

**ESTUDIO DE CASO PARA LA DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS DE  
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UN PROCESO DE COGENERACIÓN CON  
TURBOGÁS CICLO SIMPLE**

**INÉS DEL MONTE CHARRIS ORELLANO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

**ESTUDIO DE CASO PARA LA DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS DE  
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UN PROCESO DE COGENERACIÓN CON  
TURBOGÁS CICLO SIMPLE**

**INÉS DEL MONTE CHARRIS ORELLANO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Magíster  
en Gestión de la Innovación**

**Director: PhD. Paola Amar Sepúlveda**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C.,

## Tabla de contenido

<b>0. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA – JUSTIFICACIÓN.....	11
0.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	15
0.3 OBJETIVOS .....	16
0.3.1 Objetivo General.....	16
0.3.2 Objetivos Específicos .....	16
0.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
0.4.1 Unidad de Análisis .....	19
0.4.2 Técnicas de recopilación de la información.....	20
0.4.3 Ficha técnica del estudio .....	22
0.4.4 Modelo Teórico Preliminar.....	23
0.5 MARCO TEÓRICO .....	24
0.5.1 Cogeneración.....	24
0.5.2 Innovación Tecnológica .....	24
0.5.3 Auditoría Tecnológica .....	26
0.5.4 El proceso de Vigilancia.....	27
0.5.5 Gestión Tecnológica.....	29
<b>1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	<b>34</b>
1.1 BIOFILM.....	34
1.2 PROCESO DE COGENERACIÓN.....	35
<b>2. TECNOLOGÍAS EMERGENTES QUE PUEDEN APLICARSE A LOS     SISTEMAS DE COGENERACIÓN</b> .....	<b>36</b>
2.1 ANÁLISIS DE LAS CAPACIDADES NACIONALES PARA LA INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE COGENERACIÓN.....	36
2.2 ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO .....	41
2.3 ANÁLISIS PATENTOMÉTRICO .....	52
2.3.1 Búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural .....	53

2.3.2 Búsqueda 2: Turbinas de gas y bajas emisiones .....	58
2.3.3. Búsqueda 3: Polygeneración.....	64
2.3.4 Búsqueda 4: Calderas recuperadoras de calor y eficiencia .....	70
2.3.5 Búsqueda 5: Energías renovables y generación de calor y electricidad .....	77
<b>3. SOLUCIONES COMERCIALMENTE DISPONIBLES .....</b>	<b>83</b>
3.1 TURBINA CON RECUPERACIÓN DE CALOR.....	83
3.2 PREMEZCLADOR DE COMBUSTIÓN PARA TURBINAS DE GAS .....	84
3.3 SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN EN TURBINAS DE GAS .....	84
3.4 SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE BAJO NO <sub>x</sub> PARA TURBINAS DE SERVICIO PESADO .....	85
<b>4. REGULACIONES, NORMAS Y ENTORNO ECONÓMICO.....</b>	<b>87</b>
4.1 MARCO LEGAL Y REGULATORIO.....	87
4.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS Y FUENTES ALTERNATIVAS EN EL MUNDO .....	90
<b>5. ALTERNATIVAS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y PLAN DE ACCIÓN .....</b>	<b>92</b>
5.1 ALTERNATIVA 1. SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE BAJO NO <sub>x</sub> PARA TURBINAS DE SERVICIO PESADO.....	92
5.2 ALTERNATIVA 2. TURBINA CON RECUPERACIÓN DE CALOR .....	93
5.3 ALTERNATIVA 3. GENERADOR SOLAR TERMOELÉCTRICO.....	95
5.4 PLAN DE ACCIÓN.....	99
<b>6. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE CASO.....</b>	<b>99</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>105</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1 Ficha técnica del estudio de caso.....	22
Tabla 2 Actividades de Gestión Tecnológica según diversos autores .....	32
Tabla 3 Ecuaciones de búsqueda de artículos.....	42
Tabla 4 Artículos seleccionados como posible solución al problema de investigación...	51
Tabla 5 Ecuaciones de búsquedas de patentes .....	53
Tabla 6 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 1: .....	
Cogeneración y Gas Natural .....	58
Tabla 7 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 2: .....	
Turbinas de Gas y bajas emisiones .....	64
Tabla 8 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 3: .....	
Polygeneración .....	70
Tabla 9 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 4: .....	
Calderas recuperadoras de calor y eficiencia .....	77
Tabla 10 Descripción Propuesta tecnológica 1 .....	93
Tabla 11 Descripción Propuesta Tecnológica 2 .....	94
Tabla 12 Grupos de investigación recomendados en el área de Potencia .....	97
Tabla 13 Grupos de investigación recomendados en el área de Combustibles .....	97
Tabla 14 Grupos de investigación recomendados en el área de Energías Renovables..	98
Tabla 15. Plan de Innovación Tecnológica.....	99

## Índice de Gráficas

Gráfica 1 Balance Nacional de Gas Natural.....	13
Gráfica 2 Evolución de los precios del Gas Natural de la Guajira.....	13
Gráfica 3 Modelo teórico preliminar.....	23
Gráfica 4 Representación del proceso de cogeneración de Biofilm.....	35
Gráfica 5 Número de grupos de investigación por eje temático.....	37
Gráfica 6 Número de grupos de investigación con trabajos de interés por eje temático..	39
Gráfica 7 Trabajos desarrollados en torno a temas de interés.....	40
Gráfico 8 Número de artículos publicados por año.....	44
Gráfica 9 Número de Publicaciones por Autor.....	44
Gráfica 10 Clasificación de publicaciones por Tipo.....	45
Gráfica 11 Distribución de artículos según publicación.....	46
Gráfica 12 Representación de palabras clave de impacto en primer nivel.....	47
Gráfica 13 Representación de palabras clave de impacto en segundo nivel.....	48
Gráfica 14 Clasificación de publicaciones según eje temático.....	49
Gráfica 15 Clasificación de publicaciones según tipo de artículo.....	50
Gráfica 16 Empresas líderes en cogeneración con gas natural.....	54
Gráfica 17 Keywords principales y secundarias alrededor del tema Cogeneración con	55
Gráfica 18 Número de patentes publicadas por año en el área de cogeneración y gas natural.....	56
Gráfica 19 Países líderes en tecnología para el área Cogeneración y Gas Natural.....	57
Gráfica 20 Países líderes tecnológicos en el área de cogeneración y gas natural durante el año de mayor productividad 2010.....	57
Gráfica 21 Empresas líderes en Turbinas de Gas y bajas emisiones.....	59
Gráfica 22 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área de Turbinas de Gas y Bajas emisiones.....	61
Gráfica 23 Número de patentes publicadas por año en el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones.....	62
Gráfica 24 Países líderes en tecnología para el área de Turbinas de gas y bajas emisiones.....	63
Gráfica 25 Países líderes tecnológicos para el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones para el año de mayor productividad 2002.....	63
Gráfica 26 Empresas líderes en Polygeneración.....	65
Gráfica 27 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área Polygeneración.....	67
Gráfica 28 Número de patentes publicadas por año en el área Polygeneración.....	68

## Continuación Índice de Gráficas

Gráfica 29 Países líderes en tecnología para el área Polygeneración.....	69
Gráfica 30 Países líderes tecnológicos para el área Polygeneración durante el año de mayor productividad científica: 2010.....	69
Gráfica 31 Empresas líderes en Calderas recuperadoras de calor y eficiencia.....	71
Gráfica 32 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área de Calderas Recuperadoras de Calor y Eficiencia.....	74
Gráfica 33 Número de patentes publicadas por año en el área de Calderas recuperadoras de calor y eficiencia.....	75
Gráfica 34 Países líderes en tecnología para el área de calderas recuperadoras de calor y eficiencia.....	76
Gráfica 35 Países líderes tecnológicos para el área de calderas recuperadoras de calor durante el año de mayor productividad científica: 2010.....	76
Gráfica 36 Empresas líderes en Energía Renovable y Generación de Calor y Electricidad.....	78
Gráfica 37 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad.....	79
Gráfica 38 Número de patentes publicadas por año en el área de Energías Renovables y Generación de calor y electricidad.....	80
Gráfica 39 Países líderes en tecnología para el área de Energías Renovables y Generación de calor y electricidad.....	81
Gráfica 40 Países líderes tecnológico. Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad durante el año 2010.....	81
Gráfica 41 Turbina de gas natural actual vs. turbina de gas natural con recuperador de calor.....	83
Gráfica 42 Premezclador de aire combustible para turbinas de gas.....	84
Gráfica 43 Sistema de control de combustible para turbinas de gas.....	85
Gráfica 44 Sistema de optimización de combustión para turbinas de servicio pesado....	86
Gráfica 45 Costo de inversión estimada para tecnologías energéticas.....	91
Gráfica 46 Solución tecnológica 1. Sistema de optimización de combustión.....	92
Gráfica 47 Solución tecnológica 2. Turbina con recuperación de calor.....	93
Gráfica 48 Solución tecnológica 3. Sistema de generación solar termoelectrico.....	95
Gráfica 49. Esquematzación del proceso de investigación por medio del estudio de caso.....	101



## 0. INTRODUCCIÓN

El análisis de las tecnologías emergentes y sus implicaciones son vitales para las economías actuales, sociedades y compañías. Tales análisis toman parte en amplios rangos de aplicación, desde una organización interestatal hasta las compañías particulares. Las decisiones que requieren ser previamente bien informadas están sujetas a prioridades de esfuerzos en investigación y desarrollo, entendimiento y manejo de riesgos de la innovación tecnológica y explotación de la propiedad intelectual, con el fin de propiciar la mejora de la competitividad tecnológica de productos, procesos y servicios. (Porter, 2003).

La innovación en tecnologías energéticas es el conjunto de procesos que lideran una nueva tecnología energética que puede aumentar la disponibilidad hacia un proceso, mejorar la calidad de los servicios energéticos, y/o reducir el impacto de los costos económicos, medioambientales y/o políticos asociados a la generación y uso de la energía. Los tres grandes desafíos que surgen en la actualidad, y que demandan una mayor dinámica de innovación, son, la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, incrementar el suministro de energía para lograr abastecer a las comunidades más pobres y proveer la energía requerida para sostener el abastecimiento en cualquier lugar sin deteriorar el clima global con las emisiones del quemado de combustibles fósiles (Sims, Holdren & Sagar, 2006).

Las empresas de la ciudad de Cartagena, evidencian una realidad que no es ajena a estos desafíos. El efecto de la creciente demanda de los combustibles fósiles aunado a la pobre explotación de fuentes energéticas alternativas, ha permeado en la economía traduciéndose en altos costos energéticos que se transfieren hacia el proceso productivo.

Este trabajo se basa en la necesidad que tienen las empresas autogeneradoras de energía, de reducir los costos de generación eléctrica. Estos costos se han visto negativamente afectados por los incrementos volátiles que ha presentado el precio del gas natural en la última década asociado a factores socio políticos y de entorno. Aquí se presenta un estudio de vigilancia tecnológica, en la búsqueda de tecnologías que reemplacen las tecnologías instaladas hace más de una década en los sistemas de cogeneración con plantas menores de la ciudad de Cartagena.

La presente investigación se ha abordado mediante la metodología de estudio de caso, tomando como unidad de análisis una empresa del sector industrial de Cartagena, y como subunidad su proceso de cogeneración. La selección de este método se justifica debido a que se propone analizar las tecnologías y su relación con el entorno contemporáneo, igualmente se requiere determinar relaciones de origen causal que expliquen el comportamiento de la dinámica de innovación de las empresas de esta región con el fin de orientar la innovación tecnológica en el marco apropiado de su contexto.

Como resultado, se identifican las tecnologías de cogeneración emergentes en el mundo, se ubican las tecnologías comercialmente disponibles que se adecúan a los usos de la empresa y a su entorno, y se presenta un plan de acción de innovación tecnológica. Como aporte a la metodología de estudio de caso que se aplicó para tratar este problema de investigación, se identificaron los elementos metodológicos que surgieron a partir de la experiencia, proponiendo un modelo inducido para emprender este tipo de estudios.

## 0.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA – JUSTIFICACIÓN

En Colombia existe una clara tendencia al incremento de la demanda de recursos energéticos, fundamentada en el crecimiento de los procesos productivos y la dinamización de la economía. Sin embargo, a pesar de que la demanda energética es creciente, la intensidad energética, definida como la relación entre el consumo de energía por unidad de producto, se ha reducido debido a una mayor eficiencia en los procesos de utilización de los recursos energéticos (UPME, 2007).

Ante este panorama, las industrias de nuestro país, enfrentan un desafío caracterizado por la escasez de recursos energéticos convencionales que se traduce en el incremento de los precios de los mismos y la necesidad de mejorar la eficiencia energética de sus procesos para garantizar no solamente el abastecimiento, sino también la competitividad en sus mercados, al lograr producir con menores costos energéticos.

Los procesos de abastecimiento de energía eléctrica son determinantes en la cadena energética<sup>1</sup>, ya que todas las industrias demandan electricidad en su proceso de manufactura y el costo de este recurso impacta considerablemente los costos de fabricación. El abastecimiento eléctrico en nuestra región puede obtenerse ya sea mediante un contrato comercial de suministro de energía por medio del Sistema Interconectado Nacional o bien, generando en sitio la energía demandada por el proceso a partir de un combustible.

En la industria objeto de este estudio, se abastece la energía eléctrica a partir de dos centrales de cogeneración, las cuales utilizan como combustible primario el gas natural. Estas centrales de cogeneración, iniciaron su operación en el año 1998 y en el año

---

<sup>1</sup> La cadena energética, comprende la generación, distribución, transporte, almacenamiento y uso final de la energía.

2000. Los principales factores que influyeron para invertir en sistemas de cogeneración fueron los siguientes:

- Mayor confiabilidad energética, que conllevó a lograr menos interrupciones del suministro que con la red eléctrica externa
- Mayor calidad del suministro de energía eléctrica
- Menores costos de energía eléctrica
- Costo casi nulo de energía térmica al aprovechar los gases de combustión, considerados energía de desecho para generar vapor

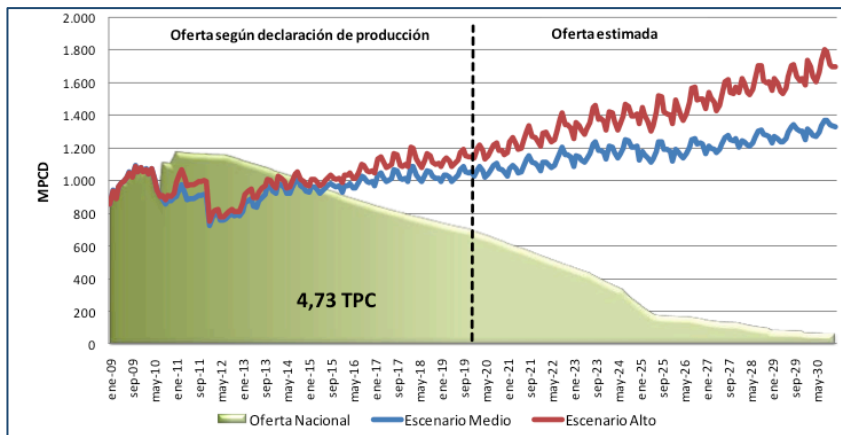
El panorama energético ha sufrido variaciones considerables, aunadas a factores socio económicos, reservas de combustibles, relaciones internacionales, entre otros, por lo que las condiciones económicas de operación sobre las cuales se diseñaron los sistemas de cogeneración, no se mantienen el día de hoy para la empresa. Los años de finales de los noventa se caracterizaron por la promoción del consumo de gas natural por parte del gobierno nacional, pues luego de afrontar la mayor crisis de energía eléctrica que produjo el racionamiento de 1992, a causa del fenómeno de El Niño, se impulsó la generación eléctrica a partir de gas natural, conversión de vehículos a gas y el uso de este combustible en el sector residencial, llegando de esta manera a todos los departamentos de Colombia.

Sin embargo, ante el fenómeno de El Niño que se presentó en 2009-2010, se observaron falencias en la regulación del mercado de gas natural, pues quienes tenían contratos de suministro interrumpibles no estaban preparados ante eventualidades para un corte del combustible recurriendo al gobierno en busca de apoyo, lo que ha obligado al Ministerio de Minas y Energía a establecer medidas de racionamiento de gas natural.

De acuerdo con los análisis de comportamiento de la disponibilidad de gas Vs. la demanda esperada (UPME, 2010), el país está en capacidad de autoabastecimiento

hasta el año 2015, observándose también una tendencia hacia la reducción de las reservas de gas probadas.

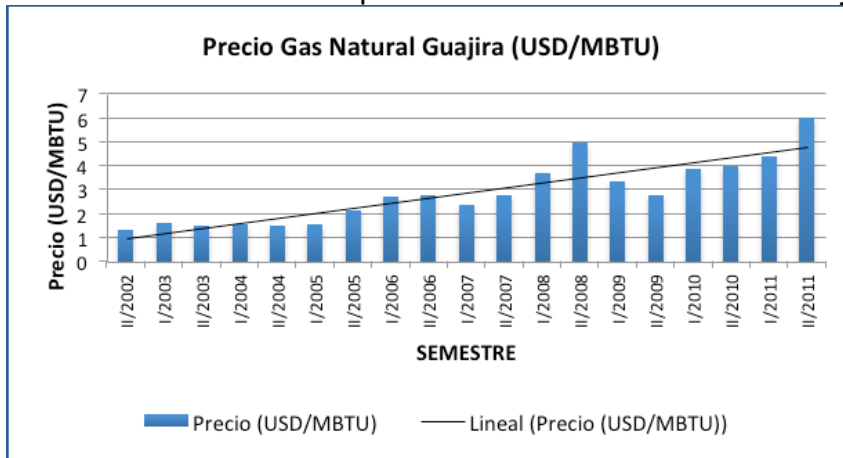
Gráfica 1 Balance Nacional de Gas Natural



Fuente: UPME, 2010

Otro agravante en la actualidad, es la volatilidad de los precios del gas natural, pues desde el año 2002 hasta el año 2011 ha pasado de 1,3 USD/MBTU a 6 USD/MBTU, lo que ha causado que los costos de generación eléctrica hayan sufrido este incremento, disminuyendo la ventaja competitiva de las empresas generadoras.

Gráfica 2 Evolución de los precios del Gas Natural de la Guajira



Fuente: Elaboración propia a partir de información proveniente de la Superintendencia Delegada para Energía y Gas, 2009.

Por otro lado, existe una preocupación mundial por mitigar el impacto ambiental que se colige de todas las actividades humanas. La quema de combustibles fósiles abanderará este negativo impacto ambiental, por lo que mejorar la eficiencia energética redundará en reducir las emisiones de CO<sub>2</sub><sup>2</sup> asociadas a la combustión. Según el Inventario Nacional de Emisiones 2000 y 2004, realizado por el IDEAM<sup>3</sup>, la generación de energía tiene una participación de 37% en las emisiones GEI<sup>4</sup> totales, por lo que la masificación de nuevas tecnologías puede conllevar ya sea a reducir el consumo de combustibles fósiles o a eliminar la dependencia de los mismos.

Para abordar estos desafíos energéticos a nivel de empresa, se requiere de establecimiento de planes de acción a corto, mediano y largo plazo, que involucren factores técnicos, tecnológicos, económicos, regulatorios y de mercado, por lo que se propone utilizar herramientas rigurosas de vigilancia tecnológica y metodologías organizadas de vigilancia del entorno, que permitan a la empresa tener mecanismos para interactuar con el panorama energético de su región, logrando tomar ventaja y explotar al máximo cada uno de los escenarios que se presenten.

En la empresa objeto de este trabajo de investigación, se han realizado sondeos acerca de tecnologías que ofrezcan mayor eficiencia energética y por consiguiente menores costos operacionales. Sin embargo, estas acciones no se han encaminado hacia las centrales de cogeneración, aún cuando en este proceso se ejecuta el 92% del presupuesto energético. No existe actualmente en la empresa un trabajo que permita documentar información acerca de las tecnologías que posiblemente ofrezcan un mejor uso de nuestro recurso energético primario que es el gas natural, y se desconoce si existen tecnologías con fuentes alternativas de energía disponibles para la generación

---

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>. Dióxido de Carbono, que se vierte a la atmósfera en los productos de combustión de combustibles fósiles.

<sup>3</sup> IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

<sup>4</sup> Gases de Efecto Invernadero

eléctrica en la región que representen ventajas competitivas comparadas con el escenario actual.

El problema que se aborda con el desarrollo del presente trabajo, consiste en identificar las nuevas tecnologías para cogeneración, que logren reemplazar la tecnología actualmente instalada, ofreciendo reducción del impacto ambiental asociado a la generación de energía eléctrica y menores costos energéticos, garantizando la confiabilidad operacional y la calidad de la energía de la que se dispone actualmente.

La implementación de metodologías de vigilancia tecnológica, para la solución de problemas de competitividad en el sector industrial, puede ser una demostración de la utilidad de estas herramientas para las empresas de la región.

## **0.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuáles tecnologías emergentes que se proponen para los sistemas de cogeneración pueden reemplazar la actual tecnología en uso ofreciendo sostenibilidad, mejor eficiencia y competitividad para la empresa?
- ¿Qué plan de acción debe implementar la empresa, para obtener en el largo plazo los estándares deseables de eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad en el proceso de generación de energía de acuerdo con la innovación tecnológica que sea seleccionada?

## **0.3 OBJETIVOS**

### **0.3.1 Objetivo General**

Determinar alternativas de innovación tecnológica en un proceso de cogeneración con Turbogás – Ciclo simple, aplicando herramientas de Vigilancia mediante la metodología de Estudio de Caso.

### **0.3.2 Objetivos Específicos**

Identificar las tecnologías emergentes que puedan aplicarse en los sistemas de cogeneración mediante un análisis de vigilancia tecnológica que involucre análisis cuantitativo, bibliométrico y patentométrico.

Realizar un análisis de vigilancia comercial mediante el estudio de proveedores líderes tecnológicos para identificar las soluciones comercialmente disponibles que se adecúen de mejor manera al proceso de cogeneración con turbogás - ciclo simple.

Realizar un análisis de vigilancia del entorno a partir de la identificación de regulaciones, normas, informes económicos que permiten a la empresa conocer el ámbito de aplicación de las nuevas tecnologías

Definir alternativas de innovación tecnológica teniendo en cuenta los resultados del estudio de vigilancia para elaborar el plan de acción que permita la planificación de la innovación tecnológica y un proceso exitoso de transferencia



## **0.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE CASO**

Bonache (1999), se refiere a los casos como un instrumento pedagógico para traer las organizaciones a las aulas y hacer que los debates y explicaciones se aproximen lo máximo posible a la realidad empresarial. Así mismo, destaca la definición de Yin (1989) según la cual los casos son una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto real, cuando las fronteras entre el fenómeno y el contexto no son evidentes y en las que se utilizan múltiples fuentes de evidencia. En la investigación acerca de los métodos cualitativos de investigación realizada por Tomás Reyes (2000), se define el estudio de caso como un examen intensivo a una entidad de una categoría o especie, permitiendo la recopilación detallada de toda la información posible sobre un individuo, una sola institución, una empresa, o un movimiento social particular. En el marco del presente trabajo, el concepto de estudio de caso se refiere a una investigación básicamente cualitativa aplicada a una unidad de análisis que comprende sus actores internos, externos y condiciones de entorno y en la que se buscan relaciones de causalidad entre la teoría de referencia y los fenómenos observados.

Para la determinación de alternativas de innovación tecnológica de un proceso de cogeneración, inherente a la población de empresas cogeneradoras menores de la ciudad de Cartagena, se toma como metodología el estudio de caso, para su justificación se toman apartes del trabajo de Yacuzzi (2005):

- El caso estudia temas contemporáneos sobre los cuales el investigador no tiene control
- Las características del estudio de caso se extienden a otros casos por la fortaleza del razonamiento explicativo
- En la sociedad y en la naturaleza existen relaciones complejas de origen causal y estas relaciones pueden ser estudiadas a través de casos

- Su valor reside en parte en que no solo pueden estudiar un fenómeno, sino también su contexto. Esto implica la presencia de tantas variables que el número de casos necesarios para tratarlas estadísticamente sería imposible de estudiar.
- La validez implica relevancia del estudio con respecto a sus objetivos, así como coherencia lógica entre sus componentes.

El estudio de caso de Biofilm, como empresa objetivo para elaborar un plan de innovación tecnológica, nos permite aprender acerca de la necesidad de las empresas de la región, de incorporar metodologías de gestión y herramientas de vigilancia para mejorar su competitividad. No obstante, el fin de este estudio de caso no es específicamente desarrollar una teoría a partir de la realidad de la empresa, sino, entregar una solución tecnológica a la empresa a partir de metodologías que han sido concebidas y promovidas a través de la investigación en los espacios académicos.

El estudio de caso del presente trabajo, clasifica como *descriptivo*, dado que utilizará metodologías previamente validadas científicamente para mostrar al empresario de nuestra región la aplicación de las mismas en la solución de sus necesidades tecnológicas y de competitividad empresarial.

La pertinencia del uso de los estudios de caso para dar solución a las necesidades empresariales, es resaltada en el trabajo de Reyes (2000), donde habla de una nueva forma actual de producir el conocimiento y de hacer ciencia, caracterizada por un contexto en el que los problemas de investigación no son dictados por una disciplina en particular, sino que emergen de las experiencias cotidianas. Sin embargo, a partir de la utilización de estudios de caso, surge la discusión con respecto a la validez de la metodología y la confiabilidad del resultado de la investigación. Mientras en la investigación cuantitativa la validez está determinada por el uso de técnicas estadísticas determinísticas y la confiabilidad definida por índices de correlación, en la investigación cualitativa se corre el riesgo de que la investigación sea sesgada por el punto de vista del investigador. A este referente, Reyes (2000), expone “en el marco de la

investigación cualitativa, la confiabilidad es la probabilidad de obtener los mismos resultados dentro de un mismo período de tiempo, residiendo esta en la apreciación del binomio investigado/investigador” y por esto explica citando a Strauss & Corbin (1990), que el investigador cualitativo debe ser conocedor de los datos y la teoría y al mismo tiempo capaz de escapar de los aspectos de su propio trabajo que puedan bloquear la nueva perspectiva, el presentimiento, la intuición, la idea brillante o la formulación teórica diferente.

#### **0.4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS**

La unidad de análisis puede ser un individuo, un grupo, una compañía, un país; la unidad de análisis ayuda a definir el alcance del caso, complementa las proposiciones, y permite acotar la búsqueda de información. El caso es con frecuencia un proceso, una institución, o un evento no tan bien definido como un individuo. La definición de la unidad de análisis está vinculada con la forma en que se presentaron las preguntas de investigación. (Yacuzzi, 2005).

