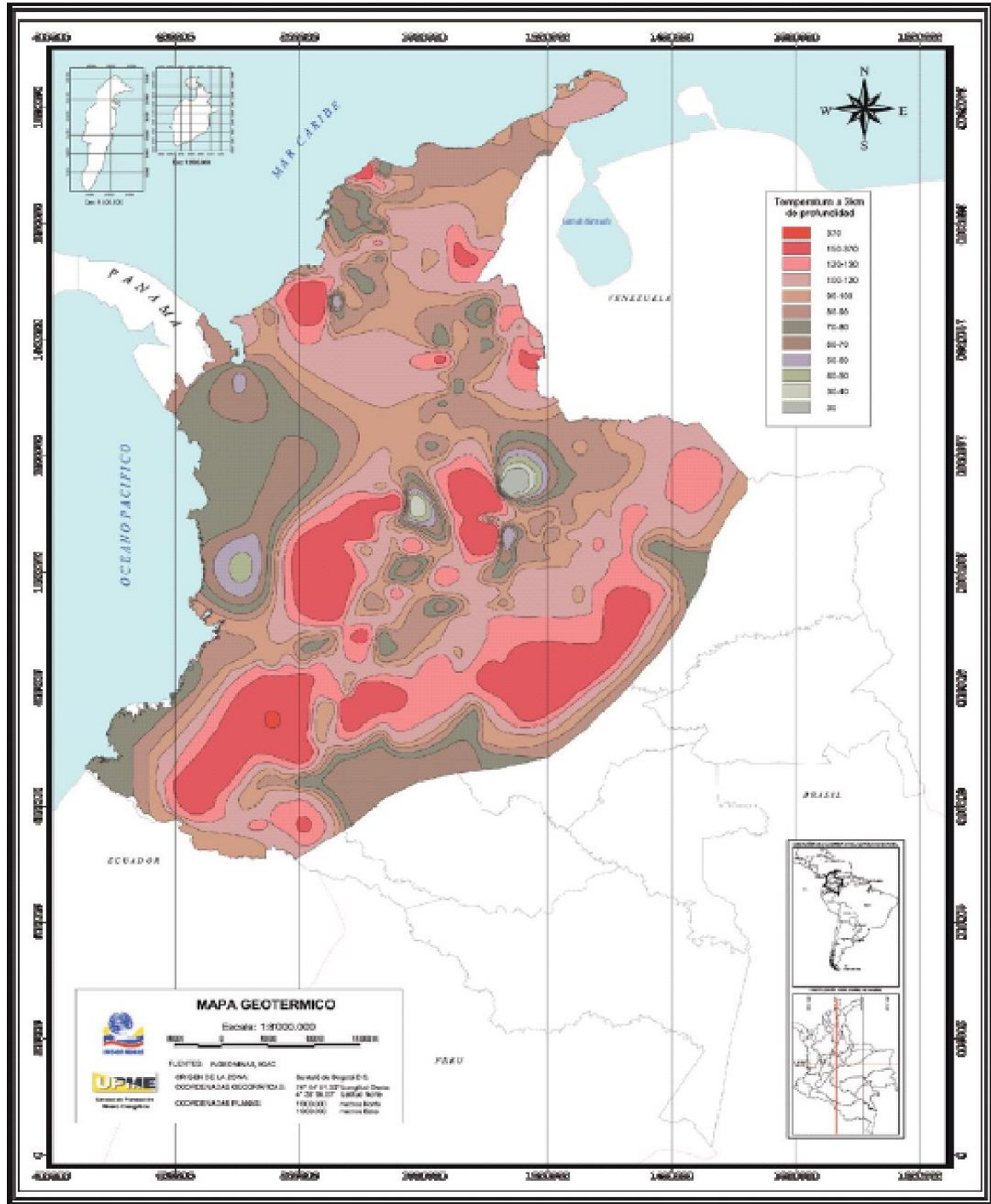
Fuente: UPME – IDEAM.

