



**ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN BIOCOMBUSTIBLES PARA LA DEFINICIÓN  
DE LINEAS ESTRATÉGICAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
COLOMBIA**

LILIANA PINILLA TORRES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTA D.C, 2013

**ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN BIOCOMBUSTIBLES PARA LA DEFINICIÓN  
DE LINEAS ESTRATÉGICAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
COLOMBIA**

LILIANA PINILLA TORRES

Ingeniera Química

**Trabajo de Grado para optar por el Título de M.Sc en Gestión Ambiental**

Director:

MANUEL LAUREANO NUÑEZ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTA D.C, 2013

## AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos:

A **MANUEL LAUREANO NUÑEZ**, por su apoyo incondicional como director de trabajo de grado, e introducirme al mundo de los biocombustibles brindándome una oportunidad de desarrollo personal y laboral.

A **INGRID PAOLA MOJICA**, profesional de la OFI por su colaboración y soporte metodológico, sin el cual nada de esto hubiera sido posible.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1. CONTEXTO .....	9
2. MARCOS DE REFERENCIA .....	18
1. RESULTADOS.....	57
2. ANALISIS DE RESULTADOS.....	79
3. CONCLUSIONES .....	92
4. RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFIA.....	95

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Problemática de I&D de Biocombustibles en Colombia .....	10
Ilustración 2 El proceso cultural adaptativo de Marvin Harris como explicación a la aparición de los biocombustibles.....	13
Ilustración 3 Distribución del porcentaje de mezcla de etanol en el territorio nacional.....	16
Ilustración 4 Distribución del porcentaje de mezcla de biodiesel en el territorio nacional.....	16
Ilustración 5. Tipos de biomasa.....	18
Ilustración 6. Proceso de producción del etanol .....	20
Ilustración 7. Proceso de transesterificación.....	21
Ilustración 8. Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica.....	22
Ilustración 9. Proceso de producción de biodiesel btl de segunda generación .....	23
Ilustración 10. Proceso de producción del diesel renovable .....	24
Ilustración 11. Proceso de producción Green jet fuel.....	25
Ilustración 12. Proceso de producción de biocombustibles a partir de microalgas.....	26
Ilustración 13. Esquema de la tecnología de Amyris .....	27
Ilustración 14 Visión de la UE para 2050.....	30
Ilustración 15 Criterios para la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles. Ley 693 del 2001.....	31
Ilustración 16. Costo del etanol colombiano para exportar a EEUU .....	36
Ilustración 17. Costo del biodiesel colombiano para exportación a la UE .....	37
Ilustración 18. Costo total de producir combustible por galón de gasolina equivalente .....	37
Ilustración 19. Rendimientos promedio de caña de azúcar por hectárea .....	39
Ilustración 20. Rendimiento promedio de producción de aceite de palma.....	39
Ilustración 21. Fases para el análisis de tendencias.....	43
Ilustración 22 Ecuación de búsqueda en ISI .....	46
Ilustración 23. Ecuación de búsqueda en SCOPUS .....	46
Ilustración 24. Metodología para el análisis de artículos científicos en la IT.....	48
Ilustración 25. Búsqueda de patentes en ISI .....	52
Ilustración 26. Países líderes por # de publicaciones .....	57
Ilustración 27 .Instituciones líderes por número de publicaciones.....	57
Ilustración 28. Investigadores líderes por número de publicaciones.....	58
Ilustración 29. Matriz investigadores líderes vs año de publicación.....	58
Ilustración 30. Actividad publicaciones científicas .....	59
Ilustración 31. Dinámica acumulada de publicaciones científicas .....	59
Ilustración 32. Temáticas de mayor actividad .....	60
Ilustración 33. Países con mayor número de publicaciones .....	61
Ilustración 34. Temáticas con mayor número de publicaciones .....	61
Ilustración 35. Producción acumulada de publicaciones científicas.....	63
Ilustración 36 Dinámica de publicaciones científicas en Latinoamérica .....	64

Ilustración 37. Investigadores líderes en publicaciones científicas.....	65
Ilustración 38. Investigadores líderes por número de citasiones .....	65
Ilustración 39. Dinámica de patentamiento por año de solicitud.....	67
Ilustración 40. Países en los que es prioridad el patentamiento (priority country) .....	67
Ilustración 41. Instituciones líderes solicitantes de patentes .....	68
Ilustración 42. Principales áreas tecnológicas en patentamiento .....	69
Ilustración 43. Dinámica de creación de grupos de investigación .....	72
Ilustración 44 Cobertura nacional (departamento).....	72
Ilustración 45. Clasificación en Colciencias de grupos de investigación .....	73
Ilustración 46. Matriz tecnologías avanzadas en biocombustibles .....	78
Ilustración 47. Actores involucrados en el desarrollo tecnológico de biocombustibles.....	81
Ilustración 48 Triangulación de la información .....	83
Ilustración 49 Análisis DOFA para Colombia .....	91

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . Indicadores de producción de etanol en Colombia .....	14
Tabla 2 Indicadores de producción de biodiesel en Colombia .....	14
Tabla 3 Plantas de producción de etanol en Colombia .....	15
Tabla 4. Plantas de producción de biodiesel en Colombia .....	15
Tabla 5. % de reducción de GEI en diferentes normatividades a nivel mundial.....	28
Tabla 6. Valor del RIN por tipo de biocombustible .....	28
Tabla 7 Normatividad en biocombustibles para países seleccionados. ....	29
Tabla 8. Marco jurídico colombiano para el biodiesel .....	32
Tabla 9. Marco jurídico colombiano para el etanol.....	33
Tabla 10. Costos de biocombustibles avanzados por empresas seleccionadas.....	38
Tabla 11 Evolución histórica de la vigilancia tecnológica.....	41
Tabla 12. Comparación de las principales métricas .....	42
Tabla 13. Palabras claves seleccionadas .....	45
Tabla 14. # de Registros obtenidos con las ecuaciones de búsqueda .....	47
Tabla 15 Códigos patentes en Espacenet .....	49
Tabla 16. Clasificación códigos internacionales de patentes por grado de importancia .....	50
Tabla 17. Ecuaciones de búsqueda en Espacenet.....	51
Tabla 18. Resultados de la búsqueda de patentes en ISI.....	52
Tabla 19. Palabras claves búsqueda Scienti-Colciencias .....	53
Tabla 20. Software de procesamiento de información .....	53
Tabla 21. Familias de tecnologías emergentes de biocombustibles avanzados.....	55
Tabla 22. Perfiles expertos entrevistados .....	56
Tabla 23. Año de aparición de temáticas.....	62
Tabla 24. Matriz de países con mayor número de publicaciones por año .....	63
Tabla 25. Matriz de investigadores vs año.....	65
Tabla 26. Instituciones líderes por año de publicación .....	66
Tabla 27. Matriz de instituciones solicitantes de patentes por año .....	69
Tabla 28 Entidades que trabajan en biocombustibles en Colombia.....	70
Tabla 29. Grupos de investigación en Colombia.....	71
Tabla 30. Patentes colombianas.....	73
Tabla 31. Preguntas y respuestas de expertos.....	74
Tabla 32. Aspectos comunes y divergentes entrevista expertos .....	83
Tabla 33. Contrastación información .....	84
Tabla 34. Análisis DOFA tecnología de HDT .....	89
Tabla 35. Análisis DOFA tecnologías de hidrolisis enzimática.....	89
Tabla 36. Analisis DOFA para biobutanol .....	90

El incremento en el consumo energético a nivel mundial y la búsqueda de estrategias para combatir el cambio climático<sup>1</sup>, están entre los factores que han impulsado el desarrollo e implementación de los biocombustibles como fuentes alternativas de energía.

En los últimos años se han desarrollado nuevas generaciones de biocombustibles que tienen como características principales el uso de materias primas alternativas que no generan competencia alimenticia, la optimización del uso de recursos como el agua y la energía y el uso de ingeniería genética para mejorar aspectos como la captura de carbono<sup>2</sup> y aumentar los rendimientos.

Colombia no ha sido ajena a estas tendencias. Las políticas públicas y la normatividad de nuestro país han dado un fuerte apoyo a los biocombustibles. La aprobación de la Ley 693 de 2001 marcó la entrada de Colombia en la nueva era mundial de los combustibles de origen vegetal y ya hay investigaciones y desarrollos en biocombustibles avanzados como el etanol lignocelulósico.

En este estudio se presenta un completo informe de la situación actual del sector; haciendo uso de una herramienta conocida como vigilancia tecnológica, para reconocer el estado del arte de la investigación en el tema de biocombustibles. Para ello se hace uso de las más calificadas bases de datos con información científica para poder describir con precisión el entorno del trabajo académico sobre el tema; esta revisión no se realiza únicamente para el plano internacional, sino que también hace un diagnóstico de la investigación en el país.

Luego de conocer quiénes son referentes en el mundo en los aspectos concernientes a investigación y desarrollo tecnológico sobre el tema, la segunda fase de este trabajo continua con el desarrollo de una base de datos de las empresas que tienen proyectos en biocombustibles avanzados, los cuales fueron agrupados por familias de tecnologías y analizadas mediante un DOFA y una herramienta llamada Cruz de escenarios con lo que se identificaron las tecnologías más promisorias.

Por último se partirá de los resultados obtenidos en las fases previas, complementando los mismos con entrevistas a expertos, para proponer líneas de investigación y desarrollo en Colombia que es el objetivo final del presente estudio.

Disponer de un análisis como el presente, se convierte en una herramienta de gran utilidad para que los responsables de la toma de decisiones en Colombia puedan elaborar las estrategias más convenientes para afrontar los retos que se avecinan en el proceso de desarrollo del tema de diversificación energética en el país.

---

<sup>1</sup> CEPAL. Energía y cambio climático: oportunidades para una política energética integrada en América Latina y el Caribe.2008.

<sup>2</sup> <http://www.amazings.com/ciencia/noticias/011210d.html>

# ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN BIOCOMBUSTIBLES PARA LA DEFINICIÓN DE LINEAS ESTRATEGICAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN COLOMBIA

## 1. CONTEXTO

### 1.1 Tema de investigación

El tema de los biocombustibles como fuente de energía no es nuevo, se puede considerar como el regreso a las fuentes de desarrollo pues incluso el inventor del motor Diesel Rudolph Diesel tenía pensado accionar su motor de ignición/compresión con aceite vegetal a base de maní<sup>3</sup>.

Sin embargo, la búsqueda de un combustible que pudiera reemplazar el combustible fósil, emergió nuevamente durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil sobre el diesel de origen vegetal<sup>4</sup>.

Realmente fue hasta el año de 1970, cuando el tema de los biocombustibles se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética del momento y del elevado costo del petróleo<sup>5</sup>.

Como biocombustible se entiende cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, proveniente de biomasa de origen reciente (materia orgánica de origen animal o vegetal)<sup>6</sup>.

Colombia es el segundo mayor productor de biocombustibles en América Latina, después de Brasil<sup>7</sup>. Está planeada una expansión significativa, con más de 5 millones de hectáreas de tierra potencialmente disponibles para el cultivo de agricultura energética. Consecuentemente, el Gobierno de Colombia ha aprobado directrices de mezclas para biodiesel (B10) y para etanol (E10) con la opción de incrementar la proporción de mezclas.

Aunque los biocombustibles pueden ser sustitutos parciales de los combustibles fósiles y una nueva fuente de ingresos para la agricultura, los impactos ambientales y socio-económicos en la producción son asuntos complejos que son discutidos críticamente en los esquemas de sostenibilidad actuales.<sup>8</sup>

Sin embargo estos debates han estado concentrados específicamente en los llamados “biocombustibles de primera generación” o “agrocombustibles”, como el etanol y el biodiesel procedentes de cultivos anuales o plurianuales<sup>9</sup>.

Nuevas investigaciones a nivel mundial están comenzando a explorar otras opciones, consideradas biocombustibles de segunda, tercera y cuarta generación. Los llamados biocombustibles avanzados son derivados de avanzadas tecnologías de producción y sus materias primas pueden ser residuos o desechos agrícolas que no generan competencia

---

<sup>3</sup> MINAGRICULTURA. Estrategia de desarrollo de biocombustibles. 2006.

<sup>4</sup> *Ibíd.*

<sup>5</sup> *Ibíd.*

<sup>6</sup> *Ibíd.*

<sup>7</sup> BID. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. 2012

<sup>8</sup> UNESCO. Tecnología y biocombustibles de segunda generación. 2010.

<sup>9</sup> *Ibíd.*

alimenticia, como el caso del etanol lignocelulósico, y que se puedan sembrar en áreas no aptas para cultivos, como los provenientes de las microalgas.

Estas tecnologías de producción de biocombustibles actualmente están siendo ampliamente desarrolladas a nivel internacional. Por lo tanto, se espera que estos combustibles tengan un gran auge en un futuro cercano ya que las políticas de Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea se orienten hacia el uso y comercialización de estos.

Es por esta razón que se hace necesario hacer una puesta al día del estado de la investigación a nivel mundial de estas nuevas tecnologías, así como identificar las potencialidades para el desarrollo del país.

## 1.2 Problema de investigación

La investigación Universitaria debe contribuir al cierre de brechas tecnológicas y al aporte de conocimiento útil a la sociedad; no obstante las temáticas, orientaciones y proyectos a desarrollar son a menudo emprendidos sin tener en cuenta las necesidades institucionales, regionales y nacionales, por lo que se genera una incongruencia entre investigación y necesidades, dispersándose los esfuerzos hechos en investigación y desarrollo debido a la insuficiente transferencia de resultados y la poca articulación de los diferentes entes involucrados.

**Ilustración 1.** Problemática de I&D de Biocombustibles en Colombia



FUENTE: Autor, 2012.

Colombia es uno de los países del mundo con legislación más robusta en materia de biocombustibles<sup>10</sup>, la cual tiende a exigir con el paso de los años mayores porcentajes de mezcla con los combustibles fósiles convencionales<sup>11</sup>, lo que repercutirá en la creación de mayor número de plantas productoras y en el uso de los recursos naturales, especialmente el suelo y el agua, además de las problemáticas sociales que ya han ido generando los biocombustibles de primera generación.

<sup>10</sup> HART. Evolución de políticas sobre biocombustibles a nivel mundial.2009

<sup>11</sup> Ministerio de Minas y energía. Decreto 4892 del 2011. Artículos 1 y 2.

Este panorama requiere que el país realice los estudios de las posibilidades, ventajas, desventajas, consecuencias, impactos y efectos que generaría la producción y uso de biocombustibles de segunda, tercera y cuarta generación tanto en el campo ecosistémico como en sus aspectos sociales, económicos, políticos e institucionales, es decir, en una sola palabra, en el campo ambiental.

### 1.3 Justificación

Los biocombustibles en Colombia han tenido un fuerte apoyo de parte del gobierno, no obstante en los últimos años ha habido revisiones y cambios en la normatividad y no se descarta que se hagan más modificaciones en el futuro.

Debido a esto es importante que las universidades y centros de investigación soporten la toma de decisiones sobre biocombustibles a través de estudios y análisis, que aborden la integralidad de la temática.

En este marco este proyecto proporciona una visión del panorama tecnológico a nivel mundial en biocombustibles para proponer líneas de I&D en Colombia acordes a nuestras condiciones geográficas, necesidades y criterios de sostenibilidad.

### 1.4 Antecedentes

#### Contexto global

---

La historia de los biocombustibles se inicia a fines del siglo XIX y nace prácticamente con el uso de los hidrocarburos como fuente de energía. La idea de usar aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna data de 1895. En ese año el Dr. Rudolf Diesel desarrolló el primer motor diesel, cuyo prototipo ya estaba previsto que funcionara con aceites vegetales, como por ejemplo el aceite de maní, que en las primeras pruebas funcionó bien. Años después Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil modelo T en 1908, esperaba utilizar el etanol como combustible.<sup>12</sup>

La Standard Oil empleó a principios de los años veinte, en el área de Baltimore, 25% del etanol en gasolina, pero los elevados precios del maíz –producto del que se obtenía– junto con los altos costos de almacenamiento y las dificultades en el transporte, hicieron abandonar el proyecto; además el petróleo irrumpió en el mercado más barato, más eficiente y más disponible.<sup>13</sup>

La primera experiencia del empleo de un biocombustible en el transporte público data de 1938, cuando se utilizó biodiesel en la línea de ómnibus Bruselas-Lovaina en el curso de la Segunda Guerra Mundial. Los alemanes emplearon el biodiesel para mover sus flotas de guerra y los vehículos pesados en el norte de África.

Con la crisis del petróleo que se vivió en la década de los setenta disminuyó la oferta, por lo que se disparó su precio en forma exorbitante así como el precio de la gasolina, que se incrementó 100%. A fines de 1979, a raíz de la crisis de los precios del petróleo, se estableció una mezcla

---

<sup>12</sup> SALINAS, Edmar. Los biocombustibles. México. 2009. En línea  
<http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=32512739009>

<sup>13</sup> ibíd.

de gasolina y etanol: los biocombustibles se volvían a presentar como una alternativa al alza de los precios del petróleo y al posible agotamiento de los recursos no renovables.<sup>14</sup>

#### **Drivers para el desarrollo de los biocombustibles:**<sup>15</sup>

- **Altos precios de la energía:** Los altos costos de la energía, en especial los precios del petróleo, están motivando a las naciones a buscar alternativas de energía para su transporte y suministro de energía eléctrica.
- **Seguridad energética:** Un importante driver para el crecimiento de la bioenergía es el objetivo de muchas naciones de reducir su vulnerabilidad a los aumentos de precios y las interrupciones del suministro aumentando así su seguridad energética. El aumento de los precios del petróleo y el gas están poniendo una gran presión sobre los presupuestos nacionales de los países dependientes de la importación. La bioenergía es vista como un medio clave de la diversificación de los suministros de energía y de paso reducir la dependencia de unos pocos exportadores de petróleo y gas natural.
- **Aumento de la población mundial:** Muy prematuramente Thomas Malthus se había atrevido a sugerir que el planeta había alcanzado el límite de su habilidad para soportar la población humana y las necesidades de la sociedad, pero ya desde los 70's la perspectiva Maltusiana retornó y se convirtió en un hecho de preocupación pública.
- **Cambio climático:** El crecimiento de la bioenergía está muy relacionado con los compromisos de los países para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar el cambio climático global. Un grupo cada vez mayor de países están trabajando para lograr la neutralidad de GEI y muchos de ellos están incorporando la bioenergía como un elemento clave en sus esfuerzos para desarrollar nuevos modelos económicos basados en emisiones bajas en carbono.
- **Desarrollo rural:** un driver clave en muchos contextos es el potencial para el desarrollo rural y, especialmente, la revitalización de los sectores agrícolas. Aunque todavía no está completamente claro cómo los agricultores pobres puedan participar en los sistemas de bioenergía, estos podrían contribuir a mantener el empleo y crear nuevos puestos de trabajo en las zonas rurales, evitando el abandono de tierras y la reducción de la migración en el país a las ciudades. Los nuevos tipos de cultivos, prácticas agrícolas mejoradas y la posibilidad de utilizar los residuos agrícolas y forestales proporcionan el potencial para flujos de ingresos nuevos y diversificados para los agricultores y propietarios de tierras. La producción local y el uso de la bioenergía moderna podrían contribuir al desarrollo rural y la mitigación de la pobreza, si los países lo promueven en un contexto de desarrollo sostenible

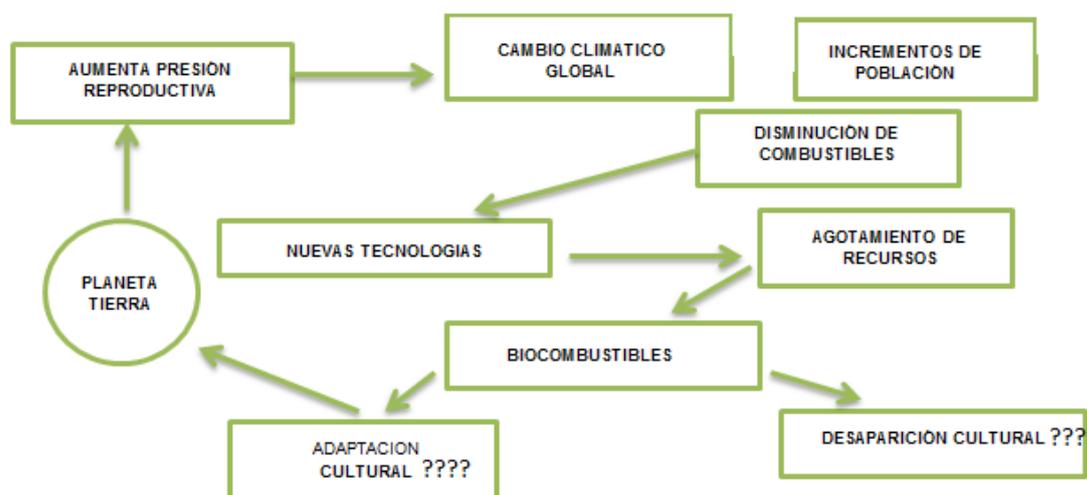
Estos “drivers” nos remiten al proceso adaptativo cultural planteado por Marvin Harris, pero esta vez aplicado a la aparición de los biocombustibles.

---

<sup>14</sup> ibid

<sup>15</sup> Mitsubishi Research Institute INC, Universidad Nacional de Colombia, Numark Associates INC; “SUSTAINABLE ENERGY AND BIOFUEL STRATEGIES FOR COLOMBIA CO-T1052. Preliminary Report I”.

**Ilustración 2** El proceso cultural adaptativo de Marvin Harris como explicación a la aparición de los biocombustibles



FUENTE: Autor, 2011. Basado en: SICARD, Tomas. Agro biocombustibles y medio ambiente. Memorias del segundo taller programa IDI en biocombustibles, Colciencias-Corpodib.(10:julio, 2008: Bogotá, Colombia).

## Contexto nacional

Colombia es un país con altos niveles de dependencia de combustibles fósiles. El petróleo representa el 41% del consumo doméstico de energía, un porcentaje significativamente más alto que el promedio mundial calculado en 35% aproximadamente (IADB, 2007).

Aunque el país es productor de petróleo, la insuficiencia de refinerías hace necesaria la importación de petróleo, sumado a la expectativa frente a mercados emergentes de energías renovables explican en buena parte el interés creciente alrededor de los biocombustibles.<sup>16</sup>

Sin embargo el tema en nuestro país no es tan nuevo como se cree. En 1942 se presentó el primer proyecto de ley en la Cámara de Representantes que obligaba la mezcla de gasolina con alcohol de caña y de yuca. No fue aprobado. En 1979 otro proyecto de ley es presentado en el Senado de la República.

En 1999 un grupo se empezó a promover de nuevo dicho proyecto, iniciativa que dio paso a la expedición de la ley 693 de 2001, conocida como la ley del etanol, que dio vía libre al desarrollo de los biocombustibles, con tres grandes objetivos: reducir la dependencia del petróleo, mejorar el medio ambiente y generar empleo rural a través del desarrollo regional, para lo cual determinó que la mezcla de etanol con gasolina fuera obligatoria y fijó al Gobierno un plazo perentorio de cinco años para implementar el mandato legal.

En diciembre de 2004 y por iniciativa gubernamental, fue expedida la ley 939 o ley del biodiesel, con los mismos fines de la ley del etanol.

La primera mezcla de etanol con gasolina se dio el 3 de octubre de 2005 y la de biodiesel con ACPM el 1 de enero de 2008.

<sup>16</sup> UN, COLCIENCIAS, Cámara de Representantes. Foro Los biocombustibles en Colombia a debate.2008.

La principal fuente agroenergética en Colombia para la producción de etanol es la caña de azúcar. En cuanto a biodiésel, la palma africana es la más utilizada. Aunque en el país se viene realizando diferentes investigaciones para la utilización de jatropha, higuera y sorgo dulce, como fuentes alternativas.<sup>17</sup>

La producción actual de biocombustibles en el país asciende a 883.000 toneladas al año. Esta producción se genera en 5 ingenios ubicados en valle geográfico del río Cauca y en 6 plantas de biodiesel ubicadas en el norte y centro del país. La producción de biocombustibles equivale aproximadamente a 2 billones de pesos colombianos<sup>15</sup>, representan el 0.2% del PIB nacional, pero casi el 2% del PIB industrial.

**Tabla 1 .** Indicadores de producción de etanol en Colombia

Indicador	2008	2009	2010	2011	2012 (P)
Área Sembrada de caña (hectáreas)*	205 664	208 254	218 311	223 905	-
Caña Molida (millones toneladas)*	19,20	23,58	20,27	22,72	-
Producción de Azúcar (millones tmvc <sup>1</sup> )	2,03	2,59	2,07	2,34	2,40
Producción de Etanol (millones litros)	255,84	326,84	291,28	336,95	370
Ventas de Etanol (millones litros)	247,09	338,36	292,08	351,08	-
Mercado Interno Azúcar (millones tmvc <sup>1</sup> )	1,56	1,65	1,62	1,59	-
Exportaciones de Azúcar (millones tmvc <sup>1</sup> )	0,48	1,05	0,69	0,94	-

FUENTE: [En Línea], En:<

<http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2827%29.pdf>>

**Tabla 2** Indicadores de producción de biodiesel en Colombia

INDICADOR	2008	2009	2010	2011	2012**
Producción Biodiésel (Toneladas)	-	169 411	337 713	443 037	-
Ventas Biodiésel (Toneladas)	-	169 065	337 718	-	-
Ventas aceite de palma para biodiésel (Toneladas)	40 700	153 496	337 700	385 000	439 000
Producción aceite crudo de palma (Toneladas)*	775 500	801 000	846 000	942 000	1 039 400
Hectáreas sembradas de palma*	336 956	360 536	403 684	427 367	-
Hectáreas sembradas de palma en desarrollo	115 690	126 188	153 022	266 992	-
Hectáreas sembradas de palma en producción	221 266	234 349	250 662	160 375	-

FUENTE: [En Línea], En:<

<http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BIODIESEL%2827%29.pdf>>

<sup>17</sup> <http://www.corpoica.org.co>

La producción de etanol nacional es de 285.000 toneladas. El etanol que se produce en el país se cultiva en 40.741 hectáreas de caña de azúcar y genera cerca de 22.287 empleos (directos e indirectos). El etanol se mezcla con la gasolina en gran parte del territorio nacional.

**Tabla 3** Plantas de producción de etanol en Colombia

No.	Región	Inversionista	Capacidad (L/Día)	Absorción Azúcar Crudo (T/Año)	Área Sembrada (ha)	Empleos Directos	Empleos Indirectos
1	Miranda, Cauca	Incauca	350.000	97.690	11.942	2.171	4.342
2	Palmira, Valle	Ingenio Providencia	300.000	65.126	9.287	1.688	3.376
3	Palmira, Valle	Manuelita	250.000	81.408	8.721	1.586	3.172
4	Candelaria, Valle	Mayagüez	250.000	48.845	6.587	1.198	2.396
5	La Virginia, Risaralda	Ingenio Risaralda	100.000	32.563	3.004	546	1.092
6	Canta Claro, Puerto López	GPC	25.000	41.000 *	1.200	240	480
<b>TOTAL en Producción</b>			<b>1.275.000</b>	<b>366.632</b>	<b>40.741</b>	<b>7.429</b>	<b>14.858</b>

\* Toneladas de yuca amarga

FUENTE: [En Línea], En:<<http://www.fedebiocombustibles.com/v2/noticias-fedebiocombustibles-sub-26.htm>>

El mercado del biodiesel Colombiano es de 506.000 toneladas, producción con la que garantiza la mezcla del 7% en Bogotá y sus zonas aledañas, 2% en algunas zonas de frontera y del 10% en el resto del país.

La producción de biodiesel se cultiva en 168.200 hectáreas de palma africana. El cultivo de palma con destino a biodiesel genera 72.000 empleos directos e indirectos.

