

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA
MOTORES**

DIEGO ANTONIO MANRIQUE MORENO

JOHANA MARCELA AMARIS MORENO

FABIAN FERNANDO PEDRAZA TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA
MOTORES**

**DIEGO ANTONIO MANRIQUE MORENO
JOHANA MARCELA AMARIS MORENO
FABIAN FERNANDO PEDRAZA TORRES**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director:
JULIAN ERNESTO JARAMILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

Al Espíritu Santo por estar siempre conmigo, a Jesús mi amigo fiel y a mi Padre por su majestuosidad. A mi mami por ser una mujer guerrera, luchadora, perseverante, amorosa, exitosa, a mi padre por ser un hombre amoroso, responsable, perseverante y a mi hermano Víctor Manrique, lo admiro, siempre me ha retado a dar más; todos ustedes los amo. A Mabel mi amada. A mi tía Rebeca, por amarme como a su hijo y a mi tía Leo por creer en mis locuras y ser mi socia

A mis compañeros, amigos de la Universidad por las aventuras e historias de todos estos años y a la Misión Carismática Internacional por ser mi segundo hogar.

Este triunfo, uno de muchos es para ustedes.

Diego

Dedico éste sueño hecho realidad a mis padres por su amor y acompañamiento claves para la superación de cada nuevo reto, a mis hermanos Laly, Mario y Diego por su paciencia y ánimo inspirador para continuar, a mi fiel amigo Jesús por su compañía incondicional, por no darse por vencido conmigo y por su amor inagotable que transforma mi vida, a cada uno de los miembros de la célula LG y de jóvenes Nueva Raza por su apoyo y amor fraternal que me anima, a Juan Camilo por su respaldo y compañía en cada jornada y a mis compañeros y amigos de la carrera que me animaron a esforzarme siempre.

Lo dedico a todos ustedes por ser instrumentos en las manos de Dios para bendecir y retar mi vida a diario.

Él es mi victoria, es Cristo mi Rey, mi máximo amor!

Johana

A Dios y a mis padres Delfa y Laureano por su amor y bendición.

A mis hermanas Sandra y Claudia por su incondicional apoyo.

A Yenith por su amor y compañía.

En general a mis colegas y amigos con los que compartí enseñanzas valiosas durante la Ingeniería Mecánica.

Fabián

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios a través de su hermoso Espíritu Santo, porque es quien nos llenó de fuerza, de fe, de perseverancia, de ánimo aún en las adversidades y es por él que conquistamos este reto en nuestras vidas.

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la escuela de ingeniería mecánica por acogernos como estudiantes y formarnos como ingenieros integrales. Al Ph.D. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra por aceptar ser nuestro director de proyecto de grado y guiarnos en la construcción del seminario, por exigirnos siempre a ir más allá en todos los aspectos, para ser ingenieros de calidad.

A los amigos y familiares que siempre estuvieron con su compañía, colaboración, con su consejo, con su apoyo.

Gracias a cada uno de nuestros padres por acompañarnos, apoyarnos y brindarnos ese amor incondicional; este triunfo es para ustedes.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	26
SECCIÓN 1. EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	27
1. GENERALIDADES DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	28
1.1. QUÉ ES EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	28
1.2. OBJETIVOS DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	28
1.3. VENTAJAS DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	29
1.4. CARACTERÍSTICAS.....	30
1.5. ORGANIZACIÓN DEL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN.....	31
1.5.1. Tema del Seminario de investigación.....	32
1.5.2. Dirección del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores.....	32
1.5.3. Descripción de los roles.....	32
1.6. Metodología.....	33
2. PLANEACIÓN.....	33
2.1. ESTUDIO Y SELECCIÓN DEL MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.....	35
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUBTEMAS.....	40
2.3. PLANEACIÓN DE LAS SESIONES.....	42
3. EJECUCIÓN.....	44
3.1. DOCUMENTACIÓN PARA LOS TEMAS.....	44
3.2. DESARROLLO DE UNA SESIÓN.....	44
3.3. ACTA.....	45
4. DOCUMENTOS FINALES.....	47
4.1. LIBRO SÍNTESIS ORIGINAL.....	47
4.2. PRESENTACIONES.....	48
4.3. RECOPIACIÓN DE DOCUMENTOS.....	51
4.4. PUBLICACIÓN.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
SECCIÓN 2. BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA MOTORES.....	53
5. EL PROBLEMA ENERGÉTICO GLOBAL, UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE LA ENERGÍA, COMBUSTIBLES FÓSILES Y FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.....	54

5.1. FUENTES DE ENERGÍA.....	54
5.2. HISTORIA DEL CONSUMO DE LA ENERGÍA.....	55
5.3. SITUACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL.....	58
5.4. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA.....	64
5.4.1. Descripción de los recursos energéticos de Colombia.....	64
5.5. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	70
6. PRODUCCIÓN Y MOVIMIENTOS ECONÓMICOS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA.....	71
6.1. SITUACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA.....	71
6.2. SITUACIÓN DEL BIOETANOL EN AMÉRICA LATINA.....	76
6.3. SITUACIÓN DEL BIODIESEL EN AMÉRICA LATINA.....	79
6.4. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84
7. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	85
7.1. IMPACTO GLOBAL.....	85
7.1.1. Impacto social y económico.....	85
7.1.2. Impacto ambiental.....	89
7.2. IMPACTO EN COLOMBIA, ENFOQUE LEGAL.....	92
7.3. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
8. POLÍTICAS EN CUANTO A BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA.....	96
8.1. SITUACIÓN LEGAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA.....	96
8.2. NORMATIVIDAD TÉCNICA PARA LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	101
8.3. INCENTIVOS EXISTENTES.....	105
8.3.1. ICR—Incentivo a la capacitación rural.....	105
8.4. REQUISITOS PARA OBTENER CRÉDITOS.....	105
8.4.1. Capital de trabajo.....	105
8.4.2. Inversión.....	105
8.5. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	110
9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA.....	111
9.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES (ETANOL Y BIODIESEL).....	112
9.1.1. Ventajas específicas del etanol como aditivo de la gasolina.....	112
9.1.2. Desventajas específicas del etanol como aditivo de la gasolina.....	113

9.1.3. Ventajas específicas del biodiesel.....	114
9.1.4. Desventajas específicas del biodiesel.....	116
9.2. SITUACIÓN NACIONAL.....	117
9.2.1. Justificación para fomentar la estrategia de Colombia.....	117
9.2.2. Estrategias para el desarrollo del sector de los biocombustibles en el País.....	119
9.3. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
10. DEFINICIÓN, PROCESOS Y OBTENCIÓN ENERGÉTICA DE LA BIOMASA PARA LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	125
10.1. FUENTES DE BIOMASA.....	127
10.2. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE BIOMASA.....	129
10.2.1. Procesos de combustión directa.....	129
10.2.2. Procesos termo-químicos.....	130
10.2.3. Procesos bio-químicos.....	132
10.3. APLICACIONES.....	133
10.4. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	135
11. BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN (1G).....	137
11.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	137
11.2. BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN.....	138
11.3. BIODIESEL DE PRIMERA GENERACIÓN.....	140
11.4. BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN EN COLOMBIA.....	141
11.4.1. Bioetanol.....	142
11.4.2. Biodiesel.....	146
11.5. TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN.....	154
11.5.1. Tecnologías para la producción de etanol.....	154
11.5.2. Tecnologías para la producción de biodiesel.....	156
11.6. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	157
BIBLIOGRAFÍA.....	158
12. BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN (2G).....	160
12.1. MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL (2G).....	162
12.2. MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL (2G).....	165
12.2.1. SEMILLAS Y ACEITE DE HIGUERILLA.....	166
12.2.2. JATROPHA.....	166
12.2.3. BIOMASA EN LÍQUIDOS.....	167

12.3. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	169
BIBLIOGRAFÍA.....	170
13. BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN (3G).....	173
13.1. MATERIA PRIMA.....	173
13.2. TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN.....	175
13.2.1. Métodos de extracción.....	175
13.2.1.1. Extracción con solvente químico.....	175
13.2.1.2. Extracción asistida por microondas.....	175
13.2.1.3. Extracción mediante ultrasonido.....	176
13.2.1.4. Extracción mediante fluidos supercríticos.....	176
13.2.1.5. Extracción a través de Autoclave.....	177
13.2.1.6. Proceso de Shock osmótico.....	177
13.2.1.7. Proceso de extracción enzimática.....	178
13.2.1.8. Proceso de destrucción mecánica.....	178
13.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE MICROALGAS.....	178
13.4. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	178
BIBLIOGRAFÍA.....	181
14. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	184
14.1. DEFINICIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	184
14.2. MOTOR DEL CICLO OTTO.....	184
14.2.1. Ciclo Otto de cuatro tiempos.....	185
14.2.2. Ciclo Real.....	186
14.3. CAUSAS QUE DESVÍAN AL CICLO REAL DEL IDEAL.....	187
14.3.1. Los gases que forman parte del ciclo no son gases ideales, sino mezclas imperfectas y vapores.....	187
14.3.2. Pérdidas de calor a través de las paredes.....	187
14.3.3. La combustión no es instantánea, ni ocurre a volumen constante.....	187
14.3.4. La combustión no es completa o perfecta.....	190
14.3.5. El movimiento de apertura de las válvulas no es instantáneo.....	191
14.3.6. Rozamiento del gas con los conductos.....	193
14.4. COMPONENTES MECÁNICOS DE NUESTRO INTERÉS DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	194
14.5. COMPARACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL Y OTTO.....	195
14.5.1. Ventajas y desventajas de los motores Diesel respecto a los motores Otto.....	198
14.5.1.1. Ventajas.....	198
14.5.1.2. Desventajas.....	198

14.6. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	199
BIBLIOGRAFÍA.....	200
15. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	201
15.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	201
15.2. DESEMPEÑO EN MOTORES CON ETANOL Y MEZCLAS CON ETANOL.....	202
15.3. DESEMPEÑO EN MOTORES CON BIODIESEL Y MEZCLAS CON BIODIESEL.....	205
15.3.1. Efectos del biodiesel en las emisiones de gases y el desempeño del motor.....	205
15.3.2. Efectos del biodiesel en el sistema de alimentación de combustible...	207
15.3.3. Efectos del biodiesel en el funcionamiento del motor.....	210
15.4. COMPATIBILIDAD DE MATERIALES.....	211
15.5. EMISIONES DE GASES DE ESCAPE.....	217
15.6. ADAPTACIONES NECESARIAS PARA EL USO DE COMBUSTIBLES FLEXIBLES.....	218
15.7. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	219
BIBLIOGRAFÍA.....	221
16. PERSPECTIVAS, INVESTIGACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS EN LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	225
16.1. ESTRATEGIA COLOMBIANA EN EL ÁREA BIOENERGÉTICA.....	225
16.2. TRABAJOS, INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS ACADÉMICAS EN ÉSTE CAMPO.....	226
16.2.1. Materia prima.....	227
16.2.2. Procesos.....	227
16.2.3. Pruebas.....	231
16.3. BIOCOMBUSTIBLES DE CUARTA GENERACIÓN.....	232
16.4. PARTICIPACIÓN DE LOS AUTORES.....	233
BIBLIOGRAFÍA.....	235
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	238
ANEXOS.....	240

Índice de Tablas.