Anexo G. POTENCIAL DE BIOMASA EN COLOMBIA



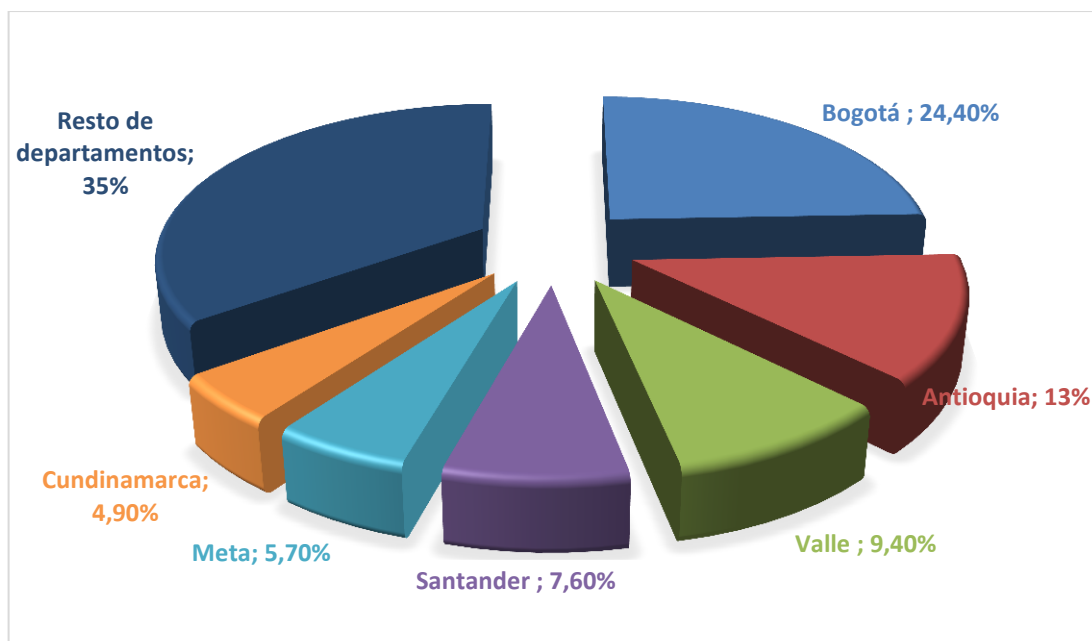
Fuente: UPME, 2010.

Anexo H. POTENCIAL GEOTÉRMICO.



Fuente: INGEOMINAS - ANH, 2008

Anexo I. PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN EL PIB



Fuente: DANE – Dirección de síntesis y cuentas nacionales.

Anexo J. TABLA DE CLÚSTERES ESTRATÉGICOS EN LA ECONOMÍA GLOBAL.

Clúster	No. empresa	Activos (USD mil)	Participación total en activos (%)	Exportaciones 2012 (USD mil)	Participación en total exportaciones Antioquia (%) 2012	Participación en el PIB Antioquia 2011
Energía Eléctrica	1.641	26.052	17,6%	135	2,0%	3,7%
Textil/Confección, diseño y Moda	12.928	4.637	3,1%	654	9,8%	2,3%
Construcción	11.475	12.850	8,7%	231	3,4%	16,3%
Turismo de Negocios, ferias y Convenciones	8.928	621	0,4%	No Disponible		2,6%
Servicios de Medicina y Odontología	2.274	1.568	1,1%	27	0,4%	2,1%
Tecnología, Información y Comunicación	3.788	3.838	2,6%	4	0,1%	2,9%
TOTAL	41.034	49.567	33,4%	1.047	15,6%	27,1%

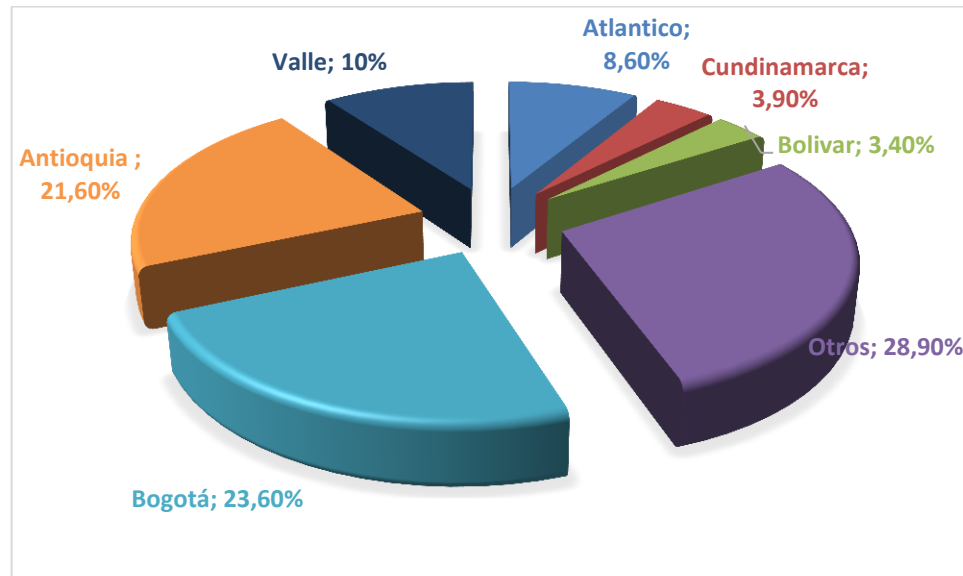
Fuente: Cámara de comercio de Medellín para Antioquia 2013.