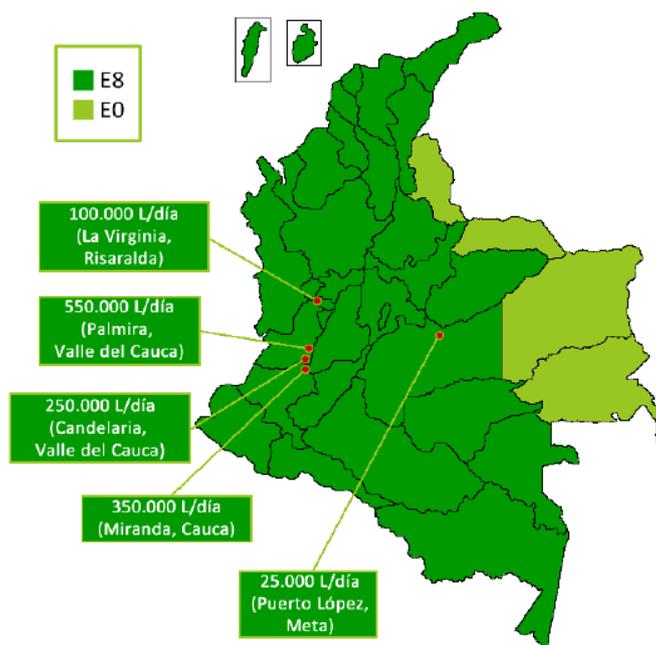
**Tabla 4.** Plantas de producción de biodiesel en Colombia

Plantas Productoras de Biodiésel en Funcionamiento							
Región	Empresa	Capacidad (t/año)	Capacidad (lt/día)	Área sembrada (ha)	Empleos directos	Empleos indirectos	Fecha entrada en operación
Norte, Codazzi	Oleoflores	70.000	169.000	23.000	3.300	6.600	Enero 2008
Norte, Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	100.000	337.000	33.300	4.757	9.514	Marzo 2009
Oriental, Facatativá	Bio D	100.000	337.000	33.300	4.757	9.514	Febrero 2009
Central, B/bermeja	Ecodiesel de Colombia	100.000	337.000	33.300	4.757	9.514	Junio 2010
Oriental, San Carlos de Guaroa, Meta	Aceites Manuelita	100.000	337.000	33.300	4.757	9.514	Julio 2009
<b>TOTAL</b>		<b>506.000</b>	<b>1.638.000</b>	<b>168.200</b>	<b>24.028</b>	<b>48.056</b>	

FUENTE: [En Línea], En:<<http://www.fedebiocombustibles.com/v2/noticias-fedebiocombustibles-sub-26.htm>>

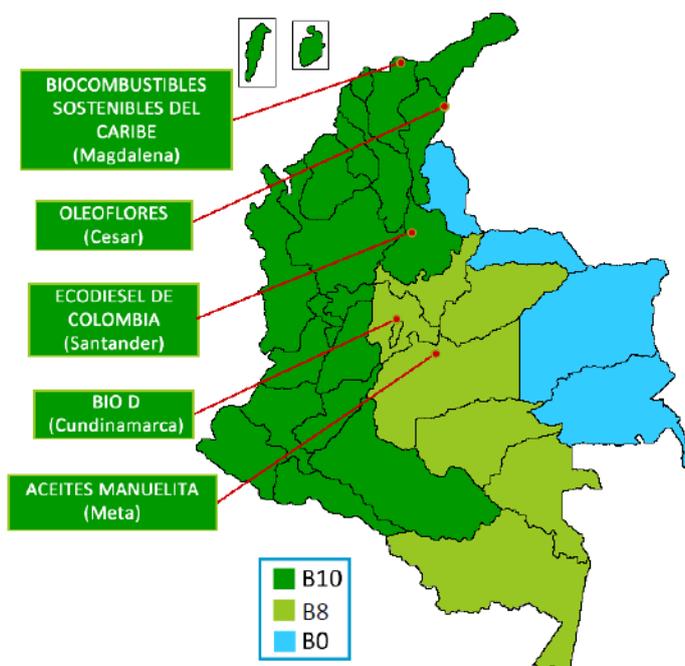
Actualmente hay diferentes porcentajes de mezcla en el país, para el caso del biodiesel hay cobertura total entre el 2 y el 10% y para el etanol entre el 0 y el 10%. En el 2020, la meta es alcanzar mezclas de etanol-gasolina y biodiésel-diésel del 20%.<sup>18</sup>

**Ilustración 3** Distribución del porcentaje de mezcla de etanol en el territorio nacional



FUENTE: [En Línea], En:< <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20ETANOL%2840%29.pdf>>

**Ilustración 4** Distribución del porcentaje de mezcla de biodiesel en el territorio nacional



FUENTE: [En Línea], En:< <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20BODIESEL%2827%29.pdf>>

<sup>18</sup> PROEXPORT. Invierta en Colombia: perfil biocombustibles 2012.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar las principales tendencias en biocombustibles para la definición de líneas estratégicas de investigación y desarrollo en Colombia.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las principales tendencias mundiales en biocombustibles a través de metodologías de vigilancia tecnológica.
- Analizar tendencias científicas y tecnológicas en biocombustibles.
- Proponer temáticas de investigación y desarrollo en biocombustibles en Colombia teniendo en cuenta criterios tecnológicos, ambientales y sociales.

## 2. MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 Marco Conceptual

#### BIOENERGÍA

La bioenergía hace referencia a productos de biomasa que se han convertido a forma líquida, sólida o gaseosa, según la materia prima básica y la tecnología empleada, para la generación de energía. La biomasa abarca una amplia variedad de materias vegetales, que van desde los desechos agrícolas, forestales y urbanos hasta los cultivos plantados específicamente para producir biocombustibles, como el bioetanol y el biodiesel.<sup>19</sup>

Para la CEPAL la bioenergía, comprende todos los sistemas energéticos basados en los procesos de conversión de productos o residuos agrícolas, desde el uso de leña para cocción doméstica hasta la producción de energía eléctrica basada en residuos agroindustriales, la producción de biocombustibles líquidos ha sido especialmente considerada para atender las necesidades del sector de transporte, donde otras alternativas renovables no presentan posibilidad tecnológica o factibilidad económica.

#### BIOMASA

La Biomasa es cualquier material de tipo orgánico de origen reciente proveniente de seres vivos que puede utilizarse para producir energía. Según su origen, la Biomasa se clasifica en:<sup>20</sup>

- Biomasa natural: la que se produce en ecosistemas naturales.
- Biomasa residual: son los residuos forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y los residuos biodegradables.
- Cultivos energéticos: se realizan con el único objetivo de aprovechar la energía que contienen, ya que producen grandes cantidades de materia viva por unidad de tiempo.
- Excedentes agrícolas: están constituidos por los productos agrícolas que no emplea el hombre

#### Ilustración 5. Tipos de biomasa



FUENTE: Autor, 2012

<sup>19</sup> IAASTD. Bioenergía y Biocombustibles: Oportunidades y Limitaciones.2009. [En Línea] En:<<http://www.agassessment.org/docs/bioenergyESlowres.pdf>>.

<sup>20</sup> UPME. Energías renovables. <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>

## BIOCOMBUSTIBLES

---

En diversos escenarios, se cuestiona la denominación genérica de Bio combustibles, que implicaría un impacto positivo en términos ambientales por ser energía con origen en la biomasa y con menores emisiones de GEI .En su lugar se propone el uso de la palabra agrocombustible, que es más clara, pues muestra su estrecha relación con la producción agropecuaria y la oferta y demanda de alimentos (Sicard, 2009)

Los agrocombustibles se definen como insumos producidos especialmente para sustituir y/o mezclar total o parcialmente con gasolina o ACPM, producidos a partir de plantaciones industriales con predominancia del monocultivo (Mesa, 2010)

No obstante algunos autores recomiendan el término Agrobiocombustible (ABC) como una manera distinta de hacer notar que, de todas formas, se trata del uso de la agro biodiversidad como recurso clave en el desarrollo agrario nacional.

Sin embargo para efectos prácticos en este trabajo de grado se hará uso del término biocombustibles, ya que es el más difundido y usado a nivel mundial.

## CLASIFICACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

---

No hay un consenso acerca de cómo clasificar a los biocombustibles. En algunos casos se habla de primera, segunda y tercera generación (hasta cuarta) dependiendo de la madurez tecnológica, la reducción de emisiones de GEI o la materia prima que se utiliza, y se suelen usar también los términos "convencional" y "avanzado" para la clasificación.<sup>21</sup>

Para este trabajo se establece que pueden clasificarse como convencionales o de primera generación, y los avanzados que pueden ser de segunda generación, tercera generación y cuarta generación.

### **Biocombustibles de primera generación:<sup>22</sup>**

La primera generación de tecnologías de biocombustibles usa fracciones simples de biomasa (azúcar, almidón, aceite vegetal o grasa animal) que se convierten en etanol o biodiesel con tecnologías convencionales, tales como la fermentación o transesterificación. Las materias primas básicas para la producción de biocarburantes de primera generación son a menudo semillas o granos que producen aceite vegetal que se convierte en biodiesel, o azúcares o almidones que se convierten en alcohol por fermentación.

Los azúcares se obtienen a partir de cultivos como la caña de azúcar, remolacha y granos de maíz, mientras que los aceites se pueden obtener a partir de plantas oleaginosas como la palma, ricino, jatropha, colza y soja.

---

<sup>21</sup> IEA.2010

<sup>22</sup> Pre-feasibility study for the production of second-generation biofuels from sugar cane bagasse in the colombian region of los llanos del meta. C2B2-CSU-ECOPETROL-ICP.2010

Estas tecnologías se han utilizado durante muchos años para producir alimentos y bebidas, y se han optimizado para este fin. Con el creciente interés en los biocombustibles, estas tecnologías se han adaptado a las nuevas normas y los volúmenes que se requieren.

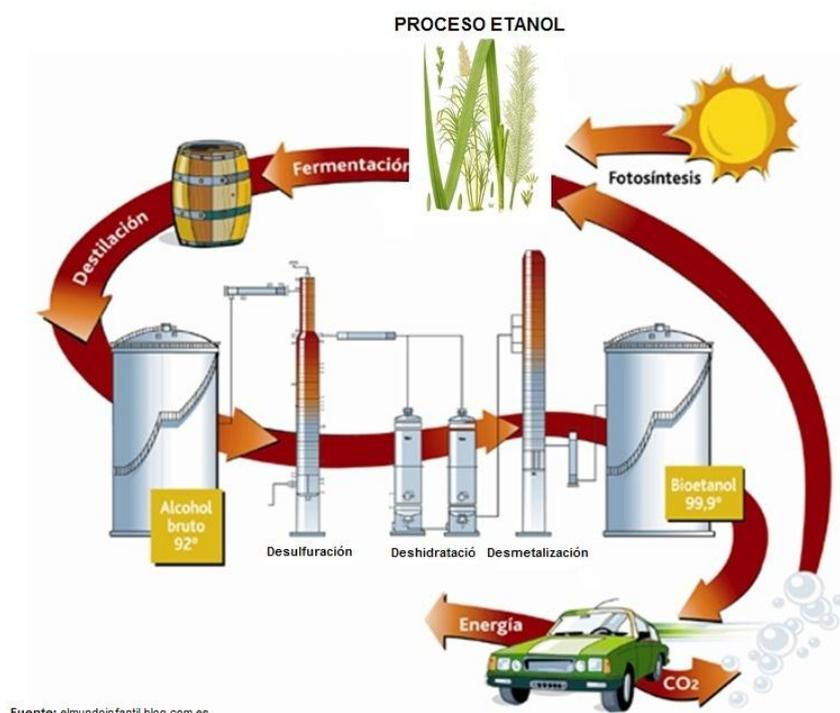
### Etanol de primera generación

El primer paso para la obtención del etanol es la fermentación que es un proceso donde los azúcares contenidos en los jugos y las mieles de los cultivos se transforman en alcohol con la ayuda de levaduras.

Después el alcohol fermentado pasa a unas columnas de destilación, donde a través de un proceso de evaporación se separan compuestos, obteniéndose el alcohol más puro y la vinaza.

La etapa final es la deshidratación, donde se retira el agua del alcohol y se obtiene el alcohol carburante o el alcohol anhidro que significa alcohol sin agua.

### Ilustración 6. Proceso de producción del etanol



Fuente: [elmundoinfantil.blog.com.es](http://elmundoinfantil.blog.com.es)

FUENTE: Fedebiocombustibles

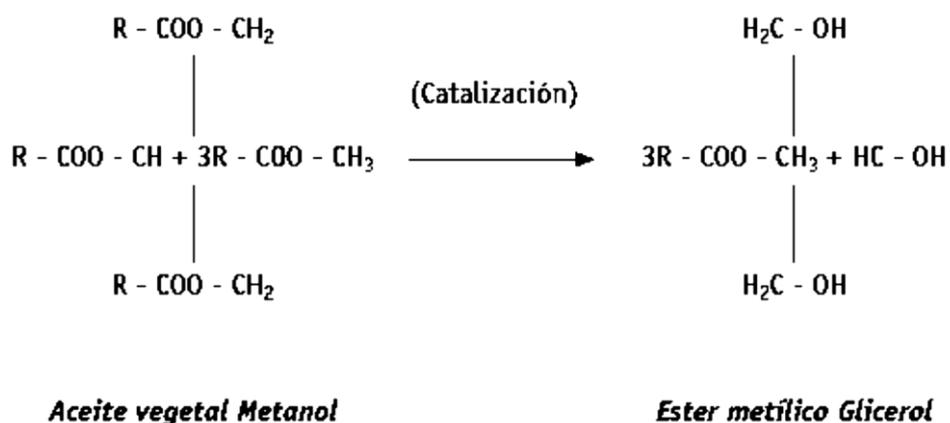
Principalmente se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha, por ejemplo.
- Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón.
- Biomasa: por el rompimiento de las cadenas de celulosa y hemicelulosa en azúcares, que luego son fermentados.

## Biodiesel de primera generación

El biodiesel es obtenido a partir de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol ligero, como metanol o etanol para producir un Alkil ester.

Ilustración 7. Proceso de transesterificación



FUENTE: Autor, 2012.

Las materias primas más comunes para la fabricación de biodiesel de primera generación son los aceites extraídos de plantas oleaginosas, especialmente girasol, colza, soja y palma.

## Biocombustibles avanzados:<sup>23</sup>

La IEA define como biocombustibles avanzados aquellos que su tecnología todavía está en investigación y desarrollo, es decir en fase piloto o demostrativa y comúnmente llamados como biocombustibles de segunda o tercera generación.

El nuevo panorama mundial de combustibles renovables para el transporte requeridos en grandes cantidades y el cumplimiento de altos estándares ambientales ha estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de biocombustibles. Estos incluyen tanto los procesos orientados a la producción de biomasa, así como los relativos a la transformación de la biomasa en biocombustibles y que se pueden utilizar en los vehículos existentes o en vehículos con ajustes menores.

Una de las fuentes de nuevas tecnologías está en el estudio de organismos que pueden contribuir a través de procesos biológicos naturales o artificiales para la producción de grandes cantidades de biomasa, o para la ejecución de tareas específicas a nivel molecular para transformar moléculas no directamente utilizables como biocombustibles (tal como la celulosa y la hemicelulosa) en moléculas que pueden ser usados como biocombustibles (tales como alcoholes e hidrocarburos de bajo peso molecular).

<sup>23</sup> Ibid.

La inmensa variedad de organismos existentes en la naturaleza proporciona una fuente continua de nuevas ideas que en los últimos años ha conducido a una nueva manera de mirar a los microbios, bacterias, algas, y otros organismos casi desconocidos, así como los procesos bioquímicos de la formación de la biomasa y de los productos de interés, tales como los azúcares y los lípidos.

En este ámbito, han surgido muchas oportunidades para la investigación que comienzan con una mejor comprensión de los procesos de fotosíntesis, la formación de azúcares y lípidos, y su relación con la genética de los organismos que llevan a cabo estos procesos. Además, se han realizado investigaciones sobre la identificación de nuevas especies mejor adaptadas y se especializó en la producción de biocombustibles y en el conocimiento de los mecanismos de transformación de hongos y microbios a través de las enzimas.

Por otra parte, la celulosa, el producto orgánico más abundante en la naturaleza, también es un material de gran interés debido a su disponibilidad universal como el componente principal de la biomasa vegetal y porque hay ya muchos productos químicos y rutas bioquímicas para su procesamiento en biocombustibles.

Ahora bien, es necesario que estos procesos sean económicamente competitivos, lo que requiere el desarrollo y optimización de las nuevas tecnologías y la integración de múltiples disciplinas como la ingeniería química, la economía, la logística, la política, las normas y leyes. En el anexo 1 se presentan las principales tecnologías de biocombustibles avanzados, los proyectos y empresas que están trabajando en cada una de ellas.

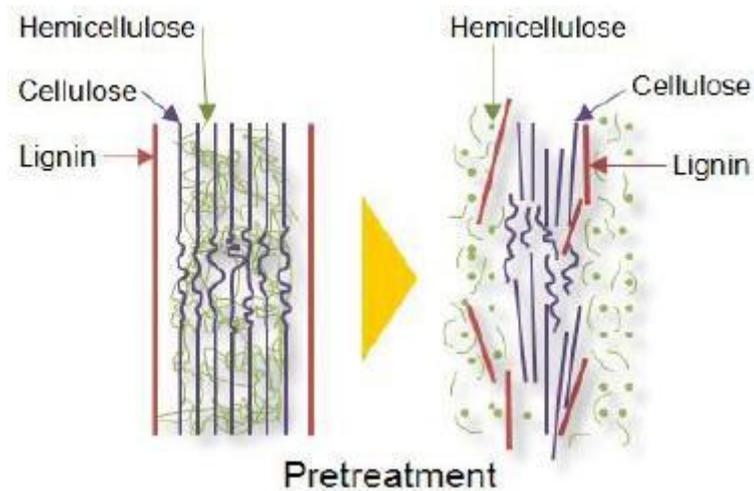
### **Etanol lignocelulósico**

Obtenido a partir de materias primas como residuos agrícolas y forestales. La lignocelulosa se compone de tres sustancias: celulosa, hemicelulosa (que se pueden convertir en azúcares fermentables) y lignina una parte no fermentable.

Etapas:

- Pretratamiento: el objetivo del pretratamiento es tratar de hacer más accesibles la celulosa y la hemicelulosa para la hidrólisis ácida o enzimática subsecuente. El pretratamiento se debe implementar para maximizar la producción de azúcares como la hexosa y la pentosa, facilitar la obtención de la lignina para la combustión, reducir los químicos inhibidores del proceso enzimático. El pretratamiento se compone de procesos biológicos, físicos y químicos o la combinación de todos.

**Ilustración 8.** Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica



FUENTE: <http://www.innoversia.net/rfp/investigacion-880-1.html>

- Hidrolisis: Es una reacción entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. La hidrolisis puede ser enzimática o ácida:

Hidrolisis enzimática: Se entiende por hidrolisis enzimática la hidrolisis que se produce mediante una mezcla de enzimas llamadas amilasas, estas enzimas producen la ruptura de enlaces por agua. Esta se aplica a los almidones para separar los azúcares polisacáridos en monosacáridos y de esta forma pasar a la fermentación.

Hidrolisis ácida: la hidrolisis ácida hace referencia a un proceso de hidrolisis usando un ácido que se encarga de acelerar el proceso para convertir la celulosa y almidón en azúcares. Este proceso es catalizado por los ácidos Bronsted-Lowry o Arrhenius.

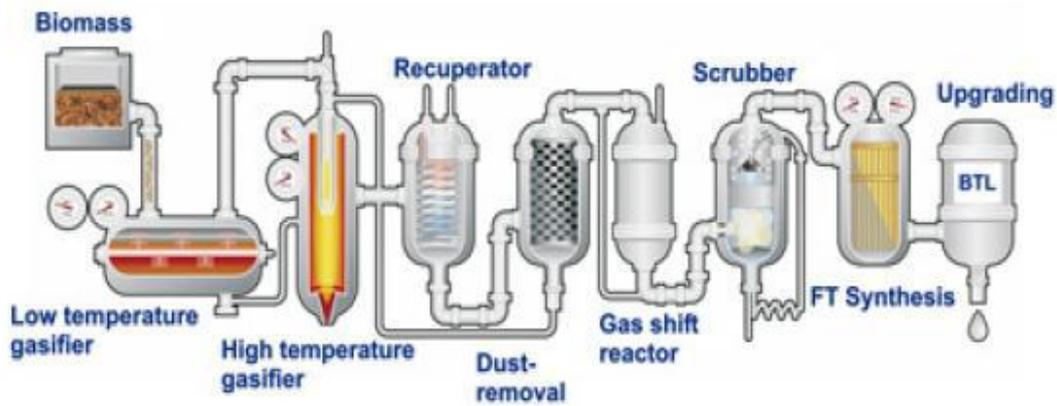
- Fermentación: la fermentación es el proceso biológico donde los azúcares como la glucosa, la fructosa, hexosa y sacarosa son convertidas en energía, produciendo etanol y dióxido de carbono. Este proceso es anaeróbico pues se produce en ausencia de oxígeno y se produce mejor a altas temperaturas.

### **Biodiesel sintético o de segunda generación:**

El biodiesel de segunda generación o biodiesel sintético es un combustible líquido que se produce a partir de la biomasa lignocelulósica por medio de varios procesos termoquímicos de estos procesos el más empleado es el conocido por sus siglas btl: biomass to liquids.

Un proceso típico de producción se presenta en la Ilustración 9. En el primer estadio se gasifica la biomasa. Seguidamente se procede a una purificación del gas obtenido para lo cual se eliminan los alquitranes, partículas y pequeñas proporciones de gases contaminantes obteniéndose un gas de síntesis o syngas (combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono) con relaciones apropiadas de hidrógeno y monóxido de carbono.

**Ilustración 9.** Proceso de producción de biodiesel btl de segunda generación



FUENTE: European biofuels technology platform. 2010.

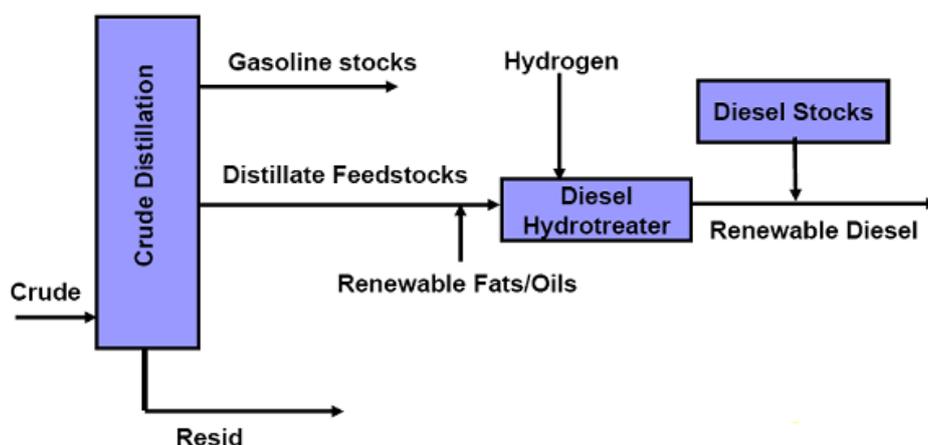
El principal proceso catalítico para la conversión del syngas obtenido en un biocombustible líquido es el de Fisher Tropsh. En este proceso llevado a cabo a altas temperaturas y presiones, la mezcla de hidrogeno y monóxido de carbono puede ser convertida en varios tipos de hidrocarburos líquidos mediante la reacción.

Los catalizadores más comúnmente usados son el hierro y el cobalto, Los gases obtenidos en la reacción pueden ser reciclados o utilizados para calentar, mientras que los líquidos se refinan hasta producir un biodiesel apropiado para su utilización en vehículos.

**Diesel renovable:**

El denominado *diesel renovable* (o diesel verde) puede ser producido por hidrotratamiento de aceites vegetales, grasas animales o aceite de microalgas los cuales se convierten en hidrocarburos parafinicos con características que cumplen la norma ASTM D975 que aplica para los combustibles diesel.

**Ilustración 10.** Proceso de producción del diesel renovable



FUENTE: [www.conocophillips.com](http://www.conocophillips.com)

El diesel renovable puede ser producido de una gran variedad de aceites, como de girasol, soya, colza y palma, también de aceites no alimenticios como el producido por la jatropha, la higuera y las algas. En el caso de las grasas se puede usar grasas residuos de restaurantes o productos alimenticios como el pollo, el cerdo y la carne de res entre otros.

El diesel verde producido ya sea mediante una unidad que solamente utilice aceites vegetales/grasas animales como carga (puro) o donde aceites/grasas son coprocesadas con el diesel.

## Bio jet fuel

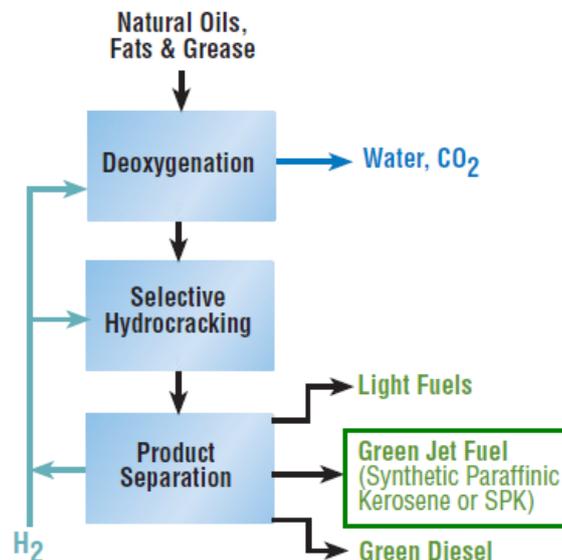
El combustible usado para la aviación es una mezcla de un gran número de diferentes hidrocarburos. El rango de sus tamaños (pesos moleculares o números de carbono) está restringido por los requisitos para el producto, por ejemplo, punto de congelación o punto de nieve. Estos combustibles se clasifican normalmente como kerosene o nafta. Combustibles tipo queroseno incluyen el Jet A, Jet A-1, JP-5 y JP-8. De tipo nafta a veces denominado "de ancho de corte", incluyen el combustible para reactores Jet B y JP-4.

Los denominados "Drop-in" son los biocombustibles que son totalmente intercambiables con los combustibles convencionales. De estos las normas ASTM han aprobado dos rutas:

- Bio-SPK: La primera ruta consiste en el uso de aceite que se extrae de fuentes vegetales como jatrofa, algas, sebos, aceites de desecho, y de camelina para producir bio-SPK ( Synthetic paraffinic Kerosene) por cracking y hidrotratamiento.

**Ilustración 11.** Proceso de producción Green jet fuel

### Renewable Jet Process Flow Diagram



FUENTE: UOP.2010

- FT-SPK: La segunda vía consiste en el procesamiento de la biomasa sólida con pirólisis para producir aceite de pirólisis o gasificación para producir gas de síntesis el cual es procesado a FT SPK (Fischer–Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene).

Además se están realizando investigaciones y desarrollos donde alcoholes tales como etanol o butanol se desoxigenan y se procesan en combustibles para aviones. Además de rutas que utilizan la biología sintética para crear directamente hidrocarburos.

## Biobutanol a partir de materiales lignocelulósicos

Al igual que el bioetanol, se obtiene a partir de un pretratamiento a la biomasa celulósica (materias primas ricas en celulosa) seguido de una etapa de fermentación. Uno de los géneros de bacterias anaerobias más estudiados que se usa en la producción de este tipo de biocombustibles es el *Clostridium*.

## Biodiesel (a partir de microalgas)

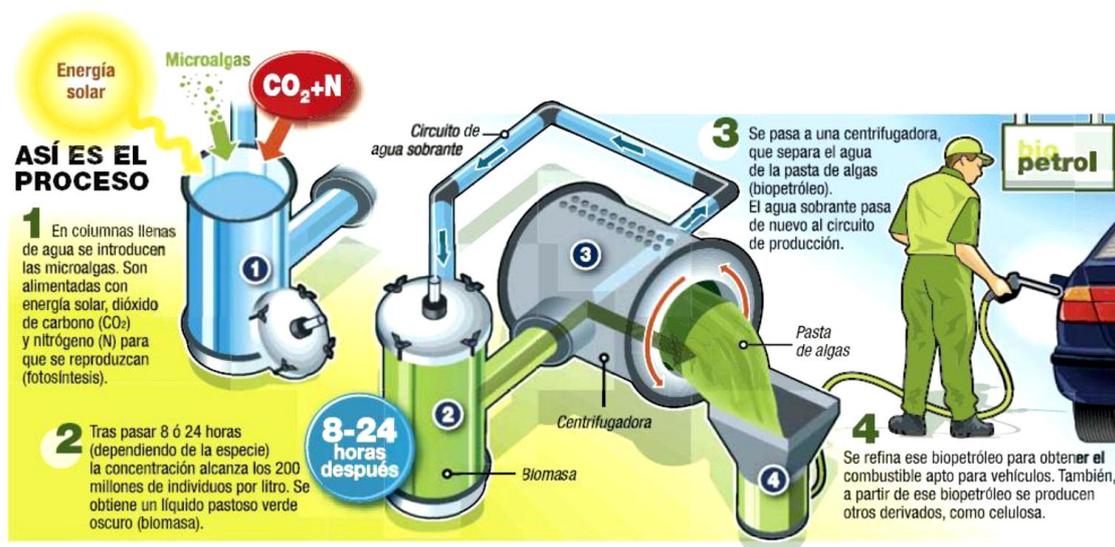
Es llamado biocombustible de tercera generación, debido a su uso de materias primas alternativas como lo son las algas.

Las microalgas son organismos fototróficos (requieren solo luz, nutrientes y dióxido de carbono) que tienen la habilidad de crecer a tasas muy altas solo con requerimientos básicos de nutrientes.

En general tienden a tener bajos contenidos de lípidos pero algunas especies almacenan una gran porción (10-60% de masa seca) de sus reservas de energía en aceite, lo que las convierte en una fuente potencial de biocombustibles.

Estos microorganismos se cultivan en fotobiorreactores cerrados o abiertos y usualmente requieren grandes cantidades de agua (Atehortua, 2008).

### Ilustración 12. Proceso de producción de biocombustibles a partir de microalgas



FUENTE: [http://www.tratamientodeaguas.org.mx/main/page\\_quienes\\_somos.html](http://www.tratamientodeaguas.org.mx/main/page_quienes_somos.html)

Las microalgas pueden proveer diferentes tipos de combustibles renovables. Entre estos se incluyen metano producto de la digestión anaeróbica de la biomasa del alga, biohidrógeno producido fotobiológicamente y biodiesel a partir del aceite de las microalgas.

### Biocombustibles de cuarta generación:

Son biocombustibles producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

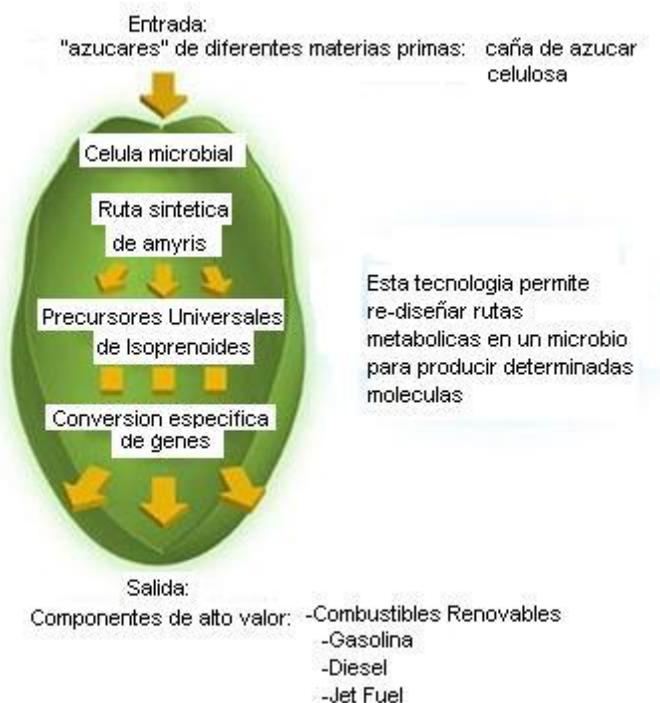
A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Amyris es una compañía de biotecnología que tiene múltiples patentes acerca de la producción de *ácido artemisinico* manipulando las rutas metabólicas de la E. Coli. Este ácido es un precursor químico de la artemisina, un conocido remedio para la malaria que normalmente se extrae de una planta llamada Artemisia annua o ajenjo dulce.