	Pág.
Tabla 2.1. Asignación de roles en la ejecución del seminario.....	43
Tabla 3.1. Desarrollo de una sesión del seminario.....	44
Tabla 5.1. Tipos de energía.....	55
Tabla 5.2. Indicadores energéticos del mundo y diferentes regiones.....	60
Tabla 5.3. Participación de las fuentes de energía en varias regiones del mundo.....	61
Tabla 5.4. Energía primaria y final de las fuentes de energía.....	63
Tabla 5.5. Plantas de bioetanol en producción (2008).....	66
Tabla 5.6. Proyectos de bioetanol luego del 2008.....	67
Tabla 5.7. Proyectos de biodiesel en Colombia.....	67
Tabla 6.1. Consumo de diesel en América Latina.....	74
Tabla 6.2. Principales materias primas de biodiesel y bioetanol en Colombia.	75
Tabla 7.1. Países productores de bioetanol.....	87
Tabla 7.2. Empleos generados en la cadena de etanol y biodiesel, por millón de litros producidos.....	89
Tabla 8.1. Requisitos del biodiesel para mezclas con diesel.....	103
Tabla 8.2. Requisitos de calidad para el alcohol.....	107
Tabla 8.3. Créditos otorgados 2010-2011.....	107
Tabla 8.4. Créditos otorgados en el 2012.....	109
Tabla 9.1. Empleos asociados a la producción de etanol.....	119
Tabla 9.2. Empleos asociados a la producción de biodiesel.....	119
Tabla 9.3. Rendimiento de distintos cultivos para la producción de biocombustibles.....	120
Tabla 11.1. Rendimientos de la producción de bioetanol de primera generación a partir de varios tipos de biomasa en diferentes regiones del mundo	131
Tabla 11.2. Rendimiento de la producción de biodiesel de varios tipos de biomasa.....	141
Tabla 11.3. Caña de azúcar cosechada en Colombia.....	142
Tabla 11.4. Estimación de producción y consumo de etanol en Colombia.....	143
Tabla 11.5. Inversión y capacidad de producción de las plantas que procesan caña de azúcar.....	145
Tabla 11.6. Materias primas para la producción de etanol.....	145
Tabla 11.7. Plantas de biodiesel en Colombia.....	146
Tabla 11.8. Rendimiento de las principales fuentes de biodiesel 1G.....	147
Tabla 11.9. Producción y rendimientos de palma.....	150

Tabla 11.10. Estimación de la participación del mercado para el aceite de palma en el escenario 2008-2011.....	152
Tabla 11.11. Empleo actual y estimado en función del área productiva de palmaaceitera.....	152
Tabla 11.12. Demanda de biodiesel en función de la mezcla.....	153
Tabla 11.13. Principales compañías especialistas en la producción de biodiesel.....	157
Tabla 12.1. Productos de biocombustibles 2G.....	161
Tabla 12.2. Fuente y porcentaje de la biomasa lignocelulósica.....	163
Tabla 12.3. Productividad de la Jatropha Curcas en cultivo.....	167
Tabla 15.1. Emisiones medidas del biodiesel comparadas con el diesel convencional.....	206
Tabla 15.2. Evaluación BOCLE de lubricidad.....	208

Índice de figuras:

	Pág.
Figura 3.1. Formato del acta del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores.....	46
Figura 4.1. Caratula del libro síntesis.....	48
Figura 4.2. Portada.....	49
Figura 4.3. Contenido.....	49
Figura 4.4. Contextualización del tema.....	50
Figura 4.5. Bibliografía.....	50
Figura 5.1. Producción mundial de electricidad.....	59
Figura 5.2. Consumo de energía primaria en el mundo.....	59
Figura 5.3. Distribución del consumo de energía final por sectores.....	63
Figura 6.1. Consumo de gasolina en América Latina en 2007.....	72
Figura 6.2. Producción y capacidad de biodiesel en el mundo (2002-2008).....	73
Figura 6.3. Exportación mundial de etanol de 2004-2006.....	76
Figura 6.4. Precios del etanol en el mercado norteamericano y mundial.....	77
Figura 6.5. Producción, consumo y exportación de etanol en Colombia.....	78
Figura 6.6. Balance de etanol en Colombia (2008-2010).....	79
Figura 6.7. Historia y proyección de precios de semillas oleaginosas.....	81
Figura 6.8. Producción de biocombustibles en Colombia en el 2010.....	82
Figura 7.1. Empleos generados en la cadena de producción de biodiesel.....	89
Figura 7.2. Empleos generados en la cadena de producción de etanol.....	90
Figura 7.3 Porcentaje de combustibles fósiles requeridos para producir biocombustibles.....	91
Figura 7.4. Ciclo del carbono.....	92
Figura 8.1. Criterios para la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles.....	97
Figura 8.2. Evolución del ingreso al productor de gasolina y alcohol.....	102
Figura 9.1. Degradabilidad del biodiesel en función del número de días.....	117
Figura 11.1. Caña de azúcar cosechada en Colombia (1991-2005).....	143
Figura 11.2 Estimativo de la producción, consumo y exportación de etanol.....	144
Figura 11.3. Colombia: Distribución de la superficie de cultivo de palma africana por zonas.....	147
Figura 11.4. Colombia: Evolución de la superficie de cultivo de palma aceitera en el periodo (2001-2008).....	148
Figura 11.5. Colombia: Costos de producción de fruto y de extracción de aceite de palma en el periodo (2003-2007).....	149
Figura 11.6. Producción de aceite crudo de palma en el periodo (1995-2008)	150

Figura 11.7. Consumo mensual de diesel en el periodo (2003-2008).....	151
Figura 11.8. Demanda proyectada de biodiesel (2008-2020).....	153
Figura 11.9. Esquema general del proceso de producción de alcoholcarburante a partir de caña de azúcar.....	155
Figura 11.10. Esquema general del proceso de producción de etanol a partir de amiláceos.....	156
Figura 12.1. Fuentes de biocombustibles 2G, y la secuencia de procesos.....	162
Figura 12.2. Biomasa lignocelulósica.....	163
Figura 12.3. Procesos de transformación de biomasa lignocelulósica.....	164
Figura 12.4. Procesos de transformación de BTL.....	168
Figura 14.1. Diagrama Presión Volumen del ciclo Otto.....	185
Figura 14.2. Esquemmatización del ciclo Otto.....	186
Figura 14.3. Efecto total de las pérdidas de calor.....	188
Figura 14.4. Proceso de la flama en un motor ciclo Otto.....	189
Figura 14.5. Efecto de la variación del volumen durante la combustión en un ciclo Otto.....	190
Figura 14.6. Diagrama angular del ciclo Otto de cuatro tiempos.....	193
Figura 15.1. Relación entre la resistencia a la polarización de cuatro aleaciones.....	215
Figura 15.2. Curva de polarización de la aleación de Aluminio D16 en solución etanol/agua.....	216

GLOSARIO

- Alcohol anhidro: El alcohol anhidro es un alcohol etílico caracterizado por el bajo contenido de agua y su compatibilidad en mezclas con gasolina en cualquier proporción para generar combustible oxigenado con mejores características.
- Alcohol carburante: Es un alcohol compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno que resulta de la fermentación de azúcar o de almidón convertido en azúcar, extraídos ambos de la biomasa. Es un producto limpio, incoloro y renovable producido por deshidratación del alcohol rectificado.
- Biocatalisis: Es el proceso mediante el cual se acelera las reacciones químicas de una sustancia (antibióticos, agroquímicos, etc.).
- Biocombustible: Los biocombustibles son aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa, es decir, de organismos recientemente vivos (como plantas) o sus desechos metabólicos (como el estiércol).
- Biodiesel: Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación.
- Bioelectromagnetismo: Es el campo de la ciencia que estudia el fenómeno consistente en la producción de campos magnéticos o eléctricos producidos por seres vivos.
- Bioenergía: Es la energía de carácter renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos.
- Bioetanol: También conocido como alcohol carburante.
- Biogás: Es un gas combustible que se genera en medios naturales o dispositivos específicos producto de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.
- Biomasa: Es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; es energía recuperable a través de procesos como combustión o en la transformación de esa materia orgánica en otros tipos de biocombustibles.
- Bioproceso: Se le conoce a cualquier proceso que usa células vivas completas o sus componentes para obtener los cambios físicos y químicos deseados.

- **Bioquímica:** Es el campo de la ciencia que estudia la composición química de los seres vivos, especialmente en proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos.
- **Biorefinerías:** Es una estructura que integra procesos de conversión de biomasa y equipamiento para producir combustibles, energía y productos químicos a partir de la biomasa.
- **Biorreactor:** Es un recipiente que mantiene un ambiente biológicamente activo. Dentro de él se pueden llevar a cabo procesos químicos que involucran organismos y sustancias bioquímicas derivadas de dichos organismos.
- **Briquetas:** También conocidos como bloque sólido combustible, son biocombustibles usados para la generación de calor en estufas, chimeneas, hornos y calderas. La materia prima de las briquetas puede ser biomasa forestal, biomasa residual, biomasa residual urbana o simplemente una mezcla de todas ellas.
- **Carotenoides:** Son pigmentos orgánicos del grupo de los isoprenoides que se encuentran de forma natural en plantas y organismos fotosintéticos como las algas, también en algunas clases de hongos y bacterias.
- **Catalizador:** Es una sustancia presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos que acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma.
- **Celulosa:** Es un biopolímero compuesto exclusivamente de la glucosa. Es la biomolécula más abundante ya que forma parte de la biomasa terrestre.
- **Cogeneración:** Es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil.
- **Combustible:** Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida violentamente con desprendimiento de calor poco a poco.
- **Combustión:** Se le conoce a una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.
- **Decreto:** Es un tipo de acto administrativo emanado habitualmente por el poder ejecutivo y que, normalmente posee un contenido normativo reglamentario, por lo que su rango jerárquicamente es menor que la ley.
- **Deforestación:** Es un proceso provocado generalmente por la acción humana, en el que se destruye la superficie forestal.
- **Dendroenergía:** Se le conoce a toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios derivados de los bosques, árboles y vegetación de terrenos forestales.