Anexo K. TABLA DE LA ESTRUCTURA EMPRESARIAL DE LOS CLÚSTERES EN ANTIOQUIA.

Tamaños	Clústeres					
	Energía eléctrica	Construcción	Textil/Confección, Diseño y Moda	Servicios de Medicina y Odontología	Turismo de Negocios	TIC's
Microempresa	1.304	8.906	11.802	1.888	8.629	3.485
Pequeña empresa	234	1.773	820	274	246	235
Mediana empresa	74	627	227	79	45	39
Gran empresa	29	169	79	33	8	29
Total empresas	1.641	11.475	12.928	2.274	8.928	3.788

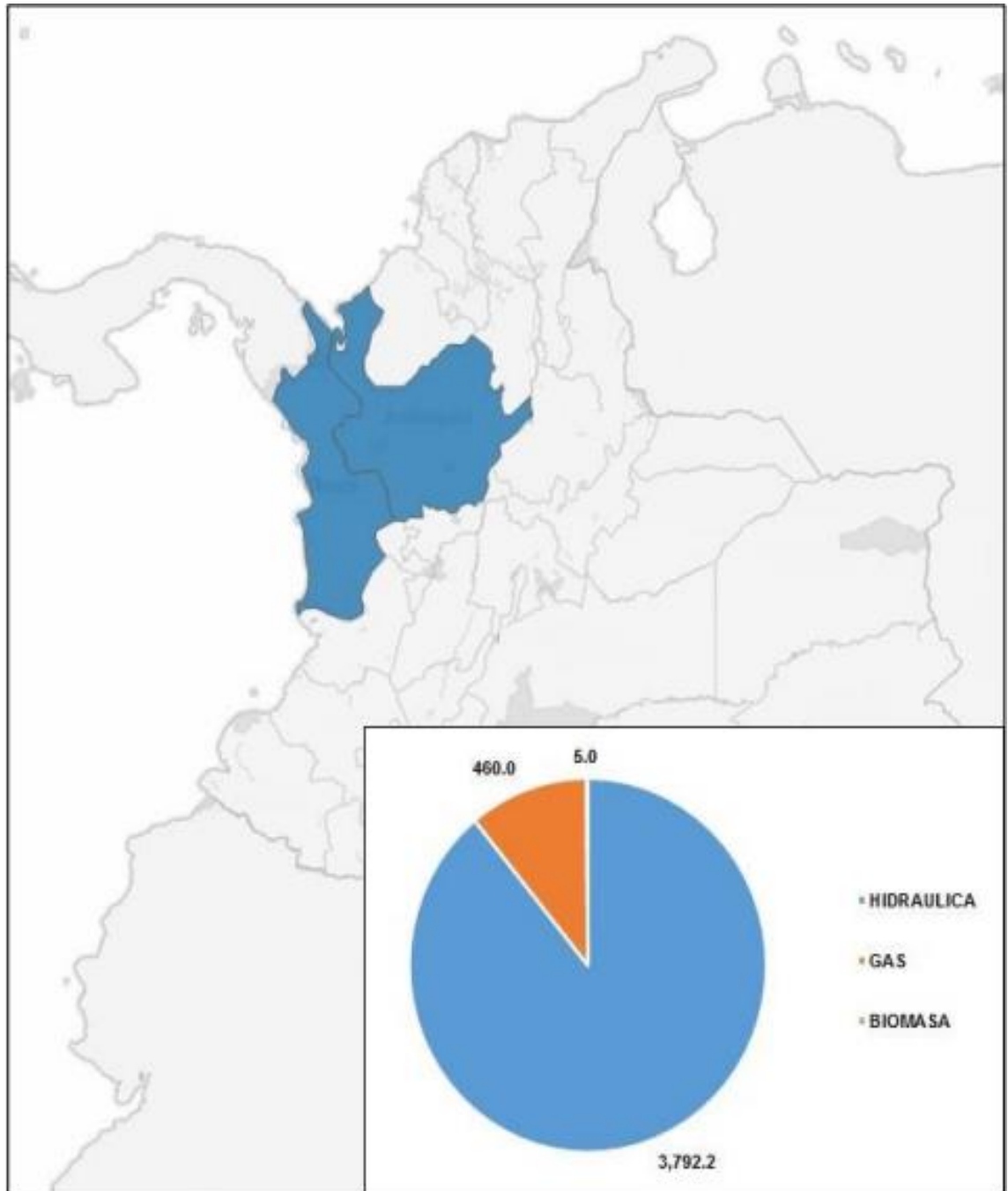
Fuente: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. 2013.