El trabajo de Amyris en los biocombustibles incluye la misma tecnología que el proyecto de la artemisina: la alteración de las rutas metabólicas de un microbio para que produzca una sustancia de gran demanda para usos industriales.

Amyris asegura que sabe cómo alterar las rutas metabólicas de los microbios para que fermenten eficientemente el azúcar para producir hidrocarburos como el petróleo, en vez de etanol, que generalmente se deriva del alcohol.

### Ilustración 13. Esquema de la tecnología de Amyris



FUENTE: Adaptado [www.amyris.com](http://www.amyris.com)

## 2.2 Marco normativo

### Contexto internacional

En la actualidad los principales programas de regulación a nivel internacional clasifican los biocombustibles respecto al porcentaje de emisiones de GEI que reducen respecto a una referencia fósil.

**Tabla 5. % de reducción de GEI en diferentes normatividades a nivel mundial**

Normativa	% Reducción de GEI (WTW)
RED (Renewable Energy Directive) – Europa	Criterio Actual 35% 2017 50% y 2018 60%
RFS (Renewable Fuel Standard) - Estados Unidos	División CBAR , según: C 60% (lignocelulosico) B 50% (BTL) A 50% (BTL) R 20% (BTL)
RFTO (Renewable Fuel Transport Obligation) – UK	Hasta 2011 40% En adelante 50%

FUENTE: EPA, European Biofuels Plattform, 2012

En Estados Unidos la EPA hace una clasificación propia de combustibles renovables, cada uno de estos tipos de biocombustibles tiene su propio target en el RFS y sus valores de RINS (Renewable Identification Number) los cuales juegan un papel muy importante en el mercado de los biocombustibles de segunda generación. Estos son un número de serie asociado a cada galón de combustible renovable y actúan como una especie de moneda que se puede comercializar.

**Tabla 6. Valor del RIN por tipo de biocombustible**

2012 Regulatory Volume Obligation	RVO,* %	RIN Value (cents, 1/10/12)	Cost per gallon
Biomass-based Diesel	0.91	158	1.44
Cellulosic	0.006	78	0.05
Advanced Biofuel	0.294	70	0.21
Conventional Biofuel	8.02	2	0.16
<b>Total</b>	<b>9.23</b>		<b>1.86</b>

\* Renewable Volume Obligation, as a percent of the volume of gasoline and diesel introduced into commerce within the U.S.

FUENTE: NABC. A refiner perspective on advanced biofuels.2012.

A continuación se presenta una tabla con información acerca de normatividad en biocombustibles en países seleccionados:

**Tabla 7** Normatividad en biocombustibles para países seleccionados.

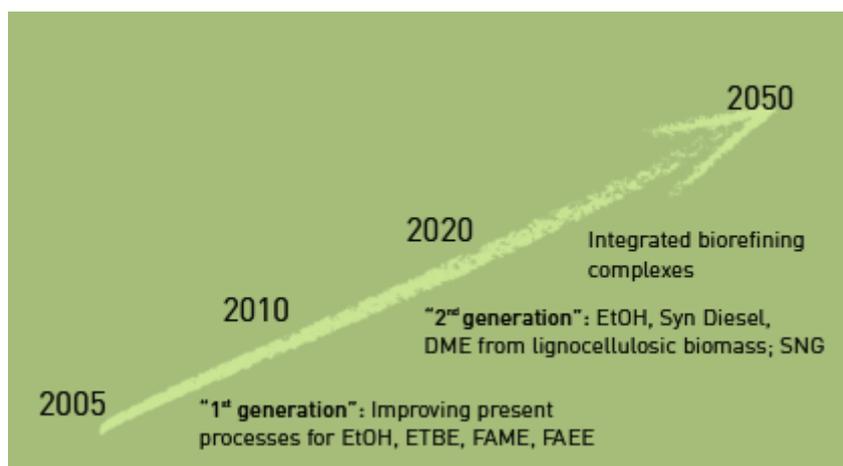
<b>País</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Target</b>	<b>Principales materias primas</b>	<b>Políticas nacionales</b>
<b>Australia</b>	240 millones de litros de bioetanol	350 millones de litros de etanol para 2012	Trigo y maíz	Arancel de importación de 0.1228 para bioetanol y 0.11 para biodiesel
<b>Argentina</b>	204 millones de litros	5% de biocombustibles para 2010	soya	Mezclas obligatorias, exención de impuestos para exportaciones
<b>Brasil</b>	17.5 billones de litros	25 % de bioetanol y 5% de biodiesel	Caña de azúcar y soya	Mezclas obligatorias, subsidios y vehículos flexfuel
<b>Canadá</b>	240 millones de litros de bioetanol	5% bioetanol para 2010 y 2% de biodiesel para 2012	Maíz y trigo	Mezclas obligatorias, subsidios
<b>China</b>	1.2 billones de litros de bioetanol		Maíz, caña de azúcar y yuca	Subsidios
<b>Indonesia</b>	340 millones de litros de biodiesel	10% bioetanol y 10% de biodiesel	Palma africana	Mezclas obligatorias y subsidios
<b>Japón</b>	Insignificante		Bioetanol importado	
<b>Malasia</b>	340 millones de litros de biodiesel	5% biodiesel	Palma africana	Mezclas obligatorias y subsidios

FUENTE: Autor, 2012. Basado en : SPARKS, GD y ORTMANN, GF. Global biofuel policies: a review.2011.

En el caso Europeo la doble contabilización de biocombustibles a partir de celulosa en el target de renovables y en los criterios de gases de efecto invernadero son las únicas políticas que

indirectamente promueven el uso de etanol celulósico en la UE. Con el fin de poner en práctica el actual objetivo del 10% para el porcentaje de biocombustible del consumo de combustibles para el transporte, la Comisión Europea creó condiciones favorables para los biocombustibles de segunda generación. Por lo tanto, la Comisión exige que los Estados miembros den doble ponderación en sus obligaciones de biocombustibles nacionales a los biocombustibles procedentes de materias primas diferentes.<sup>24</sup>

#### Ilustración 14 Visión de la UE para 2050



FUENTE: Roadmap to 2050 UE.

#### Contexto nacional

La ley determina que el Ministerio de Minas y Energía es el ente regulador del sector y es el que fija los porcentajes de mezcla, el precio de los biocombustibles según fórmulas precisas ya establecidas por Resolución, que tienen en cuenta el costo de la materia prima, los insumos y recursos utilizados para producirlos. Además, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, encabeza la Comisión Intersectorial de Biocombustibles, establecida por el Documento CONPES 3510 de 2008, para el desarrollo sostenible del sector.

El Gobierno Nacional ha dispuesto que la Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, sea la encargada de la fijación de los precios de los biocombustibles, a partir del año 2012. La CREG, es una entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía, que actualmente tiene la misión de *"regular los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible de manera técnica, independiente y transparente"*.<sup>25</sup>

En el país existe un amplio marco normativo para regular el uso, la producción y la distribución de biocombustibles. De hecho, un análisis de OLADE (2007) sobre la legislación considera que Colombia es el país más avanzado en esta temática en Suramérica.

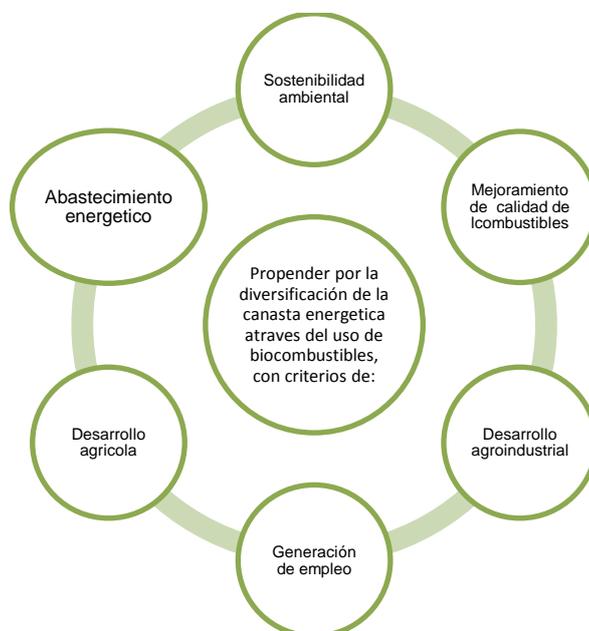
Los gobiernos nacionales juegan un papel muy importante en el apoyo de la producción y uso de los biocombustibles, y sus decisiones repercuten a lo largo de toda la cadena productiva.

<sup>24</sup> <http://www.biofuelstp.eu/legislation.html>

<sup>25</sup> <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-923.htm>

La aprobación de la Ley 693 marcó la entrada de Colombia en la nueva era mundial de los combustibles de origen vegetal, mediante la reglamentación de esta Ley se estableció un marco legal y normativo, que además de promover el uso de los agrocombustibles, proporcionó los estímulos necesarios para la producción, comercialización y consumo.

**Ilustración 15** Criterios para la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles. Ley 693 del 2001



FUENTE: Autor, 2011. Basado en: UPME. Biocombustibles en Colombia. Bogotá, 2005.

Posteriormente, la expedición de la Ley 939 de 2004, permitió ampliar el espectro en el uso de los biocombustibles generando las condiciones para estimular la producción y comercialización de biocombustibles no solo de origen vegetal, sino de origen animal, para su uso en motores diesel, abarcando aquella parte del sector transporte no contemplada en la Ley 693 de 2001.

La nueva Ley estableció disposiciones relacionadas con el esquema tributario, excluyendo al biodiesel del pago del impuesto a las ventas e impuesto global al ACPM y generando los incentivos para la financiación de proyectos particularmente de cultivos de tardío rendimiento.

El consejo Nacional de Política Económica y Social, aprobó los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia (CONPES 3510). De este documento se destacan los siguientes puntos:

1. Incrementar competitivamente la producción sostenible de biocombustibles.
2. Promover una alternativa de desarrollo productivo para la ocupación formal del suelo rural.
3. Contribuir a la generación de empleo formal en el sector rural
4. Posicionar al país como exportador de biocombustibles a partir de la consolidación de esta agroindustria como un sector de talla mundial.
5. Diversificar la canasta energética del país mediante la producción eficiente de biocombustibles.
6. Garantizar un desempeño ambiental sostenible.
7. Análisis periódico del aumento de mezclas, haciendo necesaria la reglamentación por parte del Ministerio de Minas y Energía para controlar las mezclas en el país.

### **Ley 693 de 2001. Sobre uso obligatorio de alcoholes carburantes**

Según lo dispuesto en esta ley, el combustible que se expendía en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes, tendrá que contener componentes oxigenados como los alcoholes carburantes desde el momento que entre en vigencia. Se define un plazo de 5 años para implementar la norma de manera progresiva, creando así estímulos a la producción, comercialización y consumo de alcohol carburante en el país. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de Minas y Energía, mediante la Resolución 0447 de 2003, determinó que "...con una mezcla del 10% de etanol anhidro y a partir de los parámetros fisicoquímicos de las gasolinas bases actuales, en el año 2005 las gasolinas colombianas podrán cumplir con requerimientos establecidos en el nivel nacional e internacional"

### **Ley 788 de 2002**

Reforma tributaria donde, en los artículos 31 y 88, se introdujeron las exenciones de IVA, Impuesto Global y Sobretasa al componente de alcohol carburante destinado a la mezcla con gasolina para los vehículos automotores.

### **Ley 863 de 2003**

Por medio de la cual en el artículo 11 se exonera de impuestos el alcohol carburante, con destino a la mezcla con gasolina para los vehículos automotores.

### **Ley 939 de 2004**

Mediante la cual se estimula la producción de biocombustible de origen vegetal o animal, se exonera de renta líquida a cultivos de tardío rendimiento como la palma de aceite, cacao, caucho, cítricos y demás frutales por un término de 10 años. Además, se fija la exención del impuesto a las ventas y global al ACPM.

Las siguientes tablas resumen el marco jurídico para el biodiesel y el etanol carburante en Colombia:

### **Tabla 8. Marco jurídico colombiano para el biodiesel**

TIPO	NÚMERO	AÑO	CONTENIDO
Decreto	<u>4892</u>	2011 (Dic. 23)	Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores
Decreto	<u>181556</u>	2010 (Ago. 31)	Por la cual se modifica la Resolución 8 2439 del 23 de diciembre de 1998 y se establecen disposiciones relacionadas con la estructura de precios del ACPM y de la mezcla del mismo con el biocombustible para uso en motores diesel.
Decreto	<u>180462</u>	2009 (Mar. 27)	Por la cual se modifica la Resolución 8 2439 del 23 de diciembre de 1998 y se establecen disposiciones relacionadas con la estructura de precios del ACPM y de la mezcla del mismo con el biocombustible para uso en motores diesel.
Conpes	<u>3510</u>	2008 (Mar.31)	Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.
Resolución	<u>182142</u>	2007 (Dic.27)	Por el cual se expiden normas para el registro de productores y/o importadores de biocombustibles para uso en motores diesel y se establecen otras disposiciones en relación con su mezcla con el ACPM del origen fósil
Resolución	<u>182087</u>	2007 (Dic.17)	Por la cual se modifican los criterio de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión.
Ley	<u>939</u>	2004 (Dic.31)	Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diesel y se dictan otras disposiciones.

FUENTE: <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/main-pagina-id-2.htm>>

**Tabla 9.** Marco jurídico colombiano para el etanol

TIPO	NÚMERO	AÑO	CONTENIDO
Decreto	<u>4892</u>	2011 (Dic. 23)	Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores
Resolución	<u>181555</u>	2010 (Ago.31)	Por la cual se modifica la Resolución 8 2438 del 23 de diciembre de 1998 y se establecen disposiciones relacionadas con la estructura de precios de la Gasolina Motor Corriente y Gasolina Motor Corriente Oxigenada.
Decreto	<u>1135</u>	2009 (Mar.31)	Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento.
Conpes	<u>3510</u>	2008 (Mar.31)	Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.
Resolución	<u>1565</u>	2004 (Dic. 27)	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.
Ley	<u>693</u>	2001 (Sep.19)	Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.

FUENTE: <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/main-pagina-id-2.htm>>

## Sostenibilidad

El cumplimiento de los criterios de sostenibilidad es un factor clave para los biocombustibles en particular los avanzados.

Los criterios dependen de cada país en particular, pero en general cubren aspectos tales como: el respeto a los recursos naturales (por ejemplo: la tierra y el agua); protección de los derechos humanos y laborales, la contribución a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de gases de efecto invernadero (medido con ACV), y la contribución al desarrollo social y el desarrollo económico, y el respeto a la seguridad alimentaria.

En Colombia los productores de biocombustibles y el gobierno son conscientes de la pertinencia de los criterios de sostenibilidad para acceder a los mercados internacionales y han estado tomando un enfoque proactivo en este tema.

En el 2012 el BID presento un estudio<sup>26</sup> que muestra que las emisiones de GEI de los biocombustibles producidos en Colombia pueden ser reducidas en un 74% y 83%, al usar etanol de caña de azúcar y biodiesel de palma de aceite respectivamente, comparadas con las producidas por el uso de los combustibles fósiles que sustituyen (gasolina y diesel). Comparados con otros biocombustibles internacionales, los biocombustibles Colombianos tienen un buen desempeño, y cumplen con la reducción mínima del 40% de GEI, como lo establecen muchos estándares de biocombustibles (RSB, CARB 2009, TC383, EU-RED). Así, la exportación de biocombustibles Colombianos se puede beneficiar de los diferentes mecanismos de subsidios, para el mercado internacional de biocombustibles “sostenibles”.

Por lo que el objetivo general de este aspecto debería ser continuar cultivando una reputación positiva en la comunidad internacional, en particular en los mercados de destino:

-Etanol: EE.UU., la UE, Canadá y Japón

-Biodiesel: EU y Canadá

El RFS2 (Renewable Fuel Standard) de EE.UU tiene las siguientes implicaciones sobre la sostenibilidad:<sup>27</sup>

- Impone restricciones sobre el nivel de emisiones de GEI de los biocombustibles que se utilizan en los EE.UU.: los biocombustibles convencionales deben reducir gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a la gasolina y al diesel, biocombustibles avanzados en un 50%, y biocombustibles de celulosa en un 60%.
- Las empresas interesadas en exportar a los EE.UU. deben obtener un registro con el EE.UU. Agencia de Protección Ambiental (USEPA).

La Directiva de Biocarburantes en la UE: Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo:

- Define como biocombustibles sostenibles aquellos que generan un ahorro de GEI claro y neto del 35% y no tienen un impacto negativo sobre la biodiversidad y el uso del suelo.
- Este umbral de 35% se incrementará al 50% en 2017 para las actuales las plantas y el 60% para nuevas instalaciones de producción. El ahorro de GEI se demuestra a través de un análisis del ciclo de vida (Utilizando metodologías de la Directiva), cálculos indirectos (Usando valores por defecto), o una combinación de ambos. Los valores predeterminados se proporcionan para diferentes tipos de biocombustibles y se pueden adaptar al progreso técnico y científico.
- En cuanto al uso de la tierra la Directiva impone restricciones a las tierras con elevadas reservas de carbono (humedales por ejemplo) y tierras con alto valor en biodiversidad (bosques, biodiversidad de pastizales, áreas naturales protegidas).

<sup>26</sup> BID. Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia.2012

<sup>27</sup> Mitsubishi Research Institute INC, Universidad Nacional de Colombia, Numark Associates INC; “SUSTAINABLE ENERGY AND BIOFUEL STRATEGIES FOR COLOMBIA CO-T1052. Preliminary Report I”.

## Tendencias en precios y costos de producción

### Precios<sup>28</sup>

Los precios de los combustibles renovables al igual que los fósiles, son regulados por el Gobierno Colombiano, calculados mensualmente y fijados teniendo en cuenta el comportamiento de las cotizaciones internacionales de la materia prima principal de cada combustible (azúcar para el caso del etanol y aceite crudo de palma el caso del biodiesel).

### *Etanol*

El precio del etanol fue establecido por primera vez en la resolución 18 0836 de 20058. Luego de la publicación del documento Conpes, con la resolución 18 0222 de 20089 se definió el precio del etanol como el mayor valor entre tres precios de referencia:

1. **Costo de oportunidad de los usos alternativos de la materia más eficiente utilizada para la producción de alcohol carburante:** El equivalente en etanol del paridad exportación del azúcar blanco (Cotización del Contrato No.5 del azúcar refinado de la bolsa de Londres) teniendo en cuenta los diferentes gastos de exportación.
2. **Precio de la Gasolina:** Un precio de referencia internacional de la gasolina ajustada por los cambios en el combustible debido a la mezcla con el etanol.
3. **Precio Piso:** Un precio mínimo, que hace referencia al mínimo ingreso requerido por una planta de etanol para operar sin pérdidas.

En ninguno caso, el precio del etanol podrá ser mayor al precio de la gasolina motor oxigenada para Bogotá del mes inmediatamente anterior al mes de cálculo del precio del etanol.

### *Biodiesel*

El precio del biodiesel fue fijado inicialmente por la resolución 18 1780 de 200511 y al igual que el etanol, su precio se establece como el máximo entre tres precios de referencia:

1. **Costo de oportunidad de los usos alternativos de la materia más eficiente utilizada para la producción del Biodiesel:** Se toma como referencia el precio del mercado interno del aceite de palma ajustado por calidad, el precio internacional del metanol (segundo insumo más importante en la producción de biodiesel) y un cálculo del Factor de Producción Eficiente (FPE).
2. **Precio del Diesel:** Precio de referencia del Diesel comercializado en el país, el cual tiene en cuenta el comportamiento de los indicadores internacionales del diesel, una ponderación de la cantidad exportada e importada de este combustible en el país y el ajuste por calidad del combustible final, luego de ser mezclado con el biocombustible.
3. **. Precio Piso:** Un precio mínimo que permita atenuar las consecuencias de las disminuciones en los dos anteriores precios y será actualizado cada año.

---

<sup>28</sup> Entorno verde. Vol. 4. Publicación del departamento de Biocombustibles ECOPETROL. 2012

## Costos de producción:

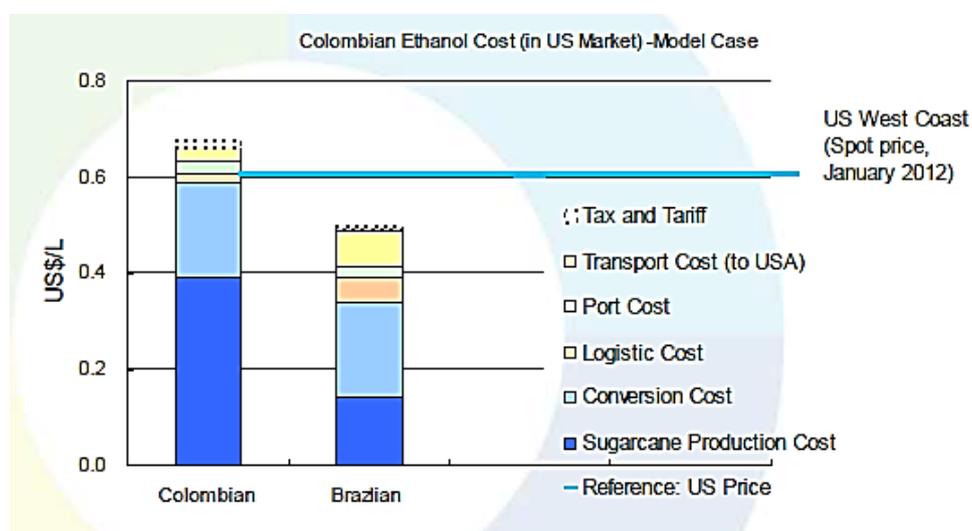
### Biocombustibles convencionales

#### Etanol para exportación

En el mercado internacional de etanol Brasil es el competidor más fuerte debido a su costo/ competitividad y el potencial de su oferta. Por el lado de la demanda, el principal mercado es los EE.UU.

Los costos de Colombia indican que, para ser competitiva en el mercado internacional de etanol las plantas que tengan la intención de exportar tendrán que hacer un esfuerzo en reducción de costos en la producción de caña de azúcar y conversión (producción de etanol). Adicionalmente, será necesario reducir costos de transporte interno.

**Ilustración 16.** Costo del etanol colombiano para exportar a EEUU

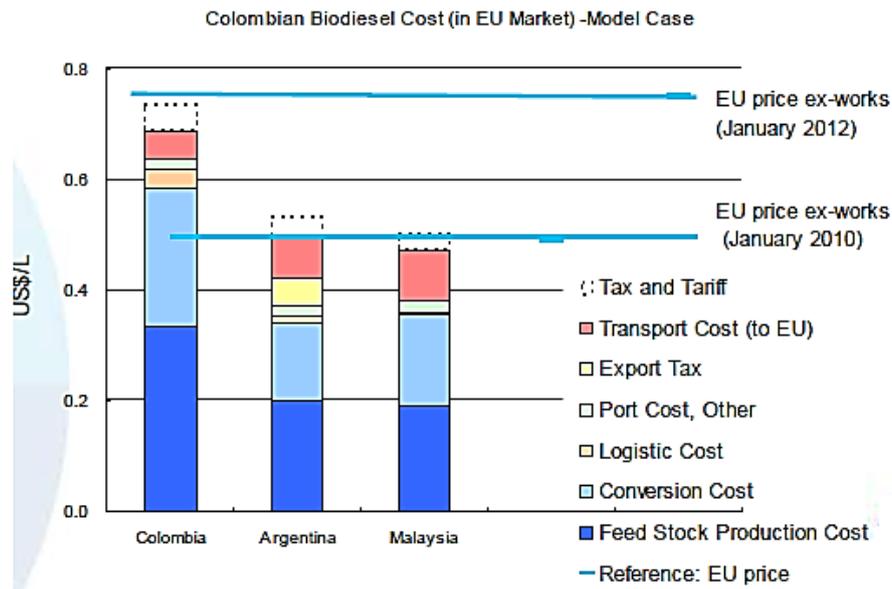


### Biodiesel

Argentina y Malasia serán los principales competidores de Colombia en el mercado internacional biodiesel. La UE es el mercado con mayor potencial para Colombia debido a su fuerte política en energías renovables. Al estimar los costos del biodiesel teniendo en cuenta el puerto de Rotterdam como destino final bajo el modelo de negocios existente no es costo competitivo en el mercado de la UE frente a Argentina, Malasia, o los productores nacionales de la UE.

La diferencia de costos para Colombia en el mercado de la UE es grande debido a los altos costos de producción, por lo tanto, al examinar las exportaciones a largo plazo los esfuerzos en reducción de costos y mejoras en los rendimientos son necesarios.

**Ilustración 17.** Costo del biodiesel colombiano para exportación a la UE



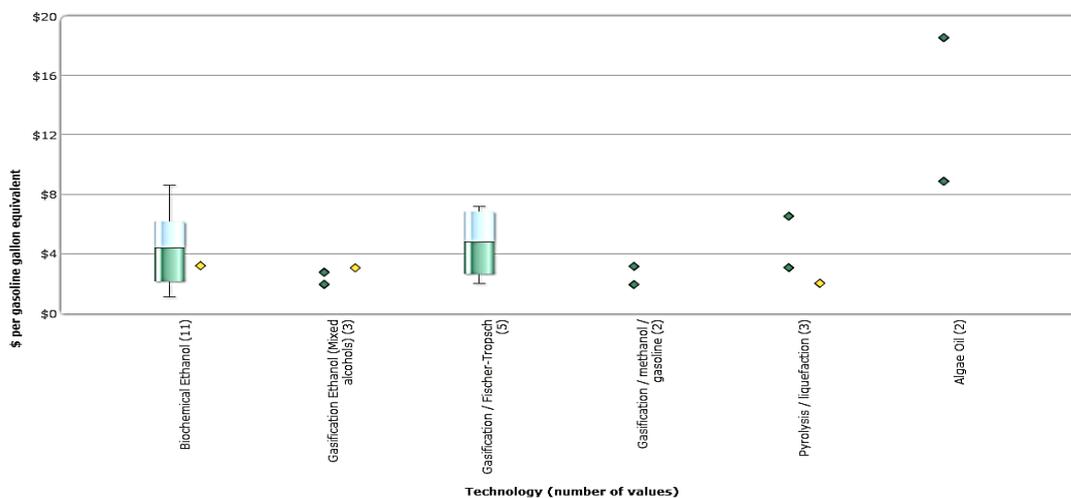
### Biocombustibles avanzados

No se encuentra mucha información respecto a los costos de producción de las diferentes tecnologías de biocombustibles avanzados, esto en parte a las múltiples incertidumbres que hay y lo cambiante de los desarrollos tecnológicos.

El Departamento de Energía de EEUU ha hecho algunos estimativos y desarrollado una base de datos que presenta la información preliminar con la que cuentan, de estos datos se extrae que tecnologías como la producción de aceite a partir de algas tienen precios muy elevados respecto a otras tecnologías avanzadas y deben trabajar más en la reducción de costos y mejoramiento de rendimientos.

Por otra parte tecnologías como la gasificación, la pirolisis y el etanol obtenido por ruta bioquímica tienen rangos similares de costos, pero aún se trabaja en su reducción.

**Ilustración 18.** Costo total de producir combustible por galón de gasolina equivalente



- ◆ DOE Program Estimate
- ◆ Other Estimate (insufficient data to show box & whisker)

Por su parte no todas las empresas divulgan esta información y menos dan datos exactos de donde proviene su estructura de costos exactamente, sin embargo de acuerdo a la información presentada por Biofuel Digest y registrada en la tabla 10, se ratifica que tecnologías como la producción de biocombustibles a partir de microalgas aún están lejos de estar disponible comercialmente, mientras que las otras manejan rangos muy variados de costos, sin que haya certeza de cuáles son los datos reales.