- Desertificación: Es un proceso de degradación ecológica en el que el suelo fértil y productivo pierde parcial o totalmente el potencial de producción.
- Energía: Es la capacidad de realizar trabajo.
- Enzimas: Son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas.
- Ester: Son compuestos orgánicos derivados de los ácidos orgánicos o inorgánicos en los cuales uno o más protones son sustituidos por grupos orgánicos alquilo.
- Fertilizantes: Es un tipo de sustancia o denominados nutrientes, en forma químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener e incrementar el contenido de estos elementos en el suelo.
- Fluidos supercríticos: Es cualquier sustancia que se encuentre en condiciones de presión y temperatura superior al punto crítico, tiene comportamiento híbrido entre líquido y gas.
- Gasoil: También conocido como gasóleo o diesel, es un líquido de color blanco verdoso, compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción.
- Glicerina: Es un alcohol con tres grupos hidroxilos. Se trata de uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos, aparece como un producto intermedio de la fermentación alcohólica.
- Granulometría: Es la medición de los granos de una formación sedimentaria con fines de análisis.
- Hidrocarburo: Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de hidrógeno y carbono.
- Hidrólisis: Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual las moléculas de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.
- Ley: Es una norma jurídica dictada por un legislador. Es un precepto establecido por una autoridad competente donde se demanda o prohíbe algo en consonancia con la justicia.
- Lipasa: Es una enzima ubicua que se usa en el organismo para disgregar las grasas de los alimentos de manera que se puedan absorber.
- Medio ambiente: Se entiende por todo lo que rodea a un ser vivo.
- Metanol: También conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. Se emplea como anticongelante, disolvente y como combustible.
- Microalgas: Son microorganismos fotosintéticos que pueden crecer de manera autotrófica y heterotrófica. Son altamente eficientes en la fijación de CO₂ y utilización de la energía solar para producir biomasa.

- Motor: Es un sistema de componentes mecánicos que transforma la energía de un tipo a otro.
- Oleoquímica: Es la rama de las químicas que estudia los derivados de las plantas y los animales.
- Petroquímica: Es lo relativo a la industria del petróleo y del gas para producir productos químicos.
- Pirólisis: Es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno.
- Residuos: Cualquier material que su productor considera que no tiene ningún valor suficiente para retenerlo.
- Transesterificación: Es el proceso de cambiar el grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas bajo la adición de un ácido o una base. Es usada para producir biodiesel y poliéster.

RESUMEN

TÍTULO: SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA MOTORES.¹

**AUTORES²: DIEGO ANTONIO MANRIQUE MORENO.
JOHANA MARCELA AMARÍS MORENO.
FABIÁN FERNANDO PEDRAZA TORRES.**

PALABRAS CLAVES: Biocombustibles, etanol, biodiesel, motores de combustión interna.

DESCRIPCIÓN: Los biocombustibles se han convertido, con el paso de los años y las grandes problemáticas presentadas por los hidrocarburos, en una alternativa ideal para la disminución de la contaminación expedida a la atmósfera por el consumo indiscriminado de combustibles fósiles y/o hidrocarburos, empleados en los sistemas de transporte. Día a día es mayor el número de personas en diferentes ciudades del mundo que toman conciencia de que el problema de la contaminación ambiental y, en especial, el problema de la contaminación atmosférica, a través de las emisiones generadas por el transporte, es un problema que exige que todos seamos parte de la solución.

Una de las principales características de los biocombustibles que los diferencia enormemente de los combustibles de origen fósil, es que además de ser renovables, estos tienen una incidencia positiva en la problemática del cambio climático causado por los gases de efecto invernadero. Esta característica hace viables a los biocombustibles como una fuente de progreso para la seguridad energética de países sobre todo aquellos con un nivel de desarrollo bajo y alta biodiversidad.

Dentro de este contexto el Seminario de investigación en biocombustibles líquidos se desarrolló como una guía de información general sobre los biocombustibles líquidos y su incidencia en los motores de combustión interna de chispa y de compresión.

¹Trabajo de grado.

² Facultad de ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de ingeniería mecánica, Director: Ph.D. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra.

ABSTRACT

TITLE: RESEARCH SEMINAR OF ENGINE LIQUIDS BIOFUELS.³

**AUTHORS⁴: DIEGO ANTONIO MANRIQUE MORENO.
JOHANA MARCELA AMARÍS MORENO.
FABIÁN FERNANDO PEDRAZA TORRES.**

KEY WORDS: Biofuels, ethanol, biodiesel, internal combustion engine

DESCRIPTION: Biofuels have become a strong alternative for decreasing the pollution at the earth atmosphere over this last two centuries, due to the direct or indirect displacement of oil consumption at the worldwide. Every day people in cities around the world are worried about the environmental pollution problem and particularly about the air pollution problem by emissions from the transport sector. It is a problem which requires us all to be part of the solution.

Besides being a renewable source of energy, biofuels significantly differs from fossil fuels on environmental topics. They have a positive impact on the problem of climate change caused by greenhouse gases. This feature makes viable biofuels as a source of success for energy security facts of many countries especially those with a low level of development and high biodiversity.

Within this context, this research seminar focused to liquid biofuels, is as a quick overview of them and their impact on spark and compression engines.

³ Graduate work.

⁴ Physical-mechanic Engineer Faculty, Mechanical Engineer School, Director: Ph.D. Julian Ernesto Jaramillo Ibarra.

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía, ha sido fundamental para el avance científico, tecnológico, económico, político y social sin precedentes en la historia de la humanidad en los últimos siglos. La obtención de la energía y su consumo son vitales para la humanidad y con ella la expansión de la economía global. Sin embargo ante el ya pronosticado agotamiento de fuentes energéticas de origen fósil y el grave daño al medioambiente producto de los gases nocivos de dicha generación surge la necesidad de replantear políticas energéticas que sean sustentables para el planeta.

La mayor fuente de energía actualmente es la fósil (petróleo, carbón y gas), para el año 2009 éstas tuvieron una cobertura cercana del 90% del total de la demanda energética mundial. Por ejemplo, en el caso del petróleo las reservas de éste hidrocarburo calculadas actualmente (2012) prevén el líquido por 30 a 50 años más, del cual el consumo de éste se incrementa velozmente debido al auge industrial de varios países y el derroche energético producto de otros. Todo lo anterior ha impulsado a muchas organizaciones a invertir en buscar fuentes de energía renovables, como alternativas viables al petróleo y demás combustibles fósiles, una de ellas son los biocombustibles, los cuales son la única alternativa viable para los motores de combustión interna.

El seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores ha sido desarrollado con el objetivo de aportar a una de las líneas de investigación de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, y al mismo tiempo brindar a la región una opción de capacitación en el área de los biocombustibles, debido a que no existe un programa estructurado que permita a los estudiantes y profesionales capacitarse adecuadamente en esta área del conocimiento.

SECCIÓN 1

EL SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

1. Generalidades del seminario de investigación

1.1. Qué es el seminario de investigación.

El seminario de investigación, también conocido como seminario Alemán, es una actividad académica, cuyo origen se dio a finales del siglo XVIII en la Universidad de GOTTINGEN (Alemania) para renovar las estrategias de estudio y formación de los investigadores, y demostrar que la docencia y la investigación se pueden unir y complementar para obtener mejores resultados[1].

Este consiste en estudiar, discutir e intercambiar experiencias acerca de un tema en particular, en un grupo, en el cual sus participantes, se intercomunican exponiendo dicho tema (la relatoría), complementándolo, evaluándolo (la correlatoría), aportando entre todos (la discusión), sacando conclusiones y planteando nuevos interrogantes permitiendo que todo ello quede en la memoria escrita (el protocolo).

El seminario de investigación se programa por temas los cuales son seleccionados con la orientación del director del seminario, quien con su experiencia y conocimiento del tema, guía la selección con la debida pertinencia, actualidad y ubicación en el contexto. Los temas son desarrollados en sesiones planificadas, en las cuales, los miembros del grupo deben asumir diferentes roles, de acuerdo con la descripción anterior, manteniendo una relación de interés y compromiso con el conocimiento, sin jerarquías, en un clima de colaboración y participación activa[3].

1.2. Objetivos del seminario de investigación.

Formar a los participantes para la investigación científica mediante el desarrollo de habilidades específicas aplicadas al asumir los diferentes roles dentro del seminario. Dichas habilidades están orientadas a desarrollar la capacidad del lector crítico de resultados de investigación en cualquiera de las áreas del conocimiento, a fortalecer la capacidad de observar e identificar los problemas presentes en temas bajo análisis, a buscar respuestas a preguntas claves y sustentarlas teórica y metodológicamente en forma verbal y por escrito, y a identificar las relaciones del problema objeto de estudio con el contexto económico, político o social, con el fin de enriquecer con una mirada integral, el conocimiento para el grupo de integrantes. Para ello se programan y ejecutan ejercicios estructurados que permiten a los estudiantes desarrollar competencias iniciales de investigador, avanzar en el conocimiento y aportar buenas revisiones y análisis sobre tópicos que puedan facilitar el desarrollo de la investigación.

Para alcanzar dicho objetivo es preciso que exista una formación desde el trabajo personal hacia el trabajo en equipo; para esto, cada participante debe reconocer sus intereses, su estilo de aprendizaje, su capacidad para aprender en interacción con pares; debe apropiarse de la metodología e instrumentos con los cuales trabajará, con el fin de lograr, al interactuar con los miembros del grupo en las sesiones del seminario, compartir, criticar y corregir las ideas que surjan de él, en un ambiente de colaboración mutua.

Los seminarios de investigación, no se enfocan hacia la repetición de trabajos ya realizados, sino hacia la búsqueda de respuestas con nuevos argumentos; por tal razón los trabajos que se deriven del cumplimiento del objetivo del seminario, deben caracterizarse por su originalidad y estar acordes al nivel científico de formación de sus participantes.