Para la selección de la unidad de análisis se consultó acerca de las primeras tecnologías de cogeneración que se instalaron en las empresas de la región. Biofilm fue la primera empresa en instalar un sistema de cogeneración en la zona y durante los dos años siguientes se instalaron centrales de cogeneración en dos empresas más. Las tecnologías que se instalaron alrededor del año 2000 por estas empresas son iguales, variando las capacidades de máquina según las condiciones de necesidad específica de cada planta. Para la selección se tuvo en cuenta la accesibilidad a información específica de la tecnología, la interrelación con el fabricante de la misma y la cercanía con personal directo de proceso. También se consideró la necesidad de la empresa de identificar las ventajas de las nuevas tecnologías debido al incremento continuo de los precios del gas natural del pozo de Guajira que es su proveedor permanente. Igualmente, los antecedentes en investigación en materia de eficiencia energética son

un elemento que propicia la innovación tecnológica en esta área. La unidad de análisis seleccionada fue la empresa Biofilm, y la subunidad el proceso de cogeneración.

#### **0.4.2 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La información se recopiló a través de fuentes primarias y fuentes secundarias. Las fuentes primarias son personal de la empresa que interrelaciona directamente con el proceso de cogeneración ya sea realizando la operación de los sistemas, brindando soporte técnico, administrativo y/o financiero. Igualmente se consultó a fabricantes de tecnología y proveedores de servicios energéticos.

La Información recopilada a través de entrevistas semiestructuradas es la siguiente:

- Variables tecnológicas y no tecnológicas que deben tenerse en cuenta para la selección
- Disponibilidad comercial y de entrega de ciertas tecnologías ofrecidas por los fabricantes
- Tarifas de combustibles
- Precios de las nuevas tecnologías
- Aplicación y uso de la tecnología
- Capacidad de inversión, manejo de presupuestos para innovación tecnológica

A través de fuentes secundarias se obtuvo información acerca de tendencias tecnológicas, estado de inserción actual de las nuevas tecnologías de cogeneración, capacidades de investigación para la transferencia de tecnologías de cogeneración, regulaciones, normas, tendencias de abastecimiento y precios de combustible. La técnica fue revisión documental de bases de datos de patentes, información gubernamental e información comercial.

### 0.4.3 FICHA TÉCNICA DEL ESTUDIO

A continuación se describe en resumen el proceso de investigación, mediante la ficha técnica.

Tabla 1 Ficha técnica del estudio de caso

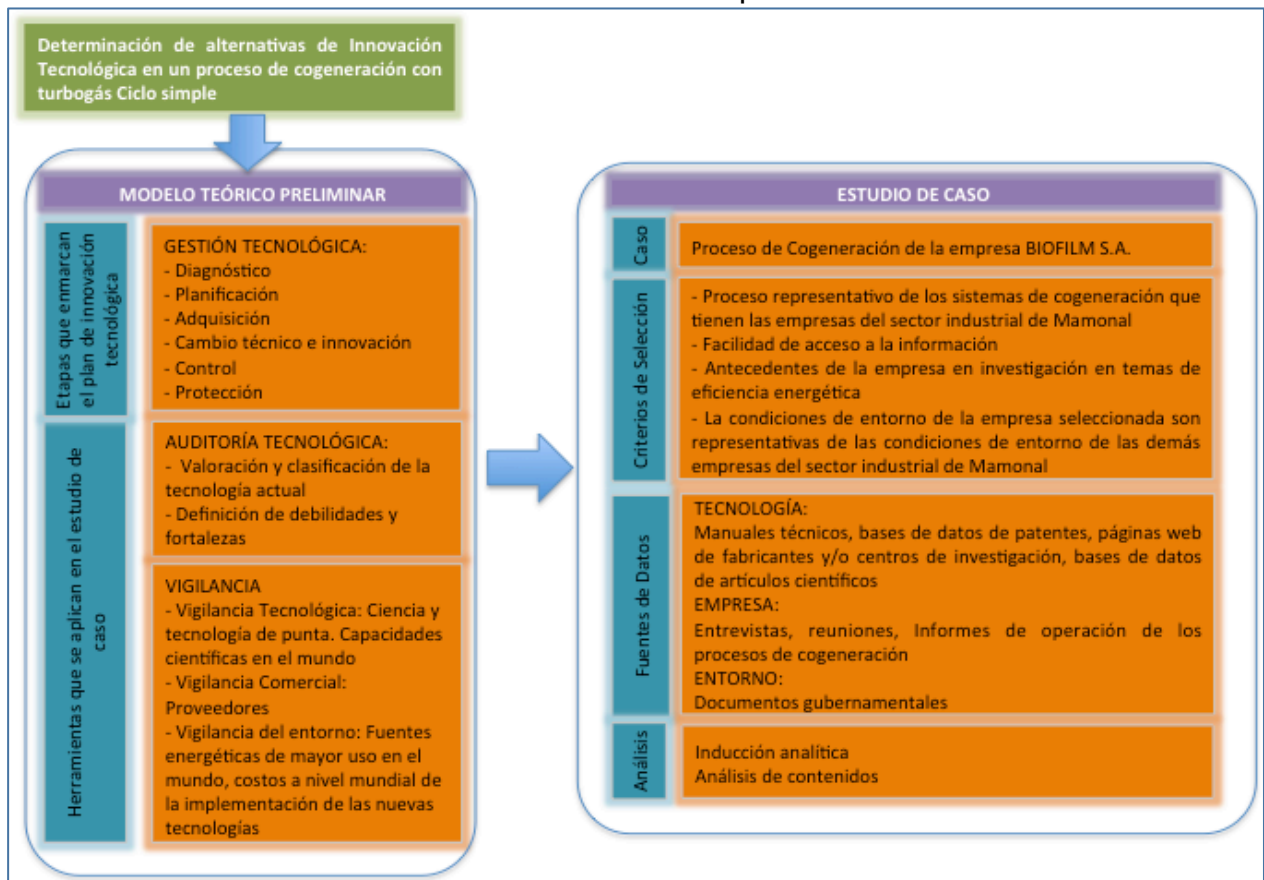
<b>Objetivo de la Investigación</b>	<b>Determinar alternativas de innovación tecnológica en un proceso de cogeneración con Turbogás ciclo simple, aplicando herramientas de Vigilancia mediante la metodología de Estudio de Caso</b>
<b>Metdología de la investigación</b>	Estudio de caso. Caso único descriptivo con una unidad de análisis y una subunidad
<b>Unidad de análisis</b>	BIOFILM S.A.
<b>Subunidad</b>	Proceso de Cogeneración
<b>Ámbito geográfico</b>	Cartagena de Indias (Colombia)
<b>Universo</b>	Autogeneradores menores de la ciudad de Cartagena
<b>Tipo de muestra</b>	Muestreo por selección intencionada, no aleatoria
<b>Muestra</b>	Una empresa con un proceso de cogeneración
<b>Método de recogida de la evidencia</b>	Revisión de documentos técnicos e información gubernamental Entrevistas semiestructuradas Búsquedas en bases de datos con soporte de software
<b>Fuentes de información</b>	Internas: Informes de operación, entrevistas Externas: Leyes, regulaciones, normas, manuales de equipos, bases de datos, páginas web
<b>Informadores clave</b>	Directos: Ingenieros de proceso, Ingenieros de Mantenimiento Indirectos: Jefe de Compras, Gerente de Planta, Ingenieros de Desarrollo
<b>Métodos de análisis de la evidencia</b>	<i>Modelo teórico preliminar</i> - Identificar las etapas de la gestión tecnológica - Definir alcance del proceso de auditoría tecnológica - Definir alcance del proceso de vigilancia tecnológica <i>Modelo Inducido</i> - Valorar y clasificar las tecnologías actuales. Valorar el proceso de gestión tecnológica actual en la empresa. - Identificar las variables que determinan la selección de la tecnología en la empresa. Especificar la aplicación - Vigilar actuales tendencias tecnológicas, tecnologías comercialmente disponibles y condiciones de entorno - Elaborar el plan de innovación tecnológica para la empresa - Socializar resultados
<b>Enfoque científico</b>	Inducción analítica a través de inferencia lógica. Se descubren relaciones entre características que parten de un esquema conceptual Análisis de contenido. Se clasifica información de las bases de datos para identificar tendencias tecnológicas
<b>Evaluación del rigor y calidad metodológica</b>	Validez y fiabilidad
<b>Fecha de realización</b>	Febrero de 2011 - Septiembre de 2012

Fuente: Elaboración propia

## 0.4.4 MODELO TEÓRICO PRELIMINAR

Este modelo preliminar se basa en la teoría de Gestión Tecnológica, de donde se obtienen las etapas que se seguirán para establecer el plan de innovación tecnológica. Igualmente, toma como base elementos herramientas de gestión, como son la Auditoría Tecnológica y el proceso de Vigilancia. En la figura se detallan los componentes teóricos de mayor importancia de cada eje temático.

Gráfica 3 Modelo teórico preliminar



Fuente: Elaboración Propia

## **0.5 MARCO TEÓRICO**

### **0.5.1 Cogeneración**

El concepto de cogeneración aplica a aquellas prácticas en las cuales se utiliza calor de desecho, vapor, materiales de desperdicio y/o equipos para múltiples conversiones energéticas incluyendo generación de energía eléctrica. (Ross, 1981).

Una definición más enfocada hacia los procesos productivos es propuesta por CONUEE, que establece que la cogeneración es la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria, y es hoy, una alternativa como método de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica regional y a la política internacional orientada a lograr un desarrollo sustentable.

En los procesos productivos como el de Biofilm, donde se requiere además de electricidad una fuente de energía térmica, (caliente o fría), es posible combinar la producción de electricidad con energía térmica, aprovechando los residuos del proceso de generación eléctrica que de otra forma se desecharían.

### **0.5.2 Innovación Tecnológica**

La innovación es el esfuerzo por crear un cambio decidido y enfocado en el potencial económico o social de una empresa. (Drucker, 1985).

Al introducir el término *tecnología* al concepto de innovación, se genera el concepto de *innovación tecnológica*, el cual implica, generar o realizar una nueva idea basada en tecnología, competitividad o conocimiento. Adicionalmente se requiere, materializar esta

idea en un producto o proceso y comercializar tal resultado. Entonces, la innovación tecnológica es una parte de la disciplina global de la innovación y se focaliza específicamente en la tecnología y en cómo incorporarla exitosamente en productos, servicios y procesos. (University of Pretoria).

La innovación tecnológica puede ser considerada desde al menos tres perspectivas: 1. El desarrollo tecnológico, 2. El impacto del desarrollo tecnológico en el desarrollo y la estructura de las empresas y 3. Los procesos mediante los cuales las organizaciones formulan e implementan cambios estratégicos de tecnología. (Eris & Saatcioglu, citando a Loveridge & Pitt)

Dentro del marco de esta investigación, se adopta la definición de innovación tecnológica propuesta por el Manual de Bogotá (basado en el Manual de Oslo), según el cual el concepto de Innovación Tecnológica en Productos y Procesos se refiere a la implementación tecnológica de nuevos productos y procesos o a mejoras significativas en éstos, ya sea como resultado de la difusión de conocimientos tecnológicos o de inversiones en I+D que generan novedades a nivel de la firma.

La innovación tecnológica es determinante en la diferenciación de las empresas, propone una mejor manera de hacer las cosas. Cuando las innovaciones son en procesos permite incrementar los estándares de productividad, reducir los tiempos de respuesta hacia los clientes y calificar el recurso humano al tenerse que adaptar a las nuevas tecnologías. Cuando las innovaciones son enfocadas en los productos y/o servicios, las empresas logran ampliar su portafolio y su mercado, acercarse a los clientes con soluciones más personalizadas e ir a la vanguardia en su sector productivo.

En esta investigación se plantea la determinación de alternativas de innovación tecnológica para un proceso de cogeneración. En este caso, realizar una innovación tecnológica en esta área, le permitirá a la empresa incrementar la eficiencia de su proceso de generación eléctrica que se traduce en mayor productividad. Así mismo le permite alinearse con las exigencias medio ambientales y de sostenibilidad cada día



mayores en los mercados internacionales. En cuanto a la generación de conocimiento, este trabajo le permite a la empresa involucrar herramientas de gestión tecnológica en áreas diferentes a las de desarrollo de productos y valorar la importancia del uso de las mismas en las áreas del proceso productivo.

### **0.5.3 Auditoría Tecnológica**

La auditoría tecnológica es la herramienta para diagnosticar la consistencia entre el uso de la tecnología y la estrategia de negocios de la organización. A través de su estrategia, las organizaciones actúan para crear y controlar un ambiente de negocios, es por ello que la tecnología, el mercado y la estrategia no pueden tratarse por separado en una organización, ya que de ser así, estaría conformada por islas de operación en las que falta articulación, sería un obstáculo mayor para la optimización de los recursos orientados a sostener la competitividad. (Acosta, Manzano & Salazar, citando a Muñoz, 2002).

En el proceso de auditoría tecnológica se analiza el patrimonio tecnológico de la empresa y se clasifican las tecnologías, lo que permitirá definir debilidades y fortalezas de la empresa y por tanto definir las acciones posteriores a desarrollar. La auditoría tecnológica siempre involucra un análisis previo por parte del empresario, una reunión con expertos internos o externos, un análisis por parte de expertos para definir acciones a realizar y el apoyo requerido. (Cámara Madrid, 2004).

En este trabajo de investigación, se adoptó la orientación propuesta por la Cámara de Madrid para realizar el proceso de auditoría tecnológica. La recopilación de la información obtenida de este proceso se detalla en el anexo 1.

#### 0.5.4 El proceso de Vigilancia

La vigilancia es el esfuerzo sistemático y organizado por la empresa de observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma por poder implicar una oportunidad o amenaza para esta. Requiere una actitud de atención o alerta individual. (Palop & Vicente, 1999). El objetivo de la vigilancia consiste en proporcionar buena información a la persona idónea en el momento adecuado. (Escorsa & Maspons, 2001, citando a Callon, Courtial & Penan, 2003).

En los últimos años la expresión *Vigilancia* está siendo sustituida paulatinamente por la de *Inteligencia*, aunque ambas palabras continúan siendo usadas indistintamente. (Escorsa & Maspons, 2001). Sin embargo, la tendencia a denominar Inteligencia a la práctica de la Vigilancia empresarial, se fundamenta en parte a la necesidad de cambiar la manera de vigilar de una forma tradicional de asistencia a ferias, captación desordenada de información y análisis aleatorio de oportunidades tecnológicas, a pasar a una gestión sistémica cuyos esfuerzos se alinean a una estrategia organizacional que se traduce en ventajas competitivas.

De acuerdo con la limitación de recursos en la empresa y de la superabundancia de información, se propone un enfoque selectivo de la vigilancia basado en la elección inicial de los aspectos a vigilar, llamados factores críticos de éxito. Estos factores son aquellos aspectos de la empresa que son fundamentales para la marcha y supervivencia de la misma y son: la calidad y eficacia de los modelos (de los productos), la eficacia de la red de competidores, el control estricto de los costos de producción, el respeto de las normas energéticas y la conservación de la paz social en las empresas. (Escorsa & Maspons, 2001 y Pedroza, 2001, citando a Jakobiak, 1991 y 1992).

Otra clasificación de la actividad de la vigilancia es propuesta por Martinet & Ribault (1989) a partir de los cuatro factores determinantes de la competitividad en las empresas propuesto por Michael Porter: Vigilancia tecnológica, vigilancia competitiva, vigilancia comercial y vigilancia de entorno. (Palop & Vicente, 1999). Para el desarrollo de la presente investigación se adoptará esta clasificación para abordar el proceso de vigilancia.

Dentro de esta clasificación se expone que la vigilancia tecnológica está centrada en el seguimiento de los avances del estado de la técnica y en particular de la tecnología y de las oportunidades / amenazas que genera.

La norma UNE 166006:2006 EX define la Vigilancia Tecnológica como el “proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios.” (Correa, 2012). Esta última definición se apropia como base para la etapa de vigilancia tecnológica que se realiza en esta investigación.

Se complementa la anterior definición, con los aspectos que debe permitir la Vigilancia Tecnológica (Escorsa & Maspons, 2001):

- Las tecnologías en que se está investigando (publicando o patentando) en una determinada área
- Las soluciones tecnológicas disponibles
- Las tecnologías emergentes que están apareciendo
- La dinámica de las tecnologías (qué tecnologías se están imponiendo y cuáles se están quedando obsoletas)
- Las líneas de investigación y las trayectorias tecnológicas de las principales empresas que compiten en el área

- Los centros de investigación, equipos y personas líderes en la generación de nuevas tecnologías, capaces de transferir tecnología.

De acuerdo con la clasificación de Martinet & Ribolt que orienta este trabajo, la vigilancia comercial estudia los datos referentes a clientes y proveedores (evolución de las necesidades de los clientes, solvencia de los clientes, nuevos productos ofrecidos por los proveedores), mientras que la vigilancia del entorno se ocupa de la detección de aquellos hechos exteriores que pueden condicionar el futuro, en áreas como la sociología, la política, el medio ambiente, las reglamentaciones, etc.

Este es un estudio de caso en el cual la tecnología que se va a investigar, si bien puede representar para la empresa ventajas o desventajas competitivas, no es una tecnología núcleo de su producto final. Por esta razón, la vigilancia comercial se enfocará en los nuevos productos ofrecidos, que se hallan comercialmente disponibles mientras que la vigilancia del entorno se delimitará a las regulaciones, medio ambiente y prácticas de uso de las tecnologías de interés en la región donde se encuentra ubicada la empresa objeto de estudio, tomando solamente algunos referentes exteriores para realizar comparativos necesarios.

La vigilancia competitiva, dedicada al análisis de los competidores actuales y potenciales de la empresa y productos sustitutos, no se establece como objetivo de esta investigación.

### **0.5.5 Gestión Tecnológica**

La gestión tecnológica puede concebirse como la administración del conocimiento para dinamizar un proceso productivo a través de la introducción sistemática de innovaciones tecnológicas y no solo vista como la adquisición de equipo, maquinaria y demás instrumentos. (Villalonga, 2003 citado por Perozo, Nava). Este concepto se

complementa con el de Perozo y Nava, 2005, atribuyendo la gestión tecnológica como el acto por el cual se introduce por primera vez un cambio técnico determinado en una empresa, cuyo resultado propicia la reorganización sustancial de un proceso avalado por su éxito comercial. De acuerdo con Castellanos (2007), esta gestión es más que la suma de los elementos o variables tecnológicas involucradas en las tecnologías dura y blanda, constituye una visión organizacional fuerte y coherente que incorpora la tecnología como un elemento natural en las decisiones gerenciales.

La gestión tecnológica ha evolucionado desde los años setenta, cuando se concebía como gestión de la investigación y desarrollo, caracterizada porque los cambios tecnológicos se consideraban como predecibles y fundamentando el forecasting<sup>5</sup> como herramienta de gestión. A mediados de los setenta, surge la gestión de la innovación, enfocada en innovaciones radicales, considerando rápidos cambios tecnológicos, alta incertidumbre y cortos ciclos de vida. Hacia los años ochenta, se impone la planeación estratégica, basada en mayor inversión en investigación y desarrollo y promoviendo el acortamiento entre el tiempo del descubrimiento y su respectiva aplicación. Es a finales de los ochenta e inicio de los noventa, cuando emerge la gestión tecnológica estratégica en respuesta a los problemas previamente presentados con los otros enfoques como son la baja velocidad de absorción de tecnologías, implementación de tecnologías no satisfactorias, pobre manejo de las consecuencias sociales de las nuevas tecnologías y la división existente entre la implementación de nuevas tecnologías y el entorno organizacional. Drejer, A. (citado por Castellanos, 2007).

Diversos autores especifican las actividades de la Gestión Tecnológica en las empresas actualmente. Ver Tabla 1. La primera etapa de los modelos de Gestión Tecnológica

---

<sup>5</sup> Technological Forecasting, (Javier Medina citando a Cristo, 2000), es la identificación de probabilidades de ocurrencia de eventos futuros. Trabaja con información de evolución histórica, modelación matemática de tendencias y análisis de proyecciones futuras, realizadas generalmente de forma periódica.

analizados, es común a todos y es la concerniente a la evaluación del estado actual de la tecnología en la empresa, incluyendo las actividades de auditoría tecnológica, identificación de la necesidad tecnológica y vigilancia tecnológica.

La etapa de planeación, solo considerada en los modelos de Castellanos y la Norma Mexicana de Gestión Tecnológica, tiene como objetivo la formulación de objetivos y metas específicas del cambio y desarrollo tecnológico, de acuerdo con la estrategia general de la empresa.

Posteriormente, está el proceso de adquisición tecnológica, que puede ser ya sea mediante compra, desarrollo interno o cooperación. En esta etapa se consideran las alternativas de adquisición, requerimientos de negociación, acuerdos de cooperación o requisitos para el desarrollo tecnológico interno, según sea el caso.

Una vez adquirida la tecnología por el método seleccionado, se procede con la implantación de la nueva tecnología, que debe incluir la preparación del talento humano, desarrollo de infraestructura si se requiere por lo que debe sustentarse en procesos formales de transferencia tecnológica, ya sea de entidades externas hacia la empresa o de un departamento interno de I + D hacia los usuarios de la tecnología desarrollada.

En última instancia, algunos autores (Castellanos, Perozo y Nava, COTEC), consideran el proceso de aprendizaje, en el cual la empresa debe evaluar los resultados de su innovación tecnológica y retroalimentar la estrategia de gestión para reestructurar los planes. Es decir, involucrar el mejoramiento continuo en la gestión tecnológica.

Tabla 2 Actividades de Gestión Tecnológica según diversos autores

AUTOR	Oscar Castellanos, 2007	Edinson Perozo y Ángel Nava, 2005	Fundación COTEC. Citado por Baena, Botero y Montoya, 2003.	Pavón e Hidalgo, citado por Luis Vega, 2006 (CTS + I)	NMX-GT Citado por Morales Roberto	Rizo Noemí y Pérez Marlet, 2003
ETAPAS	Diagnóstico	Prospección Selección	Vigilar Focalizar	Inventariar Vigilar Evaluar	Vigilar	Evaluación y Selección
	Planificación				Planear	
	Adquisición y desarrollo interno	Negociación Adquisición			Proveer	Negociación
	Cambio técnico e Innovación	Adaptación Modificación Generación Innovación	Capacitarse Implantar	Enriquecer Asimilar		Utilización, asimilación y adaptación Generación
	Control y Evaluación	Aprender	Aprender			
				Proteger	Proteger	

Fuente: Elaboración propia

Otros autores consideran como última actividad de la gestión tecnológica, la protección, (Pavón e Hidalgo, NMX-GT), sin embargo, la necesidad de proteger o no la innovación tecnológica puede variar dependiendo de la aplicación y el contexto de la implementación misma.

Para el desarrollo del presente estudio de caso, se aplica el modelo de Gestión Tecnológica propuesto por Castellanos 2007, para orientar a la empresa en el proceso de innovación tecnológica en el proceso de cogeneración. Este modelo integra todas las etapas de Gestión Tecnológica propuestas por los otros autores, exceptuando la etapa de *proteger*. Esta última etapa se descarta para este estudio, debido a que la tecnología que se investiga no es una tecnología de núcleo para la empresa, sino, una tecnología transversal de los autogeneradores de la región, razón por la cual, el

proceso de adquisición será compra y no desarrollo interno y la propiedad industrial no corresponde a la empresa de este estudio de caso.



## **1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

### **1.1 BIOFILM**

Biofilm es una empresa de producción de películas de polipropileno biorientado (BOPP), con plantas de producción instaladas en México y en Colombia, inició su operación en 1988 en la planta ubicada en el sector industrial de Mamonal - Cartagena, es principalmente exportador y atiende importantes mercados en Europa y el continente americano.

Para Biofilm la innovación es un objetivo estratégico, lo cual se refleja en su mapa de proceso y en su direccionamiento. Cuenta con un departamento de Desarrollo de Productos, cuya función es la desarrollar tanto nuevos productos como tecnologías de películas de polipropileno biorientado.

Sin embargo, la innovación en Biofilm no se ciñe únicamente al desarrollo de productos, dentro de la compañía también se promueve la innovación en el proceso productivo. Cabe destacar el proyecto pionero de eficiencia energética, el cual surgió de la relación Universidad – Empresa, y consistió en la implementación de un modelo de Gestión Energética Empresarial, 2007, que fue un proyecto demostrativo para el Sector Productivo Nacional. Este proyecto, enfocó sus acciones en el uso final de la energía, manteniendo un programa de mejoramiento continuo en las áreas productivas y creando una cultura del uso eficiente de la energía en la compañía.

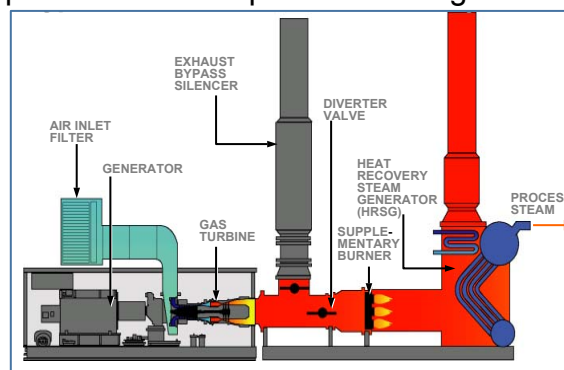
Posteriormente, se realizó un trabajo de investigación en las centrales de cogeneración, denominado Mejoramiento de la Eficiencia Termoenergética de Turbogeneradores a Gas, 2010, el cual se diseñó en su parte metodológica en conjunto con la Universidad Tecnológica de Bolívar como parte del Programa de Maestría en Ingeniería y en este momento está en su parte práctica en proceso de implementación.

Como acciones de gestión tecnológica, en Biofilm se ha evaluado la necesidad de sustituir algunos de los equipos de uso final de energía en la planta, con el objetivo de reducir los consumos energéticos, por la vía de la actualización tecnológica. Aún no existen acciones encaminadas a evaluar la conveniencia de reemplazar la tecnología de las unidades de cogeneración, por una tecnología actual que propicie mejores índices de explotación.

## 1.2 EL PROCESO DE COGENERACIÓN

El proceso de cogeneración de Biofilm S.A., consta de dos centrales termoeléctricas, de capacidades 4,8 MW y 5 MW, respectivamente, las cuales generan energía eléctrica a partir de una turbina de gas (turbogás), configurada en ciclo simple, que implica una sola etapa de generación de energía eléctrica. La electricidad se produce a partir de la combustión del gas natural y la generación de energía térmica, en este caso el vapor requerido para el proceso productivo, se genera a partir de la recuperación de los gases de desecho de la combustión. Dicho vapor es aprovechado tanto para procesamiento de la película a su paso por la línea de producción, como para el accionamiento de equipos de refrigeración. Una representación típica de este proceso se observa en la gráfica 4.