**Tabla 10.** Costos de biocombustibles avanzados por empresas seleccionadas

Empresa	Tecnología	Costo us/galón
<b>Algenol</b>	Producción de biocombustibles a partir de microalgas	\$4.00-\$6.00 /galón
<b>Bluefire renewables</b>	Hidrolisis acida	\$1.60 /galon
<b>Bluesugars</b>	Hidrolisis enzimática	\$1.25 - \$1.50 / galon
<b>Chemrec</b>	Gasificación	\$2 / galon
<b>Cobalt technologies</b>	Biobutanol	\$1.70 - \$2.50 / galon
<b>Fulcrum</b>	Gasificación	\$1.30 /galon
<b>Gevo</b>	Biobutanol	\$0.40/galon
<b>Ineos Bio</b>	Gasificación	\$1.00/galon
<b>Joules technologies</b>	Conversión solar	\$1.23/galon
<b>Kior</b>	Pirolisis	\$1.50/ galon
<b>Ls9</b>	Microorganismos modificados genéticamente	\$1.50 / galon
<b>Novozymes</b>	Hidrolisis enzimática	\$0.50/ galon
<b>Solazyme</b>	Producción de biocombustibles a partir de microalgas	\$3.44 / galon

FUENTE: The Biofuels Databook 2012-2013. Biofuel Digest

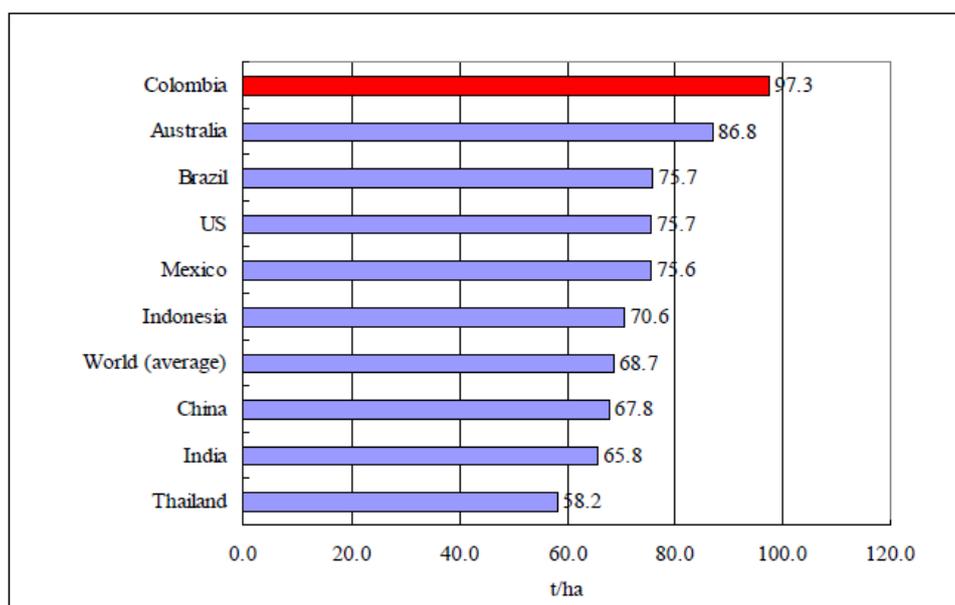
### 2.3 Marco geográfico

Por su posición geográfica es evidente que el país presenta unas condiciones muy favorables al desarrollo de los biocombustibles, lo que refuerza la idea de que hay muchas oportunidades de obtener un liderazgo mundial en el desarrollo de biomasa como fuente de biocombustibles. En Colombia, la temperatura, radiación solar y humedad relativa, son excepcionalmente constantes todo el año, comparado con otros países. Además de la disponibilidad de tierras con pocas reservas de carbono, es decir, sin bosques o tundras.

Actualmente, el sector azucarero colombiano está ubicado en el valle geográfico del río Cauca (VGRC), Es una región que posee las condiciones idóneas para el crecimiento de la caña de azúcar: brillo solar permanente e intenso a lo largo del año, balance adecuado de la temperatura

entre el día y la noche, disponibilidad de agua, lluvias proporcionadas, suelos fértiles y cultivo durante todo el año (no en forma estacional o por zafra como lo es en el resto del mundo). Lo anterior hace del valle del río Cauca una región especial que la sitúa como la mejor región cañera del mundo.<sup>29</sup>

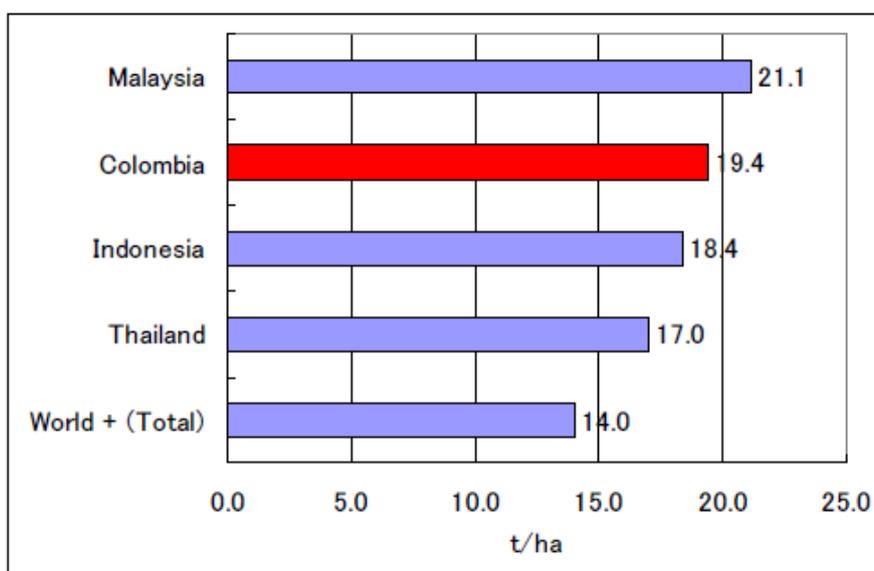
**Ilustración 19.** Rendimientos promedio de caña de azúcar por hectárea



FUENTE: FAO, 2010.

La producción de aceite de palma en Colombia también se caracteriza por altos niveles de productividad. El rendimiento promedio en el país de 2004-2008 fue de 19,4 t / ha, un 5% más que Indonesia (18,4 t / ha).

**Ilustración 20.** Rendimiento promedio de producción de aceite de palma



FUENTE: FAO, 2010.

<sup>29</sup> ASOCAÑA, 2008.

## 2.4 Marco metodológico

Se diseñaron tres fases: la primera de vigilancia tecnológica, la segunda de desarrollo de una base de datos y una fase final de Prospectiva Tecnológica, que permitieron definir las líneas de I&D que se recomiendan.

### FASE I : VIGILANCIA TECNOLÓGICA

En esta fase se deben obtener Indicadores cuantitativos, análisis de Patentes y revisión de capacidades nacionales en investigación, en su ejecución se recurre a herramientas de búsqueda avanzada (software para recolección y procesamiento de información).

La vigilancia aparece como una de las funciones clave para la gestión de la tecnología por cuanto, para mantener en vanguardia una cartera tecnológica es esencial la detección de los cambios y las nuevas tecnologías con la suficiente antelación para poder evaluarlas y prepararse, bien sea para su adopción y explotación o para entender las dinámicas del conocimiento en un área determinada (Palop y Vicente, 1999).

Se debe inspeccionar permanentemente el cuerpo de conocimientos científicos existentes; es necesario vigilar antes de emprender cualquier proyecto de innovación, con objeto de no duplicar esfuerzos, intentando “inventar la rueda”.<sup>30</sup>

Se puede definir la vigilancia tecnológica como la actividad de identificar las evoluciones y novedades de la tecnología, con el fin de determinar las oportunidades y amenazas, provenientes del entorno que puedan incidir en el futuro de una organización y sus procesos productivos.<sup>31</sup>

La vigilancia tecnológica parte de las siguientes premisas para la identificación de tendencias tecnológicas. La primera, determina que los resultados de la mayoría de las investigaciones en ciencia y tecnología se transmiten a través de un proceso de comunicación escrita (artículos de revistas, libros, actas de congresos, patentes, etc.); por tanto, los trabajos publicados componen uno de los productos finales de toda actividad científica y tecnológica, y presentan un indicador de volumen de investigación producido.<sup>32</sup>

Y la segunda premisa es que los trabajos publicados en las fuentes primarias se recopilan en forma abreviada en las bases de datos; entonces la consulta es un método adecuado para obtener información sobre las publicaciones en cualquier ámbito científico (Escorsa y Maspons, 2001; Morcillo, 2003); de ahí que el principal insumo del proceso de vigilancia sean bases de datos de artículos y patentes.<sup>33</sup>

Es necesario aclarar que los informes de vigilancia tecnológica son una fotografía en cierto momento de una línea de trabajo que se ha desarrollado en el tiempo y que los análisis, resultados y tendencias identificadas corresponden a un estado parcial y en constante evolución.

---

<sup>30</sup> LEON, Mauricio, CASTELLANOS, Oscar y MONTAÑEZ, Víctor, Tendencias actuales en el entendimiento de la vigilancia tecnológica como instrumento de inteligencia en la organización. Bogotá, 2006.

<sup>31</sup> ibíd.

<sup>32</sup> ibíd.

<sup>33</sup> ibíd.

La vigilancia tecnológica es resultado de una constante evolución en diferentes países, donde se han desarrollado distintas escuelas (cada una con enfoques particulares). A continuación se presentan algunos enfoques de la vigilancia tecnológica en los países más representativos de Europa en este tema, así como el desarrollo en Estados Unidos y algunos casos de América Latina.

**Tabla 11** Evolución histórica de la vigilancia tecnológica

<b>País</b>	<b>Características</b>
<b>Estados Unidos</b>	<p>Los antecedentes de la Inteligencia Competitiva se remontan a los años 60' por la necesidad de monitoreo del ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-En 1986 se crea la SCIP para el desarrollo profesional del Inteligencia Competitiva.</li> <li>-Actualmente enfocada en desarrollar la competitividad a partir de la explotación de información científica y técnica. Identificación de agentes de cambio con herramientas como el Roadmapping</li> </ul>
<b>Francia</b>	<p>Desarrollos iniciales a finales de los 80's y principios de los 90's.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Enfoque hacia la búsqueda de información que se pueda extraer de la competencia.</li> <li>-Uso de técnicas estadísticas para análisis de bases de datos y análisis semántico de textos.</li> <li>-Desarrollo de software especializado para el análisis y representación de grandes volúmenes de información</li> </ul>
<b>México</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Enfoque epistemológico y metodológico proveniente de países como Estados Unidos, Francia y España.</li> <li>-Búsqueda de mecanismos de cooperación en torno a la innovación, incorporación de modelos de inteligencia competitiva en organizaciones, principalmente aquellas relacionadas con ciencia y tecnología</li> </ul>
<b>Colombia</b>	<p>No existe una corriente propia en el tema por la falta de comunidad crítica a nivel académico, empresarial e institucional.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Iniciativas institucionales importantes en Colciencias y Cámara de Comercio de Bogotá. A nivel académico el grupo de investigación Biogestión de la UNAL lleva varios años trabajando en la temática.</li> </ul>

FUENTE: LEON, Mauricio, CASTELLANOS, Oscar y MONTAÑEZ, Víctor, Tendencias actuales en el entendimiento de la vigilancia tecnológica como instrumento de inteligencia en la organización. Bogotá, 2006.

### **Análisis de tendencias**

Una tendencia es un patrón de comportamiento de los elementos de un entorno particular durante un período. En este sentido, el término análisis de tendencia se refiere al concepto de recoger la información y de evidenciar un patrón, dinámica o comportamiento a partir del procesamiento de esa información.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> CASTELLANOS, Oscar. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011.

## Herramientas para el análisis de tendencias

### Cienciometría:

La Cienciometría es la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos para medir la información científica y tecnológica con el fin de identificar y analizar sus características incluyendo tendencias, impactos, agrupaciones o relaciones y formas de comunicación sus características incluyendo desarrollo científico, agrupaciones o relaciones temáticas, productividad entre otras.<sup>35</sup>

### Bibliometría:

La Bibliometría es la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos para medir la información relacionada con los registros bibliográficos con el fin de identificar y analizar sus características incluyendo tendencias, impactos, agrupaciones o relaciones y formas de comunicación sus características incluyendo desarrollo científico, agrupaciones o relaciones temáticas, productividad entre otras. Hace parte de la Cienciometría.

Existen dos clases de Bibliometría, la evaluativa y la relacional. La primera trata de evaluar el impacto del trabajo académico, por lo general, para comparar las contribuciones científicas de dos o más individuos o grupos, utilizado generalmente para informar la política de investigación y contribuir a su directa financiación; en contraste, la Bibliometría relacional pretende evidenciar las relaciones dentro de la investigación, tales como la estructura cognitiva de los campos de la investigación, el surgimiento de nuevos frentes de investigación, la cooperación nacional e internacional o los patrones de la coautoría.<sup>36</sup>

### Patentometría:

La Patentometría es la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos para medir información de patentes con el fin de identificar y analizar sus características incluyendo tendencias, impactos, agrupaciones temáticas y desarrollos crecientes o decadentes.

Los indicadores de patentes pueden ser directos o indirectos. Los directos se refieren a la identificación de investigadores que están relacionados con los trabajos originales que cuentan con potencial valor comercial. Los indirectos indican quiénes realizaron el trabajo académico de la patente.<sup>37</sup>

**Tabla 12.** Comparación de las principales métricas

	Bibliometría	Cienciometría	Patentometría
Objeto de estudio	Libros, documentos, revistas, artículos, autores, usuarios	Disciplinas, materias, esferas, campos, patentes, disertaciones y tesis	Patentes
Variables	Publicaciones, citas, apariciones de palabras	Revistas, autores, trabajos	Publicaciones, aparición de palabras, autores, inventores, citas

<sup>35</sup> ibíd.

<sup>36</sup> ibíd.

<sup>37</sup> ibíd.

Métodos	Clasificación, frecuencia, distribución	Co-ocurrencia de términos, expresiones y palabras claves	Clasificación, frecuencia, distribución, co-ocurrencia de términos, expresiones y palabras claves
Objetivos	Evaluar la producción bibliográfica	Identificar esferas de interés, comprender como y con que frecuencia se comunican los científicos	Identificar esferas de interés, focos de innovación, competencia, alianzas.

FUENTE: Autor, 2012. Basado en: CASTELLANOS, Oscar. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011.

### Metodología para el análisis de tendencias

Para el análisis de tendencias se han establecido como línea base cuatro fases:

**Ilustración 21.** Fases para el análisis de tendencias



FUENTE: Autor, 2012

#### FASE I: Planeación e identificación de necesidades

Tal como su nombre lo indica esta primera etapa para el análisis de tendencias se relaciona con la planeación de todo el ejercicio; por ello, como en cualquier proceso, se deben establecer los objetivos, identificar las necesidades de información y recursos, plantear los límites y proponer estrategias para el desarrollo de las actividades subsiguientes; esto con el fin de realizar una selección de las principales temáticas a gestionar, las cuales deben permitir una cobertura de aspectos prioritarios según los objetivos planteados en el estudio.<sup>38</sup>

Para el cumplimiento de esta fase se realizaron tres actividades:

<sup>38</sup> CASTELLANOS, Oscar. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011.

- Identificación de un objetivo que conduzca los esfuerzos del análisis de tendencias.

Acorde con el alcance del trabajo de grado el objetivo establecido es identificar y analizar las principales tendencias tecnológicas a nivel mundial para finalmente proponer líneas de investigación y desarrollo de biocombustibles en Colombia.

- Determinación de las fuentes de información a consultar.

Se definió trabajar con fuentes de información estructurada.

### **Información estructurada**

Bases de datos de artículos científicos:

Constituyen una de las principales herramientas para realizar el seguimiento de las tecnologías más recientes dado que en algunos casos los temas que tratan son previos al desarrollo de patentes relacionadas. Adicionalmente son elementos más científicos que técnicos ya que su uso práctico no siempre está demostrado.

Entre las posibilidades que ofrecen los artículos científicos como insumo son:

- Identificación de los autores, países y tecnologías
- Áreas temáticas de mayor desarrollo y emergentes
- Instituciones involucradas
- Fuentes de información adicionales (bibliografía)

Bases de datos de patentes:

Las patentes son documentos científicos y tecnológicos con alto grado de detalle y elaboración. Plasman los avances más importantes en cada área del conocimiento aplicado y del desarrollo tecnológico. Un análisis de patentes puede evitar duplicar esfuerzos en una investigación y mantenerse alerta ante los cambios tecnológicos. Otras características importantes son:<sup>39</sup>

- Transmiten la información más reciente y de forma más rápida incluso con dos o más años antes de la aparición de la tecnología o el producto en el mercado, Contiene información técnico científica que en más del 70% de las veces no aparece reportada en otras fuentes
- Divulgan información acerca de la utilidad y aplicación práctica de la solución propuesta.
- Contienen datos sobre la fecha de origen de la solución lo que permite evaluar su nivel de obsolescencia o novedad
- Permiten rastrear a líderes tecnológicos
- Facilitan la obtención de tendencias
- Permiten un análisis de las áreas del conocimiento más importantes

Para la búsqueda de información científica se seleccionaron las bases de datos internacionales de literatura científica SCOPUS e ISI Web of Knowledge, siendo estas las más reconocidas y completas a nivel mundial. Además de bases de datos internacionales de patentes como la estadounidense –UPSTO y la europea ESPACENET.

---

<sup>39</sup> IDICT. Inteligencia empresarial. Cuba.2009

- Establecimiento de estrategia de búsqueda

Con el apoyo de la OFI de la Universidad Pontificia Javeriana se estableció un plan de trabajo, que herramientas y software serían necesarios y la necesidad de buscar y organizar un grupo de expertos para el apoyo en áreas estratégicas.

Se hizo uso de la herramienta de análisis Vantage point para presentar resultados estructurados y consolidados.

EL grupo de expertos en cabeza de Paola Mojica de la OFI fueron validando paso a paso la información y metodología seguida. Adicional se seleccionaron y contactaron a expertos del gremio que se desenvuelven en los campos político, empresarial y académico de los biocombustibles.

## FASE II: Identificación, búsqueda y captación de información

- Búsqueda y descarga de la información

Para desarrollar la búsqueda de artículos científicos se definieron las palabras claves (keywords) asociadas con los tipos de biocombustibles, sus tecnologías y algunos combustibles que son usados en la actualidad como biocombustibles

Tabla 13. Palabras claves seleccionadas

REGISTRO PALABRAS CLAVES (EN INGLÉS)		
PROYECTO: tendencias tecnológicas en biocombustibles		
	PALABRAS	
	SINONIMOS (OR)	EXCLUYENTES (NOT)
TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES	agrofuel	
	biofuel	
	biomass biofuel	
	biomass fuel	
	biodiesel	
	bioethanol	
	green diesel	
	Synthetic biofuel	
	syndiesel	
	renewable diesel	
	algae fuel	
	biobutanol	
	algae biofuel	
	ethanol lignocellulosic	
hydrocarbons from biomass		
TECNOLOGIAS DE PRODUCCION DE	biochemical	
	thermochemical	

<b>BIOCOMBUSTIBLES</b>	pyrolysis	
	gasification	
	hydrolisis	
	transesterification	
	fermentation	
	hydroprocessing	
<b>COMBUSTIBLES USADOS COMO BIOCOMBUSTIBLES</b>	methane	
	methanol	
	ethanol	
	butanol	
	syngas	
	biogas	
	lignocellulosic	

FUENTE: Autor, 2011

Posteriormente se construyeron las ecuaciones de búsqueda teniendo en cuenta las keywords seleccionadas uniéndolas con operadores como AND y OR según fuera el caso y códigos específicos de la base para búsqueda experta como TITTLE (titulo), ABS (resumen), KEY (palabras claves) , esto para el caso de SCOPUS, y TS (tema) para ISI .

#### Ilustración 22 Ecuación de búsqueda en ISI

The image shows a search interface with several tabs: "Document search", "Author search", "Affiliation search", and "Advanced search". The "Advanced search" tab is active. Below the tabs, there are links for "Search tips" and "Field codes". A section titled "Outline query" contains the following search string: "TITLE-ABS-KEY( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass")". At the bottom of the interface, there are buttons for "Clear form", "Add Author name or Affiliation", and "Search".

#### Ilustración 23. Ecuación de búsqueda en SCOPUS

Web of Science **Additional Resources**

Search Author Finder Cited Reference Search Advanced Search Search History

**Web of Science®**

**Advanced Search**

Use 2-character tags, Boolean operators, parentheses, and set references to create your query. Results appear in the Search History at the bottom of the page.

Example: TS=(nanotub\* SAME carbon) NOT AU=Smalley RE  
#1 NOT #2 [more examples](#) | [view the tutorial](#)

TS=( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass")

**Search** Searches must be in English

**Tabla 14.** # de Registros obtenidos con las ecuaciones de búsqueda

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>ECUACIÓN DE BÚSQUEDA</b>	<b>No. REGISTROS</b>	<b>FECHA BÚSQUEDA</b>
<b>SCOPUS</b>	TITLE-ABS-KEY( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass")	28.923	1 abril de 2012
<b>SCOPUS</b>	TITLE-ABS-KEY ((biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass") and (biochemical or thermochemical or pyrolysis or gasification or hydrolisis or transesterification or fermentation or hydroprocessing))	7452	1 abril de 2012
<b>SCOPUS</b>	TITLE-ABS-KEY(( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass") and (methane or methanol or ethanol or butanol or syngas or biogas or celulosic))	10616	1 abril de 2012
<b>ISI</b>	TS=( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass")	17.716	1 abril de 2012

ISI	TS= ((biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass") and (biochemical or thermochemical or pyrolysis or gasification or hydrolisis or transesterification or fermentation or hydroprocessing))	5270	1 abril de 2012
ISI	TS= (( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass") and (methane or methanol or ethanol or butanol or syngas or biogas or celulosic))	6433	1 de abril de 2012

FUENTE: Autor, 2012.

**Ilustración 24.** Metodología para el análisis de artículos científicos en la IT



FUENTE: Autor, 2012.

### Caracterización del Desarrollo Tecnológico

Con el fin de conocer los avances en el desarrollo tecnológico en cuanto al tema, se propone continuar con el análisis de las patentes encontradas en bases de datos especializadas.

Para el caso de la exploración de patentes, ESPACENET incluye campos de consulta como palabras clave, número de publicación, número de aplicación, clasificación internacional de patentes, entre otros, en este caso se usó el código internacional de patentes y palabras claves.

**Tabla 15** Códigos patentes en Espacenet

KEY WORD	CODIGO ESPACENET
<b>BIOENERGY</b>	C12P7
	C12P5
	C12N15
	C12P3
<b>BIOFUELS</b>	C12P7
	C10L1
	C12N15
	C10G1
	C12P5
	C11C3
<b>BIOMASS BIOFUELS</b>	C12P7
	C12P5
	C10G1
	C12N15
	C10L1
	C10L3
<b>BIOMASS FUELS</b>	C12P7
	C10G3
	C10L1
	C10G1
	C12P5
	C10L5
<b>BIODIESEL</b>	C10L1
	C11C3
	C12P7
	C07C67
<b>METHANE</b>	C10L3
	C10J3
	C07C2
	C07C1
<b>ETHANOL</b>	C12P7
	C12N15
	C10L1
<b>BIOETHANOL</b>	C12P7
	C12P5
	C12N15
<b>GREEN DIESEL</b>	C10L1
<b>SYNTHETIC BIOFUELS</b>	C12P3
	C12P5
	C12P7
	C10L1
	C10L3
<b>RENEWABLE DIESEL</b>	C10G3

	C10L1
	C10G45
	C11C3
	C10G2
	C10G65
	C12P7
	C10G69
<b>BUTANOL</b>	C12P7
	C10L1
	C12P5
	C08H8
	C12P3
<b>ALGAE BIOFUEL</b>	C12P7
	C11C3
	C10L1
	C11B1
	C12P39
	C12P5
<b>HYDROCARBONS BIOMASS</b>	C10J3
	C10G1
	C10G3
	C12P7
	C10G2
	C12P5
	C10G47
<b>SYNGAS</b>	C10J3
	C10G2
<b>PYROLISIS</b>	C10G1
	C10J3
<b>BIOGAS</b>	C12P5
	C12P7
	C10L3
<b>SNG</b>	C10L3
	C10J3
	C07C1
<b>DME</b>	C07C1
	C01B3

Se filtraron los resultados obtenidos y se clasificaron por orden de importancia teniendo en cuenta los códigos que asociaban la mayor parte de palabras claves relevantes para el estudio.

**Tabla 16.** Clasificación códigos internacionales de patentes por grado de importancia

Definición	CIP	Importancia
<b>DME</b>	C01B3	baja

METHANE SNG DME	C07C1	media
METHANE	C07C2	baja
BIODIESEL	C07C67	alta
BUTANOL	C08H8	media
BIOFUELS BIOMASS BIOFUELS BIOMASS FUELS HYDROCARBONS BIOMASS PYROLISIS	C10G1	alta
RENEWABLE DIESEL HYDROCARBONS BIOMASS SYNGAS	C10G2	alta
BIOMASS FUELS RENEWABLE DIESEL HYDROCARBONS BIOMASS	C10G3	alta
RENEWABLE DIESEL	C10G45	media
HYDROCARBONS BIOMASS	C10G47	media
RENEWABLE DIESEL	C10G65	media
RENEWABLE DIESEL	C10G69	media
METHANE HYDROCARBONS BIOMASS SYNGAS PYROLISIS SNG	C10J3	media
BIOFUELS BIOMASS BIOFUELS BIOMASS FUELS BIODIESEL ETHANOL GREEN DIESEL SYNTHETIC BIOFUELS RENEWABLE DIESEL BUTANOL ALGAE BIOFUEL	C10L1	alta
BIOMASS BIOFUELS METHANE SYNTHETIC BIOFUELS BIOGAS SNG	C10L3	media
BIOMASS FUELS	C10L5	alta
ALGAE BIOFUEL	C11B1	media
BIOFUELS BIODIESEL RENEWABLE DIESEL ALGAE BIOFUEL	C11C3	alta
BIOENERGY BIOFUELS BIOMASS BIOFUELS ETHANOL BIOETHANOL	C12N15	alta
BIOENERGY SYNTHETIC BIOFUELS BUTANOL	C12P3	media
ALGAE BIOFUEL	C12P39	media
BIOENERGY BIOFUELS BIOMASS BIOFUELS BIOMASS FUELS BIOETHANOL SYNTHETIC BIOFUELS BUTANOL ALGAE BIOFUEL HYDROCARBONS BIOMASS BIOGAS	C12P5	alta
BIOENERGY BIOFUELS BIOMASS BIOFUELS BIOMASS FUELS BIODIESEL ETHANOL BIOETHANOL SYNTHETIC BIOFUELS RENEWABLE DIESEL BUTANOL ALGAE BIOFUEL HYDROCARBONS BIOMASS BIOGAS	C12P7	alta

De estos códigos y las palabras claves de más importancia se hizo una búsqueda en ESPACENET, llegando a la conclusión que los códigos de mayor relevancia y que arrojan mayor número de resultados son C12P5, C12P7 y C10L1, por lo que estos fueron con los que se hizo la búsqueda en la base de datos Derwent Innovations Index de ISI Web of Knowledge.

**Tabla 17.** Ecuaciones de búsqueda en Espacenet

BASE DE DATOS	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	No. REGISTROS	FECHA BÚSQUEDA
Espacenet	BIOFUEL AND C12P7	161	9 DE MAYO DEL 2012

Espacenet	BIOFUEL AND C12P5	21	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C12N15	14	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C10L5	33	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C10L1	271	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C10G3	23	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C10G2	3	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C10G1	15	9 DE MAYO DEL 2012
Espacenet	BIOFUEL AND C07C67	16	9 DE MAYO DEL 2012

### Ilustración 25. Búsqueda de patentes en ISI

The screenshot shows the Derwent Innovations Index search page. At the top, there are navigation tabs: "All Databases", "Select a Database", "Derwent Innovations Index", and "Additional Resources". Below these are search options: "Search", "Cited Patent Search", "Advanced Search", and "Search History". The main heading is "Derwent Innovations Index<sup>SM</sup>". Underneath, it says "Advanced Search" and provides instructions: "Use 2-character tags, Boolean operators, parentheses, and set references to create your query. Results appear in the Search History at the bottom of the page." An example query is given: "Example: TS=(nanotub\* SAME carbon) NOT AU=Smalley RE #1 NOT #2 more examples | view the tutorial". A search input box contains the query: "IP=(C12P-005\* OR C12P-007\*OR C10L-001\*) AND TS=(biofuel or biodiesel or ethanol)". Below the input box is a "Search" button and a note: "Searches must be in English".

Tabla 18. Resultados de la búsqueda de patentes en ISI

BASE DE DATOS	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	No. REGISTROS	FECHA BÚSQUEDA
ISI WEB OF KNOWLEDGE	IP=(C12P-005* OR C12P-007* OR C10L-001*) AND TS=(biofuel or biodiesel or ethanol)	5489	9 DE MAYO del 2012

Para la búsqueda de información de capacidades nacionales se seleccionaron las siguientes palabras claves para ser usadas en la base de datos Scienti de Colciencias

**Tabla 19.** Palabras claves búsqueda Scienti-Colciencias

Base de datos	Información base	Palabras claves
<b>Scienti-Colciencias</b>	Líneas de investigación	Biocombustibles, biomasa, energía alternativas, biodiesel, etanol

Contando con estos insumos, se procede a la búsqueda y descarga de la información, así como a la revisión de los resultados para verificar su coherencia con los aspectos buscados.

- Revisión inicial y depuración de la información según requisitos para la identificación de la información pertinente para el análisis

Para facilitar la depuración de la información se hizo uso del administrador bibliográfico EndNote, el cual permite la validación de duplicados, la agrupación de los registros y facilita el procesamiento intermedio de la información.

De igual manera, se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel® para estructurar la información y así analizarla más fácilmente a través de filtros, tablas y gráficos dinámicos

- Procesamiento intermedio de la información dependiendo el software disponible

Software de procesamiento de información usados:

**Tabla 20.** Software de procesamiento de información

Software	Casa propietaria	Capacidad	Información	Resultados
<b>Mateo Analyzer</b>	Matheo software group	Análisis estadístico y coaparicion de palabras	Información estructurada de cualquier base de datos: patentes, artículos	Listas, rankings, histogramas, matrices, grafos de relaciones
<b>Vantage point</b>	Search technology	Análisis estadístico, procesamiento de datos lenguaje natural	Información estructurada de cualquier base de datos: patentes, artículos	Listas, graficas, matrices, grafos
<b>Excel</b>	Microsoft	Análisis de frecuencias , generación de bases de datos	Información estructurada de cualquier base de datos: patentes, artículos e información no	Gráficos de análisis de frecuencias y matrices de insumos para otros software

FUENTE: Autor, 2012. Basado en : CASTELLANOS, Oscar. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011.

### **FASE III: Organización, depuración y análisis de la información**

La estructuración y homogenización permite organizar convenientemente la información bibliográfica para su posterior análisis y extracción del conocimiento

Los software para este manejo permiten importar los registros de las bases de datos, normalizar los campos y evitar duplicidades

Una vez estructurada la información con administradores bibliográficos, hojas de cálculo, instrumentos especializados, entre otros, se procede a realizar el análisis de la información a partir de la construcción de indicadores bibliométricos y cientímetricos.