1.3. Ventajas del seminario de investigación.

El seminario de investigación, como herramienta para el desarrollo integral, presenta las siguientes ventajas:

- Permite a los participantes contar con un director (Profesor) durante el seminario, el cual les guía hacia la consecución de los propósitos establecidos, y además, resuelve las dudas e inquietudes o en su defecto, orienta sobre las fuentes de consulta y ayuda a los miembros del grupo en la búsqueda para suplir las necesidades de información.
- Fortalece el hábito de documentarse acerca del tema bajo estudio. Para esto los participantes recurren a fuentes bibliográficas, bases de datos, textos de referencia; este ejercicio refuerza el desarrollo de las competencias interpretativas, argumentativas y propositivas; les permite apropiarse y aprender de los métodos que emplearon los autores de los artículos y textos, así como también, reconocer su valor y aporte a la investigación.
- Permite que los participantes desempeñen diferentes roles dentro del grupo, desarrollando habilidades comunicativas y de relaciones interpersonales, complementarias para la formación tanto personal como profesional.
- Fomenta el aprendizaje como una experiencia grupal, permite experimentar la eficiencia del trabajo en equipo y si el grupo está conformado por estudiantes de diferentes áreas del conocimiento, la riqueza de la

interdisciplinaria, características todas aplicables y necesarias en el desempeño laboral del mundo de hoy.

- Permite el uso de distintas herramientas didácticas de apoyo al desarrollo de las sesiones, así como un control sobre la planificación establecida de estas.

Es una metodología integradora centrada en el estudiante, con amplio potencial para fortalecer la habilidad de aprender a aprender, fundamental para tomar el perfil del ciudadano del siglo XXI, quien deberá asumir el compromiso de aprender a lo largo de la vida[1]. Sus ventajas la hacen aplicable a todas las áreas del conocimiento humano y no solo a algunas como equivocadamente pudiera pensarse[2].

1.4. Características.

El seminario de investigación posee las siguientes características:

- Participación activa de todos los miembros del seminario, puesto que no solo el director (Profesor) interviene, sino también todos los integrantes del grupo realizan su aporte desde el rol que estén desempeñando. En este proceso los participantes siendo discípulos empiezan a recorrer el camino de maestros.
- El seminario de investigación está conformado por un grupo reducido, de aprendizaje activo y cooperativo, inducido a investigar, reflexionar, descubrir y concluir.
- Empleo del diálogo permanente para compartir los conocimientos adquiridos.
- Ambiente amable y cooperativo fomentando la mayor participación de los integrantes del grupo.
- Sesiones desarrolladas utilizando medios didácticos de apoyo al aprendizaje.
- La estructura del seminario y todas las actividades y parámetros para desarrollarlas, son planificados en la primera sesión.

- El seminario de investigación exige a los participantes una alta responsabilidad para lograr la preparación adecuada, que les permita tener bases para llevarlo a cabo.

1.5. Organización del seminario de investigación.

El seminario de investigación se compone de las siguientes actividades: La relatoría, la correlatoría, la discusión y el protocolo, las cuales deben girar en torno a un tema del que se desprenden los subtemas que se tratan durante las sesiones.

Dichas actividades son responsabilidad de los integrantes del grupo, por lo cual a cada uno de ellos les es asignado un rol de carácter rotativo; es así como una persona que en una sesión asume el rol de correlator, podrá asumir el rol de la relatoría en la siguiente sesión, es decir, el responsable de la relatoría y otro el de protocolante.

La organización del seminario también implica establecer el lugar donde se llevará a cabo, el número de sesiones, y el cronograma de desarrollo donde se encuentran estipuladas las fechas para realizarlo; así como la duración de cada una de las actividades (relatoría, correlatoría, discusión y protocolo).

El seminario de investigación en biocombustibles está compuesto por:

Director: **Julián Ernesto Jaramillo.**

Codirector: **José Luis Chacón V.**

Participantes: **Diego Antonio Manrique Moreno.**

Johana Marcela Amarís Moreno.

Fabián Fernando Pedraza Torres.

A los participantes se les asigna un rol para cada sesión. Las sesiones se llevan a cabo en el salón 311 de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. El seminario está dividido en doce (12) sesiones cada una con un tema y subtemas específicos como se muestra en la sección 2,2. Las sesiones están programadas para una duración de una hora y media.

1.5.1. Tema del seminario de investigación.

El tema del seminario de investigación fue postulado por los participantes del seminario al director. Este es una estrategia de aprendizaje activo y de estudio, para brindar información concerniente a estudiantes, profesionales y comunidad académica en aspectos importantes de los biocombustibles líquidos usados en motores, el cual es el tema del seminario enfocándose específicamente en el bioetanol y biodiesel: surgimiento, políticas, aplicación, ventajas, materia prima, obtención energética, impactos en los motores de combustión interna, desarrollos, investigaciones y tendencias, buscando complementar una de las líneas de investigación en la Escuela de Ingeniería Mecánica como lo es la de energías alternativas y renovables.

Los biocombustibles son sustancias con poder energético provenientes de frutos y plantas de la naturaleza así como de residuos industriales, estos han mostrado ser una alternativa energética para muchos países que hasta el momento se encuentra en desarrollo pero que tiene una alta viabilidad en un corto y mediano plazo. Revisando el panorama actual y las experiencias analizadas a nivel mundial revelan que los biocombustibles en general, son un recurso para mitigar el alza e inestabilidad en los precios del petróleo, más no representan una alternativa para eliminar dicha crisis.

1.5.2. Dirección del seminario de investigación en biocombustibles líquido para motores.

La dirección del seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores estuvo a cargo del doctor: PhD. Julián Ernesto Jaramillo, quien cuenta con experiencia en docencia e investigación científica sobre el sector energético y en el tema de los biocombustibles.

Su principal función fue orientar y liderar la investigación, brindando la asesoría y aprobación requerida para encaminar los trabajos y tareas hacia el cumplimiento de las pautas especificadas y las metas programadas.

1.5.3. Descripción de los roles.

La relatoría: Es el procedimiento a través del cual el Relator expone el tema correspondiente en la sesión del seminario. El Relator tiene como misión enriquecer, como resultado de su investigación y estudio, el saber de los demás, buscando por medio de una argumentación rigurosa, aportar algo nuevo que permita avanzar en el conocimiento sobre el objeto de estudio.

La correlatoría: Consiste en la complementación y enriquecimiento de la relatoría por parte de un correlator, el cual debe estar atento a la relatoría, pues no debe repetir lo expuesto, sino evaluar el contenido, con claridad y el manejo de la exposición, con el fin de plantear su reflexión personal, y su posición frente a la relatoría, de una manera crítica destacando los aportes más relevantes de la relatoría y motivando a los participantes al debate.

La discusión: Es el medio a través del cual los participantes con base en lo expuesto en la relatoría y argumentación del correlator, confrontan con sus concepciones y apreciaciones del tema. Esta dinámica se desarrolla a manera de discusión, la cual se caracteriza por ser de carácter positivo, argumentativo y enfocado al enriquecimiento del trabajo en grupo. La discusión requiere la participación oportuna y respeto por las opiniones de los demás, criticándolas de forma constructiva.

El protocolo: Es la evidencia escrita del desarrollo de cada sesión del seminario y un insumo para la elaboración del informe final. Este debe ser leído antes de comenzar cada sesión, ya que es un acta de lo ocurrido en la anterior y de los compromisos planteados. Su autor es el protocolante, el cual redacta un documento con las actividades tal y como fueron desarrolladas, utilizando un lenguaje claro y conciso.

1.6. Metodología.

Para el desarrollo exitoso del seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores garantizando claridad en las sesiones y cumplimiento de los objetivos planteados en el plan de trabajo, se escogió una metodología contenida en tres fases: Planeación, ejecución y documentos finales; las cuales se relacionan entre sí dependiendo cada una de la anterior.

2. Planeación.

En esta fase se establecen los lineamientos bajo los cuales se pretende desarrollar el seminario, se establecen los objetivos, metas y resultados que se esperan obtener mediante la selección del tema de investigación, el estudio bibliográfico, los subtemas y la planificación de las sesiones.

Los objetivos del seminario de investigación en biocombustibles son:

Objetivos generales:

- Formar a los participantes para la investigación científica mediante el desarrollo de habilidades específicas aplicadas al asumir roles dentro del seminario de investigación[3].
- Contribuir en la investigación del estado del arte en temáticas de interés de la ingeniería mecánica en la Universidad Industrial de Santander[3] como lo es el campo de las energías renovables enfocado a los biocombustibles como alternativa para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

Objetivos específicos:

- Realizar un seminario de investigación en biocombustibles bajo las pautas dadas por la vicerrectoría académica y el seminario alemán en cuanto al aporte de roles, lo concerniente a la discusión crítica, propositiva y argumentativa como formación integral de los participantes.
- Elaborar un documento síntesis original donde estén compilados los resúmenes, relatorías, protocolos, la discusión, demás actividades y los resultados del seminario de investigación basados en los temas de la siguiente estructura:
 - 1.El problema energético global.Ubicación y estado actual del mercado de la energía, combustibles fósiles y fuentes renovables de energía.
 2. Producción y movimiento económico de los biocombustibles en América Latina.
 3. Impacto de los biocombustibles.
 4. Políticas en cuanto a biocombustibles en Colombia.
 5. Ventajas y desventajas de los biocombustibles comparado con las demás fuentes renovables de energía.
 6. Definición y descripción de los procesos de obtención de biocombustibles a partir de la biomasa.Obtención de energía a partir de la biomasa.
 7. Biocombustibles de primera generación.
 8. Biocombustibles de segunda generación.
 9. Biocombustibles de tercera generación.
 10. Introducción a los motores de combustión interna.

11. Impacto de los biocombustibles en los motores de combustión interna.

12. Perspectivas de investigaciones y nuevos desarrollos en los biocombustibles.

Además del análisis crítico del contenido de los temas citados se consideran aspectos que pueden afectar la implementación de los biocombustibles líquidos en Colombia tales como:

- Aspecto medioambiental y ecológico.
 - Aspectos legales y regulatorios.
 - Aspectos económicos.
 - Aspecto social.
- Realizar una recopilación del estado del arte que incluye: artículos científicos, libros, documentos, revistas, periódicos, y videos como base de datos que sirva como una plataforma para la actualización de estudiantes y profesionales en el tema de interés.
 - Elaborar una presentación en Power Point basada en la compilación del documento síntesis sobre los temas investigados en el seminario como lo son resúmenes, relatorías y protocolos en cada sesión.
 - Introducir la información recopilada en la plataforma del grupo GIEMA, de manera que se logre consignar el material de apoyo seleccionado.

2.1. Estudio y selección del material bibliográfico

La bibliografía se definió en la elaboración del plan del proyecto antes de iniciar el seminario. Esta se basó en la búsqueda exhaustiva de información concisa sobre los temas mencionados anteriormente, datos relevantes y de interés para la consecución del seminario. Sin embargo, a pesar de la bibliografía previamente seleccionada, durante el desarrollo del seminario, los participantes si lo consideraban necesario, podían recurrir a fuentes nuevas de información que aporten datos relevantes.