Gráfica 4 Representación del proceso de cogeneración de Biofilm



Fuente: Solar Turbines

## **2. TECNOLOGÍAS EMERGENTES QUE PUEDEN APLICARSE A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN**

### **2.1 ANÁLISIS DE LAS CAPACIDADES NACIONALES PARA LA INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE COGENERACIÓN**

Dado que los procesos de innovación tecnológica en las empresas incluyen además de las etapas de diagnóstico, planificación y adquisición de tecnología, la fase de asimilación y adaptación tecnológica, la cual comprende la transferencia de la tecnología y fomento del nuevo conocimiento hacia el usuario final, se requiere identificar las instituciones académicas que puedan ofrecer soporte en estas etapas críticas para garantizar que el proceso de implantación de la nueva tecnología sea exitoso.

Para el proceso de identificación de las instituciones y grupos de investigación objeto de nuestro estudio, se utilizó la plataforma Scienti de Colciencias y se siguió el siguiente procedimiento:

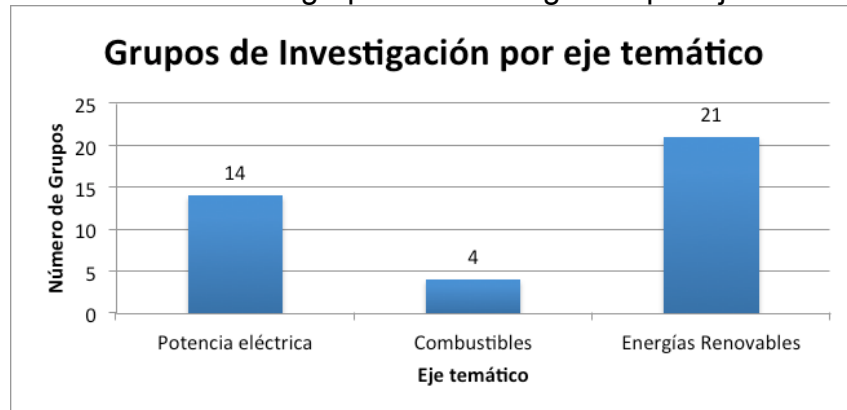
1. Identificación de los ejes temáticos del problema, los cuales sirvieron de base para la determinación de las ecuaciones de búsqueda de los grupos de investigación
2. Se aplicaron las ecuaciones de búsqueda determinadas, y para los grupos de investigación obtenidos, se identificó la siguiente información: nombre, institución académica a la que pertenece, líneas de investigación, sectores de aplicación y trabajos de investigación de interés con relación a nuestro problema de estudio.
3. Análisis de la información

Los ejes temáticos de búsqueda de los grupos de investigación fueron los siguientes:

1. Potencia eléctrica, con el fin de abarcar los aspectos de generación eléctrica, sistemas distribuidos de energía y mercados de energía.
2. Combustibles, comprendiendo los temas de diversificación de combustibles y máximo aprovechamiento del combustible.
3. Energías renovables, para evaluar la intensidad investigativa en Colombia en torno a energías renovables y su aplicación en la cogeneración.

Con las ecuaciones de búsqueda aplicadas, se hallaron un total de 39 grupos de investigación, de los cuales 14 clasificaron dentro del rango de *Potencia Eléctrica*, 4 clasificaron en el rango de *Combustibles* y los 21 restantes clasificaron en la categoría de *Energías Renovables*.

Gráfica 5 Número de grupos de investigación por eje temático



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti – Colciencias.

En el Anexo 1, se encuentran los grupos de investigación que resultaron de la búsqueda aplicada, detallando institución académica a la cual pertenecen, categoría, líneas de investigación, sectores de aplicación y trabajos de interés.

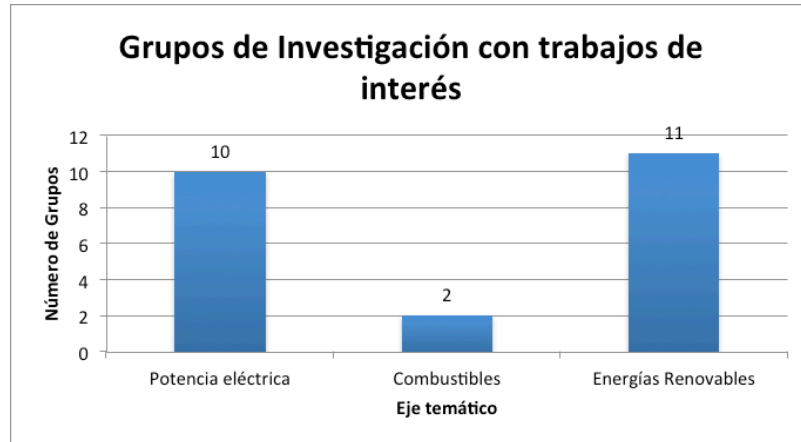
Posteriormente para seleccionar los grupos de mayor afinidad con el objetivo de este estudio, se estudiaron los títulos de los trabajos desarrollados por cada grupo,

buscando con esto identificar aquellos que muestren mayor experiencia en pro de acompañar un proceso de implementación de una nueva tecnología de cogeneración. Se consideraron trabajos de interés aquellos que se han desarrollado alrededor de los siguientes temas:

- Explotación de energías renovables para la generación eléctrica
- Eficiencia de sistemas energéticos que utilizan energías renovables
- Generación distribuida
- Mercados de energía
- Sistemas de potencia eléctrica
- Regulación energética
- Implementación de nuevas tecnologías de generación eléctrica
- Prospectiva del sector energético
- Gestión del Conocimiento / Desarrollo curricular / Aprendizaje virtual
- Simulación de sistemas de generación eléctrica
- Estudio de emisiones de combustibles alternativos vs. combustibles convencionales
- Modelos económicos de sistemas de generación de energía

De los treinta y nueve (39) grupos obtenidos mediante las ecuaciones de búsqueda alrededor de los ejes temáticos, se encontraron veintitrés (23) que han desarrollado trabajos de interés en torno al problema de investigación. Ver Gráfica 6.

Gráfica 6 Número de grupos de investigación con trabajos de interés por eje temático



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti – Colciencias.

Se identificaron 64 trabajos de interés, de los cuales 18 (28%), clasifican dentro del área de Explotación de energías renovables, 9 (14%) clasifican dentro del área de Mercados de Energía, 8 (13%) clasifican dentro del área de Sistemas de Potencia Eléctrica. Se destaca también el número de trabajos desarrollados alrededor de las áreas de Regulación Energética e Implementación de Nuevas Tecnologías con una participación de 9% cada una. Los trabajos en torno a Estudios de Emisiones Ambientales son 5 y representan el 8% del total. Las área de interés con menor participación en el desarrollo de trabajos de investigación son Gestión del Conocimiento (6%), Simulación de Sistema de Generación (5%) y Prospectiva Energética (3%). No se identificó ningún trabajo desarrollado en torno al tema Modelos Económicos de Generación Eléctrica.

Gráfica 7 Trabajos desarrollados en torno a temas de interés



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti – Colciencias.

De acuerdo a la búsqueda de Grupos de Investigación y análisis de los trabajos desarrollados, es posible concluir que en Colombia disponemos de las capacidades académicas e investigativas para apoyar los procesos de transferencia y gestión de conocimiento necesarios para lograr una implementación exitosa de una nueva tecnología de cogeneración.

A pesar de que no se encontraron trabajos desarrollados en torno al tema de Modelos Económicos de Generación Eléctrica, podemos deducir que es posible desarrollarlos a partir de la experiencia que ya se tiene en materia de Simulación de Sistemas de Generación Eléctrica y Mercados de Energía, los cuales en conjunto aportan las capacidades para los modelos económicos.

Es de gran interés haber encontrado grupos que han desarrollado trabajos de Gestión del Conocimiento, Desarrollo Curricular y Sistemas de Aprendizaje Virtual, pues aunque sus líneas de investigación principal giran en torno a sistemas energéticos, han acompañado sus investigaciones con procesos de Gestión del Conocimiento.

Se destaca la cantidad de trabajos desarrollados alrededor de temas como Mercados de Energía, Regulación Energética e Implementación de Nuevas Tecnologías, ya que esta experiencia es muy necesaria al momento de incursionar en nuevos modelos de generación eléctrica, los cuales requerirán un apoyo en materia de investigación para interactuar con el Sistema Energético Nacional y las entidades gubernamentales que lo regulan actualmente.

## **2.2 ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO**

El análisis Bibliométrico, se realizó usando la base de datos bibliográfica EBSCO, seleccionando entre sus categorías la base de datos GreenFILE, que provee información basada en fuentes académicas provenientes de investigaciones confiables.

Posteriormente, se formularon las ecuaciones de búsqueda las cuales se presentan en la tabla 3.



Tabla 3 Ecuaciones de búsqueda de artículos

	Operador	Ecuación	Sección del artículo	Número de artículos obtenidos
Búsqueda 1		Cogeneration	Resumen	43
	AND	Natural Gas	Resumen	
	NOT	Carbon	Resumen	
Búsqueda 2		Distributed Energy	Resumen	10
	AND	Cogeneration	Resumen	
Búsqueda 3		Renewable energy	Resumen	51
	AND	Cogeneration	Resumen	
Búsqueda 4		Distributed Energy	Resumen	55
	AND	Renewable energy	Resumen	

Fuente: Elaboración propia

Los ejes temáticos seleccionados para las ecuaciones de búsqueda fueron: Cogeneración, Gas Natural, Energía Distribuida y Energías Renovables. A continuación se presenta la justificación de cada uno de estos términos clave:

**Cogeneración:** La tecnología actualmente instalada soporta un proceso de cogeneración. Los procesos de cogeneración en sí mismos, ofrecen mayor eficiencia que los procesos de generación eléctrica y procesos de generación térmica en unidades separadas. De ahí que la tecnología de cogeneración actualmente instalada debe competir con otra tecnología de cogeneración.

**Gas Natural:** Es el combustible actualmente utilizado. Dentro de los combustibles fósiles es el menos impactante. En la actualidad es muy asequible para el sector industrial. Se considera dentro de la investigación por ser el combustible de transición entre los combustibles fósiles tradicionales (ACMP, Fuel Oil, Carbón), y las energías renovables.

**Energía Distribuida:** Es el proceso de generación de energía que se realiza en el lugar donde se consume la energía, obedece a capacidades de menor escala, puesto que

son sistemas para consumos individuales, a diferencia de las grandes centrales termoeléctricas que distribuyen energía para ciudades enteras. Por ser las centrales de cogeneración objeto de este estudio de propiedad del usuario final y estar ubicadas en el punto de consumo, se investigan las tecnologías para esta aplicación.

**Energías Renovables:** Las energías renovables son de menor impacto ambiental que los combustibles fósiles convencionales, y por ser fuentes no agotables implicarían menores costos operacionales. Es de interés de este estudio evaluar la aplicabilidad de las energías renovables en el sistema objeto de esta investigación.

**Carbón:** Se depuran los artículos que incluyen tecnologías a base de carbón, dado que es una fuente de elevado impacto ambiental.

Posteriormente, se utilizó el software de procesamiento JabRef, con el cual se compiló la información total obtenida en las 4 búsquedas. Igualmente, se hallaron duplicados de los resultados en las búsquedas procesadas. Con la ayuda del software se obtuvieron 19 duplicados los cuales se eliminaron de la muestra. Luego, se realiza un filtrado visual, mediante la lectura de artículos con el objetivo de encontrar otros artículos coincidentes que fuese necesario eliminar previamente al análisis estadístico y también para identificar las tecnologías emergentes para dar solución al problema tecnológico identificado.

A continuación se presenta el análisis estadístico desarrollado. Inicialmente, se presenta el número de artículos por año determinados con estas ecuaciones de búsqueda. Se observa que hay una tendencia creciente en publicaciones entre los años 2006 y 2009, donde el número de artículos publicados por año estuvo entre 10 y 25, contrario a los años anteriores donde el mayor fue en el 2003 que hubo 7 artículos pertinentes al tema. En el período 2010 – 2011 se observa una reducción en torno a las publicaciones obtenidas en el área de interés, con un promedio de 15 artículos por año.

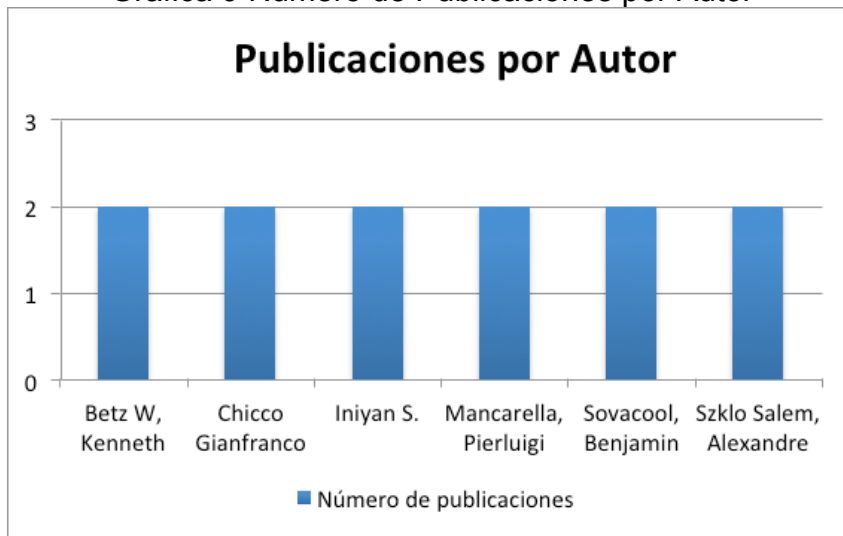
Gráfica 8 Número de artículos publicados por año



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO

En la búsqueda realizada no se observó un autor predominante en las publicaciones, en el gráfico siguiente se presentan los autores que presentaron más de un artículo en la muestra.

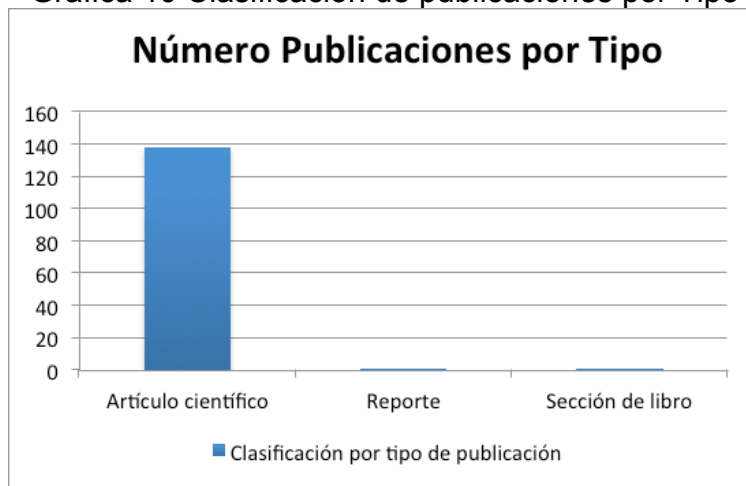
Gráfica 9 Número de Publicaciones por Autor



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO

En cuanto a tipos de publicaciones, predomina el tipo artículo científico. Ver gráfica 10.

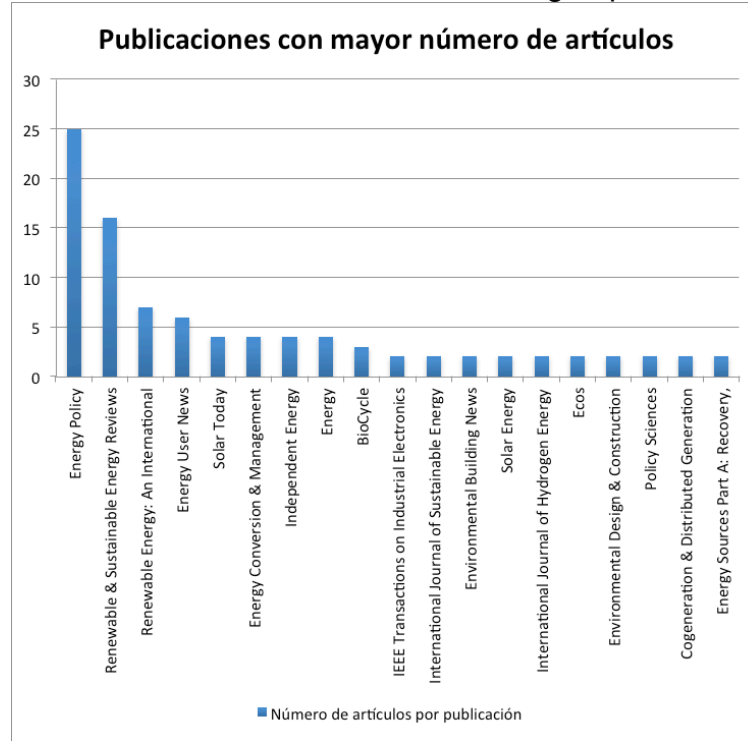
Gráfica 10 Clasificación de publicaciones por Tipo



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO

Al analizar las publicaciones (revistas), se observa la participación destacada de Energy Policy y Renewable & Sustainable Energy Reviews, quienes presentan 25 y 16 publicaciones respectivamente. En un segundo nivel de participación, sobresalen Renewable Energy: An International Journal y Energy User News. Ver gráfica 11.

Gráfica 11 Distribución de artículos según publicación

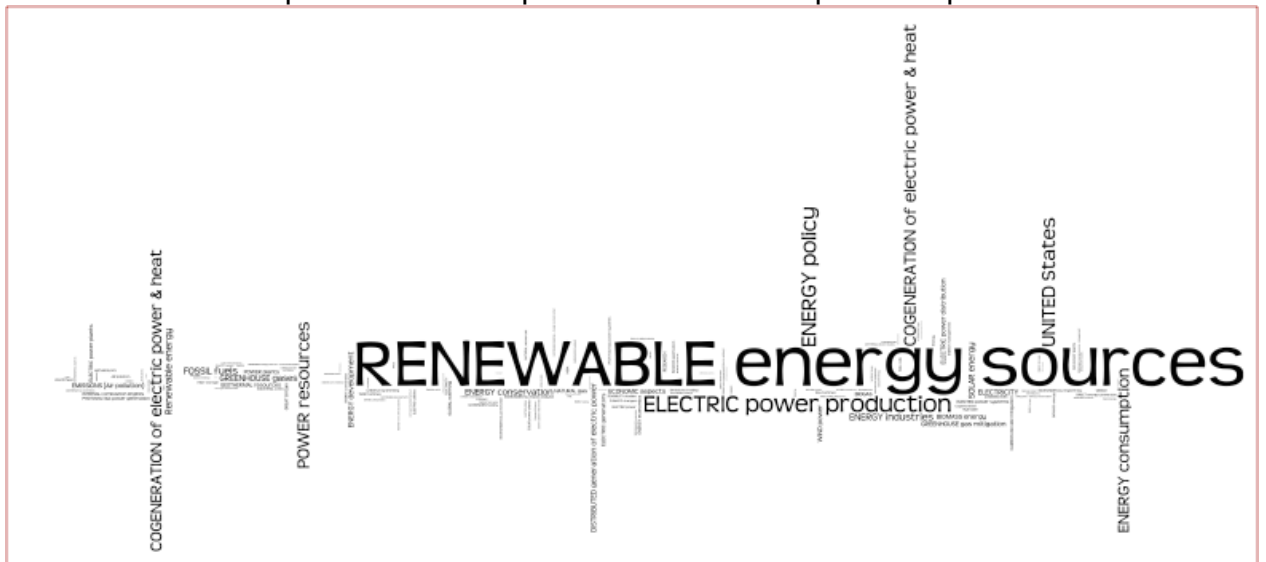


Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO

Al realizar un análisis con las palabras clave de los artículos, con relación a los términos más frecuentes en las investigaciones, sobresalen:

- Fuentes renovables de energía
- Política Energética
- Recursos energéticos
- Cogeneración de energía eléctrica y calor
- Estados Unidos
- Consumo de Energía

Gráfica 12 Representación de palabras clave de impacto en primer nivel



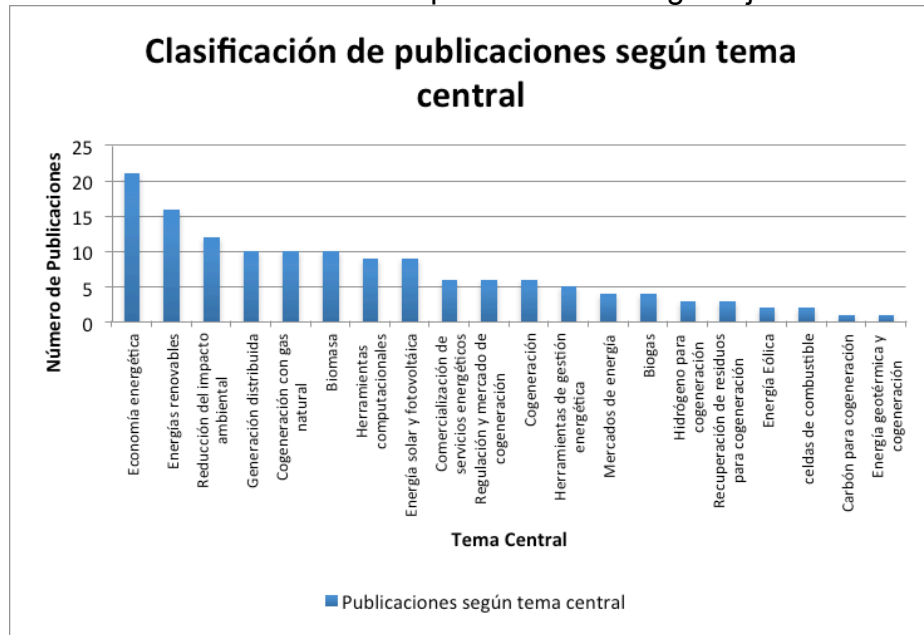
Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO y con ayuda de wordle.net

Se realizó un segundo filtrado, para hallar ejes temáticos que en segundo nivel se destacan en los artículos científicos, obteniendo los siguientes:

- Energía Solar
- Conservación de Energía
- Energía Industrial
- Electricidad
- Gases de Efecto Invernadero
- Combustibles fósiles
- Generación distribuida de Energía Eléctrica



Gráfica 14 Clasificación de publicaciones según eje temático

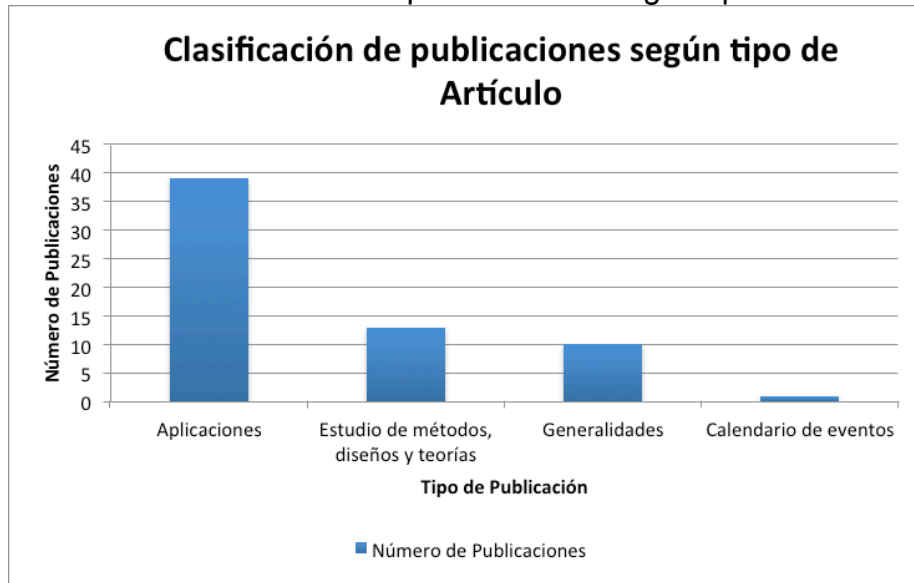


Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO.

En cuanto a tipo de estudio, sobresalen los casos de estudio, los cuales son el 55% de los artículos, seguido de estudios de aplicación con el 28%. En un tercer y distante nivel están los estudios de métodos, diseños y teorías, con una participación de 9%.



Gráfica 15 Clasificación de publicaciones según tipo de artículo



Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO

Finalmente, se presentan a continuación, los artículos que presentan una solución posible para el problema de investigación objetivo. Cabe anotar que algunos de estos artículos no presentan una solución tecnológica en sí misma, pero presentan una metodología que puede coadyuvar con la identificación de la tecnología apropiada o con la optimización del uso de la tecnología actualmente instalada.

Tabla 4 Artículos seleccionados como posible solución al problema de investigación

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	AUTOR	AÑO
Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia	Analiza la posibilidad de implementar un sistema de generación con energía fotovoltaica en Colombia, como opción de generación distribuida	Hernández et al.	2011
Decentralised optimisation of cogeneration in virtual power plants.	Método de optimización para administrar la alimentación de sistemas térmicos locales con Cogeneración de Calor y Electricidad, calderas y almacenamiento térmico	Wille-Hausmann et al.	2010
Experimental analysis of photovoltaic cogeneration modules	Modelo de cálculo de Eficiencia térmica y eléctrica de algunos prototipos de generación eléctrica a partir de energía fotovoltaica, dependiendo de la radicación solar, flujo de agua, entrada de temperatura	Busato et al.	2008
Environmental data processing by clustering methods for energy forecast and planning	Metodología para calcular el potencial de energía renovable disponible en un lugar, especialmente energía solar y eólica.	Di Piazza et al.	2011
Polygeneration and efficient use of natural resources	Ciclo de Poligeneración e integración de energía	Serra et al.	2009
COOLCEP (cool clean efficient power): A novel CO2-capturing oxy-fuel power system with LNG (liquefied natural gas) coldness energy utilization.	Cogeneración con gas natural licuado, refrigerando CO2 para proveer refrigeración y desechar el CO2 sin emitir a la atmósfera	Zhang et al.	2010
Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes.	Integrar energía solar a los procesos de cogeneración y otros. Tiempo de retorno, 3 años	Schnitzer et al.	2007
Sustainability assessment of a hybrid energy system	Sistemas híbridos con energías solar, eólica, biomasa y gas natural	Afgan and Carvalho	2008
Energy and Economic Analyses of Integrated Biogas-Fed Energy Systems	Diferentes fuentes de biomasa, y diferentes tecnologías asociadas. Etapas de procesos y análisis técnicos económicos	Bettocchi et al.	2009

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de EBSCO.

## 2.3 ANÁLISIS PATENTOMÉTRICO

Para el presente estudio se utilizó la plataforma especializada en análisis de patentes Patbase, desarrollada por Minesoft y RWS Group, ambas compañías especializadas en herramientas avanzadas para investigación y desarrollo. Patbase incluye registros de las principales oficinas de patentes en el mundo: IPC (International Patent Clasification), USPC (United States Patent Clasification) y ECLA (Euorpean Clasification System), entre otros. En total, Patbase dispone de información de 95 oficinas de patentes en los diversos países en el mundo. Esta herramienta permite fácilmente la identificación de países líderes tecnológicos, evaluación de las tendencias de innovación alrededor de una temática, conocer empresas que abanderan la innovación en determinada área e inventores sobresalientes.