Tipos de indicadores:<sup>40</sup>

- Indicadores de actividad: son aquellos que permiten visualizar el número y distribución de los documentos, la productividad científica y tecnológica por países, instituciones e investigadores.
- Indicadores relacionales de primera generación: establecen la interacción entre empresas, instituciones y organismos públicos de investigación, los más empleados son los que indican redes de coautoría de científicos y cocitaciones (de documentos, autores o revistas) que se producen cuando dos ítems analizados aparecen referenciados o citados en un mismo trabajo.
- Indicadores relacionales de segunda generación: son los que consideran la información presente en el título, el resumen o en el texto. El análisis de co-ocurrencia o co-word es el más conocido y analiza la aparición conjunta de dos o más palabras en varias publicaciones. Permiten identificar áreas de investigación, la relación entre las temáticas y su transformación en el tiempo (análisis dinámico).
- Indicadores relacionales de tercera generación: son representaciones visuales del estado del desarrollo tecnológico y científico en un área determinada, principalmente se conciben como mapas tecnológicos. Estos permiten establecer grupos de autores, revistas o palabras más frecuentes y las relaciones de interacción entre ellos. Como ejemplo se encuentran los mapas cognitivos de temas e impacto y los mapas combinados temas-autores.
- Indicadores de impacto: Como su nombre lo indica, evalúan el impacto que tienen las publicaciones a nivel mundial a través del número de citas que recibe. Sin embargo, este tipo de indicadores es el menos empleado, siendo común acceder a ellos

<sup>40</sup> CASTELLANOS, Oscar. Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011

a través de las bases de datos las cuales cuentan con mecanismos que procesan la información necesaria para ello.

## FASE 2. DESARROLLO BASE DE DATOS

En esta fase se identificaron las principales empresas trabajando en el desarrollo de biocombustibles avanzados y las plantas con las que cuentan o están en construcción, para esto se hizo uso de información no estructurada.

### Información no estructurada

La información no estructurada se obtuvo a través de motores de búsqueda en internet para identificar empresas y proyectos. También se incluyó información obtenida de congresos y foros, la cual se organizó en una base de datos en Excel ( ver anexo 1)

Se agruparon las tecnologías avanzadas de producción de biocombustibles en 8 familias principales, como se muestra en la Tabla 21 para simplificar los análisis.

**Tabla 21.** Familias de tecnologías emergentes de biocombustibles avanzados

A.	Hidrolisis enzimatica con fermentación
B.	Gasificación
C.	Hidrolisis acida con fermentación
E.	Macroalgas, microalgas, cyanobacteria, plankton
F.	Producción de butanol a partir de biomasa
G.	Pirólisis
H.	Conversión de luz solar y CO <sub>2</sub> en combustibles líquidos
I.	Microorganismos genéticamente modificados para producir biocombustibles

## FASE 3. PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

La fase de prospectiva tiene como objetivo la identificación de escenarios futuros. Para ello se partirá de los resultados obtenidos en las fases previas, se complementaran los mismos con entrevistas a expertos, para finalmente proponer líneas de investigación y desarrollo en Colombia que es el objetivo final del presente estudio.

Para el desarrollo de un estudio prospectivo se pueden utilizar diferentes metodologías, cada una con herramientas propias, pero siempre orientadas a un único fin, analizar el futuro de una tecnología, un sector o específicamente una organización, en lo que se refiere a la evolución de los factores del entorno técnico, social y económico y las interacciones entre los mismos.

La metodología se fundamenta en la validación a través de expertos del estado del arte de la cadena, para la definición de unos posibles escenarios futuros para la industria de los biocombustibles en Colombia.

**Tabla 22. Perfiles expertos entrevistados**

SECTOR	ACTORES CLAVES	PERFIL	CARGO	EXPERIENCIA
<b>INDUSTRIAL</b> 	<b>1.EDGAR CASTILLO</b>	PHD Ingeniería química	Director del grupo de investigación en Biocombustibles del Instituto Colombiano del Petróleo de ECOPEPETROL.	Ingeniero con más de 20 años de experiencia en la industria y la academia. Trabajo como director del centro de estudios de investigaciones ambientales de la UIS y ex director ambiental de CENICAÑA
<b>ACADEMIA</b> 	<b>2.Viatcheslav Kafarov</b>	PHD Ingeniería Química	Docente UIS	Docente experto en biocombustibles
<b>GOBIERNO</b> 	<b>3.JULIO CESAR VERA</b> 	Ingeniero de Petróleos	Director de Hidrocarburos, Ministerio de Minas	Hace parte del desarrollo del Programa Nacional de Biocombustibles. Fue elegido en el 2008 como uno de los 10 jóvenes más sobresalientes de Colombia por la JCI.

## 1. RESULTADOS

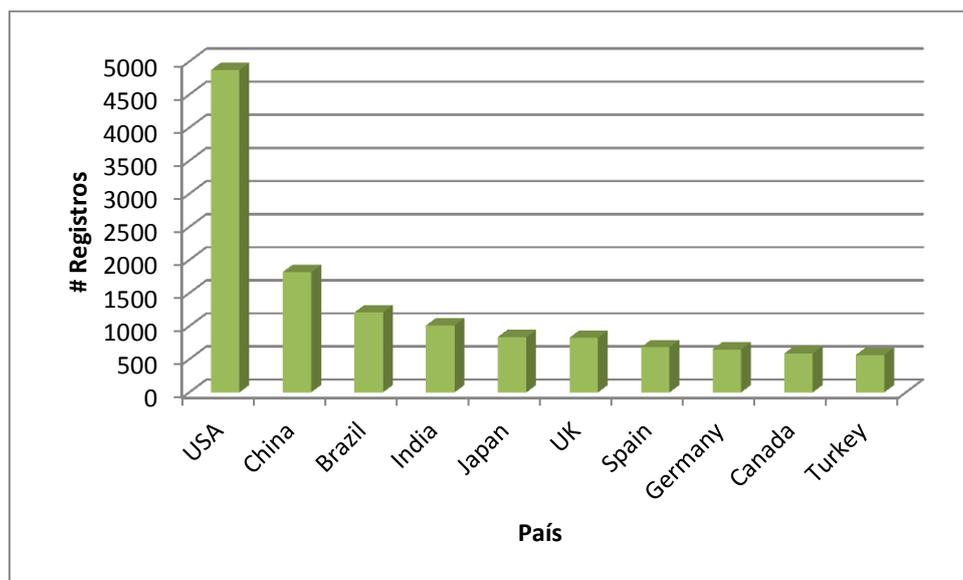
### Resultados: Situación actual de la investigación en Biocombustibles a Nivel Internacional

Para determinar este comportamiento se deben recopilar y analizar datos de diferentes fuentes de información con el fin de obtener un conocimiento de lo que sucede a nivel internacional en el tema de los biocombustibles, del procesamiento de la información a través de las herramientas Vantage Point y Excel se obtuvieron los siguientes resultados:

#### RESULTADOS ECUACIÓN NO.1 CORRESPONDIENTE A LOS TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES:

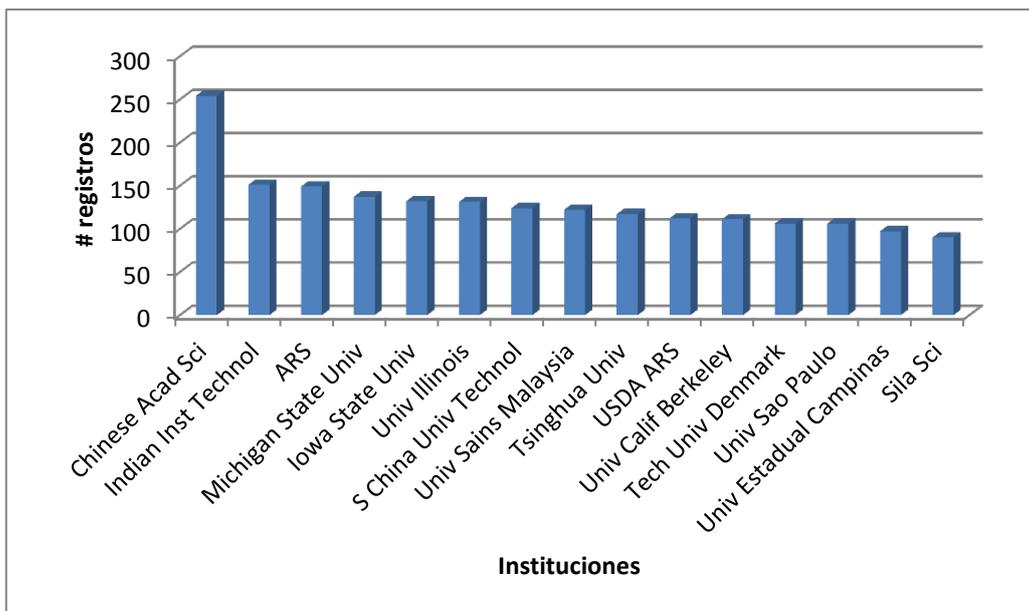
TS=( biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass")

Ilustración 26. Países líderes por # de publicaciones



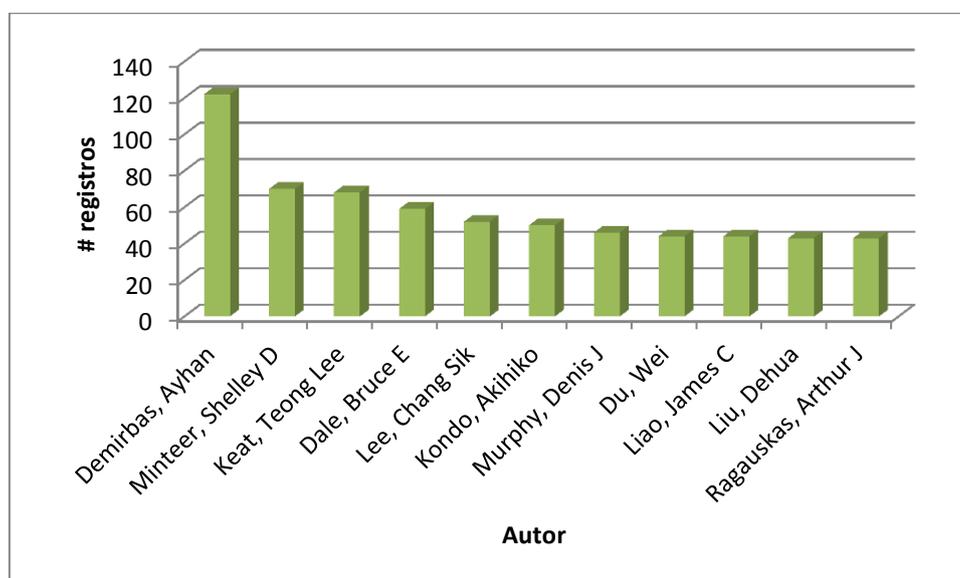
- Estados Unidos es de lejos el líder mundial en investigación científica en biocombustibles, doblando a China que se encuentra en segundo lugar, seguida de cerca por Brasil, India, Japón, Reino Unido, España, Alemania, Canadá y Turquía.
- Colombia se ubica en la posición 28 con 156 registros.

Ilustración 27 .Instituciones líderes por número de publicaciones



- La Academia de Ciencias de China ocupa el primer lugar entre las instituciones con mayor número de publicaciones, seguido del Instituto tecnológico de la India y del Servicio de investigación agrícola norteamericano (ARS).
- Por Colombia aparece la Universidad Industrial de Santander UIS que se ubica en el puesto 168 con 21 registros.

**Ilustración 28.** Investigadores líderes por número de publicaciones



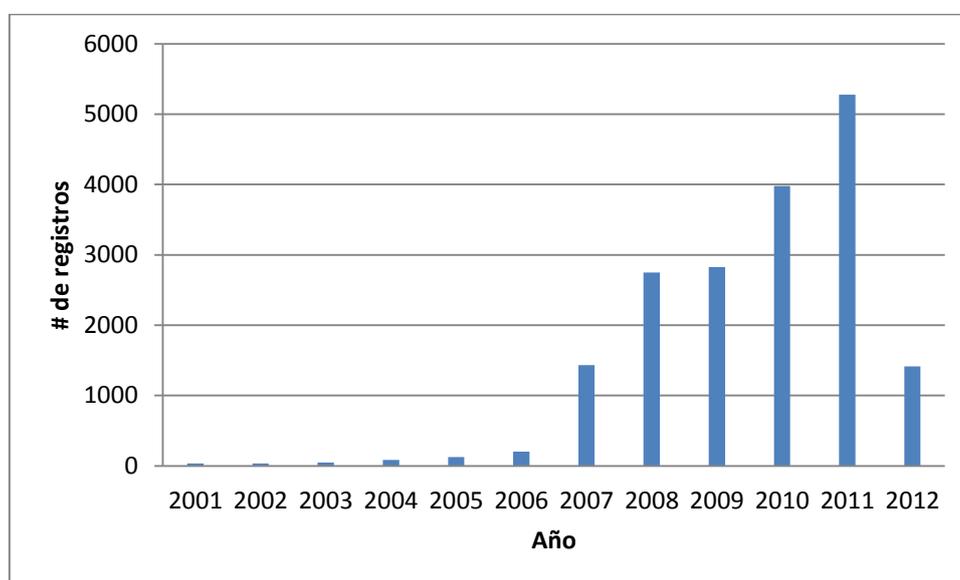
- En primer lugar aparece el investigador Ayhan Demirbas de nacionalidad turca, seguido por la química Shelley Minteer de Estados Unidos y Teong Lee Keat.

**Ilustración 29.** Matriz investigadores líderes vs año de publicación

	2011	2010	2009	2008	2007	2012	2006	2005	2004	2003	2001	2002
Demirbas, Ayhan	9	25	33	35	11	1	2	3	1	1		1
Minteer, Shelley D	22	16	8	13	5	4	2					
Keat, Teong Lee	21	27	12	5		3						
Dale, Bruce E	24	6	18	3	4	4						
Lee, Chang Sik	10	11	12	16		3						
Kondo, Akihiko	13	5	8	6	5	6	1		1		4	1
Murphy, Denis J	19	12	7	6	1	1						
Du, Wei	2	9	4	14	8	1	2	2	2			
Liao, James C	9	11	2	19	2	1						

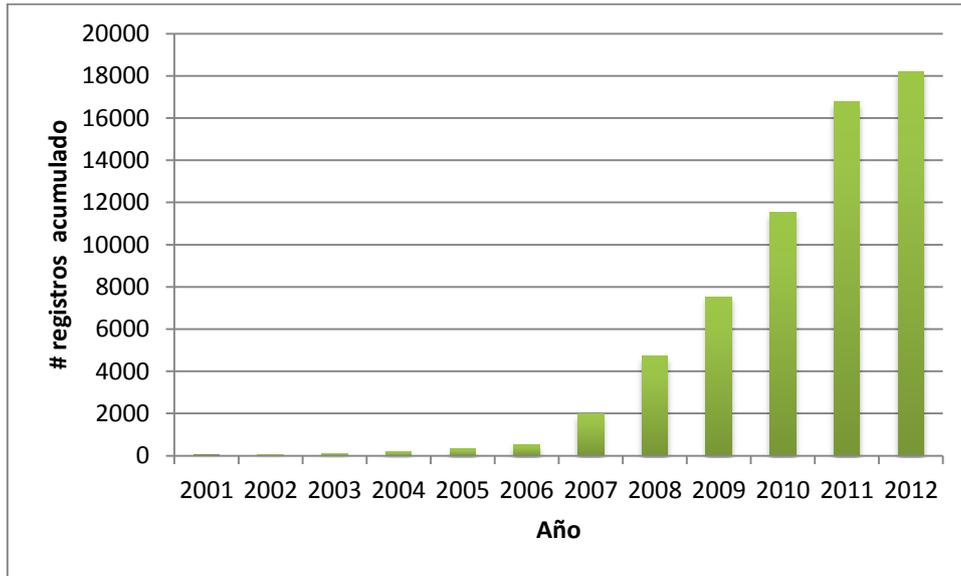
- A pesar de ser el autor con mayor número de publicaciones en el consolidado total Ayhan Dermibas ha disminuido sus publicaciones en los últimos años, ya que la mayoría se concentraron alrededor del 2008 y 2009.
- Caso contrario a Shelley Minteer, quien en el 2012 ya tiene 4 publicaciones y ha ido aumentando su actividad investigativa con el pasar de los años
- Otros autores prometedores son Akihiko Kondo con 6 publicaciones en el presente año y Bruce Dale con 24 el año pasado.

**Ilustración 30.** Actividad publicaciones científicas



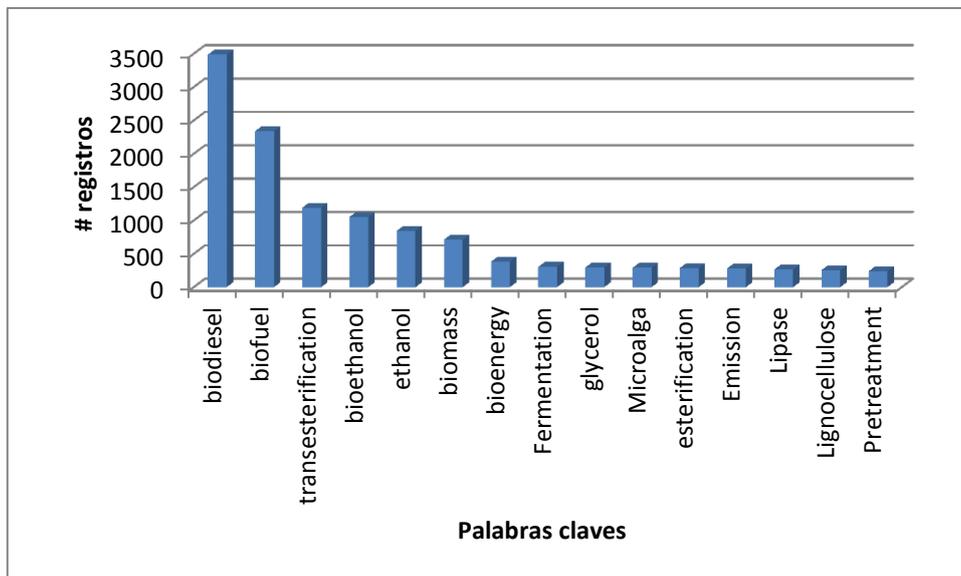
- El auge de los biocombustibles y la investigación científica en estos temas se dio alrededor del 2007 y su interés en los últimos años ha continuado creciendo. Los datos del 2012 solo incluyen 4 meses del año.

**Ilustración 31.** Dinámica acumulada de publicaciones científicas



- Se registra un incremento sostenido en la producción de publicaciones científicas en el área de los biocombustibles en los últimos años a partir del 2007.

**Ilustración 32.** Temáticas de mayor actividad



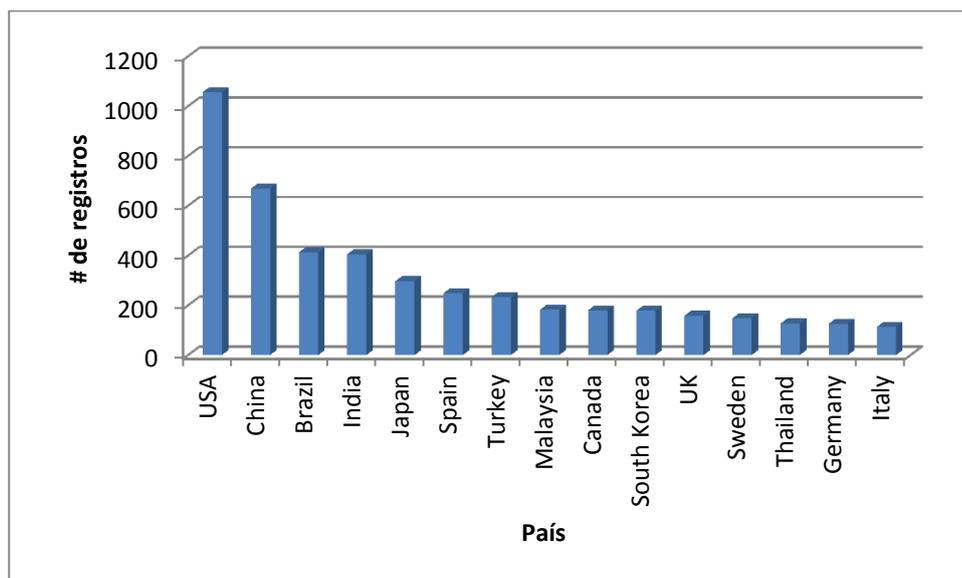
- La palabra clave más usada por los autores en las publicaciones científicas es biodiesel, lo que implica que hay un mayor número de investigaciones en ese tipo de biocombustible, adicional esta en tercer lugar la palabra transesterificación, que es el proceso usado para la producción de biodiesel, luego viene el etanol y su tecnología de producción la fermentación.

- Entre los 10 primeros lugares está la glicerina, uno de los subproductos de la producción de biodiesel, tema en el cual se están realizando múltiples investigaciones para identificar diversos usos de esta.
- También hay un interés en las investigaciones de microalgas para la producción de biocombustibles, y aparece como tecnología emergente la producción de etanol lignocelulósico.

**Resultados obtenidos con la ecuación #2 correspondiente a las tecnologías de producción de biocombustibles:**

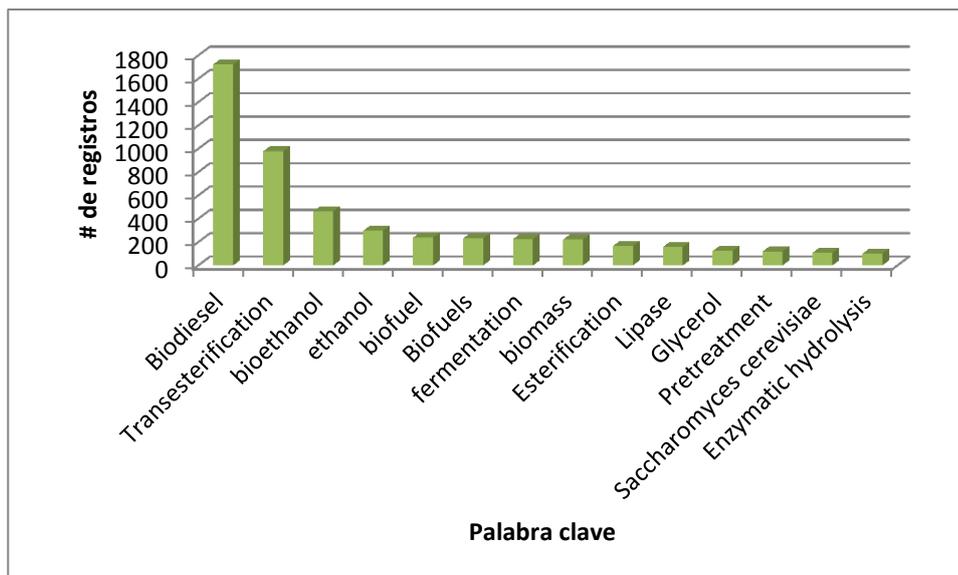
TS= ((biofuel or agrofuel or "biomass biofuel" or "biomass fuel" or biodiesel or bioethanol or "green diesel" or "Synthetic biofuel" or syndiesel or "renewable diesel" or "algae fuel" or biobutanol or "algae biofuel" or "ethanol lignocellulosic" or "hydrocarbons from biomass") and (biochemical or thermochemical or pyrolysis or gasification or hydrolisis or transesterification or fermentation or hydroprocessing))

**Ilustración 33.** Países con mayor número de publicaciones



- Se encuentran básicamente los mismos países líderes en investigación científica encontrados por tipo de biocombustibles, estos son Estados Unidos, China, Brasil, India y Japón.
- Hay variaciones respecto a los resultados por tipo de biocombustible a partir del 5 lugar.
- Colombia aparece en la posición 21 con 71 registros.

**Ilustración 34.** Temáticas con mayor número de publicaciones



- Similar a los resultados de la primera ecuación el biodiesel y sus tecnologías de producción se identifica como el área de mayor investigación científica, seguido por el etanol y vislumbrándose como temática emergente el etanol a partir de celulosa.

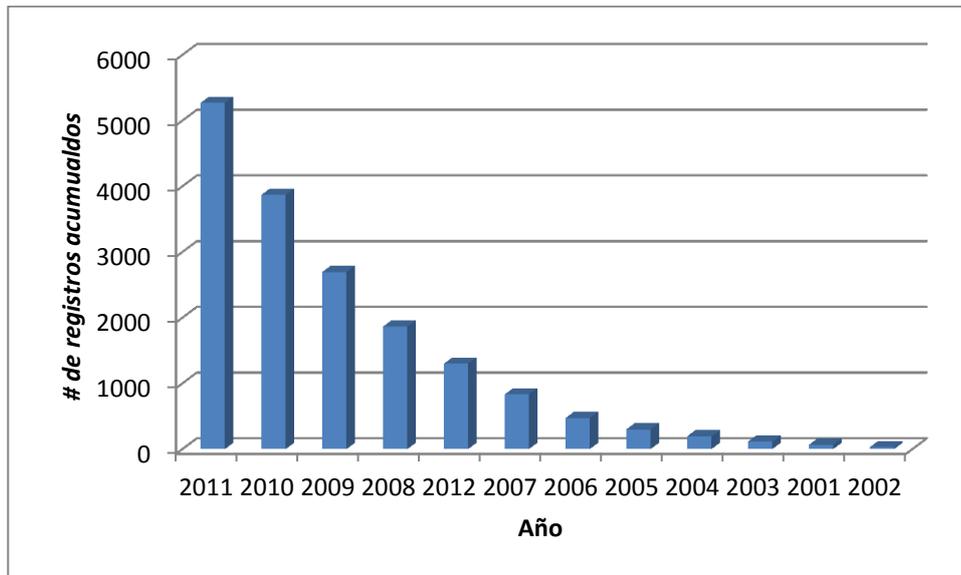
**Tabla 23.** Año de aparición de temáticas

	# Records	# Instances	Keywords (author)	New in 2001	New in 2002	New in 2003	New in 2004	New in 2005	New in 2006	New in 2007	New in 2008	New in 2009	New in 2010	New in 2011	New in 2012
1	1724	1724	Biodiesel	✓											
2	979	980	Transesterification	✓											
3	463	463	bioethanol		✓										
4	298	298	ethanol	✓											
5	239	239	biofuel	✓											
6	232	232	Biofuels	✓											
7	227	227	fermentation		✓										
8	222	223	biomass		✓										
9	167	167	Esterification			✓									
10	158	158	Lipase	✓											
11	124	124	Glycerol		✓										
12	120	120	Pretreatment		✓										
13	109	109	Saccharomyces cerevisiae		✓										
14	101	101	Enzymatic hydrolysis			✓									
15	92	92	optimization			✓									
16	89	89	Biorefinery					✓							
17	87	87	lignocellulose			✓									
18	87	87	Methanolysis	✓											
19	78	78	Gasification	✓											
20	76	76	microalgae								✓				

- La mayoría de las palabras claves con mayor número de registros fueron introducidas por primera vez alrededor del 2001-2002, fecha que coincide con la introducción de forma comercial de los biocombustibles a nivel mundial (con excepción de Brasil, que inicio mucho antes).

- Cabe destacar dos temáticas que aparecieron de forma más tardía: el de biorefinería que empezó en el 2006 y el de las microalgas para la producción de biodiesel que inicio en el 2007 y que luego tendría su boom en el 2009.

**Ilustración 35.** Producción acumulada de publicaciones científicas



- Se ve un incremento sostenido en el número de publicaciones científicas en el tema de tecnologías de producción de biocombustibles, contrario a la creencia de que está decayendo el interés en el tema.