La información recopilada previamente para desarrollar el tema del seminario:

- Carlos Ariel Cardona, Carlos Eduardo Orrego, Luis Fernando Gutiérrez, “BODIESEL”. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2005.

Este libro explica el proceso de obtención del biodiesel, desde las materias hasta el producto final mencionando los procesos físicos y químicos para

Colombia y comenta sobre el proceso en otros países, también expone como es el mercado de este biocombustible en el país y la producción mundial.

- Oscar Julián Sánchez, Carlos Ariel Cardona, “PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE: Una alternativa de desarrollo agroindustrial”. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2007.

En este libro se encuentra un recuento sobre los biocombustibles fósiles y fuentes renovables de energía, muestra las materias primas para la elaboración del alcohol carburante y su proceso de obtención, dedica un espacio para hablar sobre perspectivas y nuevos desarrollos en este biocombustible.

- Carlos Ariel Cardona. “AVANCES INVESTIGATIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES”. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 2009.

Este libro muestra la producción de biodiesel usando microalgas como materia prima entre otras materias prima, también habla sobre los efectos del uso del biodiesel en la atmósfera y muestra la selección de microorganismos para la producción de bioetanol.

- Massoud Kayhanian, George Tchobanoglous. “HANDBOOK OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY”. Iowa State University, 2007.

En este libro se señala la utilización global de las fuentes energéticas y describe las diferentes formas de energías alternativas destacando de cada una de ellas los procesos para la obtención, y las aplicaciones respectivas en la industria.

- Edgar Mauricio Bohórquez. “ANÁLISIS COMPARADO SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE BODIESEL A NIVEL MUNDIAL”, Artículo. Colombiana de combustibles S.A. Octubre de 2004. Disponible online en: <http://www.colbio.com/biodiesel/>

El artículo está dividido en seis secciones donde se comparan las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y el diesel según parámetros del protocolo de Kioto, muestra aspectos económicos generales de la producción de biodiesel así como la participación de Europa, Brasil y Estados Unidos como experiencias internacionales, y destaca aspectos importantes en el caso colombiano.

- Gerhard Knothe, Jon Van Gerpen, Jürgen Krahl. "THE BIODIESEL HANDBOOK". University of Applied Sciences. Coburg. Germany, 2004.

Este libro presenta información técnica de las materias primas y los procesos de obtención del biodiesel, derivados y aplicaciones en la industria y en las máquinas térmicas.

- Walter A. Pengue, "AGROCOMBUSTIBLES Y AGROALIMENTOS: Una discusión desde la economía ecológica". Artículo. 2 Seminario de biocombustibles. Bogotá-Colombia. Octubre 9 y 10 de 2009. Disponible online en: <http://revistas.um.es/agroecologia/article/>

En este seminario se señala la producción primaria neta agraria, la forma de distribución y consumo tanto en el aspecto alimenticio como en la obtención de biocombustibles desde el aspecto nacional e internacional.

- Ashok Pandey, "HANDBOOK OF PLANT BASED BIOFUELS". Editorial Taylor & Francys Group. Boca Ratón, Florida. 2009. Disponible online en: <http://www.taylorandfrancis.com>

En este libro se detalla toda la visión general de los biocombustibles iniciando en la primera parte con plantas basadas en biocombustibles e introducción, siguiendo con materias primas y los procesos de obtención, y concluyendo con las aplicaciones y tratamientos de los derivados de las respectivas sustancias más investigaciones que se adelantan al respecto.

- María del Mar Expósito, "ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E INGENIERÍA CONCEPTUAL DE UNA BIOREFINERÍA LIGNOCELULÓSICA". Tesis de grado. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, España. 2008.

Hace una introducción a la biomasa y su aprovechamiento, introducción a los biocombustibles, alternativas para el procesamiento lignocelulósico, descripción de los procesos, alternativas de procesamiento del gas de síntesis, diseño conceptual de la instalación.

- Víctor Hugo Ajila, "ANÁLISIS DE LEGISLACIÓN SOBRE BIOCOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA", Artículo Revista. Abril 2007. Disponible online en: <http://revistavirtual.redesma.org/vol4/pdf/legislacion/>

Este artículo habla sobre la evolución de la normativa de los biocombustibles, hace un análisis comparativo de las leyes de los países seleccionados, y muestra la propuesta de ley básica sobre biocombustibles para América Latina y el Caribe.

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, “ATLAS DE LA AGROENERGÍA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES EN LAS AMERICAS”. IICA. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. Costa Rica, 2007. Disponible online en: <http://ecuadorforestal.org/biblioteca/>

Aquí se trata sobre la producción de etanol en América. Generalidades, políticas públicas para la producción de biocombustibles, la agroenergía y los biocombustibles en América, también comenta la situación actual y perspectivas de Costa Rica.

- ECOPETROL, Base de datos BIOCOMBUSTIBLES. Barrancabermeja, Colombia, 2008.

Exponen las tecnologías de producción de los biocombustibles así como una descripción general de estos. Empresas productoras, descripción general de proyectos de la época.

- Mario Alvear, “BASES CONCEPTUALES PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES”. XXIX Congreso Latinoamericano de Química, VI Congreso Colombiano de cromatografía, Universidad de Cartagena. 1999-2000. Disponible online en: <http://ebookbrowse.com/bases.conceptuales-pdf-d129598532>

Este documento propone una metodología para la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de los biocombustibles y sus mezclas cuando son utilizados en motores de combustión interna y quemadores.

- Juan Felipe Arias, “BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA. Artículo. Ministerio de Minas y Energía, Colombia 2008. Disponible online en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/convenio/Documentos/LosbiocombustiblesColombia.pdf>

Hace una breve descripción de proyectos que se están manejando en el país en el tema de los biocombustibles antes del 2008.

- Unidad de Planeación Minero Energética, “BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA”. Artículo. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá, Abril de 2009. Disponible online en: <http://www.upme.gov.co>

Elaborado por la unidad de planeación minero energética, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia, en el documento se describe los aspectos de relevancia nacional tales como: regulación, producción, consumo, precios e igualmente la perspectiva de demanda del alcohol y biodiesel al año

2025 según los escenarios de la UPME, además comenta sobre las políticas nacionales y la producción colombiana, retos y el futuro de éste en el país.

- Luz Decio, “BIOCOMBUSTIBLES Y ALIMENTOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, 2009. Disponible online en: <http://www.iica.int/Esp/Organizacion/LTGC/modernizacion/publicaciones>

En este libro se observan las ventajas y estrategias por países, muestra posibles impactos socioeconómicos de la producción de biocombustibles. Posibles impactos ambientales, implicaciones institucionales y geopolíticas.

- Carlos Alirio Díaz, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL DE MANERA CONTINUA”. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2005.

En este trabajo de grado se mencionan los combustibles fósiles y combustibles para motores de combustión interna, se muestra una fase experimental para la obtención del biodiesel además del diseño preliminar de una planta piloto y pruebas experimentales en MCI.

- Sebastián Pedrero Quiñonez, “VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL”. Tesis de grado. Escuela de Agronomía, Universidad Santiago de Chile. Santiago de Chile, 2008.

En este libro de grado se encuentran definiciones, ventajas, desventajas, producción mundial de biodiesel hasta el año 2008, precios, marco legal, además de un estudio de la factibilidad técnica y económica, producción del sector.

- John R. Agudelo Santamaría, Jaime N. Gutiérrez Ibarra, Julio César González Romero, Lesmes Antonio Corredor, “INFLUENCIA DE LA TECNOLOGÍA DE CONVERSIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE MOTORES DE GASOLINA CONVERTIDOS A GAS NATURAL. Artículo.

Este artículo muestra el comportamiento mecánico y ambiental de un motor Toyota 4,5 litros, 24 válvulas, carburado de segunda generación que ha sido convertido a funcionamiento con biocombustible gasolina corriente (85 octanos)-gas natural comprimido con un sistema de la casa italiana BRC.

- John Agudelo, Elkin Gutiérrez, Pedro Benjumea, “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DIESEL DE AUTOMOCIÓN OPERANDO CON MEZCLAS DIESEL-BIODIESEL DE PALMA. Artículo.

Este trabajo muestra las diferencias entre los combustibles diesel y biodiesel en cuanto a estructura química, y las propiedades físicas de éstos. Se aplica un modelo de diagnóstico del proceso de combustión sin realizar modificaciones en el sistema de inyección de combustible. Muestra resultados de eficiencia térmica, temperatura interna del cilindro, temperatura de los gases a la salida de la válvula de escape y la eficiencia de los gases de escape.

- Alirio Benavides, Pedro Benjumea, Veselina Pashova, “EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DIESEL.” Artículo.

En este artículo se presenta un estudio experimental sobre la producción y utilización de aceite de higuera. Indica el punto de máximo rendimiento de metilésteres durante la reacción de transesterificación.

- Cardona A. Carlos Ariel, Sánchez T. Óscar Julián, Quintero S. Julián Andrés, Montoya R. María Isabel,” PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE BIOMASA: EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS Y SU INTEGRACIÓN EN LA CADENA DE BIOCOMBUSTIBLES” Artículo.

En el presente estudio se lleva a cabo la evaluación de diferentes tecnologías para la producción de alcohol carburante a partir de tres materias primas: caña de azúcar, maíz y material lignocelulósico. En él se estudiaron las diferentes combinaciones de operaciones y procesos unitarios para la obtención de bioetanol mediante la ponderación de indicadores económicos, tecnológicos y ambientales.

2.2. Descripción de los subtemas.

1. El problema energético global.
Ubicación y estado actual del mercado de la energía, combustibles fósiles y fuentes renovables de energía.