Para el problema que nos concierne se delimitó la búsqueda, tomando como base los resultados del análisis cuantitativo, los cuales mostraron que en el área de Cogeneración, existen tendencias tecnológicas hacia la Cogeneración con las fuentes energéticas Gas Natural, Biomasa y Energía Solar. Dado que el gas natural es un combustible que se mantiene, se realizan tres búsquedas alrededor de este tema considerando inicialmente generalidades (Cogeneración AND Natural Gas), posteriormente las turbinas de gas enfocando la búsqueda hacia la reducción de emisiones ambientales (Gas Turbine AND Low Emissions), y por último se realiza una búsqueda enfocada hacia la caldera recuperadora de calor, la cual es un elemento núcleo del proceso de cogeneración, enfocando la búsqueda hacia la eficiencia (Heat Recovery Steam Generation AND Efficiency). Otra búsqueda se orienta al tema de la Polygeneración, (Polygeneration) la cual es una innovación de ciclo o de proceso, y que es tratada en alguno de los artículos de interés seleccionado en el estudio cuantitativo. La última búsqueda se hace alrededor de las energías renovables y su

aplicación en la cogeneración (Renewable Energy AND Heat and Power Generation). A pesar que en el estudio cuantitativo se mostró una tendencia tecnológica hacia la cogeneración con Biomasa y Energía Solar y fotovoltaica, aquí no se delimita la búsqueda alrededor de estas fuentes para identificar si se mantienen los mismos patrones tecnológicos, y para no inclinar la investigación alrededor de una fuente de energía renovable que no esté suficientemente justificada, dado que actualmente estas fuentes son de difícil consecución y/o elevado costo de inversión.

Tabla 5 Ecuaciones de búsquedas de patentes

	Operador	Ecuación	Sección del artículo	Número de patentes obtenidas
Búsqueda 1		Cogeneration	Titulo y Resumen	54
	AND	Natural Gas	Titulo y Resumen	
	NOT	Carbon	Titulo y Resumen	
	NOT	Coal	Titulo y Resumen	
Búsqueda 2		Gas turbine	Titulo y Resumen	39
	AND	Low emissions	Titulo y Resumen	
Búsqueda 3		Polygeneration	Titulo y Resumen	50
Búsqueda 4		Heat Recovery Steam Generator	Titulo y Resumen	45
	AND	Efficiency	Titulo y Resumen	
Búsqueda 5		Renewable Energy	Titulo y Resumen	51
	AND	Heat and Power Generation	Titulo y Resumen	

Fuente: Elaboración propia

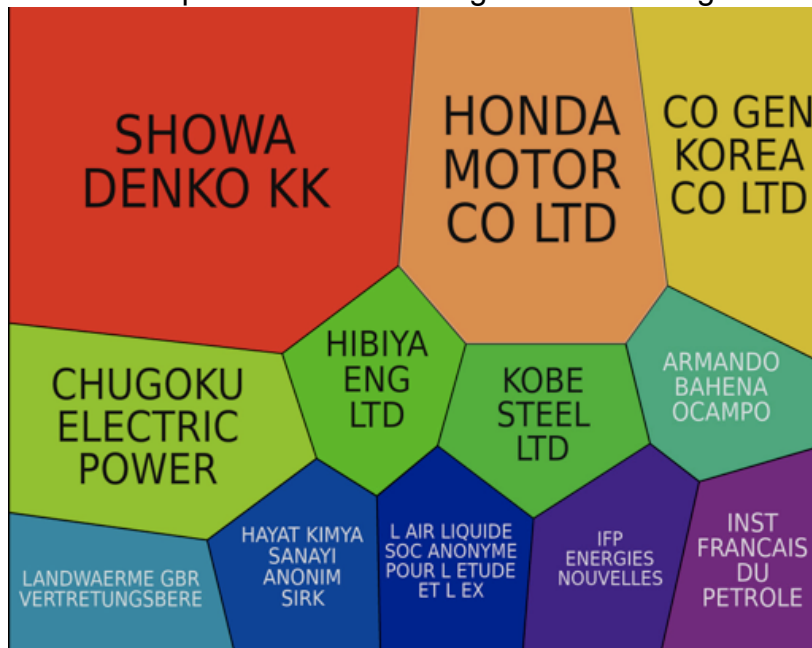
### 2.3.1 Búsqueda 1: Cogeneración y gas natural

#### *Líderes tecnológicos según la búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural*

De acuerdo como se observa en la gráfica 16 las empresas líderes en el área de cogeneración con gas natural son: Showa Denko KK; Honda Motor CO Ltd y CO GEN KOREA CO LTD. La empresa Showa Denko KK atiende diversos sectores entre los que se destacan el sector petroquímico, químico y electrónico. Dentro de la búsqueda

objetivo esta empresa se destaca en la investigación de componentes mecánicos (dispositivos a presión) aplicados para dispositivos de generación. Por su parte la empresa Honda Motor Co Ltda, líder en el sector automotriz, ha desarrollado una nueva línea de cogeneración para aplicaciones residenciales aportando energía eléctrica y agua caliente para las necesidades en los hogares.

Gráfica 16 Empresas líderes en cogeneración con gas natural



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Tendencias tecnológicas según la búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural*

Los principales ejes temáticos alrededor de los cuales giran las investigaciones de patente para la búsqueda de cogeneración y gas natural son: Heat Exchanger (Intercambio de calor), Exhaust gas (Gas de desecho o gas de exhosto), Gas Turbine (Turbina de gas) y Thermal Energy (Energía Térmica). Ver Gráfica 17.

Es importante anotar que aunque existen otras tecnologías para cogenerar a partir de gas natural como son los motores de combustión interna, las turbinas de gas son un eje sobresaliente de las investigaciones de patente en el tema.

Gráfica 17 Keywords principales y secundarias alrededor del tema Cogeneración con Gas Natural

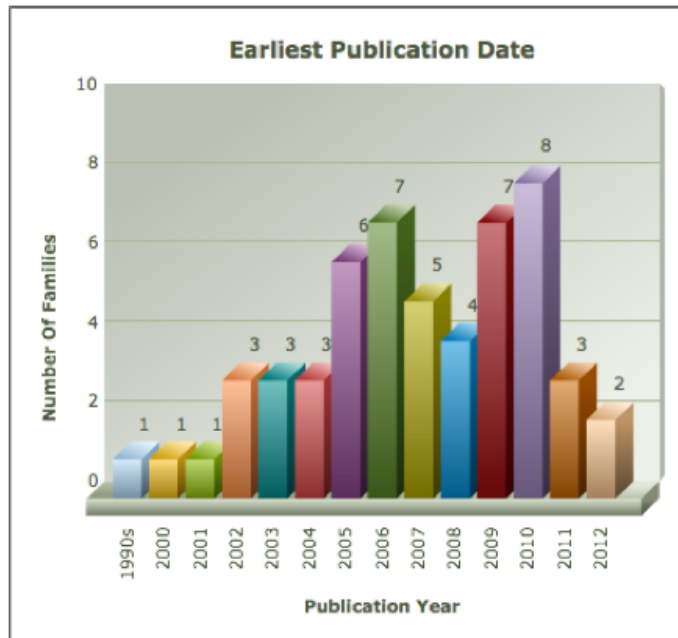


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

#### *Dinámica de innovación del área: Cogeneración y Gas Natural*

El área Cogeneración con Gas Natural ha tenido su mayor dinámica de innovación entre los años 2005 y 2010, en los cuales se observa mayor número de patentes publicadas. Esta dinámica creciente se vio mermada en el año 2011, con solo 3 publicaciones de patentes en el año.

Gráfica 18 Número de patentes publicadas por año en el área de cogeneración y gas natural

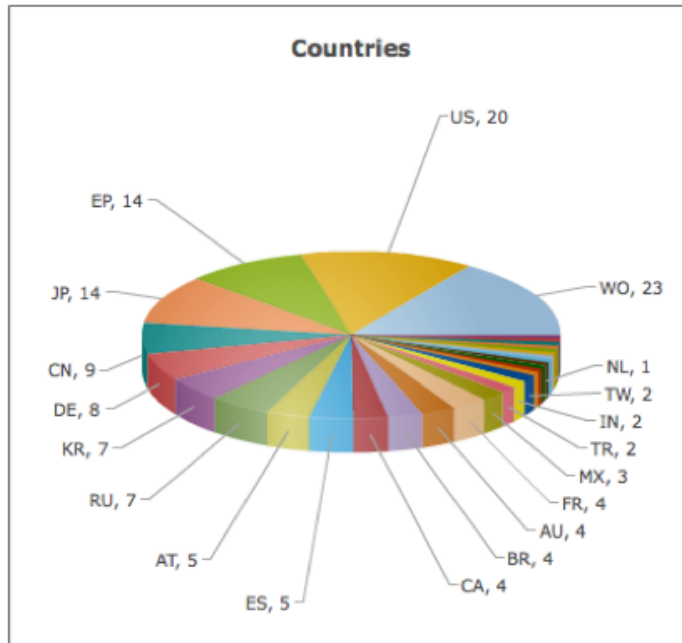


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Países líderes tecnológicos según la búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural*

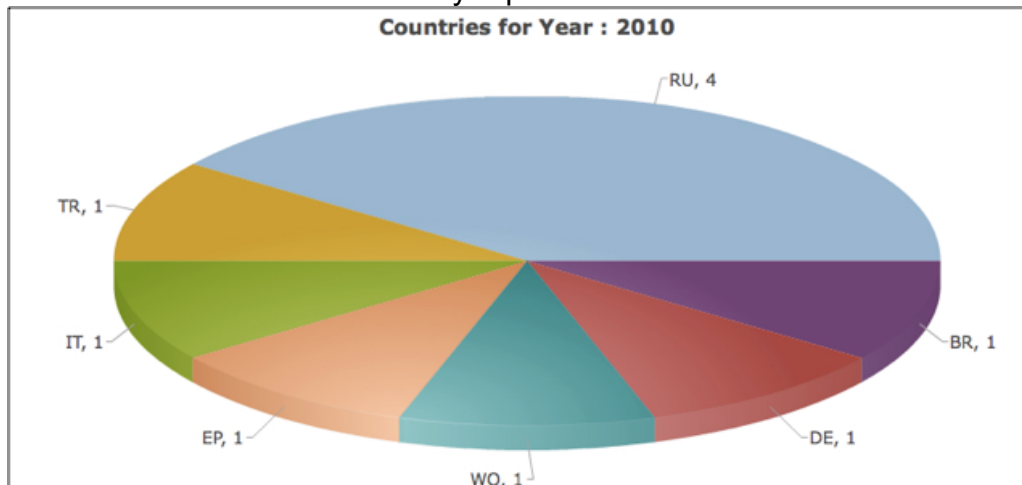
Como se observa en la gráfica 19 los países líderes en publicaciones de patentes en esta área son Estados Unidos (20) y Japón (14). Se destaca también la participación de las patentes realizadas a través de las asociaciones WO (Patent Cooperation Treaty) y EP (European Patent). Cabe anotar que en el año 2010, año en el cual se realizó el mayor número de patentes en el tema, el país más sobresaliente fue Rusia. Ver gráficas 19 y 20.

Gráfica19 Países líderes en tecnología para el área Cogeneración y Gas Natural



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Gráfica 20 Países líderes tecnológicos en el área de cogeneración y gas natural durante el año de mayor productividad 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase



### *Soluciones tecnológicas de interés obtenidas de la búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural*

De esta búsqueda se seleccionaron las siguientes patentes como posibles soluciones tecnológicas al problema que nos concierne:

Tabla 6 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 1: Cogeneración y Gas Natural

AUTOR	TITULO	AÑO	PATENT NUMBER
Manso Camps, Josep María	Dispositivo de generación de frío y recuperación de calor	19.02.2002	ES2224809 (B1)

Fuente: Elaboración propia

De la búsqueda 1 se ha seleccionado como solución de interés, la patente titulada “Dispositivo de recuperación de frío y recuperación de calor”, el cual permite mejorar el balance de energía aprovechada con relación a la energía consumida. Es un dispositivo que se adapta a la demanda de frío y de calor en situaciones mixtas y que, al mismo tiempo, recupera en mayor medida la energía calorífica de los gases de escape proporcionando un servicio adecuado.<sup>6</sup>

### **2.3.2 Búsqueda 2: Turbinas de gas y bajas emisiones**

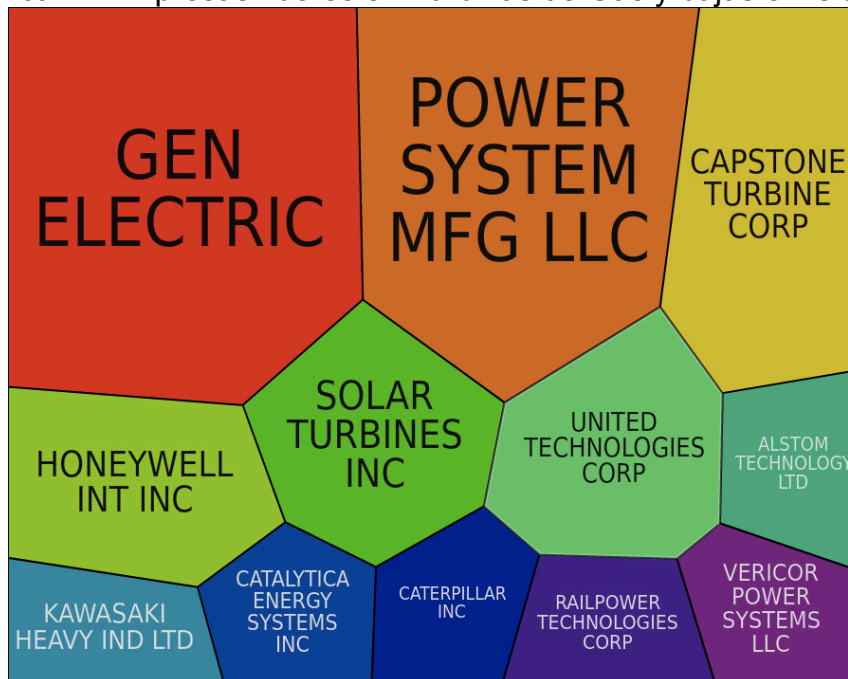
#### *Líderes tecnológicos según la búsqueda 2: Turbinas de Gas y bajas emisiones*

De acuerdo con la gráfica 21, las empresas líderes en producción en el área de turbinas de gas con bajas emisiones son: General Electric, Power System MFG LLC, Capstone Turbine Corporation, Solar Turbines y Honeywell. A continuación se hace una breve reseña de las principales compañías.

---

<sup>6</sup> Dispositivo de generación de frío y recuperación de calor. Patente de Invención. Oficina Española de Patentes y Marcas. Número de Publicación 2224809. Titular: ICOGEN S.A. 01.11.2006

Gráfica 21 Empresas líderes en Turbinas de Gas y bajas emisiones



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

General Electric se destaca como principal líder en innovación en el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones, tiene entre sus líneas de negocio una dedicada al sector petróleo y gas y otra línea dedicada a Energía. Dentro de la línea de Energía se destacan productos amigables con el medio ambiente, turbinas de gas, generadores eléctricos, mientras que en la línea de gas se destacan los productos dirigidos hacia la industria petroquímica, procesos que utilizan gas natural licuado y generación de energía eléctrica. En materia de investigación en temas energéticos, General Electric trabaja para reducir el costo de las energías renovables, haciendo turbinas más eficientes y flexibles. Sus iniciativas son fuentes de energía más limpias a partir del viento y del sol, y, turbinas de gas super eficientes y flexibles.<sup>7</sup>

Power System MFG LLC, es una compañía que provee avanzados componentes para turbinas de gas en el servicio postventa, provee también contratos de largo plazo para

<sup>7</sup> [http://www.ge.com/company/research\\_development.html](http://www.ge.com/company/research_development.html)

la industria de generación de energía. Se destaca entre sus productos componentes rotativos, sistemas de combustión de bajas emisiones, partes de compresores, entre otros, enfocándose también al desarrollo de componentes para maquinaria General Electric.<sup>8</sup>

Capstone Turbine Corporation es la empresa líder mundial en producción de microturbinas<sup>9</sup> de bajas emisiones. Capstone Turbine ha cubierto necesidades energéticas para aplicaciones de generación distribuida a micro escala. Tiene más de 100 patentes en su área.<sup>10</sup>

Solar Turbines INC, es el fabricante de las turbinas actualmente instaladas en la empresa Biofilm, es uno de los líderes mundiales en turbinas de gas industriales con más de 13900 unidades instaladas en 98 países, en rangos desde 1 hasta 22 MW. Sus dos principales líneas de negocio son Producción y Transmisión de petróleo y gas, y, Generación de Energía. Tiene 218 patentes concedidas desde 1978 hasta el 2010.<sup>11</sup>

### *Tendencias tecnológicas según la búsqueda 2: Turbinas de Gas y bajas emisiones*

Se observa en la gráfica 22, que los desarrollos en los cuales se han fundamentado las patentes en el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones están alrededor de temas como gases de exhosto, refiriéndose al aprovechamiento de los gases de combustión

---

<sup>8</sup> <http://www.psm.com/>

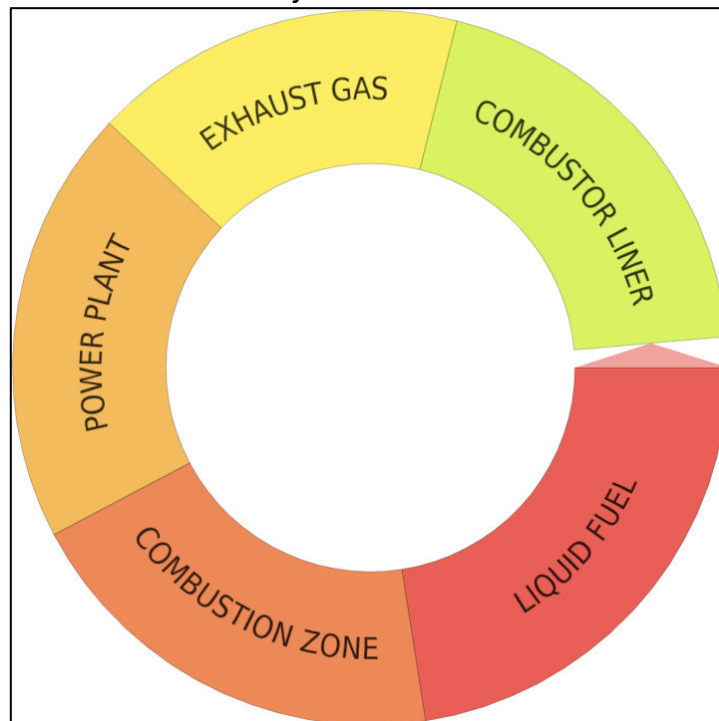
<sup>9</sup> Microturbinas: Las microturbinas son pequeñas turbinas de gas la mayoría de las cuales tiene un intercambiador de calor interno llamado recuperador. Producen energía térmica con temperaturas de salida entre 400°F y 600°F, se fabrican en tamaños usuales desde 30 hasta 250 kW. Fuente: Technology Characterization Microturbines. Environmental Protection Agency. Washington D.C. December, 2008.

<sup>10</sup> <http://www.capstoneturbine.com/>

<sup>11</sup> <http://mysolar.cat.com/cda/layout?m=10683&x=7>

para explotar energías de desecho, combustible líquido, dando solución a usuarios que no disponen del combustible en estado gaseoso y deben manejarlo líquido para facilidad de transporte y almacenamiento, zona de combustión, optimizando los procesos de combustión ya que en ellos se produce el quemado de los combustibles y por tanto donde se generan las emisiones, y plantas eléctricas donde comúnmente se utilizan las turbinas a gas natural.

Gráfica 22 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área de Turbinas de Gas y Bajas emisiones

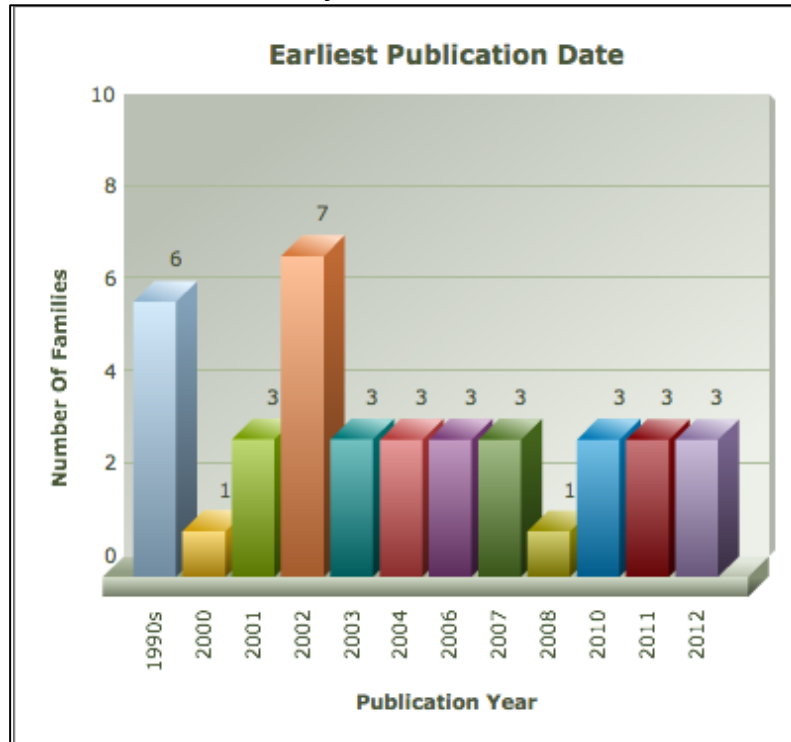


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

#### *Dinámica de innovación del área: Turbinas de Gas y bajas emisiones*

A partir del año 2000, el año con mayor número de patentes concedidas relacionadas con Turbinas de Gas y bajas emisiones, fue en el año 2002, con siete patentes, el resto de los años se han concedido solo tres patentes en este tema, exceptuando el año 2008 donde se concedió solamente una.

Gráfica 23 Número de patentes publicadas por año en el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones



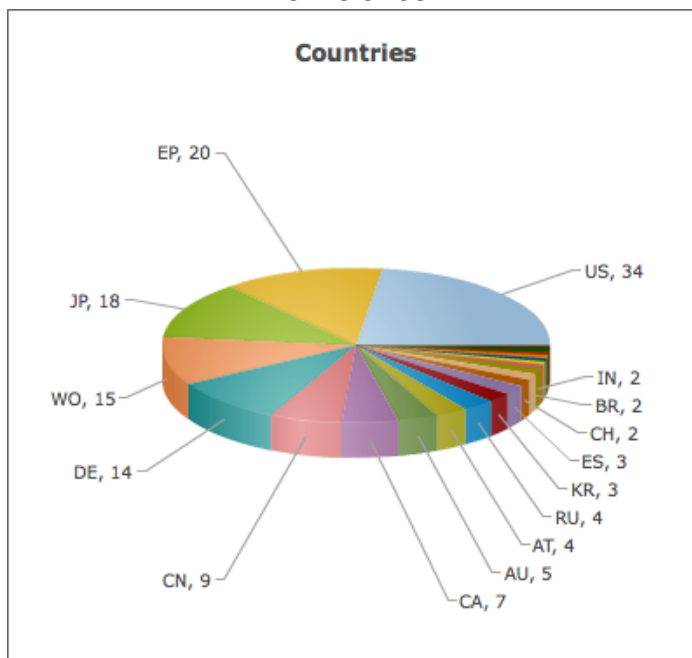
Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Países líderes tecnológicos según la búsqueda 2: Turbinas de gas y bajas emisiones*

Según se observa en la gráfica 23, los países con mayor participación en patentes concedidas en el área de Turbinas de gas y bajas emisiones son Estados Unidos (34), Japón (18), Alemania (14). Tienen también relevancia las patentes presentadas a través de las asociaciones European Patent (20) y Patent Cooperation Treaty (15).

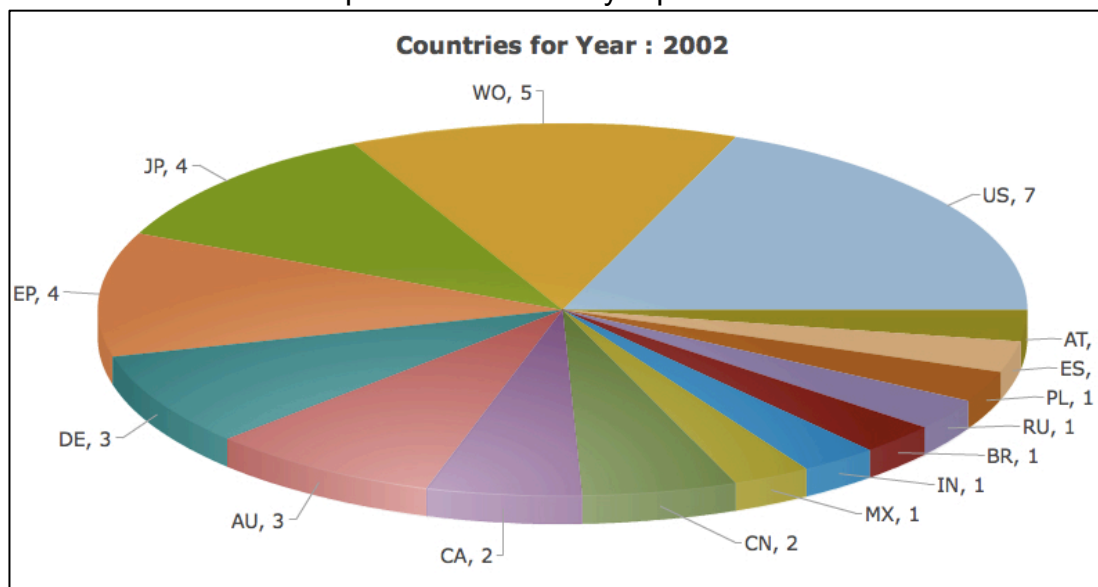
Durante el año 2002, año de mayor productividad de patentes en esta área, se destacaron los mismos países en publicaciones de patentes, Estados Unidos (7), Japón (4), European Patent (4) y Patent Cooperation Treaty (5). Alemania tuvo la misma participación que Austria durante el año 2002 (3).