Anexo L. CONTRIBUCIÓN REGIONAL A LA GENERACIÓN DEL PIB DE ELECTRICIDAD Y GAS.



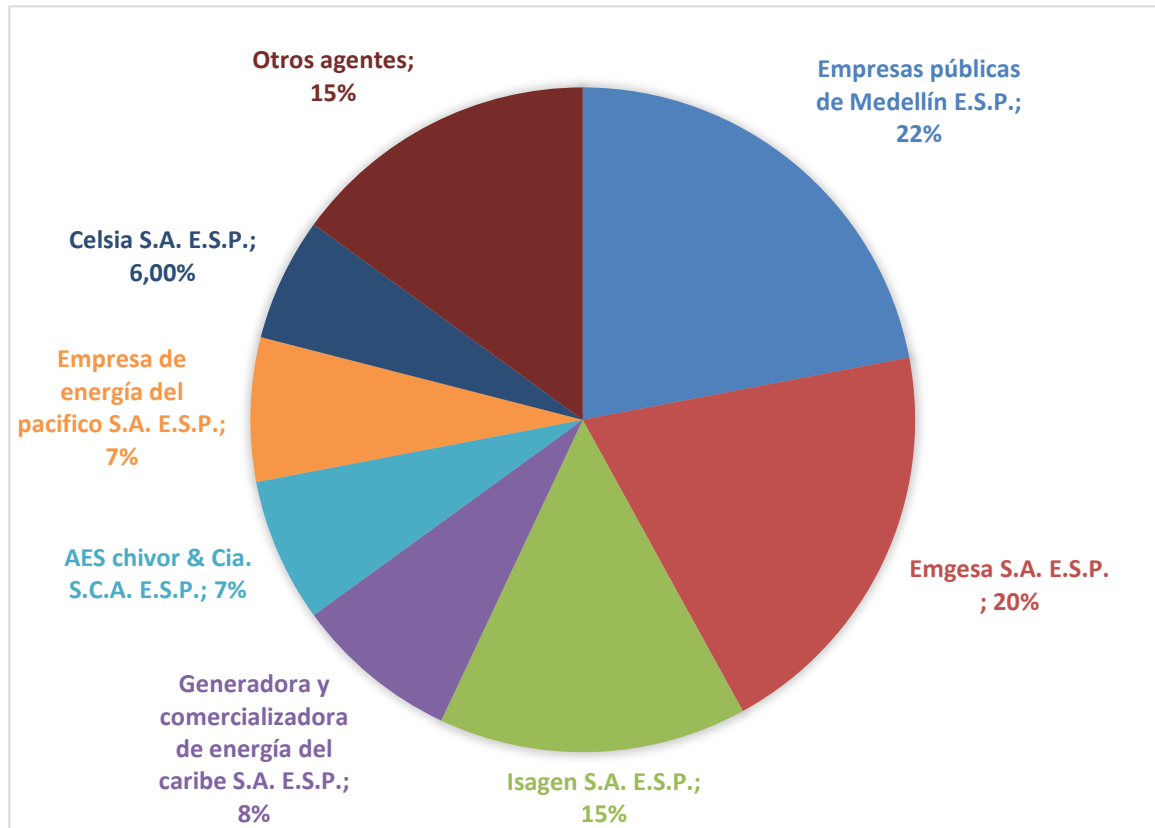
Fuente: DANE. Cuentas departamentales, 2010. Elaboración propia.

Anexo M. CAPACIDAD INSTALADA EN ANTIOQUIA Y CHOCÓ (MW).



Fuente: Sistema de información de XX. Fuente gráfica: UPME.

Anexo N. DISTRIBUCIÓN DE CAPACIDAD INSTALADA POR AGENTE (%).



Fuente: Sistema de información XM, 2013. Elaboración propia.

Anexo O. ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA.