- 1.1. Problema energético global y el estado actual del mercado de la energía.
- 1.2. Combustibles fósiles.
- 1.3. Fuentes renovables de energía.
- 1.4. Biomasa.
- 1.5. Biocombustibles.
2. Producción y movimiento económico de los biocombustibles en América Latina.
 - 2.1. Situación general de los biocombustibles en América Latina.
 - 2.2. Situación del etanol en América Latina.
 - 2.3. Situación del biodiesel en América Latina.
3. Impacto de los biocombustibles.
 - 3.1. Impacto global.
 - 3.2. Impacto en Colombia.
4. Políticas de biocombustibles en Colombia.
 - 4.1. Situación legal de los biocombustibles en Colombia.
 - 4.2. Normatividad técnica para los biocombustibles.
 - 4.3. Incentivos existentes
 - 4.4. Requisitos para la obtención de créditos.
5. Ventajas y desventajas de los biocombustibles comparado con las demás fuentes renovables de energía.
 - 5.1. Ventajas de los biocombustibles.
 - 5.2. Desventajas de los biocombustibles.
 - 5.3. Ventajas y desventajas del etanol y del biodiesel.
 - 5.4. Situación nacional.
6. Definición y descripción de los procesos de obtención de biocombustibles a partir de la biomasa. Obtención de energía a partir de la biomasa.
 - 6.1. Fuentes de biomasa.
 - 6.2. Procesos de tratamiento de la biomasa.
 - 6.3. Aplicaciones.
7. Biocombustibles de primera generación.
 - 7.1. Descripción general.
 - 7.2. Bioetanol de primera generación.
 - 7.3. Biodiesel de primera generación.
 - 7.4. Biocombustibles de primera generación en Colombia.
 - 7.5. Tecnologías para la producción de biocombustibles de primera generación.
8. Biocombustibles de segunda generación.
 - 8.1. Biomasa lignocelulósica (Materia prima para el bioetanol).
 - 8.2. Semillas y aceite de higuera.

- 8.3. Jatropha.
- 8.4. Biomasa líquida.
- 8.5. Biogás.
- 9. Biocombustibles de tercer generación.
 - 9.1. Materia prima.
 - 9.2. Tecnologías para la producción de biocombustibles de tercera generación.
 - 9.3. Procesos y obtención de biodiesel a partir de microalgas.
- 10. Introducción a los motores de combustión interna.
 - 10.1. Definición del motor de combustión interna.
 - 10.2. Motor del ciclo Otto.
 - 10.3. Causas que desvían el ciclo real del ideal.
 - 10.4. Componentes mecánicos de nuestro interés en los motores de combustión interna.
 - 10.5. Comparación de los motores Diesel y motores Otto.
- 11. Impacto de los biocombustibles en los motores de combustión interna.
 - 11.1. Información sobre pruebas en bancos de ensayos, resultados y comparaciones.
 - 11.2. Transformación del vehículo de gasolina a bioetanol.
 - 11.3. Desempeño en motores con biocombustibles.
 - 11.4. Emisiones de gases.
 - 11.5. Consideraciones sobre el mantenimiento.
- 12. Perspectivas, investigaciones y nuevos desarrollos en los biocombustibles.
 - 12.1. Estrategia colombiana en el área de la bioenergía.
 - 12.2. Trabajos, investigaciones, artículos y experiencias académicas en éste campo.
 - 12.3. Biocombustibles de cuarta generación.

2.3. Planeación de las sesiones.

Se llama sesión a las reuniones periódicas que se realizan durante la ejecución del seminario; allí cada tema se desarrolla en subtemas a través de exposiciones y discusiones constructivas cumpliendo la finalidad del seminario Alemán.

La planificación consta de:

- 1. Determinación del número de sesiones.
- 2. Asignación de temas y subtemas de cada sesión.
- 3. Asignación de roles.

4. Definir tiempos de preparación de cada sesión por parte de los participantes.
5. Diagrama de fechas en las que se celebrarán las sesiones.
6. Definir el tiempo y lugar de cada sesión.

En el caso del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores, se definieron 12 sesiones abarcando los principales temas de interés. Además se cumplió con la asignación de roles según lo establecido por la vicerrectoría Académica Universidad Industrial de Santander en los lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo del trabajo de grado. La asignación de roles se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Asignación de roles en la ejecución del seminario. Fuente: Los autores.

ORGANIZACIÓN DE LOS ROLES EN LA EJECUCIÓN DEL SEMINARIO			
SESIÓN Y CAPÍTULO	RELATOR	CORRELATOR	PROTOCOLANTE
1. EL PROBLEMA ENERGÉTICO GLOBAL. UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE LA ENERGÍA, COMBUSTIBLES FÓSILES Y FUENTES	Diego Manrique	Johana Amarís	Fabián Pedraza
2. PRODUCCIÓN Y MOVIMIENTOS ECONÓMICOS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA.	Fabián Pedraza	Diego Manrique	Johana Amarís
3. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.	Johana Amarís	Fabián Pedraza	Diego Manrique
4. POLÍTICAS DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA.	Fabián Pedraza	Diego Manrique	Johana Amarís
5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA.	Diego Manrique	Johana Amarís	Fabián Pedraza
6. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA. OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA BIOMASA.	Johana Amarís	Fabián Pedraza	Diego Manrique
7. BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN.	Diego Manrique	Johana Amarís	Fabián Pedraza
8. BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN.	Fabián Pedraza	Diego Manrique	Johana Amarís

9. BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN.	Johana Amarís	Fabián Pedraza	Diego Manrique
10. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	Fabián Pedraza	Diego Manrique	Johana Amarís
11. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.	Diego Manrique	Johana Amarís	Fabián Pedraza
12. PERSPECTIVAS, INVESTIGACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS EN LOS BIOCOMBUSTIBLES.	Johana Amarís	Fabián Pedraza	Diego Manrique

3. EJECUCIÓN

3.1. Documentación para los temas

El relator de cada sesión elaboró un documento con normas técnicas y metodología científica correspondiente a su investigación, el cual debe ser revisado y aprobado por el director. Los participantes del seminario previo a cada una de las sesiones e indiferentemente del rol que desempeñaron, estudiaron los temas correspondientes a cada sesión con el fin propósito de participar y aportar al desarrollo de la sesión.

3.2. Desarrollo de una sesión.

Las sesiones del seminario a excepción de la primera por no tener antecesora se desarrollan de manera fluida siguiendo el orden de las actividades. En la tabla No. 3.1 se muestra el proceso de desarrollo de una sesión del seminario de investigación.

Tabla No. 3.1. Desarrollo de una sesión del seminario de investigación. Fuente: El seminario investigativo - El seminario como practica pedagógica para la formación integral, Néstor H. Bravo Salinas.

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	RESPONSABLE
Apertura de la sesión	Lectura del plan de trabajo. Verificación de la asistencia. Confirmación o asignación de roles. Asignación de los roles para la próxima sesión.	Profesor (director)
Lectura del protocolo.	Lectura del protocolo. Se abre una sesión de preguntas aclaratorias del texto del protocolo. Los ajustes quedaran consignados en el protocolo siguiente.	Protocolante.
Relatoría	Exposición del tema. Entrega del trabajo escrito.	Relator
Correlatoría	Se complementa y evalúa la relatoría. Se induce a la discusión.	Correlator
Discusión	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizan preguntas, intervenciones y aclaraciones sobre el tema. • Se valida el conocimiento demostrado por el relator. 	Todos los participantes
Conclusión	Evaluación de la sesión. Síntesis del trabajo. Redacción del protocolo. Aprobación de la síntesis y el protocolo	Participantes director protocolante

3.3. Acta.

Se conoce como acta a un documento escrito producto de cada sesión donde se estipula la síntesis del tema de la reunión, fecha, hora y lugar, además de los diferentes roles que cumple cada uno de los participantes. Se registra los puntos clave de la exposición y la discusión, observaciones y correcciones por parte del director.

Se muestra un formato modelo de acta diseñado para este seminario:

Figura No 3.1. Formato del acta del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores. Fuente: Los autores.



Universidad Industrial de Santander
Facultad de ingenierías físico-mecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Seminario de investigación en Biocombustibles líquidos para motores.
Acta de Sesión

Fecha y Ciudad:
Hora:
Lugar:

Sesión No:
Título de la Sesión:
Capítulo No:
Relator:
Correlator:
Protocolante:

Asistentes:
Síntesis de la exposición del relator:
Síntesis de los aportes del correlator:
Notas de la discusión:
Observaciones:
Conclusiones:

Aprobado por:

Julián Ernesto Jaramillo
Director del proyecto.

4. DOCUMENTOS FINALES.

El producto final del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores consta de una serie de documentos estructurados que se recopilaron a través de la ejecución del proyecto y son resumidos en el presente libro tesis. Estos documentos son:

1. Libro de memorias: Está conformado por la investigación recopilada en los documentos elaborados y expuesta en cada una de las sesiones por los participantes del Seminario a través del desarrollo del mismo.
2. Presentaciones: Aquella ayuda audiovisual usada por los participantes del seminario en la celebración de cada sesión.
3. Recopilación de artículos científicos, documentos, revistas, periódicos y videos.
4. Elaboración de una publicación.

4.1. Libro Síntesis original.

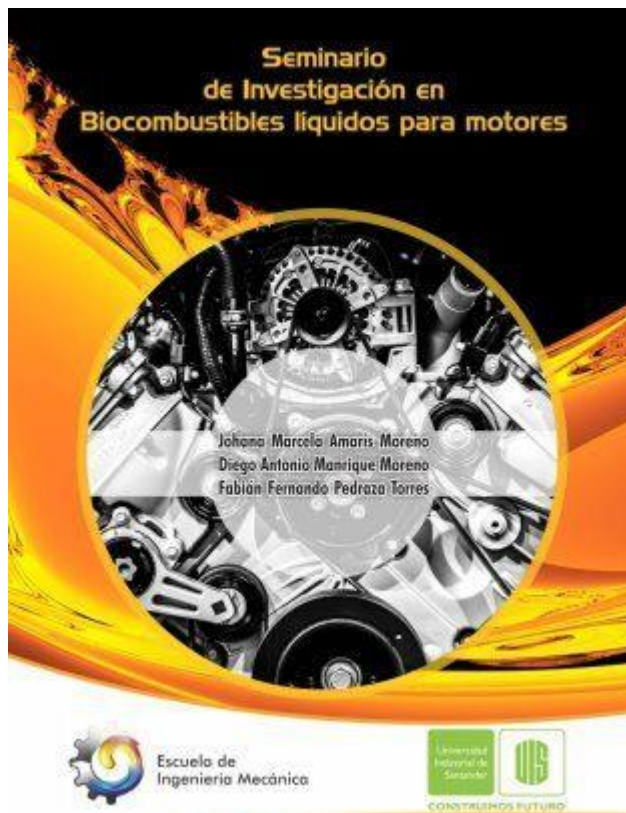
El libro síntesis original fue titulado: “SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA MOTORES” recopila la investigación realizada por cada participante y contiene la misma estructura del trabajo. El diseño y estilo del libro está diseñado para dar al lector un fácil entendimiento del tema. Está conformado por 12 capítulos ordenados de tal forma que exista un desarrollo conectivo entre ellos.

Fue elaborado en Microsoft Office Word 2010, procesador de texto amigable, versátil y sencillo.

Se hace uso del logo de la escuela de ingeniería mecánica y de la UIS para tener identidad de las instituciones y departamentos involucrados en el seminario.