Gráfica 24 Países líderes en tecnología para el área de Turbinas de gas y bajas emisiones



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Gráfica 25 Países líderes tecnológicos para el área de Turbinas de Gas y bajas emisiones para el año de mayor productividad 2002



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

## Soluciones tecnológicas de interés obtenidas de la búsqueda 2: Turbinas de Gas y bajas emisiones

Tabla 7 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 2: Turbinas de Gas y bajas emisiones

AUTOR	TITULO	AÑO	PATENT NUMBER
WRIGHT E SCOTT	LOW EMISSIONS GAS TURBINES ENGINE WITH INLET AIR HEATING	04.02.2003	US6513318 (B1)
CRITCHLEY IAN L	FUEL INJECTOR FOR LOW EMISSIONS PREMIXING GAS TURBINE COMBUSTOR	11.12.2001	US6327860 (B1)
KELLER TIM [US]; Vhora MOHAMAD [US]; BURNES DAN [US]; LIPINSKI JOHN [US]	FUEL CONTROL METHOD FOR GAS TURBINE	25.06.2002	US6408611 (B1)
KRAFT ROBERT J [US]; MARTLING VINCENT C [US]; MACK BRIAN R [US]; MINNICH MARK A [US]	COMBUSTION CHAMBER / VENTURI COOLING FOR A LOW NOX EMISSION COMBUSTOR	17.10.2002	US2002148228 (A1)
TUTHILL RICHARD STERLING [US]; BECHTEL WILLIAM THEODORE [US]; BENOIT JEFFREY ARTHUR [US]; BLACK STEPHEN HUGH [US]; BLAND ROBERT JAMES [US]; DELEONARDO GUY WAYNE [US]; MEYER STEFAN MARTIN [US]; TAURA JOSEPH CHARLES [US]; BATTAGLIOLI JOHN LUIGI [US]	BURNER WITH UNIFORM FUEL / AIR PREMIXING FOR LOW EMISSIONS COMBUSTION	20.12.2001	US2001052229 (A1)

Fuente: Elaboración propia

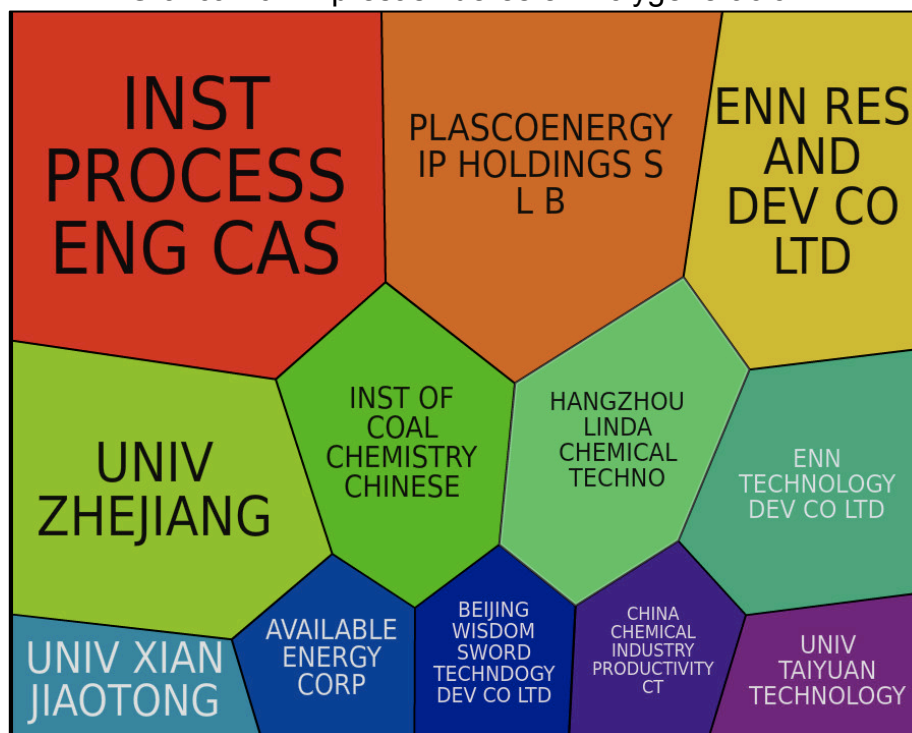
Las soluciones tecnológicas identificadas a partir de la búsqueda 2, se detallan en la tabla 7, tres de las cinco patentes se enfocan en la optimización del proceso de combustión dentro de la turbina de gas, incorporando dispositivos de premezcla del combustible que garantizan una mayor homogeneización y estabilidad en la combustión. Las otras dos patentes se refieren a mejoras en el ciclo termodinámico optimizando el proceso de compresión y optimizando el proceso de enfriamiento dentro de la turbina.

### 2.3.3 Búsqueda 3: Polygeneración

#### Líderes tecnológicos según la búsqueda 3: Polygeneración

La gráfica 26 muestra los líderes en Polygeneración, los cuales se reseñan a continuación:

Gráfica 26 Empresas líderes en Polygeneración



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Inst Process Eng Cas, (Institute for Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, anteriormente llamado ICM (Instituto de la Metalurgia Química). Aplica principios de ingeniería química a las áreas de medio ambiente, recursos energéticos, y materiales de fabricación. Su campo de investigación se extendió desde la industria metalúrgica inicial hasta la ingeniería de procesos, en curso.<sup>12</sup>

Plascoenergy construye y opera instalaciones que usan tecnología para convertir los residuos sólidos urbanos en energía verde y otros productos valiosos. Plasco utiliza un proceso patentado que utiliza de manera eficiente el calor del proceso para gasificar los

<sup>12</sup> <http://english.ipe.cas.cn/au/bi/>



residuos y luego usa las características únicas del plasma para refinar los productos gaseosos en un gas de síntesis limpio y consistente.<sup>13</sup>

Zhejiang University, fue fundada en 1897 y fue una de las principales academias modernas de la educación superior en China, destacándose tres escuelas a saber: Escuela de Ingeniería, Escuela de Agricultura y Escuela de Artes Liberales y Ciencias. En la Escuela de Ingeniería cuenta con seis centros de investigación a saber: Automatización Industrial, Tecnología Electrónica, Instrumentación Óptica, Tecnología para el Carbón, Tecnologías de Combustión y Tecnología de Trenes Inteligentes.

### *Tendencias tecnológicas según la búsqueda 3: Polygeneración*

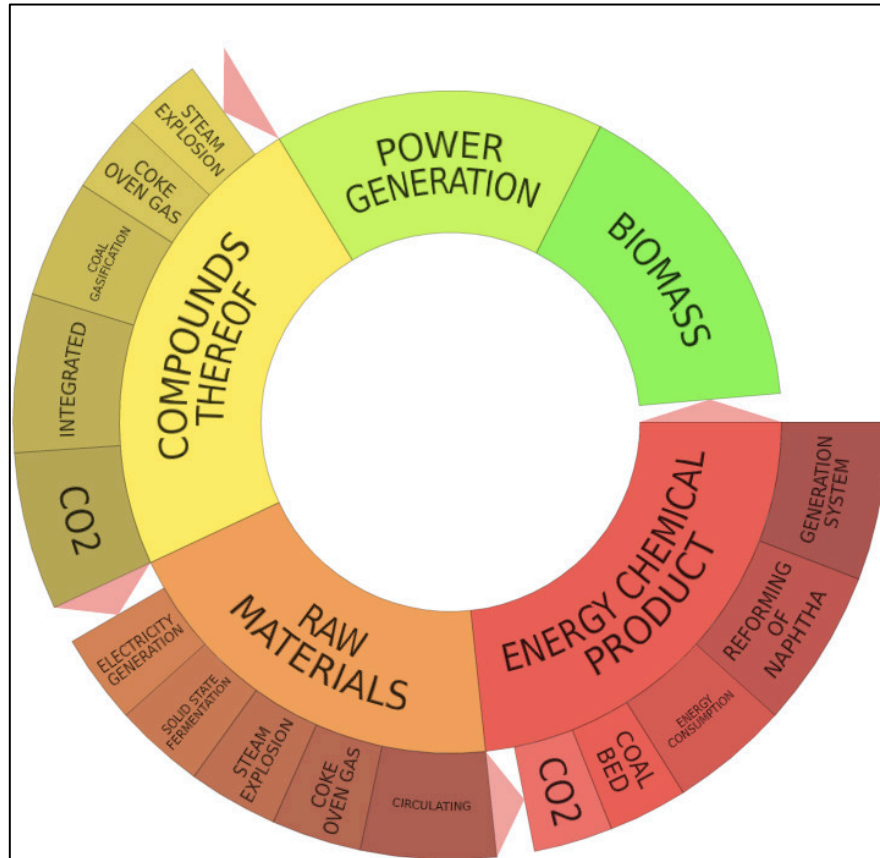
En la gráfica 27 se muestran los ejes temáticos alrededor de los cuales se han desarrollado las patentes en el área de Polygeneración. Estos son: generación eléctrica, biomasa, productos de energía química (CO<sub>2</sub>, lechos de carbón, Nafta), materias primas (de estado sólido y fermentación, gas de coquería), compuestos químicos (gasificación de carbón, CO<sub>2</sub>, gas de coquería, compuestos integrados).

En esta búsqueda vemos que si bien la aplicación de los procesos de polygeneración tienen un enfoque de aplicación masiva para generación eléctrica, estos se han desarrollado mayoritariamente para procesos que aprovechan compuestos de industrias químicas y que posteriormente son tratados para aprovechamiento de uso energético.

---

<sup>13</sup> <http://www.plascoenergygroup.com/our-technology/>

Gráfica 27 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área Polygeneración

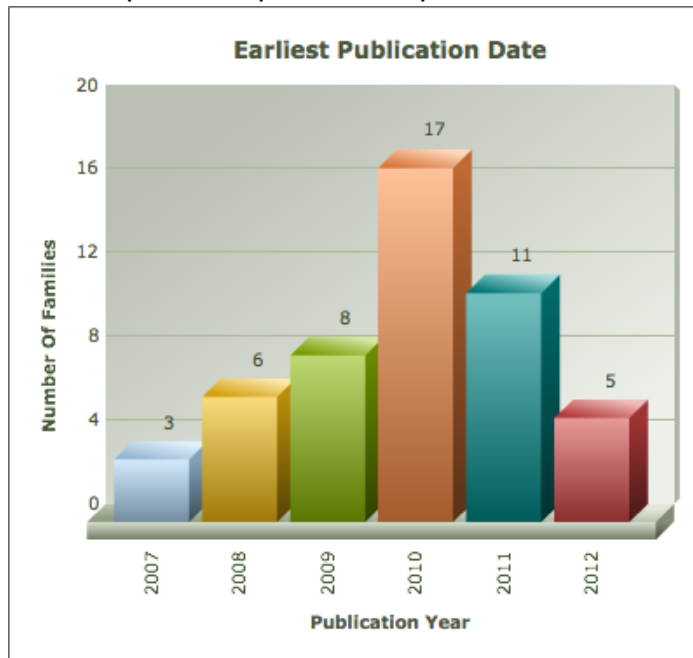


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Dinámica de innovación del área Polygeneración*

El año de mayor participación de patentes concedidas en Polygeneración fue el 2010, con un número de diecisiete patentes. Se observa que es una disciplina que ha empezado a desarrollar patentes a partir del año 2007, tuvo un comportamiento creciente entre 2007 y 2010, mermándose un poco la productividad entre 2011 (11) y 2012 (5).

Gráfica 28 Número de patentes publicadas por año en el área Polygeneración

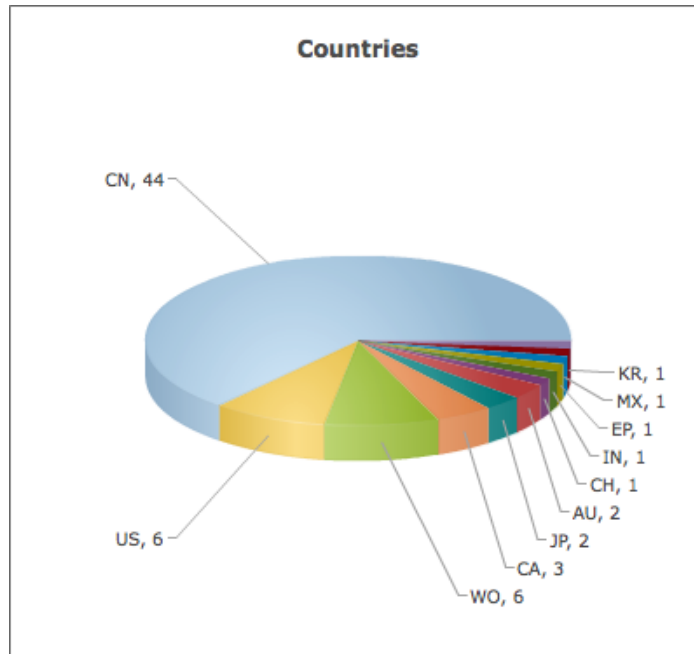


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Países líderes tecnológicos según la búsqueda 3: Polygeneración*

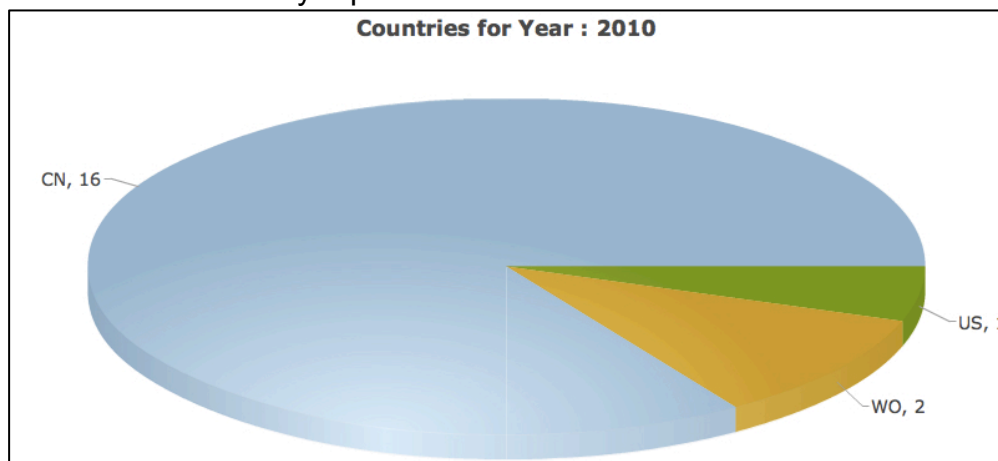
Se observa que China ha sido país líder dominante en el área de Polygeneración, con una cantidad de cuarenta y cuatro patentes concedidas en el período de análisis (2007 – 2012). El segundo país en número de patentes en esta área es Estados Unidos que se ubica en un nivel lejano de China, con seis patentes concedidas. Las patentes concedidas a través de la asociación Patent Cooperation Treaty, también han sido seis en el período.

Gráfica 29 Países líderes en tecnología para el área Polygeneración



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Gráfica 30 Países líderes tecnológicos para el área Polygeneración durante el año de mayor productividad científica: 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Soluciones tecnológicas de interés obtenidas de la búsqueda 3: Polygeneración*

**Tabla 8 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 3: Polygeneración**

AUTOR	TITULO	AÑO	PATENT NUMBER
TSANGARIS ANDREAS [CA]; SWAIN MARGARET	GAS HOMOGENEIZATION SYSTEM	22.11.2007	US2007266632

Fuente: Elaboración propia

La patente seleccionada en el área de polygeneración se refiere a un sistema de homogeneización de gas natural, que provee un flujo de gas hacia los sistemas de generación eléctrica de gran estabilidad y calidad constante, manteniendo las condiciones de presión, temperatura y composición requeridas durante todo el proceso, evitando la variabilidad y por consiguiente logrando mayores eficiencias.

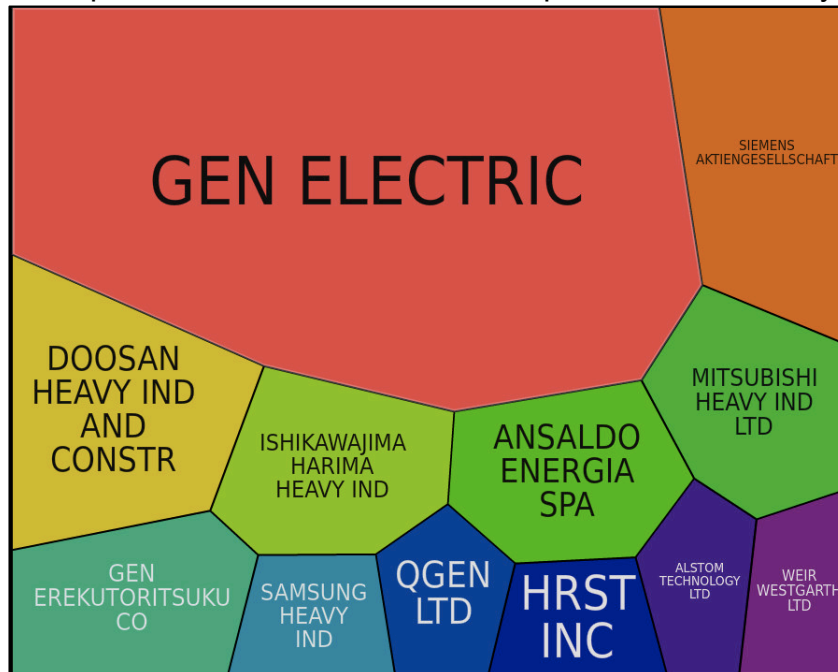
#### **2.3.4 Búsqueda 4: Calderas recuperadoras de calor y eficiencia**

##### *Líderes tecnológicos según la búsqueda 4: Caldera recuperadora de calor y eficiencia*

Se observa en la gráfica 31 que las empresas líderes en innovación en eficiencia de calderas recuperadoras son General Electric, quien tiene una participación muy destacada, las otras líderes son Siemens, Doosan Heavy Ind and Constr, Mitshubishi, Ansaldo Energia Spa, Ishikawajima Harima Heavy Ind.

General Electric aplica en el área de calderas por sus desarrollos en el sector de Petróleo y Gas, descritos anteriormente.

Gráfica 31 Empresas líderes en Calderas recuperadoras de calor y eficiencia



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Siemens tiene una línea de negocios del sector energético, dividida en aplicaciones para generación eléctrica, transmisión de energía, distribución de energía y Automatización, control y protecciones eléctricas. Siemens es líder en productos para la extracción, transformación y transporte de petróleo y gas. Siemens ha desarrollado innovaciones en el sector energético enfocándose en productos que permitan alcanzar mayor eficiencia en la generación y transmisión de la energía, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono.<sup>14</sup>

Se destaca también entre los líderes en el área de Calderas recuperadoras eficientes, la compañía Doosan Heavy Industries and Construction, es una de las mayores empresas de construcción de grandes proyectos industriales en Korea, fundada desde 1962 y destacada por la realización de proyectos de centrales energéticas nucleares,

<sup>14</sup> <http://www.siemens.com/entry/co/es/>

térmicas, así como maquinaria para generación eléctrica como turbinas y generadores eléctricos. La compañía ha realizado el mayor número de proyectos de grandes centrales eléctricas en el mundo.<sup>15</sup>

Ishikawajima – Harima Heavy Industries Co., Ltd. Fundada en 1853, es una compañía japonesa dedicada a la fabricación de aeromotores, sistemas energéticos, plantas de almacenamiento, plantas farmacéuticas y plantas de procesos químicos, infraestructura civil, sistemas de distribución y manejo de materias primas, maquinaria industrial, maquinaria para construcción y agricultura, embarcaciones y plataformas off-shore. Por destacarse en el área de diseño y construcción de plantas energéticas, ha desarrollado tecnologías de punta para calderas recuperadoras para todo tipo de combustibles. Sus calderas se caracterizan por ser de alta eficiencia.<sup>16</sup>

Ansaldo Energia, es productor italiano de centrales termoeléctricas, operando también en los mercados internacionales. Inició su operación en el año 1853. Es uno de los diez mejores industriales del mundo en materia de productos aeroespaciales, defensa y seguridad, productos de aviación y helicópteros, electrónica de defensa y tecnología espacial. Ha instalado más de 170.000 MW en equipos de generación eléctrica, en más de 90 países en el mundo, superando los 1700 proyectos desarrollados. Ansaldo Energia ofrece para el sector energético, desde el diseño y la fabricación de componentes de las plantas de generación hasta los servicios de operación y mantenimiento de las centrales eléctricas.

Mitsubishi Heavy Industrie tiene entre sus líneas de negocio las siguientes: energía, aviación, aeroespacial, embarcaciones, transporte, manejo de materia prima, medio ambiental, automovilística, maquinaria industrial, infraestructura civil y defensa. Es una de las mayores compañías de Japón, fundada en 1884. Dentro de su organigrama se destaca la jefatura de Tecnología e Innovación, que se divide en los departamentos de

---

<sup>15</sup> <http://www.doosan.com/en/main.do>

<sup>16</sup> [http://www.ihl.co.jp/en/products/energy\\_systems/index.html](http://www.ihl.co.jp/en/products/energy_systems/index.html)

Planeación Tecnológica, Propiedad Intelectual, Comercialización de Procesos de Innovación, Sistema de Planeación de la Innovación, Tecnología de Información, Centro de Entrenamiento y Aplicación de Conocimiento, y los Centros de Investigación y desarrollo.<sup>17</sup>

#### *Tendencias tecnológicas según la búsqueda 4: Caldera recuperadora de calor y eficiencia*

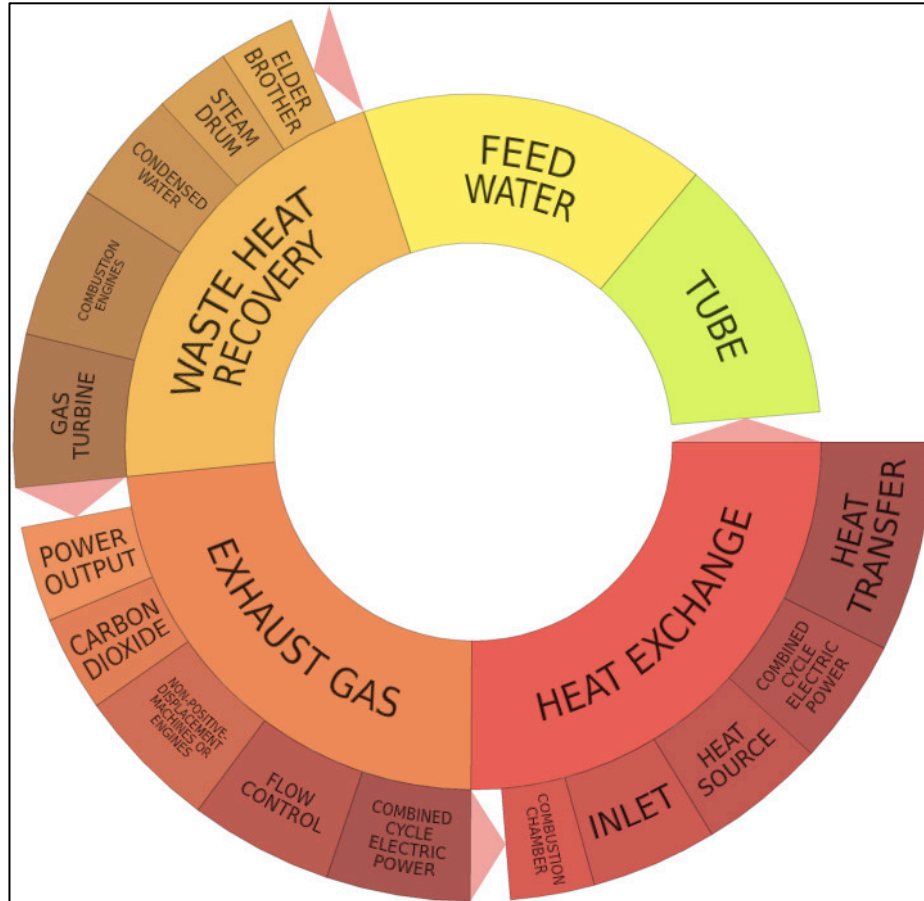
La innovación alrededor de las calderas recuperadoras de calor de alta eficiencia, se ha desarrollado en torno a los siguientes ejes temáticos: Intercambio de calor (fuentes de calor, ciclos combinados de generación eléctrica, transferencia de calor, cámara de combustión), Gases de Exhosto (Dióxido de Carbono, Control de flujo, Ciclo combinado de generación eléctrica, Motores de combustión externa), Recuperación de calor de desecho (Turbina de gas, motores de combustión, condensado, tambor de vapor), Agua de alimentación (es el fluido de operación de la caldera), Tubos (componentes principales del proceso de transferencia de calor en las calderas).