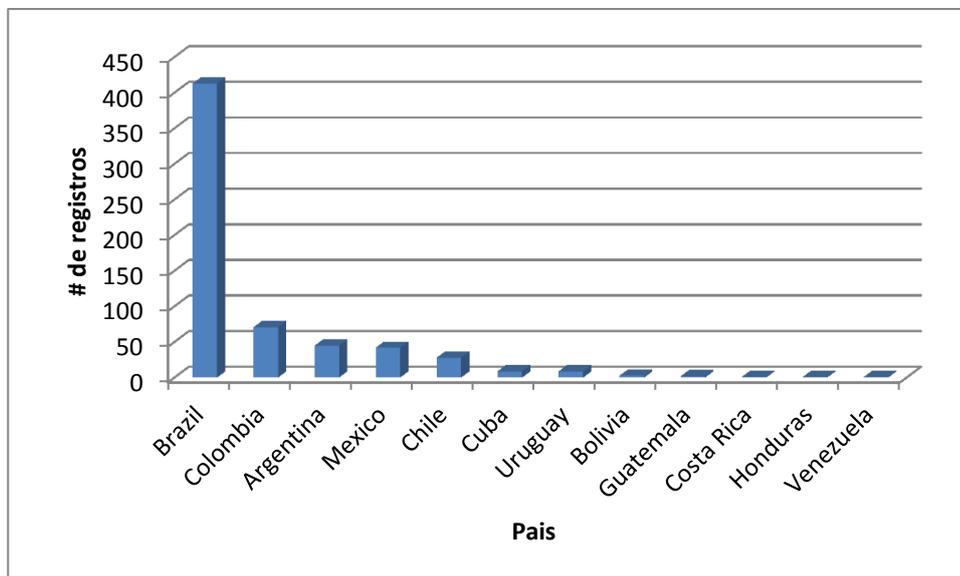
Para complementar el análisis realizado sobre el entorno de investigación, se presenta una clasificación de los artículos según los países a los cuales pertenecen los autores de cada artículo y los centros de investigación donde las mismas se han realizado, este análisis es importante porque muestra cuales naciones o entidades de educación están realizando mayores esfuerzos en investigación y desarrollo, además de asociar este resultado con los temas analizados en cada lugar. Los resultados de esta revisión se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 24.** Matriz de países con mayor número de publicaciones por año

# Records		2011	2010	2009	2008	2012	2007	2006	2005	2004	2003	2001	2002
1056	USA	287	253	167	107	86	70	26	22	13	7	12	6
668	China	191	160	97	71	54	48	25	7	6	8	1	
413	Brazil	108	89	53	54	51	30	10	9	4	2		3
405	India	119	86	56	37	47	22	14	11	6	3	3	1
297	Japan	65	57	47	41	23	26	9	8	10	3	8	
249	Spain	64	56	30	23	24	17	13	7	6	4		5
234	Turkey	52	31	47	39	15	23	10	9	2	4		2
182	Malaysia	66	53	33	4	20	1	3	2				
180	Canada	48	34	21	24	17	17	9		3	3	4	
178	South Korea	54	41	27	15	32	5	1		2	1		
158	UK	31	34	33	21	8	16	5	1	6	1	2	
148	Sweden	36	30	18	15	8	11	7	6	9	2	2	4
127	Thailand	35	36	19	15	13	4	3	2				
126	Germany	29	22	18	14	16	7	9	5	1	2	1	2
113	Italy	23	36	21	5	10	7	5	3	2	1		

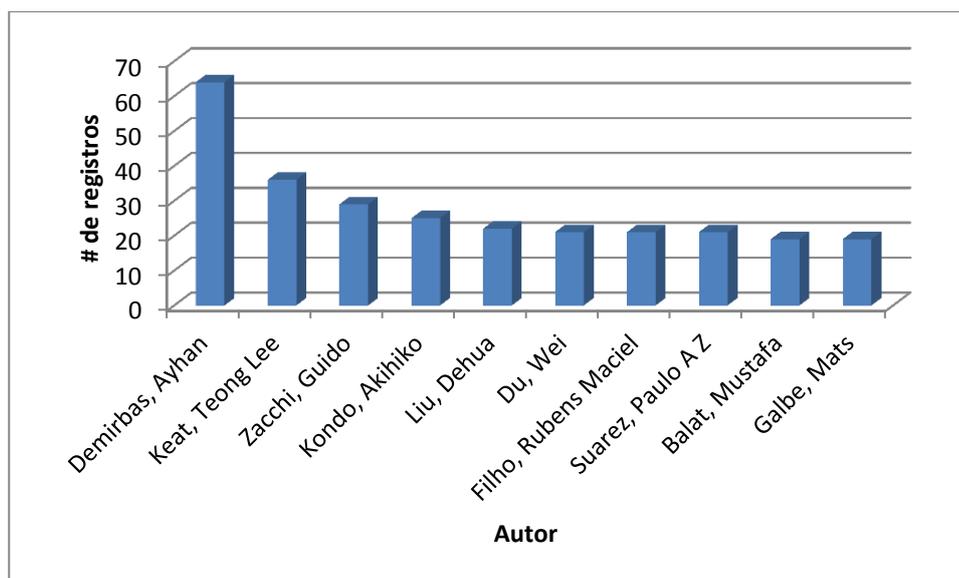
- Se confirma el liderazgo de Estados Unidos, China, Brasil, India y Japón en la investigación en biocombustibles en los últimos años.
- Se destaca la alta dinámica científica de Malasia en los últimos 4 años, este país es líder en la producción de biodiesel de primera generación.

**Ilustración 36** Dinámica de publicaciones científicas en Latinoamérica



- En Latinoamérica Brasil es de lejos el líder en investigación en biocombustibles, esto acorde a su liderazgo a nivel mundial en producción y consumo de biocombustibles.
- Colombia se ubica en un segundo lugar, seguido muy de cerca de Argentina, líder en producción de biodiesel.

### Ilustración 37. Investigadores líderes en publicaciones científicas



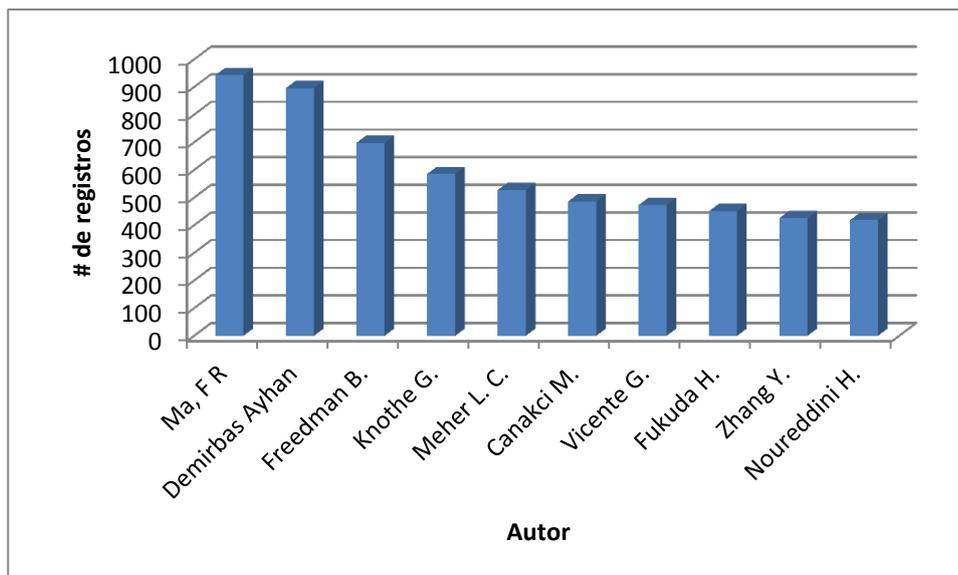
- Se encuentra en primer lugar el mismo autor obtenido para el primer tipo de ecuación, Ayhan Demirbas, sin embargo aparecen otros autores adicionales a tener en cuenta como Guido Zacchi y los brasileños Maciel Filho y Paulo Suarez.

Tabla 25. Matriz de investigadores vs año

# Records		2006	2005	2007	2004	2003	2008	2001	2002	1999	2000	2009	1998
64	Demirbas, Ayhan	37	51	21	49	59	17	59	51	51	45	13	51
36	Keat, Teong Lee	29	24	34	26	14	34	21	15	9	5	31	9
29	Zacchi, Guido	22	21	15	24	20	14	24	24	21	20	12	20
25	Kondo, Akihiko	21	16	16	18	18	19	21	23	16	18	18	13
22	Liu, Dehua	18	19	14	19	18	9	16	19	17	13	5	9
21	Du, Wei	16	18	12	18	18	7	17	18	16	13	3	10
21	Filho, Rubens Maciel	17	14	17	9	10	14	17	9	13	11	15	8
21	Suarez, Paulo A Z	21	21	18	21	19	14	13	7	17	13	9	9
19	Balat, Mustafa	14	18	14	19	19	5	19	18	18	15	4	15
19	Galbe, Mats	13	14	8	15	14	7	14	15	17	12	6	15

- Sin embargo la actividad del autor con mayor número de publicaciones Ayhan Demirbas se ha visto reducida en los últimos años, ya que la mayoría de sus publicaciones fueron en el 2001 y 2003.

### Ilustración 38. Investigadores líderes por número de citas



- F.R. Ma es el coautor junto con Milford Hanna del artículo más citado en biocombustibles: *Biodiesel production: a review* publicado en 1999.
- Demirbas Ayhan, uno de los autores con mayor número de publicaciones es a la vez uno de los más citados por sus colegas.
- Otro de los autores más citados es el norteamericano Gerhard Knothe, que trabaja en el Departamento de Agricultura de EU, y cuyos trabajos se han enfocado en el tema del biodiesel.

**Tabla 26.** Instituciones líderes por año de publicación

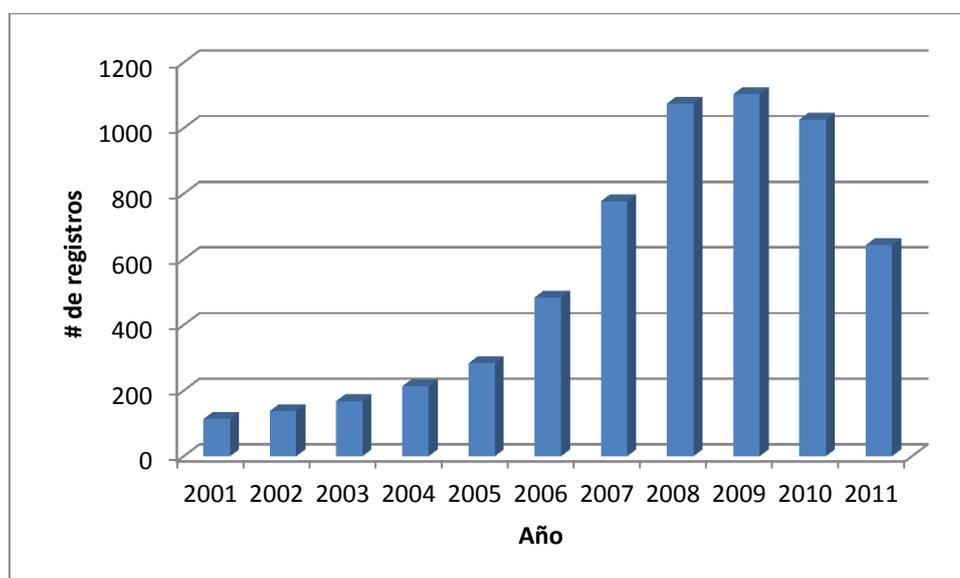
# Records		2011	2010	2009	2008	2012	2007	2006	2005	2004	2003	2001	2002
94	Chinese Acad Sci	32	26	7	11	12	5		1				
89	Indian Inst Technol	22	14	12	8	3	9	9	4	4	3	1	
76	ARS	17	25	16	5	6		1		2	1	1	2
76	Univ Sains Malaysia	24	27	17	3	5							
69	S China Univ Technol	16	18	14	6	5	5	2	1	2			
59	Lund Univ	12	11	6	9	1	6	2	4	5	1	2	
58	Tech Univ Denmark	16	7	7	10	5	7	1		2	1	2	
57	Tsinghua Univ	8	15	14	13	4	3						
52	Univ Estadual Campinas	11	20	6	7	1	4	1	1		1		
50	USDA ARS	4	3	4	12	1	10	5	5	4		2	

- La Academia China de ciencias registra como líder en publicaciones científicas en tecnologías de producción de biocombustibles en los últimos años con 32 publicaciones en el 2011.
- Entre los 10 primeros lugares se ubica una universidad latinoamericana, la de Campinas, ubicada en Brasil.

## RESULTADOS ACTIVIDAD TECNOLÓGICA (PATENTES)

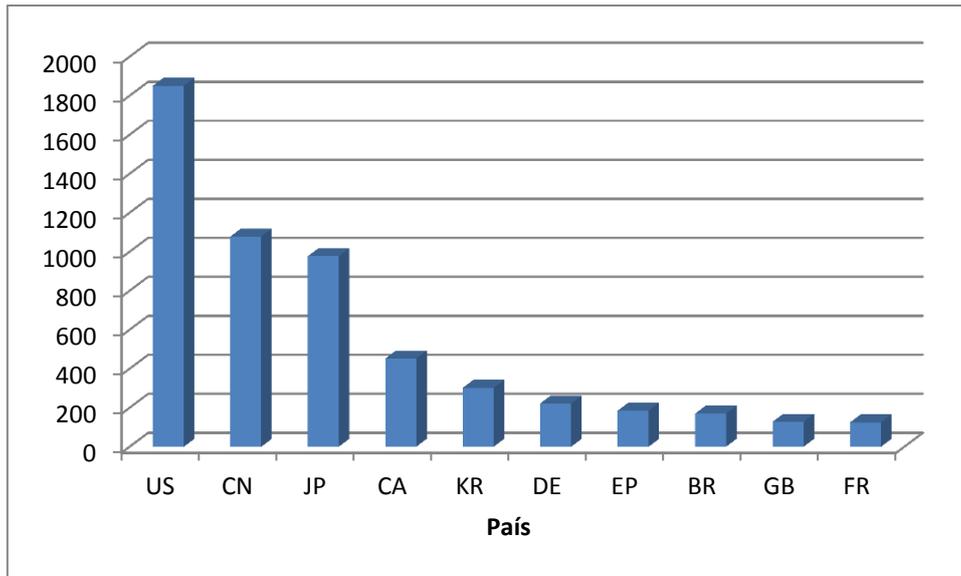
El análisis del desarrollo tecnológico comienza con la distribución de las patentes a través del tiempo, la cual permite conocer cómo ha sido el avance del tema a nivel internacional en los últimos años, evidenciando si ha habido crecimiento o decrecimiento, y de esta manera es posible conocer cómo ha sido la dinámica del sector en lo que se refiere al patentamiento. El comportamiento se ha desarrollado como se observa en la figura 31 en la cual se observa la dinámica de las patentes a través del tiempo

**Ilustración 39.** Dinámica de patentamiento por año de solicitud



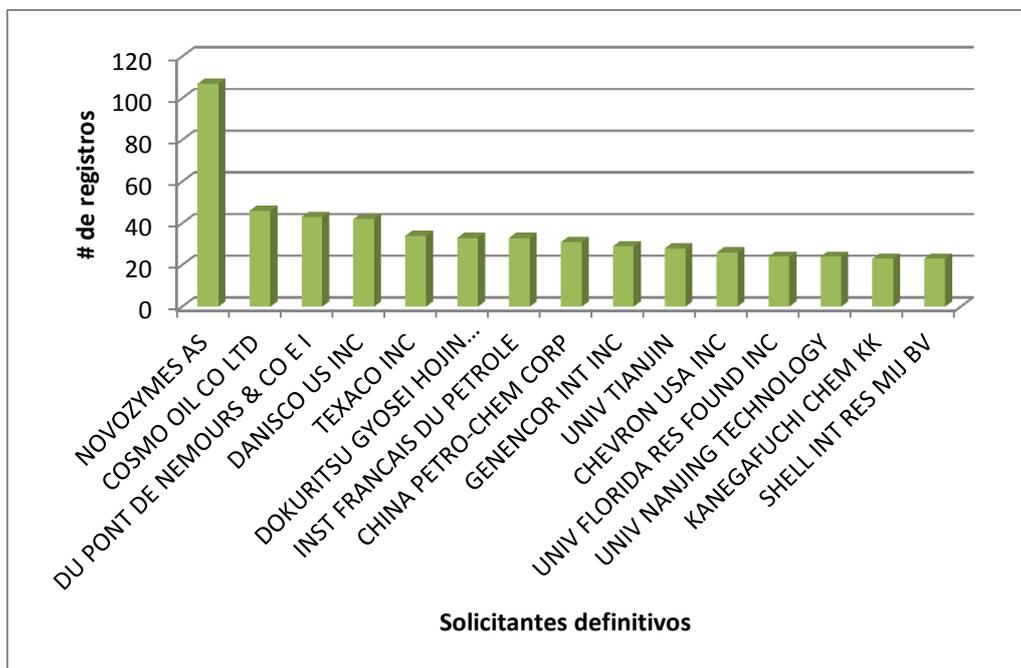
- Se denota una alta actividad de patentamiento en los años 2008, 2009 y 2010, con un considerable decrecimiento en el 2011.
- En los años anteriores al 2001 hay poca actividad de patentamiento ( no mostrado en la figura), inferior a 100 registros por año.
- El primer registro encontrado data de 1970

**Ilustración 40.** Países en los que es prioridad el patentamiento (priority country)



- Esto se refiere al país en el cual la primera aplicación de patente es solicitada, en este caso el país con mayor número de resultados es Estados Unidos, seguido de China, Japón, Canadá, Corea del Sur y Alemania.

**Ilustración 41.** Instituciones líderes solicitantes de patentes



- En primer lugar se encuentra la empresa de biotecnología Novozymes duplicando a la siguiente empresa en el listado la japonesa Cosmo Oil.
- Es de destacar que entre los 15 primeros lugares se encuentran 4 empresas petroleras: Cosmo Oil, Texaco, Chevron y Shell, lo que ratifica el interés de la industria del petróleo

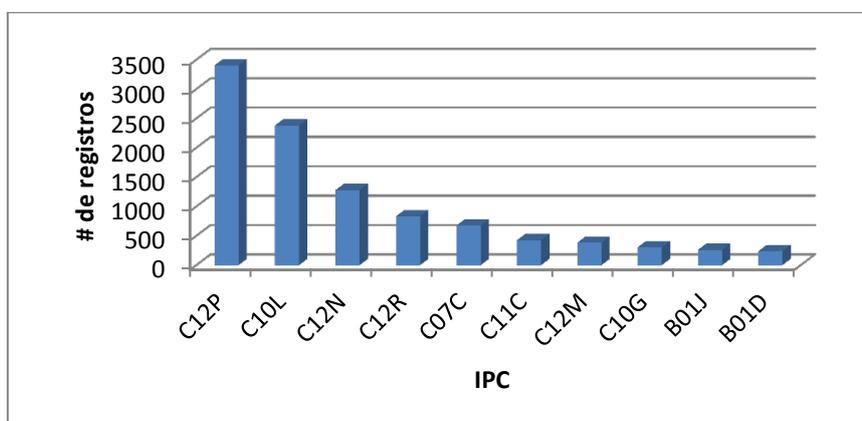
en diversificar su portafolio e ingresar en el sector de las energías alternativas y los biocombustibles.

**Tabla 27.** Matriz de instituciones solicitantes de patentes por año

	# Records		2009	2008	2010	2007	2011	2006	2005	2004	2003	2002
1	10	NOVOZYMES AS	25	18	21	27	26	24	28	15	11	7
2	46	COSMO OIL CO LTD	3	2	2			33	2	1	4	1
3	43	DU PONT DE NEMOURS & CO E I	18	10	10	8	2	2	3	3	3	3
4	42	DANISCO US INC	18	6	17	6	13	7	6	3	2	5
5	34	TEXACO INC	3	2	2							
6	33	DOKURITSU GYOSEI HOJIN SANGYO GU	2	8	5	8	1	3	1	3	1	1
7	33	INST FRANCAIS DU PETROLE	7	6	11	5	6	5	4	2		
8	31	CHINA PETRO-CHEM CORP	12	13	1	4		2	1	1		
9	29	GENENCOR INT INC	3	5	1	5	5	9	11	5	4	8
10	28	UNIV TIANJIN	5	5	8	5	3		2		1	
11	26	CHEVRON USA INC	8	11	5	5	2	1				1
12	24	UNIV FLORIDA RES FOUND INC	4	6	3	3	3	2	3	2	5	4
13	24	UNIV NANJING TECHNOLOGY	6	6	6	2	2			1	1	
14	23	KANEGAFUCHI CHEM KK	1			2		3	2	2	1	1
15	23	SHELL INT RES MU BV	4	3	8		7		1			

- Novozymes es la empresa líder en patentamiento a través de los últimos años, con actividad en investigación constante e intensa desde el 2003.
- Por otra parte la empresa japonesa Cosmo Oil, tuvo un pico en la investigación y patentamiento en el 2006, pero a partir de ahí su actividad ha disminuido considerablemente.
- Mientras que la empresa Danisco si ha tenido una alta actividad en los últimos años, especialmente 2010 y 2011.

**Ilustración 42.** Principales áreas tecnológicas en patentamiento



- En primer lugar se ubica el código internacional C12P está asociado con la fermentación a través del uso de enzimas o microorganismos, es decir se relaciona con la producción de etanol.

Otros Códigos IPC obtenidos:

C10L1: combustibles líquidos, hidrocarburos.

C12N : ingeniería genética o de mutación

C12R: microorganismos

C07C preparación de hidrocarburos

C11C: ácidos grasos a partir de aceites vegetales y grasas, refinación, asociado con producción de biodiesel

C10G: producción de hidrocarburos líquidos, asociado con pirolisis

B01J: procesos físicos o químicos, ej catálisis.

B01D: separación, evaporación.

- Se denota un alto interés en la actividad tecnológica en la modificación genética, desarrollo de microorganismos y enzimas, fermentación y tecnologías avanzadas de producción de biocombustibles como la pirolisis.

## RESULTADOS CAPACIDADES NACIONALES EN INVESTIGACION Y PATENTAMIENTO

El análisis de capacidades nacionales permite identificar cuáles son las instituciones, centro de estudio y líderes que marcan el rumbo de la investigación en un tema específico dentro de un país. Para el caso del presente estudio esta actividad se realizó con base en la información disponible en la base de datos de Colciencias (Scienti), en donde se encuentran registrados los grupos de investigación de las diferentes universidades del país y clasificados por categorías según las cualidades y el volumen de trabajos desarrollados en el área de conocimiento.

**Tabla 28 Entidades que trabajan en biocombustibles en Colombia**

Nombre	Carácter
Asocaña	Privado
Cenicaña	Privado
Cenipalma	Privado
CIAT	Internacional
Colciencias	Publico
Corpoica	Mixto
ICP-Ecopetrol	Mixto
Corpodib	Privado
Fedebiocombustibles	Privado

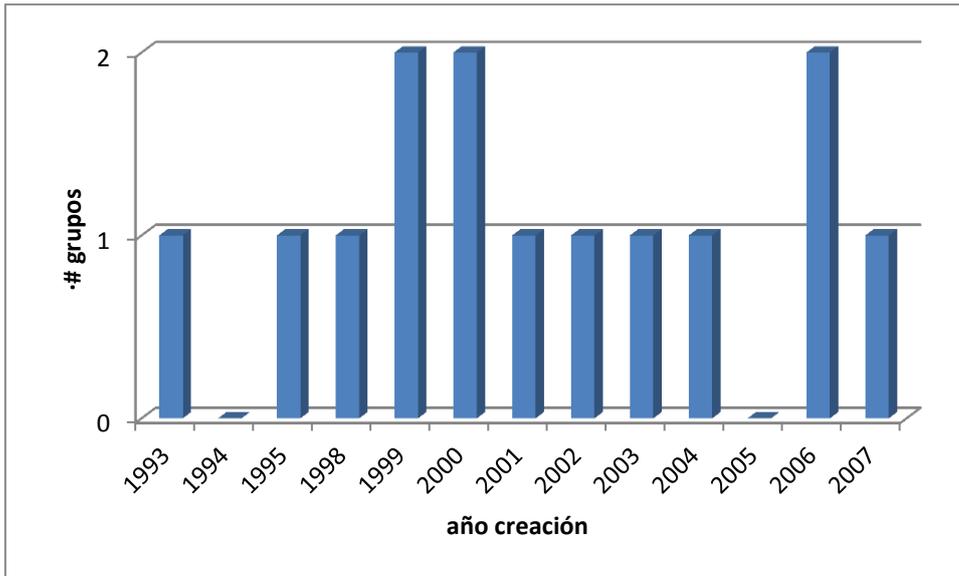
- Se identifica que la mayoría de entidades (sin contar universidades) trabajando en la investigación en biocombustibles son de carácter privado.

**Tabla 29.** Grupos de investigación en Colombia

Base de datos	Grupos de investigación
Scienti-Colciencias	Grupo de Investigación en Biocombustibles – GRUBIOC Valle
	Grupo de Investigación en Biocombustibles ICP-ECOPETROL
	Estudio y Aprovechamiento de especies vegetales para biodiesel-CORPOICA. Meta
	Grupo de Energías Alternativas y Biomasa-UPC, Cesar
	Biomasa y Optimización Térmica de Procesos – BIOT (UN, Bogotá)
	Optimización de Procesos y Uso Racional de la Energía y Biomasa – OPUREB (UM, Córdoba)
	Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas, UN Medellín
	Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas – GEAL (UN, Valle)
	Eco Energías Limpias y Sostenibles (ECO-ENERGY), UJTL, Bogotá
	Biotecnología-UDEA
	Centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía-UIS
	Ciencia y tecnología del gas y uso racional de la energía UDEA
	Combustibles alternativos, UN, Medellín
	Grupo de Investigación en Combustibles

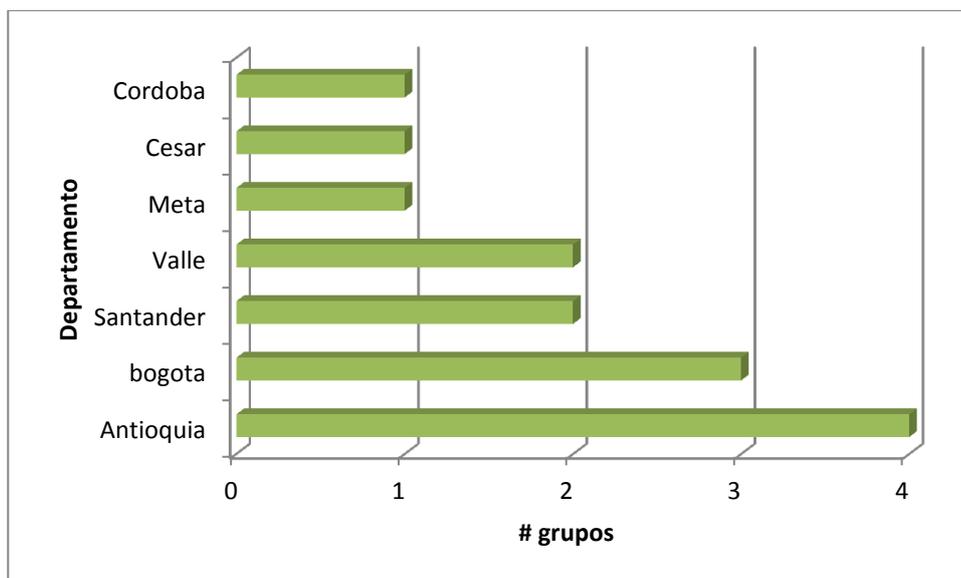
- Se identificaron 14 grupos de investigación en biocombustibles en el país registrados ante Colciencias.

**Ilustración 43.** Dinámica de creación de grupos de investigación



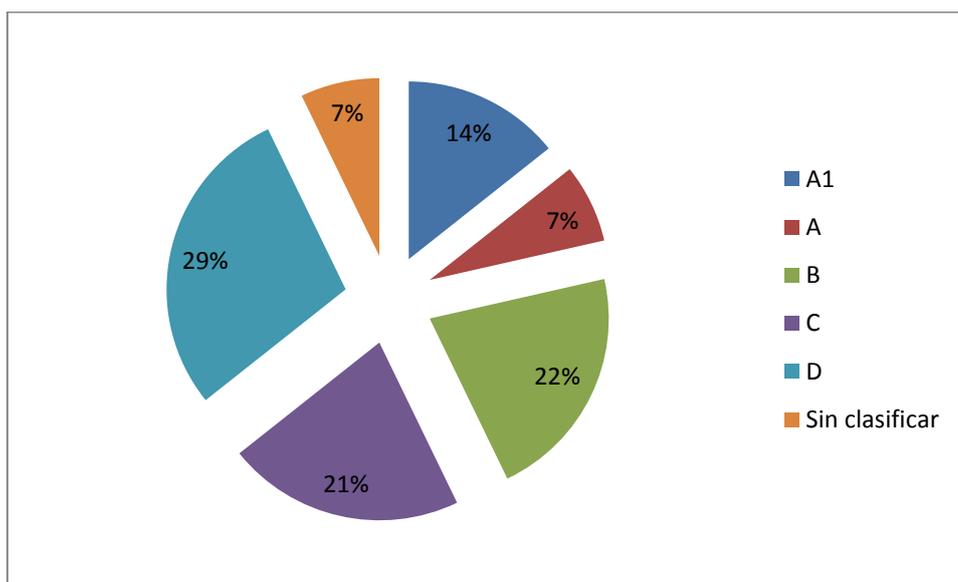
- Se identifica que la mayoría de los grupos fueron creados en los años 1999, 2000 y 2006, a partir del 2008 no se registra creación de nuevos grupos.

**Ilustración 44** Cobertura nacional (departamento)



- La mayoría de los grupos se encuentran concentrados en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander y Valle.

**Ilustración 45.** Clasificación en Colciencias de grupos de investigación



- La mayoría de los grupos tiene una clasificación media-baja entre C y D de Colciencias.

**Tabla 30.** Patentes colombianas

Base de datos	Palabra clave	Tipo de patente	Patente
SIC	Biocombustible		Biocombustible sólido.
	Biocombustible		Mezcla líquida de biocombustible así como método y dispositivo para la fabricación de la misma.
	Biocombustible		Biocombustible en estado coloidal
	Biocombustible		Sistema y métodos para producir biocombustible y materiales relacionados.
	Biocombustible		Composición de biocombustible y método para producir un biocombustible
	Biodiesel		Producción de aceite combustible (biodiesel) para motores diesel.
	Biodiesel		Procedimiento para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales y grasas utilizando

			catalizadores heterogéneos.
	Biodiesel		Procedimiento para la obtención de un biodiesel a partir de aceites vegetales de grado de acidez variable en sistema continuo y combustible biodiesel obtenido.
	Biodiesel	PCT	Obtención de ésteres de ácidos grasos de glicerol formal y su uso como biocarburante.

- No se encuentra un alto número de patentes desarrolladas en Colombia en el tema.

## RESULTADOS ENTREVISTAS

El trabajo de los expertos se desarrolla a través de cuestionarios que se pueden diligenciar de forma independiente y vía electrónica. Entre las bondades que presenta esta forma de trabajo, se destaca fundamentalmente: la no interacción entre las partes, ya que ninguno de los expertos conoce la identidad de los otros que componen el grupo de trabajo, evitando con esto que algunas opiniones influyeran las demás y el resultado se oriente en un único sentido.

Para el caso del presente estudio, el grupo de expertos que colaboraron en la identificación del Estado presente de la cadena y la construcción de escenarios de futuro se conformó con personas de diferentes entidades e instituciones relacionadas con los diferentes eslabones de la cadena definidos en el capítulo anterior, principalmente en el entorno de la misma, es así como se contó con la participación del gremio representado a través de ECOPETROL, el gobierno a través del Ministerio de Minas y y la Academia a través de expertos investigadores de la cadena.