Este documento está disponible en la escuela de Ingeniería Mecánica. En la figura 4.1 puede observarse su carátula.

Figura No. 4.1. Carátula del libro síntesis. Seminario de Investigación en Biocombustibles Líquidos para Motores. Fuente: Los autores



4.2. Presentaciones.

Las presentaciones son el apoyo audiovisual usado por los participantes durante las sesiones para desarrollar el tema de manera didáctica y fluida. Las transparencias están caracterizadas por imágenes y tabla, minimizando el uso de textos en las mismas. Estas fueron elaboradas en Microsoft Office Power Point.

Las presentaciones de cada sesión se encuentran estructuradas de la siguiente manera:

1. Portada.
2. Contenido.
3. Contextualización y desarrollo del tema.
4. Bibliografía.

A continuación se muestra un ejemplo de las transparencias usadas en una de las sesiones.

Figura No. 4.2. Portada. Fuente: Los autores.

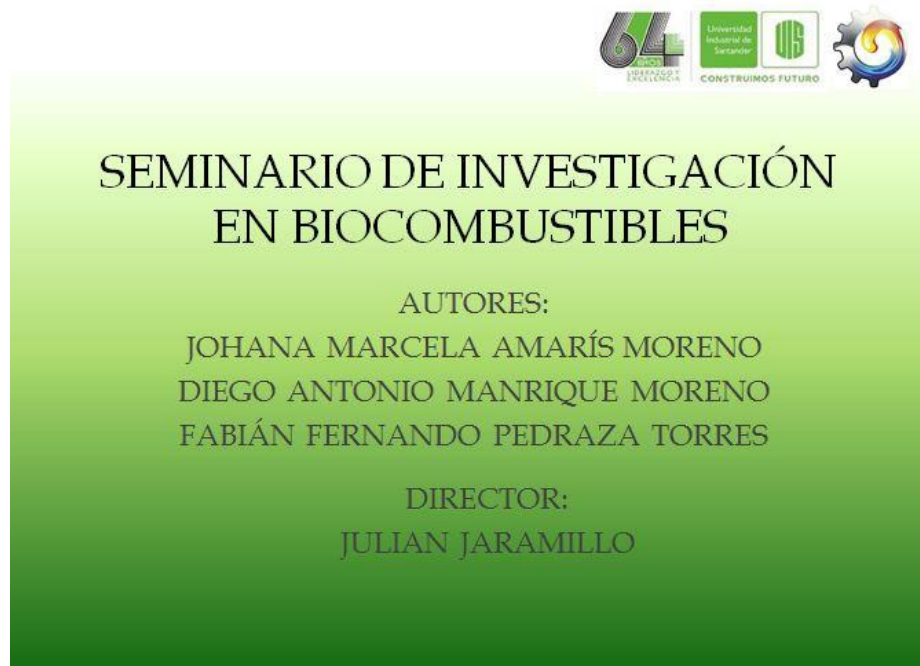


Figura No 4.3. Contenido. Fuente: Los autores.



Figura No. 4.4. Contextualización del tema. Fuente: Los autores.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES
RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA.

5.1. Ventajas de los biocombustibles.
5.2. Desventajas de los biocombustibles.
5.3. Ventajas y desventajas del bioetanol y del biodiesel.
5.4. Situación nacional.



**5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES
RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA
Representan un apalancamiento en el desarrollo
agrícola:**




SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES
Relator: D. Manrique

Figura No. 4.5. Bibliografía. Fuente: Los autores.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA.

5.1. Ventajas de los biocombustibles.
5.2. Desventajas de los biocombustibles.
5.3. Ventajas y desventajas del bioetanol y del biodiesel.
5.4. Situación nacional.
5.5. Bibliografía



Bibliografía

Gómez J., Samaniego J., Antonissen M. "CONSIDERACIONES AMBIENTALES ENTORNO A LOS BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS" Comisión económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile-2008.

Aguilar L., Vásquez L. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE BODIESEL. [Tesis de grado] Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". El Salvador-2007

Coviello M., Gómez J., Razo C., Rodríguez A. "BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA TRANSPORTE EN AMÉRICA LÁTINA Y EL CARIBE" Comisión económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile-2008.

Aguilar L., Vásquez L. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE BODIESEL. [Tesis de grado] Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". El Salvador-2007. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar> [Visitada en Febrero de 2012]

Scheinkerman E., Begenisic F. "PERSPECTIVAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA Y BRASIL". Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA: Secretaria de Agricultura, ganadería, pezca y alimentación- SAGPYA. Buenos Aires-2006.

Sánchez J., Rodríguez F. Desarrollo agroindustrial de biocombustibles en Castilla y León. [Trabajo de investigación premiado por el Consejo económico y social de Castilla y León] Universidad de Salamanca-2006.

Galarza et.al. 2007. "ALGUNOS ASPECTOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO LABORAL EN EL SECTOR RURAL". DNP, BID, Banco Mundial, PNUD, CEPAL, CAF.

Carpintero O. "BIOCOMBUSTIBLES Y USO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA: UN ANÁLISIS CRÍTICO" Revista: El ecologista No. 49, 2006.

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES
Correlator: D. Manrique

4.3. Recopilación de documentos.

La recopilación de artículos científicos y documentos hacen parte del sustento argumentativo del Seminario, estos quedan en el cd anexo y corresponden a cada uno de los temas tratados.

4.4. Publicación.

Por medio de la publicación de un artículo de revisión se da a conocer una síntesis del estado del arte de los biocombustibles y es un medio para mostrar a la comunidad académica e industrial el trabajo realizado.

Bibliografía

[1] Delors Jaques, La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI. París 1996.

[2] Vélez S. Carlos M., Resumen El seminario investigativo basado en el simposio permanente sobre la universidad 1990-1992 ASCUN

[3] Vicerrectoría académica, Universidad Industrial de Santander. Lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo de trabajo de grado. Bucaramanga 2007.

Sección 2

BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA MOTORES

5. EL PROBLEMA ENERGÉTICO GLOBAL. UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE LA ENERGÍA, COMBUSTIBLES FÓSILES Y FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.

5.1. Fuentes de energía.

En el contexto científico mundial se ha definido la energía como la capacidad de realizar trabajo. La energía se puede clasificar en diferentes tipos, además puede ser transformada de un tipo a otro siendo este enunciado regido por las leyes de la termodinámica donde la primera ley afirma que “la energía no se crea ni se destruye sino solo se transforma” y la segunda ley, explica que la transformación de la energía de un modo a otro nunca va a ser cien por ciento eficiente, siendo este porcentaje de ineficiencia la generación de calor y sonido, y el argumento para pensar en la existencia de la calidad de la energía en cualquier proceso como complemento de la cantidad implicada a convertir.

Los principales tipos de energía se definen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Tipos de energía. Fuente: Los autores

TIPOS DE ENERGÍA	
ENERGÍA CINÉTICA	Es la energía que tienen los cuerpos en movimiento.
ENERGÍA POTENCIAL	Es la energía relacionada con el grado de elevación de los cuerpos dentro de un campo gravitacional.
ENERGÍA TÉRMICA	Es la energía que contienen los átomos y moléculas de una sustancia en torno a la posición de acuerdo a su estructura.
ENERGÍA ELÉCTRICA	Es la energía que contienen las partículas cargadas dentro de un campo eléctrico.
ENERGÍA QUÍMICA	Es la energía contenida en los enlaces químicos de las sustancias.

ENERGIA NUCLEAR	Es la energía mostrada en forma de fuerza que mantiene unido los núcleos de los átomos.
-----------------	---

Los diferentes tipos de energía se encuentran en la naturaleza a través de diferentes fenómenos físicos, sustancias o medios. Algunos de ellos se clasifican como fuentes de energía las cuales son utilizadas por la humanidad para abastecer sus necesidades energéticas. Las fuentes de energía se dividen en dos categorías, las energías renovables y las no renovables. Las primeras tienen su dependencia directa o indirectamente del sol siendo recursos inagotables mientras las segundas provienen de sustancias encontradas en nuestro medio con capacidad energética pero con cantidades finitas que no se reponen, y que se pueden agotar.

5.2. Historia del Consumo de la energía.

El hombre en su existencia siempre ha estado condicionado al uso de fuentes de energía según las ha ido descubriendo. En la antigüedad la primera forma de energía que el ser humano conoció fue el fuego, además de la energía producto de sus propios músculos y animales. Para el hombre fue difícil aprender a controlar el fuego. Inicialmente lo usó para cocinar alimentos, iluminarse y proveerse de calor, más adelante descubrió aplicaciones como fundir mineral, extracción de metales así como la fabricación de materiales empleados en construcción.

Aproximadamente hacía el año 100 antes de J.C. el hombre aprendió a aprovechar la energía que le brindaba los recursos naturales como el agua y el viento y creó máquinas como la rueda hidráulica, el molino de viento y los barcos a velas. Estos dispositivos fueron usados en la industria para moler cereales y preparar el hierro, así como en la navegación para impulsar los barcos. Éste fue el principio de los sistemas con potencia fluida, donde se experimentaron las características de los fluidos para generar y transmitir energía y se escribieron los principios de la hidromecánica. La civilización hizo un importante uso de estas dos fuentes de energía durante toda la edad media y gran parte del siglo XIX.

Aún hasta mediados del siglo XIX muchas aplicaciones energéticas se sustentaban en el consumo de madera. El hombre estaba buscando fuentes de energía que no dependieran del clima ni del tiempo y la manera de transformarlas en potencia y trabajo útil. Eso los llevó a encontrar en el carbón, un recurso

altamente energético cuya aplicación fue en la edad media en la ornamentación y también para el uso doméstico, y luego ya con una explotación a mayor escala en la industria metalúrgica. El petróleo tuvo su participación en ese siglo con la perforación del primer pozo en 1859, aunque su auge no vino sino hasta principios del siglo XX.

La máquina de vapor, marcó el inicio de la revolución industrial a finales del siglo XVIII, una etapa que marcó una línea divisoria entre dos formas de producción, la primera la producción manual producto de la fuerza animal y el esfuerzo bruto de los humanos el cual se basaba en herramientas de mano y la segunda, la producción maquinista, ésta creó las condiciones para la producción y el consumo en masa, característicos de esa época, e hizo surgir las fábricas. En este tiempo el consumo energético se disparó luego de varios siglos de un aparente estancamiento. La máquina de vapor tuvo muchas aplicaciones como la hélice o turbina de vapor y también el invento de la locomotora, todos con el mismo principio, estos inventos no demoraron en generalizarse y expandirse por toda Europa, Norteamérica, Asia, África y en menor proporción en Suramérica. Este cambio se caracteriza por el gigantesco crecimiento del consumo de energía para el cual la civilización tuvo que recurrir a fuentes altamente energéticas como los combustibles fósiles.