Las ZNI son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (Artículo 1 de la Ley 855 de 2003). En las ZNI la presentación del servicio se hace principalmente mediante plantas de generación diésel, paneles solares y pequeñas centrales hidroeléctricas.

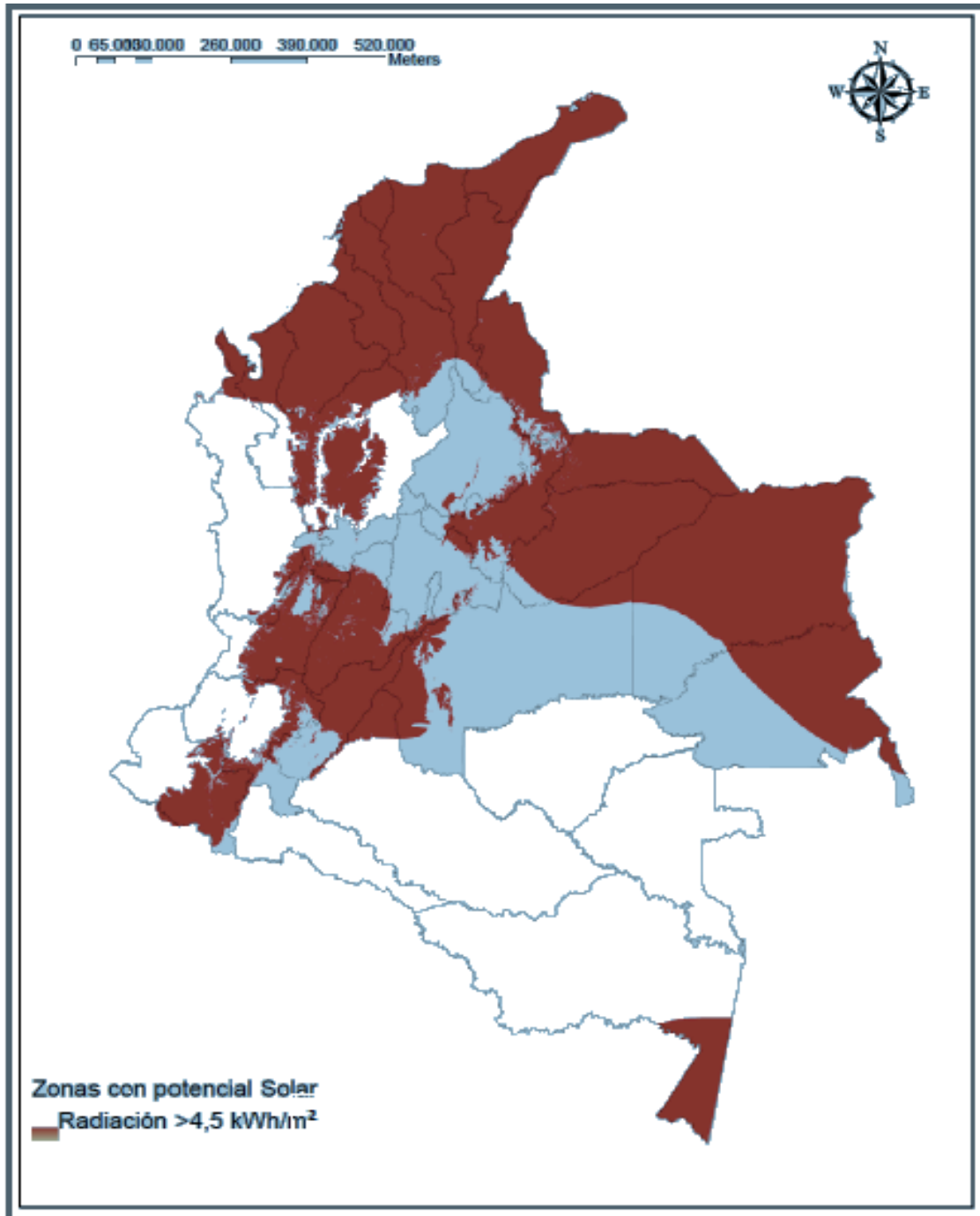
Los principales fondos de financiación para proyectos de infraestructura en las ZNI, son los siguientes:

- Fondo Nacional de Regalías (FNR)
- Fondo de Apoyo Financiero para las Zonas No Interconectadas (FAZNI)



Fuente: UPME, 2010.

Anexo P. NIVEL DE INCIDENCIA SOLAR EN COLOMBIA.



Fuente: Elaboración propia..