---

<sup>17</sup> <http://www.mhi.co.jp/en/>



Gráfica 32 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área de Calderas Recuperadoras de Calor y Eficiencia

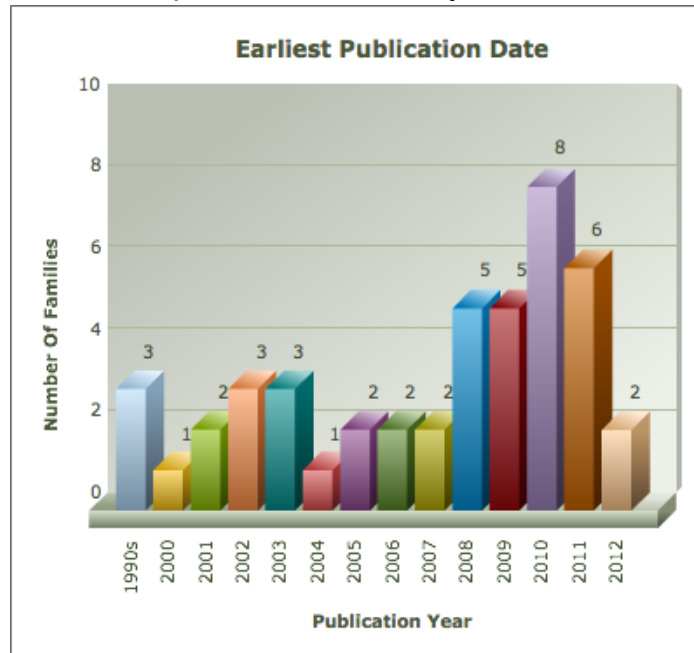


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

*Dinámica de innovación del área Calderas recuperadoras de calor y eficiencia*

El año de mayor productividad en el área de calderas recuperadoras de calor eficientes fue el año 2010, con ocho patentes concedidas, se observa un comportamiento decreciente de la productividad entre 2011 y 2012. Ver gráfica 33

Gráfica 33 Número de patentes publicadas por año en el área de Calderas recuperadoras de calor y eficiencia

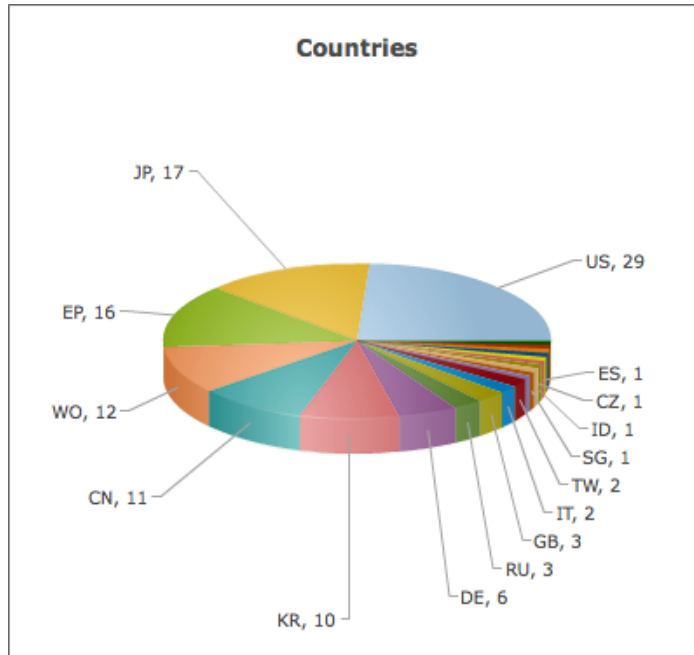


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

*Países líderes tecnológicos según la búsqueda 4: Calderas recuperadoras de calor y eficiencia*

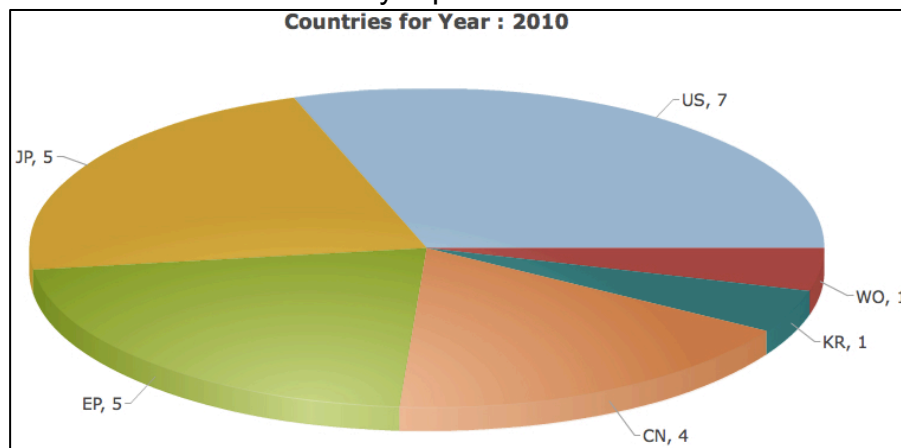
Se observa en la gráfica 34 que los países líderes en el desarrollo de calderas recuperadoras de calor de alta eficiencia han sido Estados Unidos con veintinueve patentes concedidas, Japón con diecisiete patentes concedidas. Sigue en porcentaje de participación las asociaciones European Patent (16) y Patent Cooperation Treaty (12). También se han destacado China (11) y Sur Corea (10).

Gráfica 34 Países líderes en tecnología para el área de calderas recuperadoras de calor y eficiencia



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Gráfica 35 Países líderes tecnológicos para el área de calderas recuperadoras de calor durante el año de mayor productividad científica: 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

*Soluciones tecnológicas de interés obtenidas de la búsqueda 4: Calderas recuperadoras de calor y eficiencia*

Tabla 9 Posibles soluciones tecnológicas a partir de la búsqueda 4: Calderas recuperadoras de calor y eficiencia

AUTOR	TITULO	AÑO	PATENT NUMBER
ANAND ASHOK KUMAR [US]; BERRAHOU PHILIP FADHEL [US]; JANDRISEVITS MICHAEL	COMPRESSOR DISCHARGE BLEED AIR CIRCUIT IN GAS TURBINE PLANTS AND RELATED METHOD	10.09.2002	US2002129608

Fuente: Elaboración propia

La patente de invención seleccionada en esta búsqueda consiste en un sistema que aprovecha el gas de exhosto de la turbina para optimizar el proceso de compresión dentro de la misma, garantizando menores temperaturas en chimeneas y mayor aprovechamiento en el recuperador de calor.

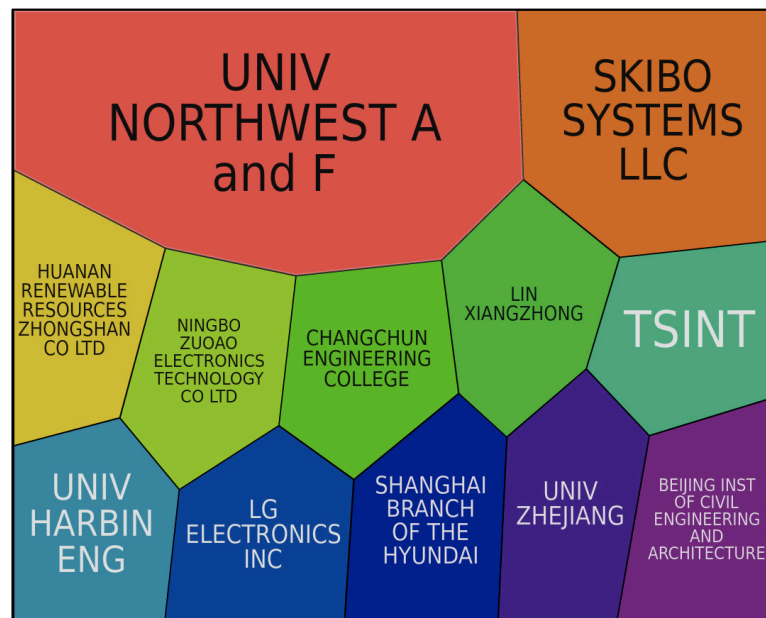
### **2.3.5 Búsqueda 5: Energías renovables y generación de calor y electricidad**

*Líderes tecnológicos según la búsqueda 5: Energía Renovable y Generación de Calor y Electricidad*

Northwest A & F University, figura como uno de los líderes en patentes en el área de Energías Renovables y Generación de Electricidad, esta universidad trabaja bajo la dirección del Ministerio de Educación de China, y Coadministrada por Ministerio de Agricultura, Ministerio de Recursos Hídricos, Academia China de Ciencias. A & F fue la primera institución de alto nivel en materia de agricultura en el noreste de China. Tiene un instituto interno dedicado a la conservación del suelo y el agua. Dentro de sus líneas de investigación, tiene dedicado un centro a Recursos y Medioambiente, Recursos y

Arquitectura, Ingeniería Mecánica y Electrónica, Conservación de Suelos y Agua. A pesar de que su perfil es principalmente enfocado hacia el sector agrícola, tiene desarrollos importantes en materia de Ingeniería, Medio Ambiente y Explotación eficiente de Recursos Naturales.

Gráfica 36 Empresas líderes en Energía Renovable y Generación de Calor y Electricidad



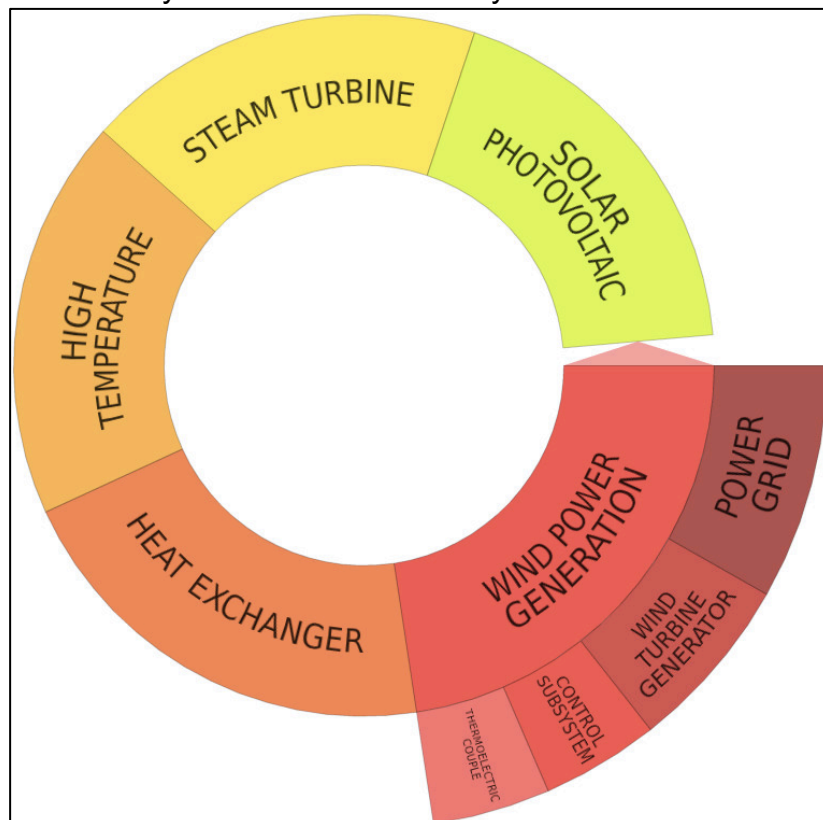
Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Skibo Systems Llc, es una compañía líder dedicada a ofrecer soluciones en TIC para el sector petróleo y gas. Se encuentra asociado a desarrollo de patentes en el área de Generación Eléctrica a partir de campos geotérmicos y energía solar. Su aplicación en el desarrollo de métodos de generación eléctrica por multietapas y métodos de almacenamiento de energía.

*Tendencias tecnológicas según la búsqueda 5: Energías renovables y generación de calor y electricidad*

En la gráfica 37 se presentan los ejes temáticos sobre el área Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad, los cuales son: Energía Solar y Fotovoltaica Turbinas a vapor, Alta temperatura, Intercambio de calor y Generación Eléctrica Eólica, dentro de este último tema se destacan los enfoques de redes eléctricas, generador eólico, subsistema de control, par termoeléctrico.

Gráfica 37 Ejes temáticos de mayor desarrollo alrededor del área Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad

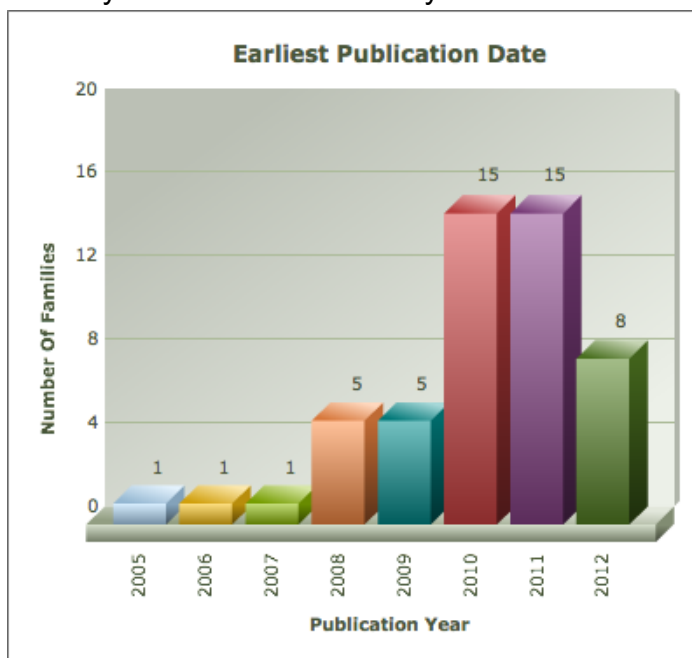


Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Dinámica de innovación del área Energías Renovables y generación de calor y electricidad*

Esta área ha tenido repunte en los años 2010 y 2011 donde se han obtenido quince concesiones de patente en cada año, en el año 2012 al mes de junio, ya se han concedido ocho patentes, lo que muestra que la dinamización de esta área permanece.

Gráfica 38 Número de patentes publicadas por año en el área de Energías Renovables y Generación de calor y electricidad



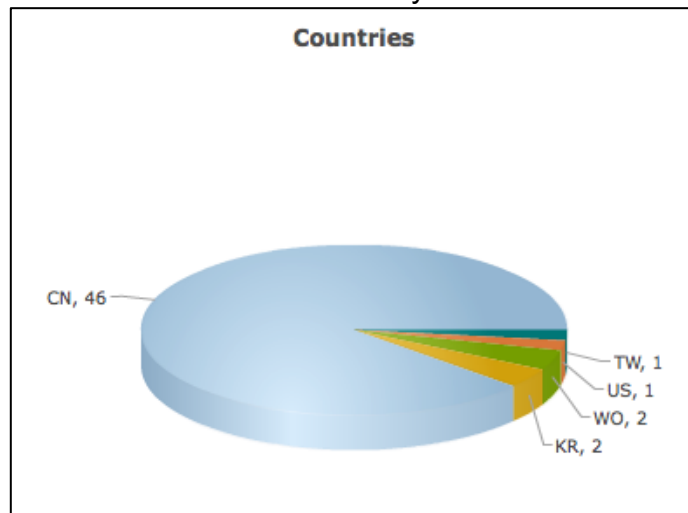
Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

### *Países líderes tecnológicos según la búsqueda 5: Energías renovables y generación de calor y electricidad*

El país líder en patentes en Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad ha sido China durante el período de análisis 2005 – 2012, este país ha tenido cuarenta y seis patentes de las cincuenta y dos patentes concedidas en este tema.

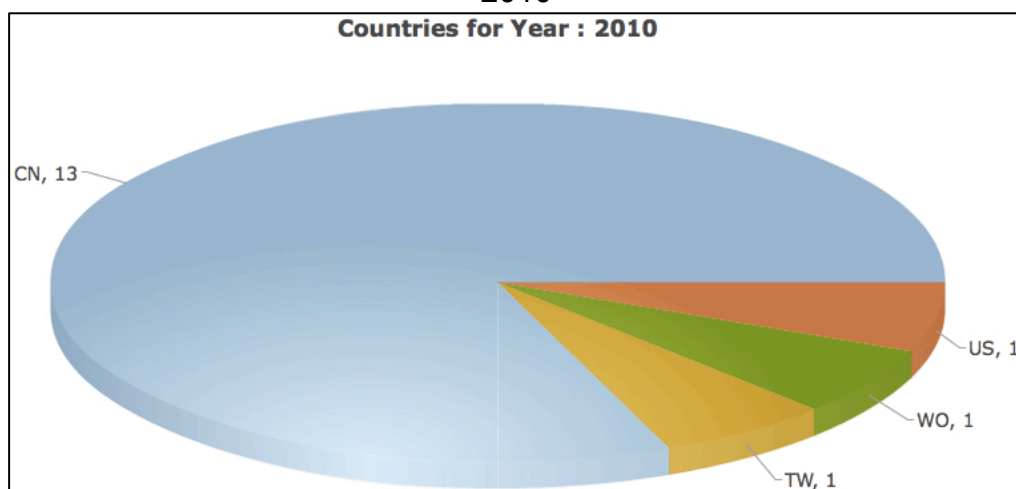
Igualmente se ve la participación de este país en el año de mayor actividad (2010), con trece patentes conseguidas de las dieciséis patentes asignadas.

Gráfica 39 Países líderes en tecnología para el área de Energías Renovables y Generación de calor y electricidad



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase

Gráfica 40 Países líderes tecnológicos para el área de Energías Renovables y Generación de Calor y Electricidad durante el año de mayor productividad científica: 2010



Fuente: Elaboración propia a partir de información y herramientas obtenidas de Patbase



### *Soluciones tecnológicas de interés obtenidas de la búsqueda 5: Energías renovables y generación de calor y electricidad*

A pesar de que existen patentes en el área de energías renovables aplicadas a la generación de calor y electricidad, no se halló una aplicación para el problema que nos concierne. En general las patentes se han desarrollado alrededor de temas como biomasa, la cual requiere la disponibilidad de la materia prima planteada en la invención, desalinización, microturbinas (capacidades muy inferiores a las que se requieren en este estudio), energía geotérmica (no disponible en la región), aplicaciones residenciales, aplicaciones para edificios y acondicionamiento de aire. Por lo anterior, no se seleccionó ninguna patente en esta búsqueda como posible solución a nuestro problema tecnológico.

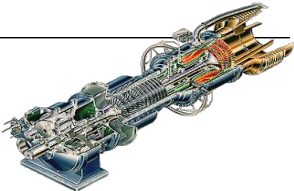
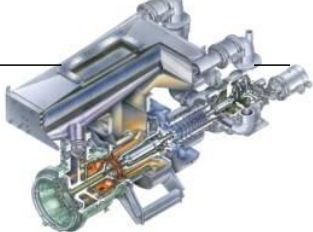
### 3. SOLUCIONES COMERCIALMENTE DISPONIBLES

Para el caso de estudio que nos concierne, la vigilancia comercial se dedica a la búsqueda de soluciones tecnológicas para los sistemas de cogeneración actualmente instalados, que se encuentran disponibles comercialmente por los proveedores. Para ello se parte de las búsqueda de las soluciones tecnológicas halladas a partir del estudio patentométrico, en el motor buscador de google.

#### 3.1 TURBINA CON RECUPERACIÓN DE CALOR

Esta solución comercial es obtenida a partir de la patente titulada “Low emissions gas turbines engine with inlet air heating”, y ha sido hallada comercialmente disponible por el fabricante de turbinas a gas Solar Turbines.

Gráfica 41 Turbina de gas natural actual vs. turbina de gas natural con recuperador de calor

Tecnología Actual	Tecnología con recuperador de calor
<b>Taurus 60</b> 5.6 MW 31.5 % 	<b>Mercury 50</b> 4.6 MW 38.5 % 

Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por Turbomach.

La solución comercialmente disponible ofrece una turbina a gas modelo Mercury 50, la cual tiene un recuperador de calor para precalentamiento del aire de admisión a la combustión, a diferencia de la actualmente instalada en Biofilm, modelo Taurus 60 donde todos los gases de exhosto se disponen hacia la atmósfera o el recuperador de calor externo del ciclo de cogeneración, llamado caldera recuperadora.

### 3.2 PREMEZCLADOR DE COMBUSTIÓN PARA TURBINAS DE GAS

Esta solución surge de la patente titulada “Fuel injector for low emissions premixing gas turbine combustor”. Disponible por el fabricante Honeywell. Es un sistema de control de aire y gas combustible donde un ventilador suministra aire únicamente y el gas es mezclado corriente abajo del ventilador. La señal de presión de aire se conecta a la señal de presión del ventilador y de la válvula reguladora de gas.

Gráfica 42 Premezclador de aire combustible para turbinas de gas.



Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por Honeywell. <sup>18</sup>

### 3.3 SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN EN TURBINAS

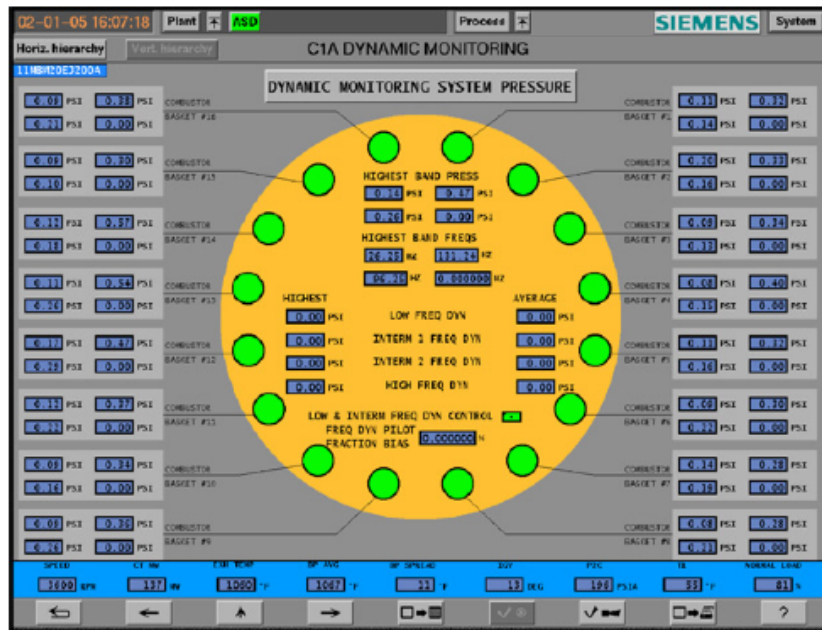
El sistema de optimización de combustión para turbinas de gas propuesto por Siemens, consiste en un dispositivo que monitorea y registra las huellas acústicas del proceso de combustión. El proceso se monitorea continuamente y se compara con los datos

---

<sup>18</sup> <http://www.premixengine.com/> Disponible a 20 de agosto de 2012.

históricos de funcionamiento del proceso. De esta manera genera alarmas cuando las huellas acústicas se observan por encima o por debajo de los límites de control, (combustión desajustada) y de esta manera mantiene niveles óptimos de consumo de energía, emisiones de gas y aumenta la vida útil de la cámara de combustión.

Gráfica 43 Sistema de control de combustible para turbinas de gas



Fuente: Reduce costs by optimizing combustion in gas turbines. Siemens.<sup>19</sup>

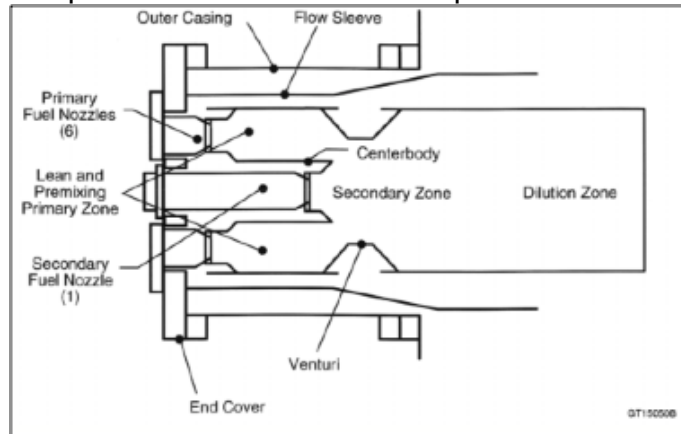
### 3.4 SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE BAJO NO<sub>x</sub> PARA TURBINAS DE SERVICIO PESADO

Este sistema integra una etapa de premezcla de la combustión y asocia un sistema de control electrónico de la relación aire – combustible. Tiene también dos mediciones continuas de desempeño del sistema. El primero es la medición de emisiones requerido para el tipo de combustible de operación (gas natural o fuel oil), el segundo es el

<sup>19</sup> <http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/automation/automation-control-pg/sppa-d3000/D3CD-FS-CDMS-e-V16.pdf>

registro de operación del sistema enfatizando en los estados de operación de carga plena y descarga de la máquina.

Gráfica 44 Sistema de optimización de combustión para turbinas de servicio pesado



Fuente: GE Power Systems.

## 4. REGULACIONES, NORMAS Y ENTORNO ECONÓMICO

### 4.1 MARCO LEGAL Y REGULATORIO

La regulación de la actividad de cogeneración en Colombia, inicia con la Ley 142 de 1994, mediante la cual se responsabiliza a la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) de expedir regulaciones específicas para la autogeneración y cogeneración de electricidad. En este mismo año, la CREG mediante las resoluciones 054 y 055 regula las actividades de comercialización y generación de energía eléctrica. En 1996 (Resoluciones 085 y 086), se reglamentan las actividades del cogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional, se define el proceso de cogeneración a la luz de la reglamentación nacional, se determinan las condiciones para venta de excedentes de energía y se establecen las normas aplicables a la generación con plantas menores de 20 MW. A partir del año 2001, se impide la venta de energía excedente directamente a usuarios no regulados<sup>20</sup> (Resolución 039). Solamente hasta el año 2010, se determinan las condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de cogeneración (eficiencias, consumos de combustible, procesos de auditoría, etc).

En cuanto al uso de energías no convencionales, el estado colombiano en el año 2001 decretó la Ley 697, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas. En esta Ley, se designa al Ministerio de Minas y Energía como responsable para establecer normas e infraestructura requeridas para el cumplimiento de la Ley. Así mismo, se fomenta la

---

<sup>20</sup> Usuario No Regulado es una persona natural o jurídica con una demanda máxima superior a un valor en MW o a un consumo mensual mínimo de energía en MWh, definida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, por instalación legalizada, a partir de la cual no utiliza redes públicas de transporte de energía eléctrica y la utiliza en un mismo predio o en predios contiguos. Sus compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente entre el comprador y el vendedor.  
<http://www.xm.com.co/Pages/UsuariosNoReguladosporNivelesdeTension.aspx>

concesión de incentivos para la investigación, educación y proyectos enfocados a estos temas.

En 2003, mediante el decreto 3683, se reglamenta la Ley 697. Se destaca dentro de este decreto la asignación de responsabilidades al Ministerio de Minas y Energía para la formulación de lineamientos de las políticas y diseñar los instrumentos para el fomento a las FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía). Igualmente se decreta la creación de la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de Energía y FNCE, que debe asesorar y apoyar al Ministerio de Minas y Energía acerca de la coordinación de políticas a establecer en los temas de interés. Se destaca también la asignación de la responsabilidad a Colciencias para el desarrollo de estrategias y acciones para crear líneas de investigación y desarrollo tecnológico en el uso racional y eficiente de energía y/o fuentes no convencionales. También se denomina al Ministerio de Minas y Energía como responsable de realizar un inventario de las fuentes energéticas convencionales y no convencionales existentes en el país.

A pesar de que se ha avanzado en gran medida en el tema de la regulación económica de los sistemas de cogeneración y su interacción con el sistema eléctrico nacional, no son muchos los avances existentes en materia de fuentes energéticas no convencionales, en la implementación y masificación de estas tecnologías ni en el marco legal en que las mismas se desarrollarán. De la revisión efectuada se concluye que la regulación existente está orientada hacia el fomento, la generación de incentivos, estrategias y lineamientos y no a la explotación misma de estas fuentes y su interacción económica con los sistemas.

En Colombia, en los sistemas de cogeneración, las tecnologías que predominan son las turbinas a gas, turbinas a vapor y motores de combustión interna<sup>21</sup>. De ahí que las regulaciones de las actividades de cogeneración están determinadas para este tipo de tecnologías y combustibles convencionales: gas natural, carbón e hidrocarburos exceptuando combustibles de origen agrícola como leña y derivados de la caña de azúcar por la aplicación que han tenido los mismos principalmente en los ingenios azucareros, sector del Valle del Cauca.

En cuanto a fuentes no convencionales de energía, en Colombia ha habido avances en cuanto a proyectos piloto, cartillas instructivas, mapas de disponibilidad de las fuentes energéticas por región y políticas de fomento a la explotación de las mismas. Sin embargo, el pobre grado de maduración del aprovechamiento de las fuentes no convencionales se observa en la planificación de abastecimiento energético actual. El país aún no cuenta con un marco técnico, político, regulatorio, económico y legal que permita la implementación masiva de sistemas de generación a partir de fuentes no convencionales. En el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2010 – 2024 (UPME, 2010), se hace referencia a estas limitaciones, y no se proyecta una capacidad de generación eléctrica a partir de estas fuentes.