**Tabla 31.** Preguntas y respuestas de expertos

PREGUNTAS	1. EDGAR CASTILLO <sup>41</sup>	2. VIATCHESLAV KAFAROV <sup>42</sup>	3. JULIO CESAR VERA <sup>43</sup>
<b>1. Cuáles son los mayores obstáculos que ha tenido el desarrollo de los biocombustibles a nivel mundial y nacional?</b>	Uso de la tierra Uso de excedentes agrícolas como el maíz en EUA Coincide con precios altos de los alimentos Propiedad tierra y productividad No destruir selvas tropicales como en Indonesia.  Situación colombiana es	Componentes de tipo ambiental y social. En medio ambiente balances de GEI y asuntos que no han sido estudiados completamente como presión sobre recursos hídricos.  En cuanto al país la parte social es clave, además de hacer una	En la actualidad, el mayor problema que está dificultando el crecimiento de la industria de los biocombustibles, es la falta de concertación internacional sobre los criterios de sostenibilidad de su producción, lo que dificulta el crecimiento de mercado y por ende

<sup>41</sup> Entrevista telefónica realizada el día 25 de abril del 2011.

<sup>42</sup> Entrevista realizada en el municipio de Piedecuesta el día 27 de abril del 2011.

<sup>43</sup> Entrevista realizada por correo electrónico el día 26 de abril del 2011.

	<p>diferente a la del resto del mundo, no se ha ampliado frontera agrícola, ni competencia alimentaria, ni se ha desarrollado una economía agraria. La producción de biocombustibles ha sido deficitaria no se han cumplido metas</p>	<p>distinción muy juiciosa de lo que son tierras aptas para cultivo y las que son de alto valor en conservación</p>	<p>crecimiento a nivel nacional. También la volatilidad de los precios de petróleo y el crecimiento de los precios de alimentos, lo que muchos sectores ven como resultado de crecimiento de biocombustibles</p>
<p><b>2. En qué temas se encuentran actualmente realizando investigaciones o desarrollos en biocombustibles en Colombia?</b></p>	<p>Cepas microbiológicas contaminantes del etanol, Variedades de caña y palma, Etanol segunda generación, Biomásas alternativas como la jatropha</p>	<p>Producir biocombustibles que no tengan limite en mezcla (como los hidrotratados) y conocimiento de la huella de carbono de los biocombustibles y algo en segunda generación, aún tímido.</p>	<p>La investigación de los rendimientos de las diferentes materias primas en campo y de sus propiedades físicas y químicas, se está realizando a través de nueve proyectos para la producción de etanol a partir de caña, yuca y sorgo dulce y siete proyectos de biodiesel a partir de palma, higerilla, jatropha, inchi, sacha inchi. También se está realizando la evaluación de once variedades de higerilla en ocho departamentos del país, para la producción de biodiesel.</p> <p>Así mismo, el país viene adelantando investigaciones para el desarrollo de tecnologías propias, en cuatro plantas piloto para la producción de etanol a partir de almidón de yuca, banano de rechazo, yuca, batata y otras fuentes de biomasa y una planta de biodiesel a partir de palma de aceite así como también estamos avanzando en la investigación en biocombustibles de II</p>

			generación
<b>3. Que universidades y empresas a nivel nacional y mundial considera usted que lideran la investigación y desarrollo en biocombustibles?</b>	<p>NREL Grupo C2B2 U. Berkley U. Caltech U. Mar de plata U. de Holanda Ceres U. Texas A&amp;M Novozymes Solazyme</p> <p>Cenipalma Cenicaña ICP</p>	<p>Solazyme, NREL, Abengoa, Anbicon y muchas más. Realmente hay muchísimas hay que ver son quienes pasan de la investigación a los proceso industriales</p> <p>UIS ICP UNAL</p>	<p>Universidad de Antioquia Universidad Nacional Universidad Industrial de Santander Universidad Autónoma de Occidente Universidad Tecnológica de Pereira Instituto Colombiano de Petróleo Cenipalma Cenicaña A nivel internacional no podría definir las entidades de investigación, solamente los países que más apoyan este tema como Brasil, Estados Unidos, España, Holanda, Alemania</p>
<b>4. Cuáles son los factores principales que favorecen el desarrollo del uso de biocombustibles en Colombia?</b>	<p>Posición geográfica alta fertilidad recurso hídrico, potencial en biomasa, caña, dos mares por lo que se puede exportar a Europa y EUA. Tenemos estructura regulatoria y normatividad.</p>	<p>Que en principio somos un país agrícola y climatológicamente tenemos el trópico a nuestro favor. Falta ver qué factores no favorecen el desarrollo de los biocombustibles.</p>	<p>Ubicación geográfica, con diferentes condiciones edafoclimáticas que permiten desarrollar la agricultura, como base para suministro de materia prima para biocombustibles Posibilidad de cultivar durante todo el año, de diferentes cultivos bioenergéticos Disponibilidad de tierras aptas para la agricultura Experiencia y ventaja en el cultivo de dos materias primas más competitivas – caña y palma, organización del sector productivo de ambas cadenas Desarrollos y capacidades de investigación pública y privada Política de estado,</p>

			estable, con claro marco normativo apoyada por el Ministerio de Minas y Energía.
<b>5. Cuales países ve como líderes tecnológicos en biocombustibles a 2015?</b>	Brasil Estados Unidos Alemania	Brasil México Ecuador Colombia	Estados Unidos Brasil China Alemania, Brasil Argentina
<b>6. Hacia que tecnologías en biocombustibles cree usted que apuntan a nivel nacional y mundial las reglamentaciones en este tema?</b>	Hidrolisis enzimática de biomasa principalmente y aceite de algas heterótrofas	Lignocelulósicos totalmente.	Todas las reglamentaciones apuntan a demostrar la sostenibilidad (ambiental, social y económica) de los biocombustibles, por tanto la producción mundial se dirigirá a mejores sistemas de producción, materias primas más eficientes y tecnologías avanzadas (2 y 3 generación)
<b>7. Que materias primas y zonas considera que tienen mayor potencial en Colombia para la producción de biocombustibles?</b>	Caña de azúcar Palma africana Sorgo dulce, jatropha y remolacha azucarera, aunque aun no son viables económicamente. Zonas no se atreve a responder, ya que algunas pueden ser aptas pero necesitar demasiada inversión.	Microalgas Jatropha Zonas con potencial muchas faltas que el gobierno las desarrolle: esto implica las reparta y adecue transporte para mover los productos, sino nada de negocios competitivos.	Caña de azúcar y palma de aceite, que seguirán siendo las principales materias primas para la producción de biocombustibles, sin cerrar la posibilidad de incursionar de otras materias como – sorgo dulce o jatropha, por ejemplo.

## RESULTADOS BASE DE DATOS

Se elaboró una base de datos con más de 80 empresas que trabajan en diferentes tecnologías en biocombustibles avanzados , allí se consignó información de la empresa, país, materia prima, capacidad instalada, capacidad proyectada, número de plantas, alianzas y biocombustible producido (ver anexo 1 excel)

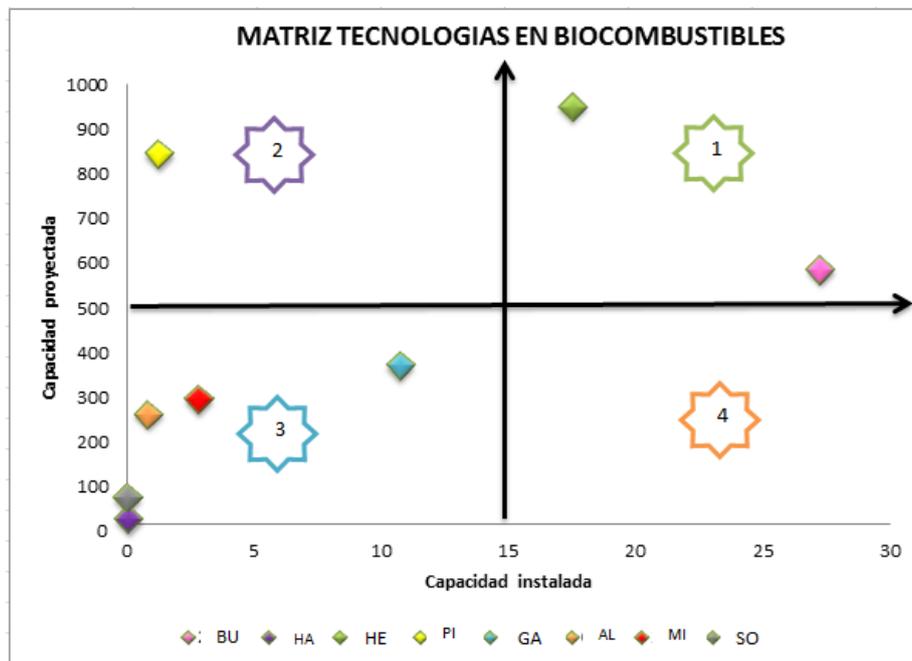
Esta información se obtuvo de páginas como Biofuel Digest, líder en información en biocombustibles, y fue refrendada en las respectivas páginas web de cada empresa.

FAMILIA TECNOLÓGICA	TECNOLOGÍA	EMPRESA	PÁGINA WEB	PAÍS	MATERIA PRIMA	CAPACIDAD INSTALADA (millones de galones)	CAPACIDAD PROYECTADA (millones de galones)	BIOCOMBUSTIBLE	OTROS: ALIANZAS, UBICACIONES
 A Hidrotratamiento	HDT	Neste Oil	<a href="http://www.nesteoil.com/">http://www.nesteoil.com/</a>	Finlandia	Palma/aceite de colza	572	572	Diesel renovable	Cuentan con 3 plantas: en Finlandia, Holanda y Singapur.
		Diamond green diesel	<a href="http://www.diamond-energy.com/">http://www.diamond-energy.com/</a>	Estados Unidos	Residuos animales	0	137	Diesel renovable	JV entre Valero Energy y Darling International. 1 planta en EU
		Solazyme	<a href="http://solazyme.com/">http://solazyme.com/</a>	Estados Unidos	Algas	0,13	41,8	Aceite renovable	Alianza con Dow Chemical, Qantas y US Navy. Plantas en EU, Francia y Brasil.
		Sapphire Energy	<a href="http://www.sapphireenergy.com/">http://www.sapphireenergy.com/</a>	Estados Unidos	Algas	0,02	1,02	RDIF	Plantas en Nuevo Mexico, EU
		ECOPETROL	<a href="http://www.ecopetrol.com.co/">http://www.ecopetrol.com.co/</a>	Colombia	Palma				Alianzas con Solazyme
		BP biofuels/Vercipia	<a href="http://www.bp.com/">http://www.bp.com/</a>	Estados Unidos	Bagazo	1,4	109,4		Antes conocido como Verenum. 2 plantas en EU
		Dupont biofuels solutions	<a href="http://www.ddce.com/">http://www.ddce.com/</a>	Estados Unidos	Mazorca	0,25	55,25		2 plantas en EU
		COFCO/Sinopec	<a href="http://www.cofco.com/en/">http://www.cofco.com/en/</a>	China	Rastrojo de maíz	0	26		1 planta en China.
		POET-DSM	<a href="http://www.poetdsm.com/">http://www.poetdsm.com/</a>	Estados Unidos	Rastrojo de maíz	0,03	225,03		9 Plantas comerciales en construcción en EU.
		Beta renewables	<a href="http://www.betarenewables.com/">http://www.betarenewables.com/</a>	Italia	Biomasa variada	20	40		Primera planta en Italia y otra en construcción en EU
		Inbicon	<a href="http://www.inbicon.com/">http://www.inbicon.com/</a>	Dinamarca	Paja	1,4	19,4		2 plantas en Dinamarca

## RESULTADOS ESTUDIO PROSPECTIVO

En esta última etapa la herramienta que se empleo fue la llamada Cruz de Escenarios ó Ejes de Shwartz, que se construye a partir de las variables estratégicas determinadas en la base de datos. arrojando como resultado cuatro posibles estados, que se convertirán en los escenarios futuros de la misma.

### Ilustración 46. Matriz tecnologías avanzadas en biocombustibles



\*HDT fuera de escala

De acuerdo a la posición de cada tecnología con respecto a las otras, las mismas quedan distribuidas en cuatro grupos, así:

### Escenario 1: Perlas

Las perlas se refieren a la situación ideal pero la más difícil de encontrar, alta capacidad instalada y alta capacidad proyectada.

En ese escenario se encuentran las tecnologías de hidrólisis enzimática y producción de biobutanol.

### Escenario 2: Ostras

Para encontrar una perla se requiere abrir muchas ostras, en este caso hay baja capacidad instalada actual pero alta proyectada, por lo que son tecnologías prometedoras pero que no se sabe con certeza si son proyectos que logran cristalizarse en el futuro.

En este escenario encontramos la pirolisis de biomasa.

### Escenario 3: Unicornios

Como los unicornios son proyectos casi imposibles, tienen baja capacidad instalada y baja capacidad proyectada, por lo que son tecnologías de baja incidencia como la hidrólisis ácida y la conversión solar.

### Escenario 4: Estrellas fugaces

Este tipo de proyectos son significativos en la actualidad, pero dada su baja capacidad proyectada a futuro no se sabe si perderán su brillo.

## **2. ANALISIS DE RESULTADOS**

La información obtenida a través de la revisión bibliográfica permite identificar que además de los biocombustibles convencionales ya hay en el mercado biocombustibles avanzados que tienen ventajas tecnológicas y ambientales sobre los de primera generación.

Son muchas las empresas, instituciones y gobiernos trabajando de forma conjunta en la construcción de plantas piloto, de demostración y comerciales que agilicen las investigaciones existentes y permitan la implementación en un corto y mediano plazo de varias de estas tecnologías.

Es por esta razón que las normativas a nivel mundial se están orientando hacia la segunda y tercera generación de biocombustibles, haciendo cada vez más rigurosas las exigencias en términos de sostenibilidad de materias primas y procesos de producción.

A nivel nacional aún no hay ningún tipo de referencia en la normatividad acerca de biocombustibles avanzados, este es un vacío que debe ser llenado en los próximos años y que debe ser producto de análisis propios de las características y necesidades del país.

La producción de biodiesel y etanol ha crecido en los últimos años en Colombia, consecuentemente el número de plantas productoras también y se espera la construcción de

varias más, por lo que el país se perfila como uno de los líderes a nivel latinoamericano junto con Brasil y Argentina.

El país cuenta con una serie de fortalezas para la producción de biocombustibles asociadas con su posición geográfica y su diversidad de materias primas disponibles, esto representa un potencial que debe ser explorado y aprovechado a través de investigaciones y desarrollos en el tema.

En cuanto a los indicadores bibliométricos, los resultados obtenidos con la ecuación 1 y la 2 fueron muy similares, esto es posiblemente debido a que los tipos de biocombustibles (ecuación 1) están muy asociados con las tecnologías para su producción (ecuación 2).

Al analizar la evolución de la actividad científica en biocombustibles se identifica el año 2007 como el año del *boom* a nivel mundial en este tema, esto se explica quizás, por la preocupación global ante los cambios climáticos originados por la producción de residuos contaminantes por parte de los combustibles fósiles que ha generado la necesidad de buscar alternativas que cuiden el medio ambiente. sin embargo a partir de ese año ha habido un crecimiento constante en las publicaciones científicas, contrario a la idea de que el tema está decreciendo en interés.

No obstante la actividad tecnológica si se ha visto una disminución leve en los últimos años, especialmente en el 2011. 2008 y 2009 marcaron picos altos en la dinámica de solicitud patentes.

En cuanto a los países líderes en publicaciones científicas en los últimos años en biocombustibles se destacan Estados Unidos, China, Brasil, India y Japón.

Este resultado es el producto de una combinación de factores, estos países son en su mayoría líderes también en producción de biocombustibles, pero también son países altamente enfocados hacia la investigación, en particular de energías alternativas y con altas inversiones en préstamos, subsidios y donaciones para apoyar las investigaciones y posteriores construcciones de plantas e implementaciones en el mercado.

Tal vez la única excepción es Japón que aunque es uno de los líderes a nivel mundial en investigación no produce mucho biocombustible, sin embargo si importa grandes cantidades de este debido a sus altas necesidades energéticas.<sup>44</sup>

Se encontró que las instituciones líderes en la investigación científica en biocombustibles son la Academia China de las Ciencias, el Instituto Indio de tecnología y el Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos. Cabe resaltar que los países de origen de dichas instituciones coinciden con los países con mayor actividad científica, y que estas tres son instituciones con reconocimiento y amplia trayectoria en investigación.

Entre los investigadores líderes se destaca por su alta producción Ayhan Demirbas, de nacionalidad Turca, el cual contribuye fuertemente en la investigación en biocombustibles en su país, que se encontró también en los primeros lugares de publicaciones científicas, y es uno de los más citados por sus colegas.

---

<sup>44</sup> DUFEY, Annie. Producción y comercio de biocombustibles y desarrollos sustentable: los grandes temas. 2006.

En la actividad tecnológica se identificaron varios de los mismos líderes científicos como Estados Unidos, China y Japón, países que a su vez son líderes económicos y políticos a nivel mundial, por lo que entienden la importancia de la diversificación energética y perciben en los biocombustibles un tema de seguridad nacional y de posible disminución de la dependencia de los países productores de petróleo.

Es interesante ver que las instituciones que tienen los primeros lugares en patentamiento todas se están orientando especialmente a la investigación de etanol, en particular el de segunda generación, por lo que muchas empresas de biotecnología como Novozymes están jugando un papel fundamental en los desarrollos tecnológicos que permitirán el desarrollo comercial de esta tecnología.

También se denota un claro interés de las empresas petroleras en un intento de diversificar su portafolio, y en algunos casos mejorar su imagen, en investigar en biocombustibles, generalmente a través de inversiones en empresas emergentes para trabajar de forma conjunta.

Más adelante en el listado encontramos gran cantidad de empresas que están relacionadas con tecnologías de producción de etanol lignocelulósico como Mascoma (puesto 38), Poet (puesto 39), Iogen (puesto 19), Qteros (puesto 27), Verenium (puesto 94) entre otras.

Además de tecnologías para la producción de biocombustibles avanzados como biobutanol y combustibles sintéticos, con empresas como Butamax (puesto 25) y LS9 puesto 26.

También grandes multinacionales del sector agrícola como Syngenta y Monsanto, y empresas de biotecnología y producción de enzimas, lo que indica que hay múltiples actores interesados en el sector de los biocombustibles, no solo los petroleros o químicos, y que para el desarrollo de biocombustibles avanzados se hace necesario la introducción de empresas que trabajen biotecnología y procesos de modificación genética.

**Ilustración 47.** Actores involucrados en el desarrollo tecnológico de biocombustibles



FUENTE: Autor, 2011.

En referencia a las palabras claves más usadas por los autores se encontró que el biodiesel y términos relacionados con este tenían mayor número de resultados, no obstante se ve la tendencia emergente del etanol, en particular del etanol lignocelulósico que ha ganado terreno en los últimos años.

Esto se verifica en la información tecnológica que arroja mayores resultados en el patentamiento en los últimos años en tecnologías relacionadas con el etanol (áreas tecnológicas como fermentación y producción de enzimas) y mayor número de empresas trabajando en biocombustibles avanzados como el etanol lignocelulósico.

En cuanto a Latinoamérica los países líderes son Brasil, Colombia y Argentina. Brasil es líder a nivel mundial en la producción de etanol, y Argentina por su parte en la producción de biodiesel.

Colombia ocupa este segundo lugar, hecho este que es atribuible a la relevancia dada al tema desde la academia y al apoyo dado en las políticas estatales

No obstante en los resultados de las capacidades nacionales en el tema, se evidencia una concentración de la investigación en las principales ciudades del país: Bogotá, Medellín y Cali, asociadas con la alta calidad de sus instituciones públicas universitarias, además de Bucaramanga que se destaca por su fuerte investigación a través de la UIS y el ICP.

Se registra un nivel de clasificación en Colciencias en su mayoría medio-bajo, el cual puede estar ligado con que muchos de los grupos no se registran y actualizan su información, o no han sido avalados por Colciencias por temas administrativos, mas no por la calidad de sus investigaciones.

Respecto a la información cualitativa obtenida a través de las entrevistas se realizó una triangulación de la información para establecer los aspectos más relevantes identificados por los expertos, estos coinciden en identificar a los biocombustibles de segunda generación como el tema al que se deben orientar las investigaciones, desarrollos y normatividad.

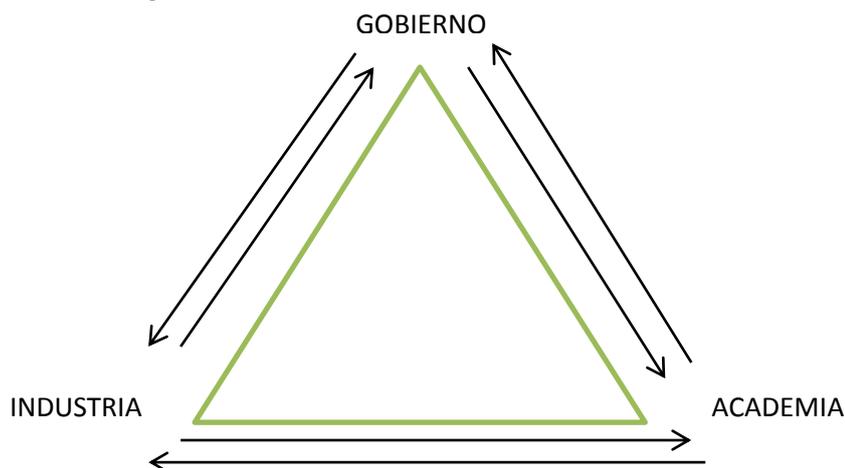
También ratifican el liderazgo tecnológico de Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea en biocombustibles que continuara en un corto y largo plazo.

Se referencia como instituciones como el Laboratorio de Energías Renovables de Estados Unidos, NREL, empresas como Solazyme y a nivel nacional Cenicaña, Cenipalma, ICP y Universidades como la UIS y la Universidad Nacional.

En cuanto a materias primas se percibe como de potencial interés la jatropha y los materiales lignocelulosicos, y respecto a tecnologías la hidrólisis enzimática para la producción de etanol lignocelulósico.

Además hay consenso en la importancia de no olvidar el tema social y del énfasis a la sostenibilidad de los biocombustibles de primera y segunda generación.

**Ilustración 48** Triangulación de la información



Principales hallazgos de la entrevista a expertos:

**Tabla 32.** Aspectos comunes y divergentes entrevista expertos

PREGUNTAS	 <b>ASPECTOS COMUNES</b>	 <b>ASPECTOS DIVERGENTES</b>
<b>1. OBSTACULOS</b>	Componente social no se ha estudiado	No es claro si los biocombustibles tienen una incidencia real en los precios y la escases de alimentos.
<b>2. TEMAS DE INVESTIGACIÓN</b>	Segunda generación biocombustibles	Es poca la investigación que se está haciendo en huella de carbono de los biocombustibles.
<b>3. LIDERES EN INVESTIGACIÓN</b>	NREL ICP	Algunos critican la investigación que se está haciendo desde las universidades públicas por considerarla menor y muy especializada.
<b>4. FORTALEZAS</b>	Posición geográfica	No todos consideran como una fortaleza la existencia de un marco normativo fuerte y claro en materia de biocombustibles.
<b>5. LIDERES TECNOLOGICOS</b>	Brasil	Algunos perciben a los países Latinoamericanos como con gran potencial en los biocombustibles otros ven más a Estados Unidos y Europa.
<b>6. TECNOLOGIAS A</b>	Hidrolisis enzimática de	

<b>FUTURO</b>	biomasa a partir de materiales lignocelulósicos	_____
<b>7. MATERIAS PRIMAS Y ZONAS CON POTENCIAL</b>	Jatropha No es claro que zonas tienen mayor potencial	Las microalgas son consideradas solo en el plano investigativo como de alto potencial.

Posteriormente se contrasto la información suministrada por los representantes de los diferentes sectores con los datos encontrados en la información estructurada y no estructurada:

**Tabla 33.** Contrastación información

<b>VARIABLE</b>	<b>RESUMEN ENTREVISTADO 1</b>	<b>RESUMEN ENTREVISTADO 2</b>	<b>RESUMEN ENTREVISTADO 3</b>	<b>DATOS FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS</b>
<b>TENDENCIAS TECNOLOGICAS EN BIOCOMBUSTIBLES</b>	Los biocombustibles de primera generación a partir de materias primas como la caña de azúcar y la palma de aceite tienen altas productividades, son sistemas ya estudiados y consolidados. Otras materias primas alternativas aun no son viables económicamente y necesitan más desarrollo tecnológico. Sin embargo a largo plazo los países se orientan hacia biocombustibles de segunda generación usando como tecnología la hidrólisis enzimática.	Es necesario realizar más estudios de análisis de ciclo de vida para conocer el verdadero impacto de los biocombustibles de primera generación. Latinoamérica está llamada a ser un líder tecnológico en biocombustibles a nivel mundial. Las reglamentaciones a nivel mundial se dirigen hacia los biocombustibles de segunda generación como el etanol lignocelulósico.	El Gobierno desde el Ministerio de Agricultura está apoyando la investigación en diferentes materias primas alternativas para la producción de biocombustibles. La normatividad diseñada apunta hasta ahora solo hacia los biocombustibles de primera generación biodiesel y etanol, debido a que estos son tecnologías ya desarrolladas y con alto potencial en Colombia.	Los biocombustibles de primera generación han recibido fuertes críticas por la competencia alimenticia que generan, la destrucción de ecosistemas para su cultivo y sus aun discutidos beneficios en términos de reducción de gases de efecto invernadero; debido a esto la mayoría de países europeos y Estados Unidos han volcado sus investigaciones y desarrollos hacia los denominados biocombustibles de segunda y tercera generación, especialmente los que hacen uso de materiales de lignocelulósicos y de desecho. En Colombia la normatividad está orientada a incentivar los biocombustibles de primera generación (biodiesel y etanol) y apenas se está empezando a incursionar en la investigación de los de segunda.

## PERFILES DE LAS INSTITUCIONES LÍDERES:



La **Academia China de las Ciencias** o **CAS**<sup>45</sup> es la academia nacional para las ciencias naturales de la República Popular de China. Es una institución del consejo de estado de China, que establece su sede en Pekín, con institutos distribuidos por toda China.

La *Academia de Ciencias de China* (CAS) actualmente tiene cinco divisiones:

- Matemáticas
- Físicas,
- Química,
- Ciencias de la Tierra,
- Tecnología,

Cuenta con cuatro centros de documentación e información, tres centros de ayuda de tecnología y dos unidades de noticias y publicaciones. Estas ramas y las oficinas del CAS están situadas en 20 provincias y municipios a través de China. El CAS ha invertido en ciencia y creado 430 empresas basadas en la ciencia y en la tecnología en once industrias incluyendo ocho compañías que cotizan en bolsa.

China es considerado uno de los países líderes en investigación en energías renovables , en particular en combustibles avanzados.

El **Instituto Indio de Tecnología (IIT)**<sup>46</sup> es un grupo de institutos autónomos de educación superior orientados a la ingeniería y la tecnología. Es considerada una institución de importancia nacional y altísimos estándares académicos.

Fueron creados para formar a los científicos e ingenieros, con el objetivo de desarrollar una fuerza laboral capacitada para apoyar el desarrollo económico y social de la India.

Cuentan con un Centro en Bioenergía donde realizan investigaciones en biocombustibles avanzados.



El **Servicio de Investigación Agrícola (ARS)**<sup>47</sup> es la principal agencia principal de investigaciones del Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA).

ARS está encargado de extender el conocimiento científico de la nación y la solución de los problemas agrícolas a través de sus cuatro áreas de programas nacionales: la nutrición, seguridad alimentaria y la calidad, la producción animal y la protección, los recursos naturales y sistemas agrícolas sostenibles, y los cultivos de producción y protección. ARS tiene más de 2.200 científicos permanentes que trabajan en aproximadamente 1.100 proyectos de investigación en más de 100 ubicaciones en todo el país. Tiene cuatro centros de investigación regionales: el

<sup>45</sup> [english.cas.cn/](http://english.cas.cn/)

<sup>46</sup> [www.iitb.ac.in/](http://www.iitb.ac.in/)

<sup>47</sup> [www.ars.usda.gov/](http://www.ars.usda.gov/)

Centro de Investigación de la Región Occidental (WRRRC) en Albany, California, el Centro Regional de Investigación del Sur (SRRC) en New Orleans, Louisiana, el Centro Nacional para la Investigación de Utilización Agrícola (NCAUR) en Peoria, Illinois, y del Este Centro Regional de Investigación (ERRC) en Wyndmoor, Pensilvania.

La innovación y la comercialización son el corazón de estas instalaciones (equipadas con plantas piloto para la investigación de tipo comercial), que han dado vida a cientos de productos, procesos y tecnologías.

Cuentan con un programa nacional de bioenergía y energías alternativas que investiga en biocombustibles.

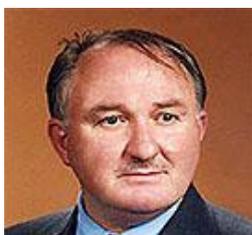
Además se destacan algunas universidades norteamericanas en los primeros lugares:

La Universidad de Michigan<sup>48</sup> cuenta con un Centro de investigación de sistemas sostenibles, el cual se ha destacado por su trabajo en biocombustibles a partir de microalgas.

La Universidad estatal de Iowa<sup>49</sup> tiene una división de trabajo en Bioenergía y han trabajado con grandes empresas petroleras como Conoco Phillips en la investigación en biocombustibles.

La Universidad de Illinois<sup>50</sup> maneja un centro de tecnologías sustentables, en el cual han investigado la producción de biodiesel a partir de desechos y aceites residuales.

#### PERFILES DE LOS INVESTIGADORES LÍDERES:



**Ayhan Demirbas<sup>51</sup>**

Decano de la Facultad de Ingeniería de Sirtak, Turquía.  
Autor de múltiples libros y artículos en el área de los biocombustibles como *Biodiesel a realistic fuel alternative for diesel engines*, publicado en el 2008, *Biorefineries* del 2010 y *Methane Gas Hydrate* también del 2010.