En el marco del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE, la UPME ha desarrollado el Plan Indicativo 2010 – 2015, en el cual se plantea un incremento de 5% de la participación de las FNCE en la canasta energética total para el año 2015, de los cuales 4% (biomasa y biocombustibles) para aplicaciones térmicas y 1% para generación eléctrica. Para llevar a cabo esta iniciativa, el Plan plantea como líneas de acción las siguientes:

- Caracterización del potencial solar y geotérmico

---

<sup>21</sup> De acuerdo con el inventario de sistemas de cogeneración en la Costa Atlántica, realizado por e2- Energía Eficiente S.A. E.S.P.



- Implementación del programa de medición y registro de vientos para determinación de la energía eólica aprovechable
- Actualización de la caracterización de biomasa residual en procesos industriales, como también de los cultivos con fines energéticos
- Caracterización de los potenciales de energía mareomotriz
- Caracterizar potenciales de pequeñas caídas de agua para centrales hidroeléctricas de menor escala
- Promoción de la formación avanzada y aplicada en el tema
- Desarrollo de proyectos demostrativos

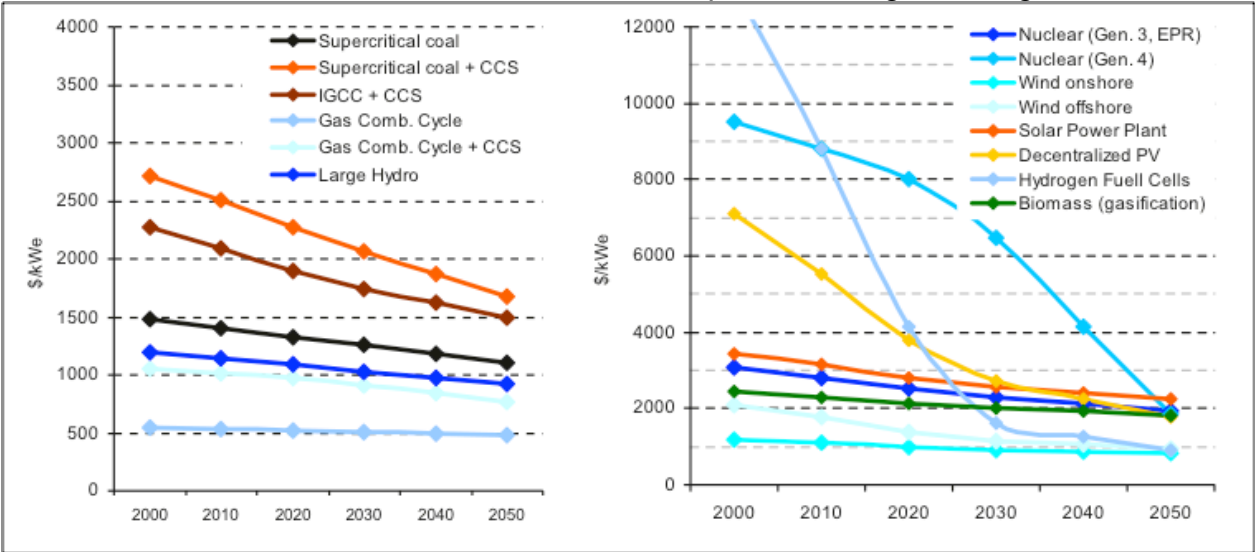
En general se observan avances en el nivel estratégico, pero no se observan aún acciones en el nivel táctico en materia de implementación y masificación de sistemas de generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía.

#### **4.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS Y FUENTES ALTERNATIVAS EN EL MUNDO**

En las próximas décadas, la competencia tecnológica dependerá de tres conjuntos de variables: i. La inversión privada, los costos de operación y mantenimiento y el desempeño (eficiencia) de cada tecnología; ii. El costo del combustible primario; iii. La emisión de carbono. Cualquier proyección energética debe anticiparse a estos cambios fundamentales entre las tecnologías, pues estas determinarán la estructura del futuro sistema energético (European Commission, 2006). De ahí la importancia de la innovación tanto en el uso de las nuevas fuentes energéticas que implican la implementación de nuevas tecnologías. Las tecnologías emergentes incorporan los conceptos de mayor eficiencia, a la vez que al ser implementadas con energías renovables garantizan la mayor sostenibilidad de los sistemas. Sin embargo, los costos de inversión de los sistemas energéticos que utilizan fuentes renovables son aún muy

elevados. Mientras que la unidad energética instalada (kWe) con un sistema convencional tiene un costo entre USD 500 y USD 2500, la misma con una fuente no convencional tiene un costo entre USD 1200 y USD 9000, siendo la energía eólica la única con un valor inferior a USD 2000.

Gráfica 45 Costo de inversión estimada para tecnologías energéticas



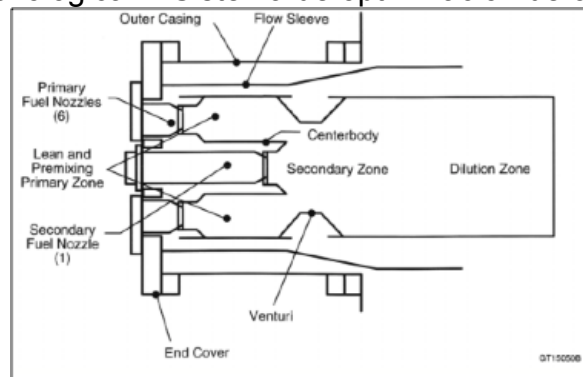
Fuente: World Technology Outlook – 2050

Sin embargo, las proyecciones muestran que hacia el año 2050, a pesar de existir una tendencia decreciente en los costos de inversión para sistemas con energías renovables, estos seguirán siendo mayores a los de los sistemas convencionales. El gas natural que es el combustible de transición entre los combustibles fósiles y las fuentes limpias, se proyecta hacia el año 2050 con costos de inversión en tecnología un 50% menor que los sistemas de generación con biomasa, energía solar fotovoltaica y celdas de combustible, logrando competir en costo de inversión solamente la energía eólica.

## 5. ALTERNATIVAS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y PLAN DE ACCIÓN

### 5.1 ALTERNATIVA 1. SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE BAJO NO<sub>x</sub> PARA TURBINAS DE SERVICIO PESADO

Gráfica 46 Solución tecnológica 1. Sistema de optimización de combustión



Fuente: GE Power Systems.

Este dispositivo permite mejorar el control del proceso de combustión. Actualmente la turbina de gas instalada dispone de un sistema controlado por motor paso a paso que suministra gas en función de la curva de operación de demanda de la turbina. El sistema propuesto, además de tener en cuenta el gas de aporte requerido para la potencia instantánea generada por la máquina, tiene en cuenta la temperatura de combustión, que es el parámetro de control más importante para gobernar la mezcla de combustión y las emisiones desde el proceso. Adicionalmente cuenta con un sistema de premezcla del aire y el combustible, con lo cual se logra que estos componentes al ingresar a la cámara de combustión, estén en una mezcla homogénea que facilita el control del proceso.

Tabla 10 Descripción Propuesta Tecnológica 1

Descripción de la innovación tecnológica	Ventaja	Repercusión Económica. Ahorro (USD/año)	Repercusión ambiental. Reducción Emisiones (TonCO2/año) (%)	Inversión estimada (USD)	PRI (Período de Recuperación de la Inversión)
Sistema de combustión para bajo NOx para turbinas de servicio pesado	Mayor control del proceso de combustión con su consecuente ahorro de gas combustible y reducción de emisiones	18.667	1%	50.000	3

Fuente: Elaboración propia

Esta propuesta es una innovación de tipo incremental puesto que representa un mejoramiento en el sistema de control de combustión actual. Es una solución tecnológica del proveedor General Eléctric, y se plantea como solución a corto plazo, puesto que es una inversión que puede ser planeada por la empresa dentro de su presupuesto de operación anual. Tiene un tiempo de retorno de 3 años, que es un indicador aceptable para las inversiones realizadas en esta área por la empresa.

## 5.2 ALTERNATIVA 2. TURBINA CON RECUPERACIÓN DE CALOR

Gráfica 47 Solución tecnológica 2. Turbina con recuperación de calor



Fuente: Data Sheet Mercury 50 Solar Turbines

La propuesta 2 consiste en el cambio del turbogruppo actual por uno de mayor eficiencia. El nuevo sistema propuesto dispone de un recuperador de calor, cuya función es

aprovechar el gas de exhosto de la combustión de la turbina para incrementar la eficiencia general del ciclo. El mejoramiento de la eficiencia lo logra precalentando el aire de admisión nuevo que ingresa a la cámara de combustión, mediante un intercambiador de calor que aprovecha la energía térmica de los gases de desecho. Este cambio permitirá mejorar la eficiencia de generación eléctrica de 31,5% a 38,5%.

Tabla 11 Descripción Propuesta Tecnológica 2

Descripción de la innovación tecnológica	Ventaja	Repercusión Económica. Ahorro (USD/año)	Repercusión ambiental. Reducción Emisiones (TonCO2/año) (%)	Inversión estimada (USD)	PRI (Período de Recuperación de la Inversión)
Turbina con recuperación de calor	Mayor eficiencia en la generación eléctrica con igual aprovechamiento de calor para el proceso	163.333	7%	3.122.222	19

Fuente: Elaboración propia

Esta propuesta no es viable en la actualidad debido al elevado tiempo de retorno de la inversión (19 años), el cual no es atractivo para un inversionista. Sin embargo, se propone aquí debido a dos factores de interés:

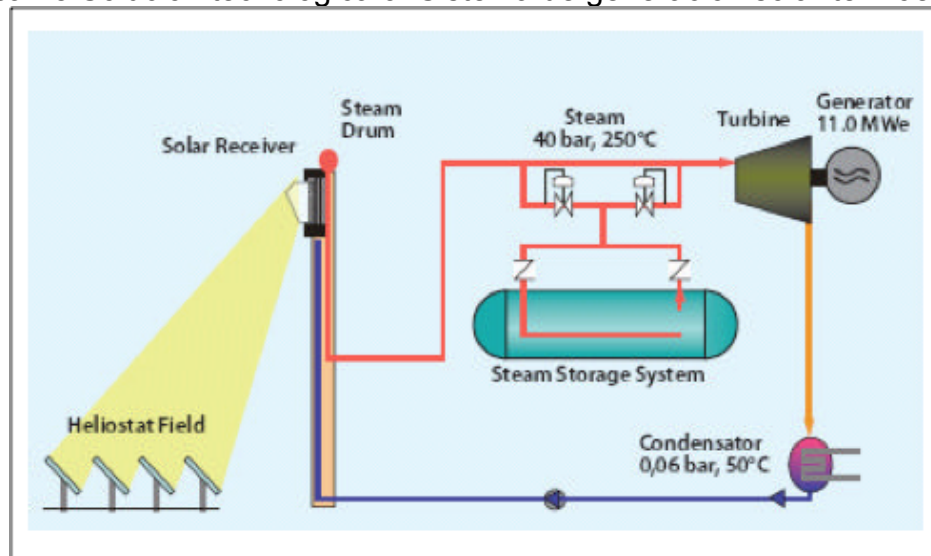
- La tecnología actual tiene más de diez años instalada, por lo que ya el proceso productivo es propenso a tener ciertas fallas en el suministro eléctrico, debido a fallas ocasionadas por la vejez del sistema actual instalado, lo que conllevará a la necesidad de reemplazar el sistema
- La volatilidad de los precios del gas y la tendencia hacia el incremento. La evaluación presentada es con un precio de gas de 4 USD/MBTU, sin embargo, en condiciones de escases, este valor podría duplicarse.

La innovación propuesta en este caso es de tipo incremental. Es una solución tecnológica del proveedor Solar Turbines, que como se presentó en el análisis patentométrico es uno de los líderes en innovación en el área de turbinas a gas natural.

A pesar de que la tecnología no es viable para las condiciones económicas y regulatorias actuales, es importante disponer del conocimiento de las mismas, para actualizar su evaluación, según como cambien las leyes y el entorno económico.

### 5.3 ALTERNATIVA 3. GENERADOR SOLAR TERMOELÉCTRICO

Gráfica 48 Solución tecnológica 3. Sistema de generación solar termoeléctrico



Fuente: CIEMAT<sup>22</sup>. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, citando a European Comission, DGTREN.

Del análisis patentométrico resultó que los ejes a partir de los cuales están girando las investigaciones en energías renovables son la energía solar y la energía eólica. La energía eólica no es apropiada para sistemas de cogeneración puesto que es una fuente de energía mecánica que se transforma en energía eléctrica, no teniendo energía térmica de desecho aprovechable. Por el contrario los sistemas solares tienen la ventaja de suplir tanto demandas de energía eléctrica, a través ya sea de celdas

<sup>22</sup> Prospectiva Solar Termoeléctrica. Prospectiva y Vigilancia Tecnológica. CIEMAT. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Enero de 2008.

fotovoltaicas o a través de producción de vapor con colectores solares, que posteriormente se utiliza en una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico. Estos mismos colectores pueden utilizarse para la aplicación de energía térmica que se requiere en los procesos productivos.

A pesar de que en Colombia y en general en el mundo, la energía solar para sistemas de cogeneración no se aplica aún, se recomienda esta alternativa como solución teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Es una tecnología emergente que está siendo fuertemente investigada en otros países
- Es una tecnología totalmente limpia, permitiendo reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera del proceso de generación en un 100%
- Es una fuente energética renovable, por lo cual los empresarios del sector estarían preparados para períodos de escases de los combustibles fósiles convencionales cuyas reservas son limitadas
- Se alinea con las iniciativas de gobierno en cuanto al fomento del uso de las fuentes no convencionales de energía

Por los altos costos de inversión de las tecnologías de generación eléctrica, este es un proyecto que se recomienda realizar a nivel de agrupamiento industrial debido a que plantas de mayor capacidad tienen a disminuir el costo de inversión de generación eléctrica por unidad de energía instalada. Adicionalmente, según se resumió en la revisión de las regulaciones, la normativa actual para la implementación de proyectos de este tipo, es muy escasa, por lo que se requiere de un grupo de trabajo interdisciplinario para determinar condiciones de implementación, técnicas, económicas, regulatorias y de mercado.

En Colombia se han desarrollado trabajos a nivel de investigación en materia de energías renovables, entre los que se destacan por ejemplo, caracterización de la disponibilidad de energía solar aprovechable por regiones, propuestas de normativa para el mercado eléctrico colombiano, sistemas de optimización de redes eléctricas, estos temas resultan de gran interés y concordancia para la implementación de proyectos con fuentes energéticas no convencionales. Para el acompañamiento de este tipo de proyectos, se recomienda estar orientados con personal de grupos de investigación. Las tablas 9.3, 9.4 y 9.5 presentan los grupos de investigación recomendados para el acompañamiento del proyecto en cada área.

Tabla 12 Grupos de investigación recomendados en el área de Potencia

NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN
Potencia y Energía	B	Universidad de Los Andes
Redes de distribución y potencia	B	Universidad Nacional de Colombia
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL)	A	Universidad Industrial de Santander UIS
Sistemas de control, electrónica de potencia y gestión de la innovación tecnológica	B	Pontificia Universidad Javeriana

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti

Tabla 13 Grupos de investigación recomendados en el área de Combustibles

NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN
Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía y Protección del Medio Ambiente	B	Universidad Nacional de Colombia

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti



Tabla 14 Grupos de investigación recomendados en el área de Energías Renovables

NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN
Grupo de Altas Energías	A	Universidad de Nariño
Grupo de Física Teórica de Altas Energías	A1	Universidad Nacional de Colombia
Grupo de Investigación en Energías Alternativas y Fluidos (EOLITO)	B	Universidad Tecnológica de Bolívar
Grupo de Física de Altas Energías de la Universidad de los Andes	A	Universidad de los Andes
Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas	A	Universidad Nacional de Colombia

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de la plataforma Scienti

En cuanto al tema de asociatividad, Biofilm y en general las empresas del Sector Petroquímico de la ciudad de Cartagena pueden apoyarse en gremios como la ANDI, Cluster Petroquímico-Plástico orientado por Ecopetrol y Comité Universidad – Empresa CUE, orientado por la Universidad Tecnológica de Bolívar para la conformación de fortalezas a nivel de agrupamiento industrial de tipo económico, investigativo y financiero que viabilicen la ejecución de proyectos de tal envergadura. Son aprovechables los estudios que recientemente ha realizado la UPME relativos a la demanda eléctrica y térmica actual y proyectada del Sector Industrial de Cartagena y puede tomarse como base para la formulación de este proyecto.

## 5.4 PLAN DE ACCIÓN

A continuación se presenta el Plan de Acción de Innovación Tecnológica propuesto para la empresa Biofilm, enmarcado en las etapas del proceso de Gestión Tecnológica:

Tabla 15. Plan de Innovación Tecnológica

	PROPUESTA 1. SISTEMA DE COMBUSTIÓN DE BAJO NOX PARA TURBINAS DE SERVICIO PESADO	PROPUESTA 2. TURBINA CON RECUPERACIÓN DE CALOR	PROPUESTA 3. GENERADOR SOLAR TERMOELÉCTRICO
<b>Diagnóstico Tecnológico</b>	Efectuado como parte del trabajo actual, en el cual se diagnosticó el sistema de control de combustión, algunas alternativas presentadas en los estudios de patentes, las tecnologías comercialmente disponibles y el impacto de su implementación	Efectuado como parte del trabajo actual. Se diagnosticó las tecnologías de turbinas de gas disponibles y las eficiencias ofrecidas por los fabricantes con relación las que están instaladas actualmente, se identificó la mayor eficiencia lograda por cambio de turbina (con el mismo tipo de combustible)	Se identificaron estudios realizados por la UPME donde se especifica la radiación solar disponible en la zona. Se debe profundizar en cuanto al aprovechamiento de esta radiación para la generación de energía. Se debe identificar el proceso termoeléctrico más apropiado para la aplicación industrial objeto de este estudio
<b>Planificación</b>	Identificar con oferta formal el costo de inversión requerido, definir los tiempos, especialistas y recursos requeridos para la instalación del nuevo sistema de control	Identificar costos adicionales que puedan variar el monto calculado de la inversión (Ejemplo, venta de los equipos actuales). Actualizar con periodicidad definida el retorno de la inversión en función de la tarifa de gas. Identificar la conveniencia de la empresa de cambiar equipos por obsolescencia o vejez.	Identificar las acciones actuales de la UPME en cuanto al fomento del uso de la energía solar. Proponer en los agrupamientos industriales, el desarrollo de macroproyectos orientados al desarrollo de esta tecnología. Identificar de qué manera la empresa participará en el desarrollo de estos proyectos.
<b>Adquisición y Desarrollo Interno</b>	La adquisición se realiza mediante compra efectuada al fabricante. Se solicita al fabricante la información y manuales requeridos para su correcta instalación y operación	La adquisición se realiza mediante compra efectuada al fabricante. Se solicita al fabricante la información y manuales requeridos para su correcta instalación y operación	Se desarrolla en función de la etapa de planificación
<b>Cambio técnico e Innovación</b>	Preparar el talento humano, equipo de ingenieros y técnicos de operación y mantenimiento del proyecto, con la información técnica previamente recibida y consultas al fabricante resueltas con anterioridad	Preparar el talento humano, equipo de ingenieros y técnicos de operación y mantenimiento del proyecto, con la información técnica previamente recibida y consultas al fabricante resueltas con anterioridad	Se desarrolla en función de la etapa de planificación
<b>Control y Evaluación</b>	Evaluar impacto de la tecnología con relación al impacto esperado. Definir indicadores de impacto del cambio tecnológico	Evaluar impacto de la tecnología con relación al impacto esperado. Definir indicadores de impacto del cambio tecnológico	Se desarrolla en función de la etapa de planificación

Fuente: Elaboración propia

## 6. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE CASO

Para que una investigación sea considerada valiosa o aceptable tiene que ser rigurosa, lo cual equivale a decir fiable, válida y generalizable. Teniendo en cuenta tales valores, los estudios de casos reciben dos críticas fundamentales que son, por una parte, el sesgo del investigador puesto que es quien especifica el fenómeno a estudiar, elige el marco teórico y analiza la conexión causal entre los hechos. Y por otro lado, la singularidad de los casos contrario a los métodos cuantitativos que se consideran de carácter universal. (Bonache, 2000).

Cuando la investigación cualitativa está ligada a problemas o necesidades específicas, el científico se convierte en una especie de investigador/consultor que intenta obtener resultados aplicables a situaciones reales. En este sentido, la calidad de la investigación no se mide solo por su adecuación a un modo particular de ver la ciencia, sino por la contribución que hace a la solución del problema de interés. Por lo general, en el proceso de investigación cualitativa se han de observar los siguientes pasos: el diseño del estudio, la recopilación de datos y la retroinformación. (Reyes 2000, citando a Marshall & Rossman, 1995).

Por los argumentos anteriormente expuestos, en esta investigación se parte de un modelo teórico preliminar que se retroalimenta con la aplicación de la teoría al estudio de caso, y presenta un nuevo modelo inducido con los componentes adicionales obtenidos de la experiencia.

En el modelo inducido, se propone el inicio a partir de la auditoría tecnológica, valorando la tecnología instalada, la gestión tecnológica en la empresa y definiendo las debilidades y fortalezas que se conforman a partir del patrimonio tecnológico y las prácticas de gestión. Esta etapa de valoración debe complementarse posteriormente con la identificación del conocimiento tácito útil que posee el personal clave dentro de la empresa a través de trabajos de grupo como entrevistas semiestructuradas y

reuniones. Mediante estas técnicas se hallan las variables que determinan la selección de las tecnologías, capacidad y/o intereses de inversión en nuevas tecnologías y la aplicación específica de la tecnología bajo estudio.

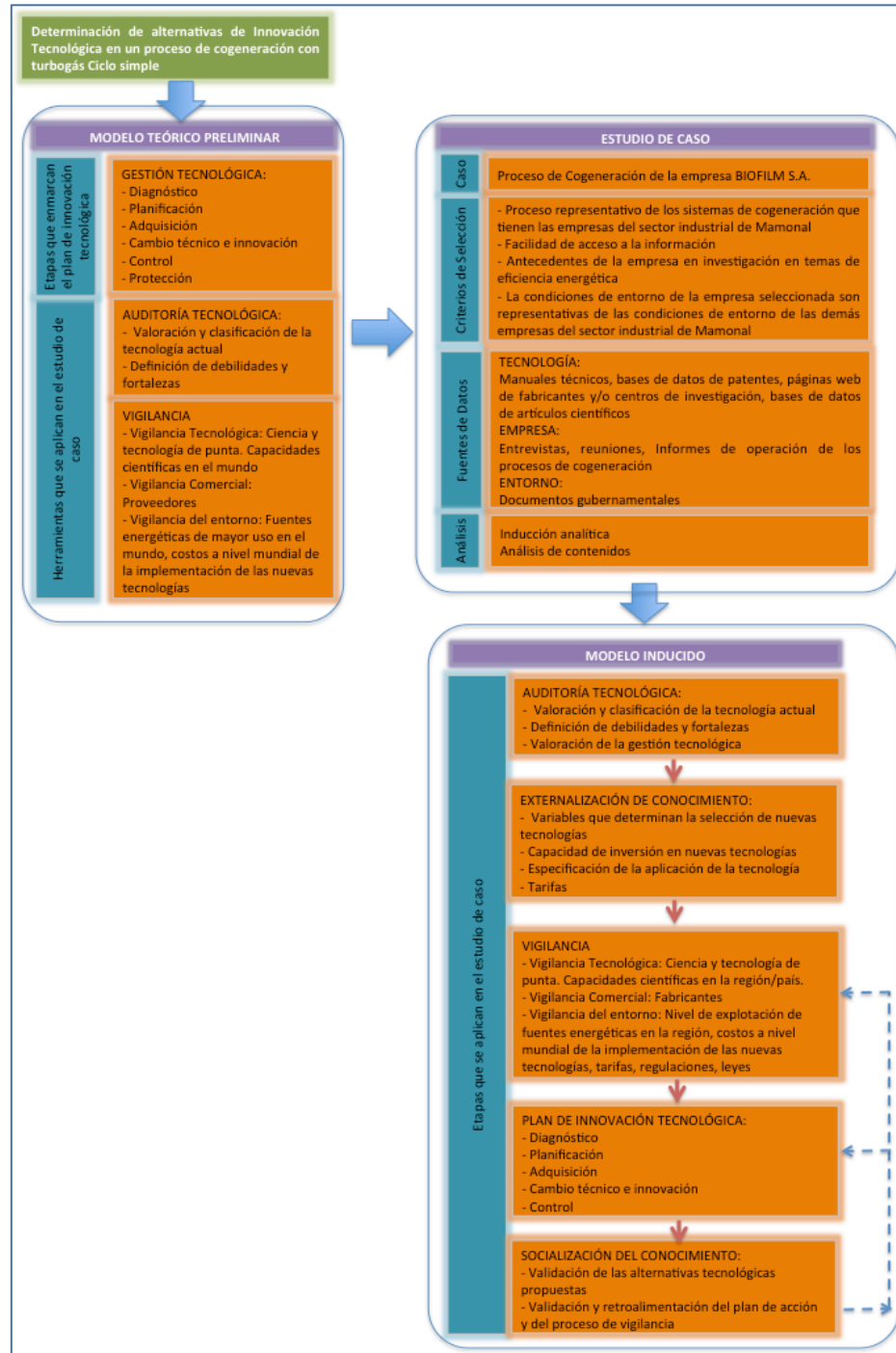
El modelo continúa con el proceso de vigilancia que incluye las etapas de vigilancia tecnológica, vigilancia comercial y vigilancia del entorno. Las etapas de vigilancia tecnológica y vigilancia comercial ofrecen resultados que son de utilidad generalizada, tales como tendencias tecnológicas, dinámica de la innovación del sector bajo estudio, líderes tecnológicos y nuevas tecnologías comercialmente disponibles. Por otro lado, la vigilancia del entorno sí se circunscribe específicamente al caso de aplicación, ofreciendo información puntual acerca de las regulaciones y normas del sector en la región, nivel de explotación de las fuentes energéticas que se asocia a la explotación de las tecnologías emergentes y así mismo brinda información relevante acerca de las barreras tecnológicas que se encuentren para el caso de estudio.

Obteniendo y relacionando toda la información que involucra el patrimonio tecnológico actual, los intereses de la empresa, las oportunidades tecnológicas y las condiciones de entorno, se procede a realizar el plan de innovación tecnológica, el cual se ciñe a las etapas del modelo de gestión tecnológica a saber: Diagnóstico tecnológico, Planificación, Adquisición, Cambio técnico e Innovación y Control.

El último eslabón del modelo inducido es la etapa de socialización del conocimiento, el cual permite validar las alternativas tecnológicas propuestas en el plan de innovación, retroalimentando a su vez el proceso de vigilancia y el plan de innovación, con los criterios del personal de la empresa. Como resultado de esta etapa también se transfiere el conocimiento del investigador hacia la empresa, otorgando elementos de decisión e ilustrando la aplicación de las herramientas de gestión tecnológica.

En la gráfica 49 se esquematiza el proceso de investigación por medio del estudio de caso.

Gráfica 49. Esquematización del proceso de investigación por medio del estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

## 7. CONCLUSIONES

En esta investigación se trató el problema tecnológico de las empresas autogeneradoras menores, con turbogás ciclo simple y tecnologías con diez o más años de uso. Para iniciar la investigación empírica se partió de la teoría acerca de las herramientas de Auditoría Tecnológica y Vigilancia, enmarcadas en un modelo de Gestión Tecnológica para la formulación de lineamientos para la innovación en el proceso de cogeneración.

Mediante la Auditoría Tecnológica se realizó el inventario de las tecnologías actualmente instaladas, se determinaron las tecnologías críticas para el proceso de cogeneración y se valoró el estado actual de la gestión tecnológica. El proceso de Vigilancia se realizó con base en la tipificación propuesta por Martinet y Riboult, tomando de esta clasificación los procesos de Vigilancia Tecnológica, Vigilancia Comercial y Vigilancia del Entorno.

La investigación se realizó con base en la metodología de estudio de caso, justificada en la capacidad de este método para extender las conclusiones a otros casos de la misma población por la fortaleza de su razonamiento explicativo, la posibilidad de identificar relaciones de origen causal en la dinámica de innovación de las tecnologías de cogeneración y su aplicación en las empresas autogeneradoras de la ciudad de Cartagena y cuya validez se justifica con la coherencia lógica de la investigación empírica y su relación con los objetivos trazados.

De la investigación realizada se determinaron tres tecnologías de cogeneración que dan solución al problema tecnológico, las cuales se enmarcaron en un plan de innovación tecnológica para la empresa caso de estudio, basado en los elementos de la Gestión Tecnológica (Castellanos, 2007) a saber: Diagnóstico tecnológico, Planificación, Adquisición y desarrollo interno, Cambio técnico e innovación y, Control y evaluación.

El plan de innovación tecnológica para el proceso de cogeneración propuesto incluye en el plazo inmediato, la actualización del sistema de combustión, propiciando reducción en el consumo de combustible e impacto ambiental asociado en 1% del valor actual. En un plazo mediano se propone la sustitución actual de la turbina de gas, por una turbina con recuperación de calor para el ciclo de generación eléctrica, con un consecuente incremento de la eficiencia energética en un 7%. Esta inversión no tiene un tiempo de retorno atractivo para la empresa para las condiciones de operación actuales. Sin embargo, se presenta como alternativa teniendo en cuenta que la tecnología instalada actualmente tiene más de diez años de uso y empieza su curva de pérdida de confiabilidad por vejez. El efecto de la pérdida de confiabilidad aunado al continuo incremento del precio de gas combustible son elementos que deben sumarse a este análisis para que la empresa determine el momento óptimo para realizar la inversión.

Dentro del presente estudio se evidenció que las tecnologías que usan energía solar como fuente de suministro, presentan un comportamiento creciente y dominante en la dinámica de innovación de los procesos de cogeneración en el mundo. Desafortunadamente en Colombia, aún se adolece de un marco regulatorio sólido y de estrategias contundentes que conlleven a facilitar la implementación de estas tecnologías y la masificación de las mismas. Sin embargo, previendo el posicionamiento de esta tecnología y sus ventajas competitivas, se propone a la empresa participar en agendas sectoriales y de agrupamientos industriales, así como proyectos de investigación que jalonen los procesos gubernamentales hacia una mayor participación y orientación en estas alternativas tecnológicas.

Se observa que en Colombia existen capacidades de I + D para soportar las innovaciones que involucran nuevas tecnologías energéticas y que requiere el sector productivo, pero muchos antecedentes importantes que se derivan de los trabajos de los grupos de investigación, son esfuerzos individuales que adolecen de un marco

integrador para lograr un mayor aprovechamiento en nuestro país de estas capacidades.

Al finalizar esta experiencia investigativa empírica, se retroalimentó el modelo teórico preliminar, llegando al modelo inducido, en el cual, además de los elementos teóricos de la Auditoría Tecnológica, Vigilancia y Gestión Tecnológica, se complementa con elementos explícitos de externalización del conocimiento existente en la empresa como punto de partida para la investigación y socialización del conocimiento desarrollado mediante la experiencia como resultado del proceso. A partir de la socialización, se retroalimentan las etapas preliminares para darle continuidad y dinamismo al proceso de innovación.

La investigación ha aportado para la empresa caso de estudio, mayor orientación del proceso de cogeneración hacia las exigencias del cliente como es la reducción continua del impacto ambiental del proceso productivo. También la empresa ha conocido su posición con relación a las oportunidades y amenazas del sector energético en que se desenvuelve, como también sus fortalezas y debilidades inherentes a la tecnología actualmente instalada y sus prácticas de Gestión Tecnológica. Todos estos factores interrelacionados son elementos constitutivos de una cultura de innovación.



## BIBLIOGRAFÍA

Andreau, O. Turbogeneradores de alto rendimiento Mercury 50 y Titan 250. Jornada técnica sobre Cogeneración y Microcogeneración. Madrid. Turbomach. A Caterpillar Company. 2011.

Acosta, M.; Manzano, A. & Salazar, G. Procesos de Planeación Tecnológica. Ecuador, 2009.

Baena, E; Botero, C & Montoya O. Gestión Tecnológica y Competitividad. SCIENTIA ET TECHNICA No. 21. Julio de 2003.

Bonache, J. El estudio de casos como estrategia de construcción teórica. Características, críticas y defensas. Cuadernos de economía y dirección en la empresa. (ISSN 1138-5758), 123-140. 1999

Cámara Oficial de Comercio de Industria de Madrid. Herramientas de Gestión de la Innovación. 2004.

Castellanos, O. Gestión Tecnológica. Memorias del Módulo Prospectiva y Vigilancia, Maestría en Gestión de la Innovación. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2010.

Castellanos, O. Gestión Tecnológica: De un enfoque tradicional a la Inteligencia. 2007. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. – Colombia. ISBN: 958-701-685-8

COLCIENCIAS/OCYT, MANUAL DE BOGOTÁ - Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe. Bogotá. 2001

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. CONUEE. Qué es cogeneración? México. 2010.

Correa, Z. Modelo de caracterización de estrategias de innovación tecnológica en empresas universitarias de base tecnológica. Un estudio de caso. Enero de 2012.

Davis, L. & Black, S. Dry Low NOx Combustion Systems for GE Heavy-Duty Gas Turbines. GE Power Systems.

Decreto 3683 de 2003. Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Comercio Industria y Turismo, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Diciembre 19 de 2003.

Diario Oficial 44573. Ley 697 de 2001. República de Colombia – Gobierno Nacional. 3 de Octubre de 2001.

Drucker, P. The discipline of Innovation. 1985. Harvard Business Review.

Duque, C.; Marmolejo, E. & Rueda, M. Análisis de Prospectiva de la Generación Distribuida (GD) en el Sector Eléctrico Colombiano. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.

Eris, E. & Saatcioglu, O. A system look for technological innovation: firm based perspective. European and Mediterranean Conference on Information Systems. Alicant, Spain. 2006.

Escorsa, P. & Maspons, R. De la Vigilancia Tecnológica a la Inteligencia Competitiva. 2001.

European Commission. World Energy Technology Outlook, 2050. European Communities, 2006. ISBN 92-79-01636-9.

Godet, M. La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. 2000. Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique CNAM - 2 rue Conté - 75003 Paris. Prospektiker —Instituto Europeo de Prospectiva y Estrategia— D. Leandro, 3 - 20800 Zarautz (Gipuzkoa) - España

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”. COLCIENCIAS. Plan Estratégico Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería 2005 – 2015. Primera Edición. Bogotá, 2005. ISBN 958-8130-93-X.

León López, A.; Castellanos Dominguez, O. & Montañez Franco, V. Tendencias Actuales en la Comprensión de la Vigilancia Tecnológica como Instrumento de Inteligencia en la Organización. In C. I. 2006, Memorias. Cuba.

Martín, J. Prospectiva Tecnológica: Una introducción a su metodología y a su aplicación en distintos países.

Morales, R. La Normalización en Gestión de la Tecnología... una actividad impostergable. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Indicadores de Ciencia y Tecnología 2010. Colombia, 2010. ISBN 978-958-98956-3-4

Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Indicadores de Ciencia y Tecnología 2004. Colombia, 2004.

Palop, F. & Vicente, J. Vigilancia tecnológica e Inteligencia competitiva. Su potencial para la empresa española. España, 1999.

Patbase ® Enlaces útiles y funcionalidades a tomar en cuenta durante su período de prueba. Minesoft – RWS Group.

Pedroza, A. Modelo para la gestión estratégica de la tecnología (GET). Universidad EAFIT. Colombia, 2001.

Perozo, E. & Nava, A. El impacto de la Gestión Tecnológica en el contexto empresarial. Revista Venezolana de Ciencias Sociales, diciembre, año/vol. 09, número 002. ISSN: 1316-4090. Pp. 488 – 504. Venezuela, 2005.

Porter, A et al. Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. USA, 2004.

Reyes, T. Métodos cualitativos de investigación: los grupos focales y el estudio de caso. Puerto Rico, 2000.

Rizo, N; Pérez, M. Modelo para la organización de la gestión tecnológica en las empresas de producción de bienes y servicios. Ciencia y Sociedad, Vol. XXVIII, Núm. 1, enero – marzo, 2003, pp. 72 – 89. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. República Dominicana. ISSN: 0378 – 7680

Ross, J. Cogeneration: a concept for today. United States. 1981.

Ruiz, M; Mandado, E. La innovación tecnológica y su gestión. Colección Productiva. MARCOMBO, S.A. 1989. Barcelona, España. ISBN: 84-267-0733-5

Sims, K.; Holdren, J. & Sagar, A. Energy – Technology Innovation. USA, 2006.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Diagnóstico de la situación energética para la ciudad de Cartagena. 2010.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Plan de Abastecimiento para el Suministro y Transporte de Gas Natural – Versión 2010.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos finales. Bogotá, D.C. Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Plan Energético Nacional 2006 – 2025. Bogotá, 2007. ISBN 978-958-97855-7-7

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2010 – 2024. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. ISBN: 978-958-8363-09-7 Bogotá, Colombia. Noviembre de 2010.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Plan de Acción Indicativo 2010 – 2015. Resumen Ejecutivo. Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía.. Bogotá D.C. Mayo de 2010.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. Seguimiento de la demanda de energéticos.

Universidad Nacional de Colombia, Colciencias. Informe de Vigilancia Tecnológica y Comercial en la Cadena Productiva de Cacao – Chocolate. Bogotá, Julio de 2007.

University of Pretoria. Defining Technological Innovation. Sudáfrica, 1999.

Vega, L. Modelo del Ciclo de Vida de un Proyecto de Gestión Tecnológica y Vinculación en un centro de I+D Universitario. México. Junio de 2006.

Yacuzzi, E. El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación. Universidad del CEMA. 2005

**ANEXO 1: FORMATO DE AUDITORÍA TECNOLÓGICA APLICADO PARA LA UNIDAD DE ANÁLISIS BIOFILM S.A. Y LA SUBUNIDAD PROCESO DE COGENERACIÓN**

1. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA		
Fecha del Diagnóstico y responsable:	30/03/12	Ing. Gestión Energética
¿Lleva a cabo trabajos de	SÍ	NO
Investigación y desarrollo?	X	
Ensayos, pruebas?	X	
Control de calidad?	X	
Dispone de alguna patente, modelo o utilidad industrial?	X	
Especificar:	Laminado y capa compuesta que comprende un sustrato, recubrimiento, proceso y equipo para la preparación de los mismos	
Desarrollo Tecnológico		
	SÍ	NO
¿Tiene Departamento de I + D?	X	
¿Tiene Departamento de Ingeniería u Oficina Técnica?	X	
Práctica de lenguas extranjeras	X	
Especificar:	Inglés	
Cooperación Tecnológica		
Detalle las Universidades, Centros de Investigación, Empresas, Administraciones con las que haya tenido algún tipo de vínculo o cooperación	Universidad del Atlántico, Energía Eficiente, Applied	
2. INFORMACIÓN DEL PROCESO DE ESTUDIO - COGENERACIÓN		
	SÍ	NO
Ha participado en algún proyecto de I + D?	X	
Especificar:	Modelo de Gestión Energética para el Sector Productivo Nacional	
	Modelo de mejoramiento continuo de la eficiencia termoenergética de las centrales de cogeneración	
Necesidades Tecnológicas		
Especifique cuáles son los problemas o necesidades tecnológicas que presenta su empresa y para cada uno de los problemas tecnológicos detectados, especificar si se ha considerado algún tipo de acción correctiva		
Problema	Acción correctiva	Fechas
Baja eficiencia energética del proceso de cogeneración que se traduce en alto costo de generación e impacto ambiental	Ninguna	
Patrimonio Tecnológico		
Especifique las tecnologías que posee y se consideran críticas para las actividades de la misma		
Tecnologías	Críticas (indicar sí o no)	
Turbina a gas natural. Capacidad 5 MW	SÍ	
Sistema de control y regulación de la combustión	SÍ	
Caldera piro-tubular recuperadora de calor. 8 Ton/h	SÍ	



<b>Posición competitiva</b>	
Definir puntos fuertes y débiles respecto a los competidores y las acciones de perfeccionamiento previstas	
Puntos fuertes	Acciones de perfeccionamiento
Conocimiento del proceso de cogeneración	Establecimiento de nuevos indicadores de operación. Establecimiento de nuevos controles rutinarios.
Fuerte relacionamiento con el fabricante de las turbinas actualmente instaladas	Ninguna
Fuerte relacionamiento con proveedores de servicios de ingeniería de procesos de cogeneración	Ninguna
Fuerte relacionamiento con el proveedor de servicio actual de operación y mantenimiento de plantas de cogeneración	Ninguna
Puntos débiles	Acciones de perfeccionamiento
Competidores con costos de energía menores que los de la empresa. Competidores con menores costos de combustibles y menores costos de energía eléctrica comercial	Proyectos de mejoramiento continuo
Tecnología de generación eléctrica con antigüedad mayor a diez años	Ninguna
Desconocimiento de las nuevas tecnologías que aplican para el proceso de cogeneración, sus requerimientos de implementación y sus beneficios	Ninguna
Relacionamiento débil con fabricantes de equipos diferentes al de los equipos actualmente instalados	Ninguna
Relacionamiento débil con grupos de investigación enfocados a los procesos de cogeneración	Ninguna

ANEXO 2: BÚSQUEDA DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN CON  
CAPACIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN  
COGENERACIÓN

## GRUPOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE POTENCIA ELÉCTRICA

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJO DE INTERÉS
1	Grupo de Investigación en Calidad de Potencia Eléctrica: CALPOSALLE	C	Universidad de La Salle	Francisco David Moya Chaves	Eficiencia Energética	Desarrollo e implementación en laboratorio de un sistema de generación eléctrica solar fotovoltaica
					Electricidad y control para el desarrollo industrial	Generación Distribuida y su reducción en las pérdidas de compensación
					Generación, Transmisión, Distribución	Estudio sobre la viabilidad de un mercado de energía en Colombia
					Gestión Energética y Empresarial	
					Uso Eficiente de la Energía	
2	Bioimpedancia Eléctrica	D	Universidad de Caldas	Carlos Augusto González Correa	Bioimpedancia Eléctrica	
					Prevención, tratamiento y seguimiento de personas con sobrepeso	
3	Mercados de Energía Eléctrica	D	Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito"	Roberto Ríos Martínez	Análisis de Mercados de Energía Eléctrica	Análisis de volatilidades del mercado de energía eléctrica colombiano
					Generación Eléctrica Distribuida	Análisis probabilista de precios de bolsa y de contratos en el mercado eléctrico colombiano
4	Electrónica de Potencia	C	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Alfonso Alzate Gómez	Calidad de Energía	Métodos de control implementados en la implementación de estabilizadores de sistemas de potencia
					Convertidores orientados hacia la enseñanza	Método híbrido basado en la estructura de agentes para localización de fallas en sistemas de distribución de energía eléctrica
					Estabilidad dinámica	Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica
					Sistemas de transmisión flexible en corriente alterna	

## GRUPOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE POTENCIA ELÉCTRICA

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJOS DE INTERÉS
5	Potencia y Energía	B	Universidad de Los Andes	Mario Alberto Ríos Mesías	Seguridad de sistemas de potencia: Planeación y operación	International energy scenarios for the Colombian Energy System
					Operación económica de sistemas de potencia eléctrica	La política energética colombiana y los retos de la coordinación
					Utilización de sistemas avanzados de monitoreo y protección	Regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida en Colombia
					Control de sistemas de potencia	Mejoramiento de la Red de Transmisión Nacional con la utilización de las Nuevas Tecnologías
					Aplicación de tecnologías FACTS y HVDC	Análisis de confiabilidad de las protecciones de los sistemas eléctricos
					Generación distribuida	Impacto de la metodología de cargos de transmisión en la viabilidad de proyectos de cogeneración
					Aplicación de Técnicas de computación avanzada en los sistemas eléctricos	La reforma del sector energético colombiano: logros y desafíos
					Redes inteligentes en sistemas de transmisión y distribución	Estudio de prospectiva de la generación distribuida en el sector eléctrico colombiano
					Calidad de la Potencia Eléctrica y Electrónica de Potencia	Implicaciones del Protocolo de Kyoto para la economía y el sistema energético colombiano
					Política y Regulación Energética	El sector eléctrico colombiano: 1991 - 2011
					Transporte Eléctrico	Competitividad de proyectos de eficiencia energética - Tecnologías y costos
Análisis Energético	Evaluación de un portafolio estándar de fuentes alternativas para la generación eléctrica en Colombia					
6	Electrónica de Potencia	Sin Clasificación	Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga	Omar Pinzón Ardila	Calidad de suministro	
					Control de dispositivos electrónicos	
					Energías renovables	
					Sistemas empotrados de tiempo real	

## GRUPOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE POTENCIA ELÉCTRICA

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJO DE INTERÉS
7	Redes de distribución y potencia	B	Universidad Nacional de Colombia	Eduardo Antonio Cano Plata	Desarrollo compacto de fuentes con alto factor de potencia	Propuesta alternativa para la inclusión de un criterio de igualación de riesgos en el cálculo del despacho de generación en el mercado de energía eléctrica colombiano.
					Diseño de equipo de alta tensión	Estudio de incentivos para la generación eléctrica renovable usando dinámica de sistemas
					Medición de la calidad de la potencia	Mercados de energía: viabilidad de la exportación de energía eléctrica al mercado de Ecuador
					Reconfiguración de alimentadores primarios	
					Reposición de activos en sistemas de distribución	
8	Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL)	A	Universidad Industrial de Santander UIS	Johann Farith Petit Suárez	Calidad de Onda y Confiabilidad del Suministro de Energía	Diseño y elaboración de una estructura curricular de la asignatura Tratamiento de
					e-learning adaptativo para la educación en ingenierías.	Control de una turbina eólica de velocidad variable conectada a la red eléctrica
					Economía y regulación de los sistemas de energía	Estado del arte del diseño de ambientes virtuales de aprendizaje con sensibilidad a las variables culturales
					Gestión Tecnológica	
					Gobierno Electrónico	
					Normatividad del Sector Eléctrico	
					Operación, control e instalación de sistemas de energía eléctrica	
					Técnicas de Alta Tensión	
Uso Racional de la Energía (URE) y Energías Renovables (ER)						
9	Investigación en Calidad de Energía Eléctrica y Estabilidad ICE3	A	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Juan José Mora Flórez	Aplicaciones de computación blanda a los sistemas de potencia	
					Calidad del servicio de energía eléctrica	
					Estabilidad de sistemas de potencia	
					Localización de fallas en sistemas de potencia	
					Máquinas eléctricas	
					Protecciones eléctricas	

## GRUPOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE POTENCIA ELÉCTRICA

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJO DE INTERÉS
10	Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos y Potencia Mecánica	Sin Clasificación	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Carlos Alberto Orozco Hincapie	Potencia Mecánica	Modelado y simulación del control de velocidad de un motor hidráulico
						Celdas de combustible tipo membrana de intercambio protónico
						Evolución y desarrollo tecnológico de las turbinas de gas con base en la temperatura de entrada (TET)
						El biodigestor: Una alternativa energética
					Plantas de ciclo combinado con gasificación integrada	
11	Grupo de Investigación en Sistemas Eléctricos de Potencia (GISEL)	C	Universidad del Norte	John Edwin Candelo Becerra	Calidad de la potencia eléctrica	Simulación de una central térmica de vapor
					Energía y Medio Ambiente	Mercado energético en Colombia: Mucha oferta y poca demanda
					Mercados de Energía Eléctrica	Scheduling Economic Power Generators under Insulation Condition from National Land using Multiobjective Optimization
					Operación y Mantenimiento de Sistemas de Potencia	Instrumentación virtual en la educación
12	Sistemas de control, electrónica de potencia y gestión de la innovación tecnológica	B	Pontificia Universidad Javeriana	Fredy Orlando Ruiz Palacios	Convertidores estáticos de energía	Prototipo didáctico para la enseñanza de la ingeniería estructural
					Gestión de la innovación tecnológica	
					Redes de sensores y buses de campo	
					Sistema de control automático	
13	Grupo de Investigación en Sistemas de Potencia de la Universidad Distrital - GISPUD	D	Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"	Alexandra Sashenka Pérez Santos	Distribución de energía eléctrica	Planeamiento vs. Regulación en la estructura de cargos del nivel de tensión 4 de distribución de energía eléctrica en Colombia
14	Grupo de investigación en potencia, calidad de la energía y mecatrónica (GPM&C)	D	Fundación Universidad Incca de Colombia	Fabio Delgado Rincón	Calidad de Energía Electrónica de Potencia Mecatrónica	

## GRUPOS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE COMBUSTIÓN

INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	SECTORES DE APLICACIÓN	TRABAJOS DE INTERÉS
Helmer Acevedo Gamboa	Biocombustibles y protección del medio ambiente	Aeronáutica y Espacio	Comparación de emisiones de motores operados con petrodiesel y biodiesel

## GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE ENERGÍAS RENOVABLES

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJOS DE INTERÉS
1	Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología	C	Universidad Tecnológica del Chocó	William Murillo López	Energías Renovables, Meteorología	<p>Caracterización de la radiación Solar en Quibdó</p> <p>Energía Solar Fotovoltaica en Quibdó</p> <p>Un Modelo para Calcular la Radiación Ultravioleta</p>
2	Grupo de Investigación en Sistemas Electrónicos y Energías Renovables (SEER)	Sin clasificación	Universidad Cooperativa de Colombia Universidad del Magdalena	Carlos Arturo Robles Algarín	Diseño de Sistemas Electrónicos, Modelamiento y Control de Procesos Industriales, Uso Racional de la Energía	Sistemas Híbridos: Una estrategia para mejorar la eficiencia en paneles solares
7	Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas	A	Universidad Nacional de Colombia	Farid Chejne Janna	<p>Desarrollo e Implementación de Nuevas Alternativas Energéticas</p> <p>Modelamiento y simulación de procesos</p> <p>Termodinámica Avanzada</p>	<p>Energy Efficiency Bussiness options for industrial and users in Colombia's competitive energy market.</p> <p>Simulation of wind energy output at Guajira, Colombia</p> <p>Tolerancia al CO en celdas de combustible</p> <p>Evaluación de una celda de combustible de electrolito polimérico con ánodos Pt-M (M = Sn, Ru e Ir) para la oxidación de H<sub>2</sub> y CO</p> <p>Low temperature heat source for power generation: Exhaustive analysis of a carbon dioxide transcritical power cycle.</p>
8	Energías, Materiales y Ambientes - Unisabana.	Sin clasificación	Universidad de la Sabana	Manuel Fernando Valero Valdivieso	Ambiente, Energía, Materiales	Aplicación de reactores no convencionales para la producción de hidrógeno a partir de etanol
9	IENA - Investigación en Energías Alternativas	D	Fundación Universidad de América	Luis Eduardo García Fernández	Desarrollo de la Ingeniería Civil para ámbitos urbanos	Generación de hidrógeno a partir de Biomasa y procesos biológicos
10	Grupo de Investigación en Energías GIEN - UAO	B	Universidad Autónoma de Occidente - UAO	Enrique Ciro Quispe Oqueña	<p>Eficiencia Energética y Energías Alternativas</p> <p>Máquinas Eléctricas y Electrónica de Potencia</p> <p>Sistemas de Potencia y Calidad de la Energía Eléctrica</p>	<p>Análisis de recurso solar y eólico en Colombia. Caso Valle del Cauca.</p> <p>Diseño e Implementación de energías renovables.</p> <p>Estudio estructural de aerogeneradores de eje horizontal y potencia superior a 1 MW</p>



## GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE ENERGÍAS RENOVABLES

ÍTEM	NOMBRE	CATEGORÍA	INSTITUCIÓN	INVESTIGADOR PRINCIPAL	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	TRABAJOS DE INTERÉS
14	Grupo de Energías Alternativas y Estudios Ambientales	Sin clasificación	Universidad de la Amazonía	José Antonio Marín Peña	Energías Alternativas	Medición de la velocidad y dirección del viento a través de instrumentación virtual
					Enseñanza y Aprendizaje de la Física	
					Estudios Ambientales	
					Física Aplicada	
15	Grupo de Investigación en Energías Alternativas - GIEAUD	D	Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"	Germán Arturo López Martínez		Determinación del potencial energético del viento entre los bloques 4 y 5 de Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas
16	Grupo de Investigación en Energías y Eficiencia	D	Fundación Universidad Central	Rubén Llanes Mancilla	Combustibles alternativos	Pequeña central hidroeléctrica Primera Turbina Kaplan que se instalará en Colombia
					Refrigeración con hidrocarburos	Proyecto de Reducción de Emisiones por Generación de Energía Renovable considerando el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), caso "Pequeña Central Hidroeléctrica Santa Ana"
18	Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas (GEAL)	C	Universidad Nacional de Colombia	Judith Rodríguez Salcedo	Análisis de Energía en Sistemas Agrícolas	Una exploración sobre el potencial eólico en Colombia, y diseño de un sistema eólico de baja potencia para una aplicación de abastecimiento eléctrico rural
					Biocombustibles	
					Uso Racional de Energía y Sistemas Alternos	
19	Grupo de Investigación en Energías Alternativas y Fluidos (EOLITO)	B	Universidad Tecnológica de Bolívar	Bienvenido Sarria López	Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía	Estudio del desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión al utilizar Biodiesel como combustible
					Energías Alternativas	Análisis de ciclos de cero emisiones
					Mecánica de Fluidos Aplicada	