**Shelley D. Minter<sup>52</sup>**

Química de la Universidad de Illinois  
Confundadora de Akermin, empresa desarrolladora de tecnología de celdas para la producción de biocombustibles.  
Su área de especialidad es la bioelectrocatalisis aplicada a los biocombustibles.

---

<sup>48</sup> [www.umich.edu/](http://www.umich.edu/)

<sup>49</sup> [www.iastate.edu/](http://www.iastate.edu/)

<sup>50</sup> [illinois.edu/](http://illinois.edu/)

<sup>51</sup> <http://sciencewatch.com/dr/fbp/2010/10apr/fbp/10apr/fbpDemi/>

<sup>52</sup> <http://www.slu.edu/readstory/more/6990>



### Lee Keat Teong<sup>53</sup>

Ingeniero Químico PhD  
Profesor asociado de la Universidad Sins, Malasia.  
Actualmente está trabajando en la producción de biocombustibles (biodiesel y bioetanol) a partir de biomasa (principalmente aceite de palma) mediante diversas tecnologías. Además tiene especial interés en los aspectos sociales y la sostenibilidad de los biocombustibles.



### Guido Zacchi<sup>54</sup>

Profesor de la escuela de ingeniería Química de la Universidad de Lunden, Suecia  
Especialista en procesos bioquímicos para producción de biocombustibles.



### Rubens Maciel Filho<sup>55</sup>

PHD Ingeniero Químico  
Investigador Brasileiro de la Universidad de Campinas  
Ha trabajado con investigadores colombianos en la producción de biodiesel a partir de microalgas.

## PERFIL DE LAS EMPRESAS LÍDERES:



novozymes®  
Rethink Tomorrow

**Novozymes<sup>56</sup>** es una compañía de biotecnología, especializada principalmente en la producción de enzimas para uso industrial, microorganismos e ingredientes biofarmacéuticos. Sus enzimas son usadas en las industrias de detergentes, almidón, textil, producción de bioetanol, del cuero, productos forestales, alimenticia y de bebidas, así como también en la industria de alimentos para animales.

En lo relacionado con la industria de producción de bioetanol, Novozymes produce enzimas tanto para la extracción de la celulosa como de la hemicelulosa. Su enzima celulasa posee gran versatilidad y puede ser empleada en una gran variedad de biomasa, así como en aquellas pretratadas con ácidos o no, y en presencia de inhibidores. Así mismo su enzima hemicelulasa, diseñada para trabajar en combinación con la celulasa, provee igualmente flexibilidad en el tipo de biomasa y alta conversión, en procesos de pretratamientos ácidos y alcalinos. Para ambos casos, la compañía centra su investigación en la producción de enzimas de bajo costo, versátiles y de alta eficiencia de conversión. Novozymes manifiesta que sus enzimas son las primeras en ofrecer viabilidad económica, para la producción de etanol celulósico, ya que según ella, estas proveen más del doble de desempeño que otras enzimas.

<sup>53</sup> [chemical.eng.usm.my/notes/LEE/](http://chemical.eng.usm.my/notes/LEE/)

<sup>54</sup> <http://www.nsercbioconversionworkshop.com/speaker/guido-zacchi/>

<sup>55</sup> <http://www.bv.fapesp.br/pt/pesquisador/363/rubens-maciel-filho/>

<sup>56</sup> <http://www.novozymes.com/en/solutions/bioenergy/cellulosic-ethanol/Pages/default.aspx>

Sobre la base del éxito alcanzado en las áreas de etanol celulósico, Novozymes actualmente está explorando nuevas posibilidades en biodiesel y biogás, como una estrategia de expansión en este sector de las energías renovables.

### **Cosmo Oil Company<sup>57</sup>**

Es una empresa petroquímica japonesa.



Se formó el 1 de abril de 1986, mediante la fusión de Maruzen Petroleum y Petróleo Daikyo, un grupo de empresas petroleras que datan de los años 30.

Cuenta con 4 refinerías, todas las cuales están situadas en Japón.

Cosmo Oil está participando en un proyecto de investigación para la producción de biocombustibles dirigido por la Organización de Nueva Energía y Tecnología para el Desarrollo Industrial (NEDO).

Como parte de este proyecto, la Compañía se está enfocando en la investigación en dos áreas específicas: una de biomasa a líquido (BTL), proceso que produce aceite diesel a partir de recursos de la biomasa como la madera y conjuntamente con Nippon Paper Chemicals Co., Ltd .y bioetanol, que implica la producción de etanol a través de la fermentación de azúcar en el licor negro que proviene de las fábricas de celulosa.



**E. I. du Pont de Nemours and Company<sup>58</sup>**, es una compañía de productos químicos y servicios para diversos mercados en todo el mundo, que incluyen agricultura, nutrición, electrónica, comunicaciones, seguridad y protección, hogar y construcción, ropa y transporte.

Para el sector transporte DuPont desarrolla en asociación con otras compañías, combustibles alternativos como el biobutanol y el etanol celulósico. Desde 2003 Dupont y **BP** han estado trabajando colaborativamente, para desarrollar el biobutanol, combinando la experticia en biotecnología de la primera con el conocimiento del mercado y la ingeniería de procesos de la segunda. El objetivo de esta sinergia es desarrollar un biocombustible con propiedades únicas, que pueda superar las limitaciones de los actuales, gracias a mejoras en la tecnología de conversión.

En lo relacionado a etanol celulósico, DuPont desarrolló una tecnología propia, que utiliza residuos de agricultura, como pasto y rastrojo de maíz para producir etanol. A comienzos de 2010, abrió una planta de demostración en conjunto con **Danisco**, luego de haber creado la alianza estratégica *DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC (DDCE)* en 2008. La planta producirá etanol a partir de tusas de maíz y pasto. Según la compañía, la eficiencia de conversión es de 80 galones por tonelada, y espera aumentarla hasta 90. La biomasa, en este caso las tusas, es

<sup>57</sup> [www.cosmo-oil.co.jp/eng/](http://www.cosmo-oil.co.jp/eng/)

<sup>58</sup>

<http://am1.sosland.com/Olive/ODE/BioFuelsBusiness/Default.aspx?href=BFB/2010/03/01&pageno=1&view=document>

pretratada con amoníaco diluido a baja temperatura y presión, lo cual minimiza los inhibidores y reduce los costos. La sacarificación se lleva a cabo por enzimas específicamente diseñadas y producidas en sitio. Para la fermentación, la compañía desarrolló en conjunto con el NREL un coctel de bacterias etanologénicas, basadas en la bacteria *Zymomonas mobilis*, con la habilidad de fermentar pentosas. De acuerdo a la compañía, el costo actualmente para producir el etanol en la planta, es de 2 USD por galón, y espera reducirlo hasta de 1.5 a 1.7 USD.

## TECNOLOGIAS EMERGENTES

Como siguiente paso, se realizaron los análisis DOFA para las tecnologías que se ubicaron en el cuadrante de “perlas” puesto que son las más promisorias y para el HDT que se encontró fuera de escala.

Tabla 34. Análisis DOFA tecnología de HDT

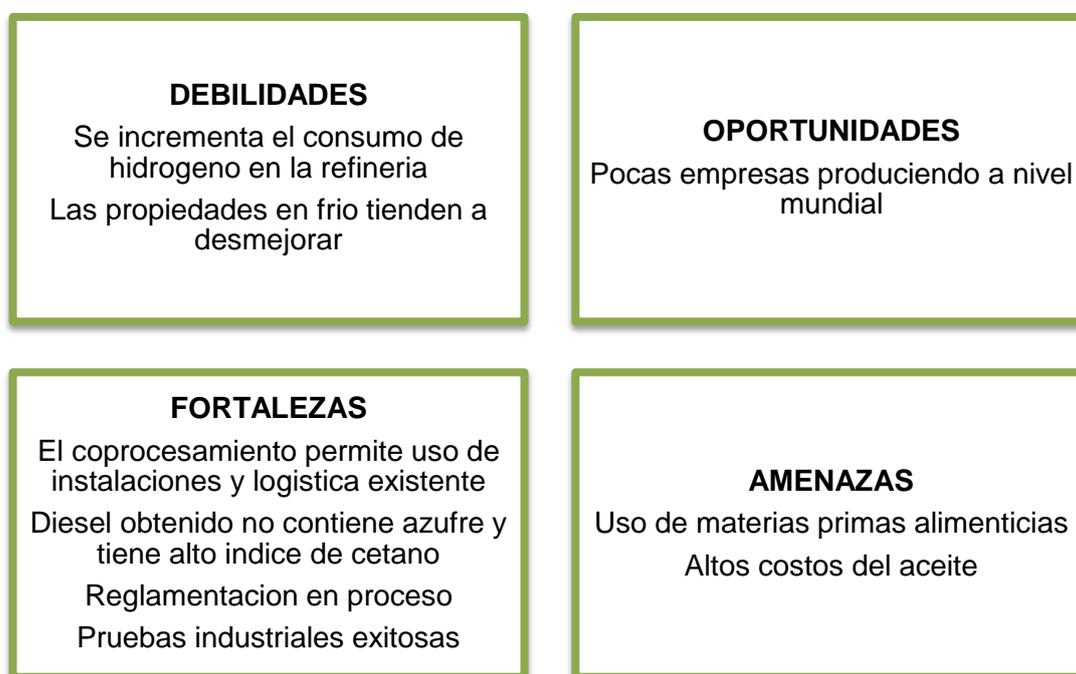


Tabla 35. Análisis DOFA tecnologías de hidrolisis enzimática

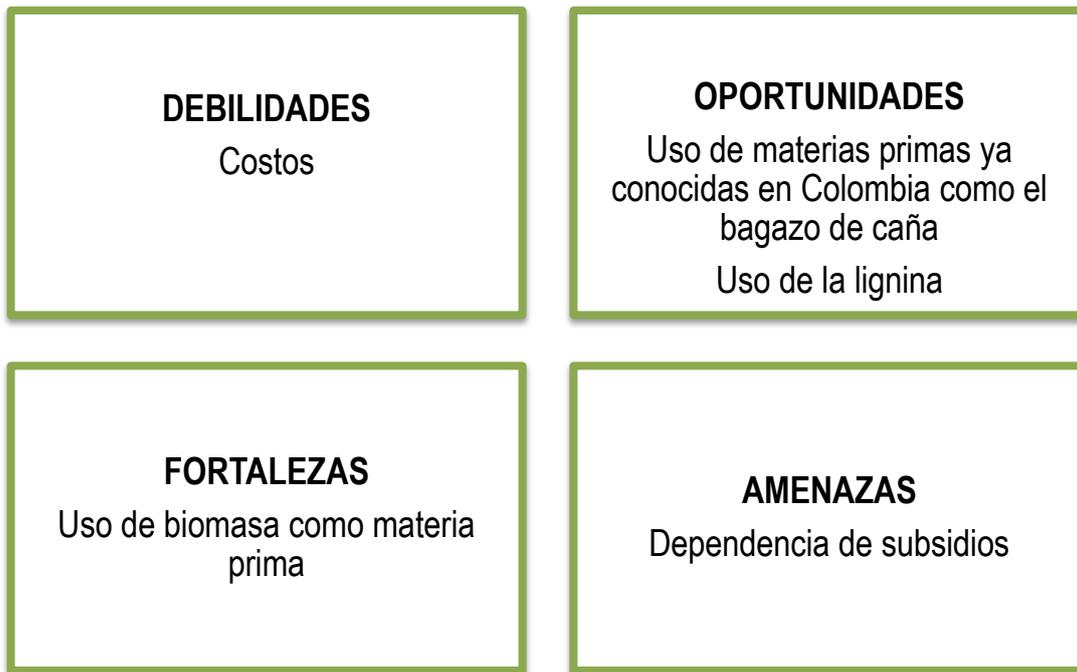
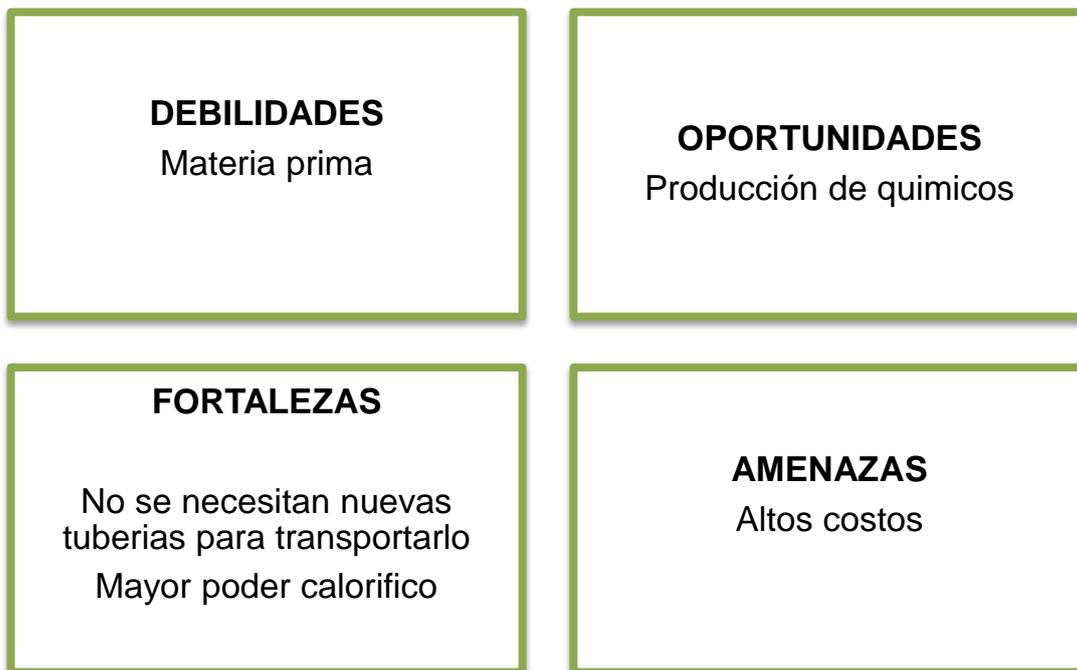


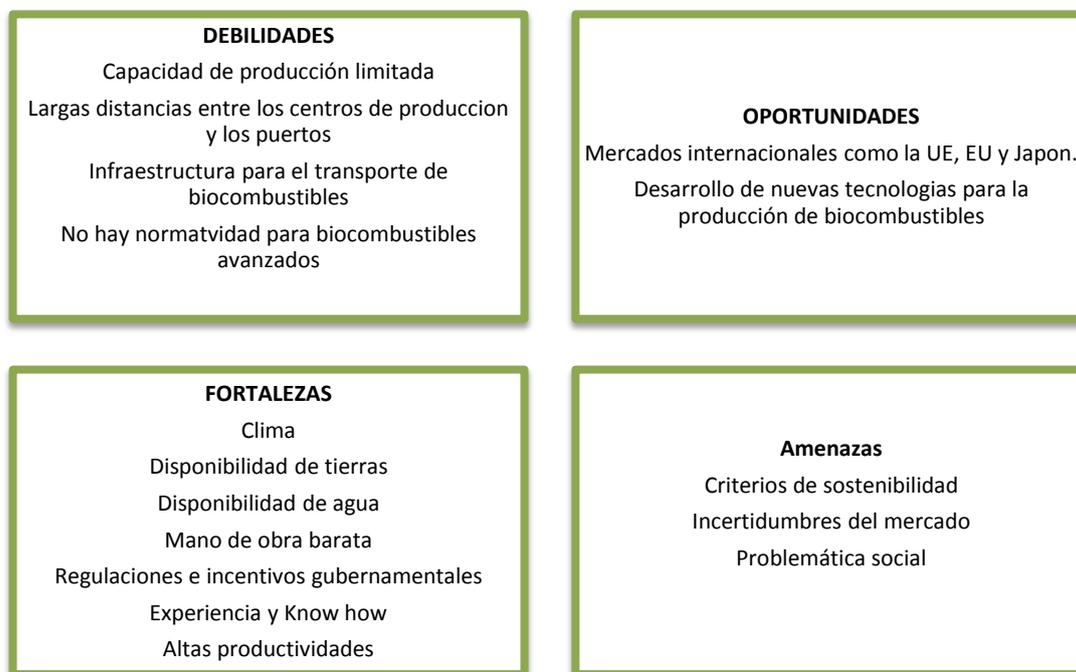
Tabla 36. Analisis DOFA para biobutanol



De estos análisis se concluye que la tecnología más prometedora es la hidrólisis enzimática, ya que el biobutanol tiene una gran debilidad en términos de su materia prima poco sostenible, mientras que el etanol lignocelulósico, en particular para Colombia tendría una gran oportunidad con el bagazo de caña residuo de las plantas ya existentes en el país.

La información encontrada se puede resumir en un análisis DOFA para Colombia, a partir del cual se establecerán las estrategias y las líneas de investigación más interesantes.

### Ilustración 49 Análisis DOFA para Colombia



A partir de este análisis DOFA se definieron 4 estrategias de trabajo de los biocombustibles en Colombia:

1. Estrategia FO: Usar fortalezas para tomar ventaja de las oportunidades

**Promover la exportación gradual de biocombustibles**

2. Estrategia DO: Superar debilidades haciendo uso de las oportunidades

**Desarrollo de normatividad para biocombustibles avanzados**

3. Estrategia FA: Usar fortalezas para evadir amenazas

**Realizar estudios de sostenibilidad**

4. Estrategia DA: Minimizar debilidades y evitar amenazas

**Promover el desarrollo de nuevas rutas tecnológicas y materias primas**

### 3. CONCLUSIONES

Los biocombustibles se constituyen en una temática con un componente de alta actividad científica, que ha venido teniendo un crecimiento sostenido en los últimos años y se vislumbra como un área de gran interés para diferentes actores como investigadores, universidades, empresas biotecnológicas, petroleras, químicas, gobiernos y por supuesto todos nosotros consumidores de combustibles.

En la fase inicial de este estudio y como herramienta de apoyo a la fase prospectiva se desarrolló un ejercicio de Vigilancia Tecnológica en el cual se analizó, mediante el empleo de diferentes herramientas, el estado de la investigación en biocombustibles encontrando, entre otras cosas, por ejemplo que los países líderes en la producción de combustible son también líderes en investigación.

El análisis de indicadores bibliométricos para la identificación de instituciones, revistas y autores líderes permitió confirmar el notable aumento en la generación de conocimiento de los biocombustibles.

Se identifican como países líderes en investigación en biocombustibles a nivel mundial a Estados Unidos, Canadá, China y Brasil. Instituciones de esos países como la Academia China de las Ciencias y el Instituto Tecnológico de India se caracterizan el alto número de publicaciones en el tema.

En cuanto a investigadores sobresale el turco Ayhan Demirbas, quien no solo tiene una alta actividad científica en publicaciones, sino que además es autor de uno de los artículos más citados por sus colegas, Progress and recent trends in biodiesel fuels, del 2009.

En cuanto a las temáticas la palabra clave más encontrada es biodiesel, seguido de etanol.

Respecto a la actividad tecnológica se presentaron picos de patentamiento en el 2008 y 2009, con un ligero decrecimiento en los años 2010 y 2011.

Se identificó como áreas tecnológicas de gran interés en patentamiento a la producción de etanol, el uso de ingeniería genética y el desarrollo de microorganismos y enzimas.

Las instituciones líderes en desarrollos tecnológicos, son principalmente compañías de biotecnología, como Novozymes, cuyo éxito tecnológico es debido al conocimiento y experiencia en el desarrollo de enzimas para otras industrias similares a la de la obtención del bioetanol, como la de la pulpa y la madera. Las demás compañías igualmente, centran sus investigaciones en el mejoramiento de los procesos de sacarificación enzimática, por un lado desde la modificación genética de los microorganismos, y por otro, a través de pruebas en planta piloto, con varias materias primas lignocelulósicas y diferentes condiciones de proceso, para alcanzar el escalamiento comercial.

Dentro de las instituciones titulares de los documentos de patentes, aparecen 6 compañías petroleras, BP, Total S.A., Petrobras, Eni, Shell y Mobil (ExxonMobil). Sus desarrollos van desde procesos para hidrolizar celulosa para la obtención de sacáridos, hasta la modificación genética de microorganismos.

En cuanto a Latinoamérica el líder indiscutible es Brasil, seguido de Colombia, Argentina y México. En Brasil se destacan la Universidad Estatal de Campinas e investigadores como Rubens Maciel, que se encuentran investigando en biocombustibles.

En el caso de Colombia los esfuerzos en investigación provienen de parte de instituciones como Cenicaña, Cenipalma, Ecopetrol, universidades como la UIS y la UNAL de Medellín y Bogotá y otros más, por lo que se está generando una masa crítica en el país evidenciada con el número de grupos de investigación que están trabajando en el tema.

Desafortunadamente para el país, esta situación no se mantiene para el caso de las patentes (desarrollo tecnológico), pues como los resultados lo indican estas son en su mayoría propiedad de países como Estados Unidos y Brasil a través de sus compañías petroleras.

La tecnología de hidrólisis enzimática es la que más empresas están trabajando y las que se vislumbra con más potencial a nivel mundial.

Hay una capacidad instalada relativamente pequeña para los biocombustibles avanzados pero un potencial enorme si los proyectos se cristalizan a un mediano y largo plazo.

Esta es una cadena productiva que se caracteriza por ser multisectorial y en la que las alianzas juegan un papel estratégico para acortar los tiempos de desarrollo.

Colombia se vislumbra como un país llamado a ser líder en la producción de biocombustibles a nivel mundial, por su condición geográfica, apoyo gubernamental, alto interés investigativo y amplia experiencia con materias primas como la caña y la palma.

Tecnologías como la producción de biodiesel a partir de microalgas que podrían tener ventajas en el país por su ubicación geográfica y características aun necesitan trabajar más en bajar costos y mejorar rendimientos. Otra posible materia prima interesante para el país sería la jatropha de acuerdo a los expertos entrevistados.

El tema ambiental en términos de sostenibilidad de los biocombustibles en Colombia es un aspecto que se debe seguir teniendo en cuenta a través de la realización de análisis de ciclos de vida y de la selección de materias primas y zonas geográficas que cumplan con estos parámetros.

Los expertos consultados no señalan con claridad cuales zonas geográficas del país tendrían mayor potencial para la producción de biocombustibles, sin embargo el Atlas de potencial de biomasa publicado recientemente por el UPME puede servir de referencia para identificar estas zonas.

En cuanto al componente social, las entrevistas indican que es un tema del que faltan más estudios y que puede ser un posible obstáculo para los biocombustibles en el país sino se es considerado dentro del desarrollo de estos.

A partir de los resultados obtenidos, se espera sensibilizar a los líderes de los grupos de investigación y los encargados de la toma de decisiones, acerca de la importancia y aplicación permanente de herramientas como la vigilancia tecnológica, la cual permite determinar y comprender anticipadamente los cambios del entorno investigativo y tecnológico de los biocombustibles.

## 4. RECOMENDACIONES

Finalizado este trabajo y con el conocimiento obtenido en este periodo de investigación, se recomendaría a los actores de la cadena y a quienes tengan algún poder de decisión sobre el futuro de la misma, las siguientes líneas de investigación y desarrollo para Colombia:

- Sostenibilidad de biocombustibles de primera y segunda generación

Los expertos de diferentes sectores consultados coinciden en la importancia que debe tener el tema de sostenibilidad ambiental y social. Los biocombustibles convencionales o de primera generación ya están siendo implementados pese a las críticas de sus posibles efectos sobre los precios de los alimentos, destrucción de bosques y menores reducciones de efectos de gases de efecto invernadero que los de segunda generación, es por eso que es de vital importancia enfocarse en la realización de estudios que analicen esas problemáticas, y que en el caso de los biocombustibles de segunda generación se seleccionen materias primas sostenibles y que hagan uso de las potencialidades agrícolas del país.

- Producción de Biocombustibles a partir de materiales lignocelulósicos.

El estudio de vigilancia tecnológica y la consulta con expertos ratifica las tendencias hacia biocombustibles avanzados, estos hacen uso en su mayoría de materias primas lignocelulósicas y tecnologías como la hidrólisis enzimática, gasificación o pirolisis entre otras para la producción de biocombustibles.

Es necesario realizar más investigaciones acerca del potencial de biomasa en el país, junto con investigaciones y desarrollos en la implementación de tecnologías avanzadas, que permitan la construcción de plantas de producción de este tipo de biocombustibles.

- Desarrollo de normatividad de biocombustibles avanzados

En la revisión bibliográfica se evidencia como las normatividades norteamericana y europea están migrando hacia biocombustibles avanzados, sin embargo aún no hay referencias en nuestro marco jurídico, lo que puede frenar las investigaciones y posteriores implementaciones de estos en nuestro país, además para el desarrollo de normatividad se necesitan múltiples estudios que la sustenten, así que este es un aspecto de gran importancia y con un gran potencial para los investigadores del país.

- Exportación gradual de biocombustibles:

Un enfoque gradual permitirá a los productores de biocombustibles existentes consolidar el sector y dominar las nuevas tecnologías y productos al tiempo que reduce los riesgos.

Colombia ya han introducido las mezclas obligatorias de biocombustibles que se encuentran entre las más altas del mundo, sin embargo, en el largo plazo, el mercado interior se saturará.

El mercado internacional es cada vez mayor debido a las políticas para promover el uso de biocombustibles en la UE, EE.UU., Canadá y Japón, por lo que Colombia debe aprovechar esta oportunidad de liderazgo.

Todas estas líneas de investigación y desarrollo enmarcadas en un plan de gestión tecnológica que integre empresas, academia y gobierno para dar respuesta a las necesidades de sector productivo y orientar las investigaciones que se realicen en el país.

Por último se recomienda la Implementación de procesos de vigilancia tecnológica en Centros de Investigación, empresas e instituciones del Estado de forma periódica.

CARRILLO, R. Certificación de biocombustibles colombianos: coherencia con una política de desarrollo sostenible. En *Foro Biocombustibles Colombia 2008*, 9-10 octubre 2008. Bogotá.

CASTAÑEDA, A. *Aplicación del análisis de ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir del aceite de palma empleando la metodología de la cuna a la cuna*. Tesis, Universidad Industrial de Santander. 2008

CASTELLANOS, Oscar. *Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación*. Grupo Biogestión, UNAL. Bogotá, 2011

CHAZAN, G. Los biocombustibles reencuentran el rumbo. *The Wall Street Journal*. 2011

COLCIENCIAS, Informe de vigilancia tecnológica: tecnologías de producción de biodiesel. Bogotá, 2008.

CORPOICA, IICA, PROCIANDINO. *La agroenergía en la región andina: Situación actual y perspectiva*. Bogotá, 2010.

DUFEY A. *Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas*. Programa de Economía ambiental. 2006

EGGERT, Hakan. *Policies for second generation biofuels: current status and future challenges*. Goteborg, Suecia, 2011

ENERS ENERGY CONCEPT. *Production of biofuels in 2010*. Biofuel Plattform. 2011.

FONSECA, C. *Biocombustibles sostenibles para Colombia una reflexión social y ambiental*. En *Seminario taller nacional biocombustibles sostenibles para Colombia*, 5-7 agosto 2007. Quirama, Antioquia.

KATOFISKY, Ryan. *Second generation biofuels: a brief update*. 2008

LEON, Mauricio, CASTELLANOS, Oscar y MONTAÑEZ, Victor, *Tendencias actuales en el entendimiento de la vigilancia tecnológica como instrumento de inteligencia en la organización*. Bogota, 2006.

LOMBORG, B. *Apoyo a biocombustibles parece favorecer únicamente a la industria*. *El Tiempo*. 2011

MARKEVIČIUS A., KATINAS V., PEREDNIS E., TAMAŠAUSKIENĖ M. *Trends and sustainability criteria of the production and use of liquid biofuels*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 9, 3226-3231. 2010

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. *From Biomass to Biofuels*. Recuperado 20 de abril, 2011 de <http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/39436.pdf>.2006

PENGUE, W. Agrocombustibles y agroalimentos: una discusión desde la economía ecológica. . En *Foro Biocombustibles Colombia 2008*, 9-10 octubre 2008. Bogotá.

PHALAN, B. *The social and enviromental impacts of biofuel in Asia*.*Applied Energy*.2009

QUINTERO J.A., MONTOYA M.I., SÁNCHEZ O.J., GIRALDO O.H., CARDONA C.A. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. *Energy*, Volume 33, Issue 3, 385-399.2008

RAZO, C. ASTETE-MILLER, S. SAUCEDO, A. LUDEÑA,C. *Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL. 2007

RODRÍGUEZ, M. *Cuales son los factores de sostenibilidad o insostenibilidad de la producción de biocombustibles en Colombia*. En Presentación en la audiencia pública sobre Biocombustibles, Congreso Nacional de Colombia. Bogotá.2008

RUIZ, J.P. Bio y agrocombustibles, diferencias y futuro. *El Espectador*.2008

SCARLAT N., DALLEMAND J. Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: A global overview. *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 14 January 2011.

SHEEHAN, J. Biofuels and the conundrum of sustainability .*Current Opinion in Biotechnology*, Volume 20, Issue 3, June 2009, 318-324.2009

SICARD, T. L. *Agrobiocombustibles y ambiente:La nueva reconfiguración del campo Colombiano*. Bogota: Revista Gestión y ambiente.UNAL.2007

SICARD, T.L. Agro biocombustibles y medio ambiente. En *Segundo Taller Programa IDI en Biocombustibles organizado por Colciencias-Corpodib*, 10-11 de julio 2008. Bogotá.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE AUTOMOVILISTAS. Una mirada crítica a los biocombustibles en Colombia. En *Foro Biocombustibles Colombia 2008*, 9-10 octubre 2008. Bogotá.

SPARKS, GD y ORTMANN, GF. Global biofuel policies: a review.2011.

TYNER, Wally. First and second generation biofuels. Economic and policy issues. Discovery Park.2009

UPME . *Biocombustibles en Colombia*. Bogotá.2009

VILLEGAS, J. *Life cycle assesment of biofuels: Energy and greenhouse gas balance*. Biosource technology. 2009.