La Química y la Física fueron de gran soporte a la ingeniería de ese tiempo. Los descubrimientos sobre las leyes de la Termodinámica permitieron conocer el funcionamiento de las máquinas de vapor, esto determinó el comienzo del desarrollo de los motores térmicos. El electromagnetismo y la electricidad fueron fichas claves en la transformación de la energía eléctrica en trabajo mecánico y viceversa. El ingeniero Nikolaus A. Otto, a través del motor de combustión interna en 1876, impulso la industria automotriz y abrió las puertas a la espectacular demanda del petróleo. Entre tanto el consumo de electricidad ha crecido a pasos agigantados tal que para satisfacer dicha demanda fue necesario el desarrollo de centrales hidroeléctricas y térmicas.

El Siglo XX estuvo marcado por muchos eventos históricos donde el carbón y el petróleo mantuvieron su tendencia de consumo y la explotación de ambos recursos aumento considerablemente. El primero dio su máxima aportación al consumo primario de energía en 1930 con aproximadamente el 70%. El segundo comenzó su hegemonía luego de la segunda guerra mundial al desplazar al carbón al segundo lugar. Algunas de las otras fuentes de energía mencionadas

anteriormente han mantenido su participación en diferentes proporciones en la generación de electricidad.⁵

Las crisis energéticas del último siglo han tenido gran repercusión en el consumo de energía. Para 1948 luego de la segunda Guerra Mundial esta cifra se puntualizó en 1.700 Mtep⁶, en 1973 se registró 5.900 Mtep lo que indica un crecimiento del 350%. Durante este intervalo de tiempo, el consumo del petróleo⁷ y del gas natural tuvo un gran crecimiento, mientras el carbón y la energía hidráulica se mantuvieron aparentemente constantes.

La crisis energética de los 70's tuvo su semilla cuando en 1960 se fundó la OPEP⁸. Los países industrializados como Estados Unidos, UE y Japón eran excesivamente dependientes del petróleo a bajo precio. En 1970 el ritmo del consumo de petróleo era tan alto que se pensó en el posible agotamiento de las reservas. Esto llevó a los países miembros de la OPEP a pretender controlar la producción de petróleo respecto a las reservas lo que desató en 1973 el aumento del precio del petróleo⁹ y consiguiente la crisis energética en el mundo afectando mayormente a los países industrializados que basaban su economía en el crudo. Los años más críticos de la crisis energética fueron 1973 y 1979¹⁰.

Esa década tuvo un gran impacto en la política energética de los países industrializados haciendo que estos replantearan sus lineamientos energéticos ahora hacia las fuentes de energía renovables favoreciendo su desarrollo¹¹, y al ahorro energético y mejor aprovechamiento del petróleo.

En la década de los ochenta los países sintieron las medidas de la nueva legislación energética¹² lo que llevó a la ralentización del consumo de crudo y a pensar en los efectos en el cambio climático ocasionados por las gigantescas

⁵ La energía nuclear aumentó llegando alrededor de 1970 a tener una participación de aproximadamente 12 países con reactores nucleares para la generación de electricidad. La energía eólica y solar también han crecido en el último siglo.

⁶ Mtep: Millones de toneladas equivalentes de petróleo.

⁷ El consumo de petróleo pasó de 600Mtep a 2400 Mtep en ese intervalo de tiempo, convirtiéndose en 1970 en la primera fuente de energía primaria.

⁸ OPEP: Organización de países exportadores de petróleo. Constituida por 13 países controlaban para la fecha el 70% de las reservas mundiales.

⁹ justificado por las creencias de aquella época de la disminución del petróleo.

¹⁰ En 1973 el precio del barril subió de 3 dólares a 11 dólares y en 1979 alcanzó los 30 dólares.

¹¹ Otro de los objetivos: Disminuir la dependencia del petróleo a través de otras fuentes de energía incluida la nuclear

¹²La legislación tuvo su objetivo en la seguridad del suministro, investigación y desarrollo, y conservación de la energía.

emisiones de gases producto de la combustión de los combustibles fósiles en menos de un siglo [12].

En la actualidad muchos gobiernos y sociedades industrializadas demandan y utilizan cantidades gigantes de energía destinadas al funcionamiento de la industria y a la sostenibilidad y crecimiento de la economía. La mayor parte de la energía generada es usada para poner en funcionamiento todo tipo de máquinas, aparatos electrodomésticos, transportar mercancías y personas, producir calor, luz y frío.

5.3. Situación energética global.

Hoy las grandes ciudades cuentan con modernos y cómodos sistemas de vida basados en el consumo de abundante energía aparentemente a bajo costo [11]. El consumo de electricidad mundial ha crecido paralelamente a la explotación y consumo de petróleo, carbón y gas (En la figura 5.1. se aprecia la producción mundial de energía asociada a las fuentes de energía para el año 2005). Estos han estado creciendo paralelamente a los cambios de hábitos de vida y las formas como el hombre ha evolucionado a través de las formas de organización social, así es también evidente la desigualdad que ha creado el mercado de la energía, abriendo la brecha entre los países pobres y ricos, entre productores y consumidores; desigualdad que cada día crea una mayor inestabilidad que se ve reflejada de gran manera en forma de conflictos como por ejemplo la guerra del Golfo en el último siglo [11].

Para describir la situación energética del mundo es necesario definir la energía primaria. Esta se distingue por ser aquella parte de las fuentes de energía (carbón, petróleo, gas natural, nuclear y renovable) que se toma de la naturaleza [4]. En el 2003, el consumo mundial de energía primaria fue de 10.723 Mtep [12]. La proporción del aporte de las diferentes fuentes de energía primaria para ese año se muestra en la Figura 5.2. En esa figura se observa que los combustibles fósiles son los dominantes con un valor conjunto aproximado al 80%. Se ha registrado una proporcionalidad en las cifras porcentuales del consumo de energía primaria durante la última década y se prevé que va a mantenerse constante durante varias décadas [12].

Figura 5.1. Producción mundial de electricidad. Año 2005.

Fuente: Sánchez, C [12]

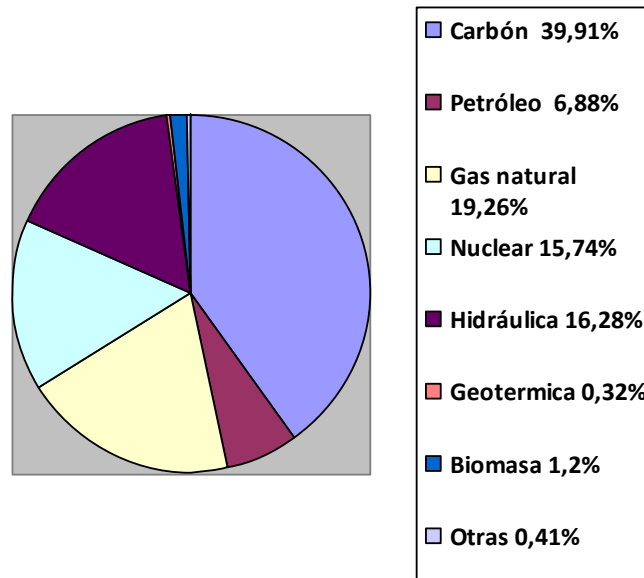
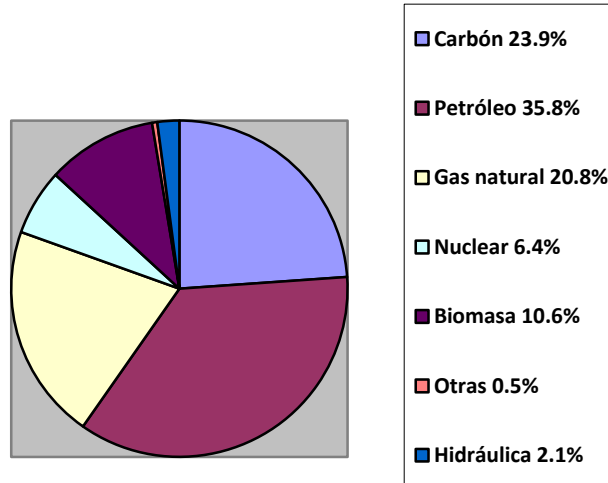


Fig. 5.2. Consumo de energía primaria en el mundo. Total: 10.723 Mtep.

Fuente: Sánchez, C. [12]



Una manera de medir el rendimiento energético de un país es a través de la relación entre el consumo de energía y el PIB¹³. A continuación en la tabla 5.2., se muestran varios indicadores energéticos del mundo y de diferentes regiones.

¹³ PIB: Producto Interno Bruto

Tabla 5.2. Indicadores energéticos del mundo y diferentes regiones. Fuente: Sánchez, C [12]

Región	Población(millones)	Consumo energía Mtep	PIB (10¹² dólares)	Consumo/PIB (Tep/10³dólares)
Mundo	6.268	10.578	33.391	0,32
OCDE	1.154	5.395	26.792	0,2
OCDE Europa	529	1.841	9.151	0,2
No- OCDE	55	103	136	0,76
Estados Unidos	291	2.280	10.330	0,22
China	1.291	1.426	1.550	0,92
Asia	2.018	1.224	1.697	0,72
África	851	559	641	0,87
Latinoamérica	432	464	1.443	0,32
Oriente medio	177	446	679	0,66
ExURSS	286	962	454	2,12

De la tabla anterior se observa que el 18,4% de la población mundial habita en países desarrollados y consume el 51% de la energía mundial. El 73% de la población vive en países en vías de desarrollo y consumen el 38% de la energía mundial. Agregado a lo anterior, los países con mayor consumo energético y con mayor PIB son los países con mayor consumo per cápita y menor intensidad energética. Estos son los países de la OCDE, países desarrollados con economías de mercado desarrolladas [2].

A continuación en la tabla 5.3., se muestra la participación de las fuentes de energía en varias regiones del mundo.

Tabla 5.3. Participación de las fuentes de energía en varias regiones del mundo. Fuente: Sánchez, C [12]

Región	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Nuclear	Hidráulica	Biomasa	Demás (Renovables)	Total (Mtep)
Mundo	24,1	35,3	20,9	6,4	2,1	10,7	0,5	10.723
OCDE	20,5	40,7	22,0	10,7	2,0	3,3	0,7	5.394,7
OCDE Europa	18	37,6	28,3	13,9	2,2	4,2	0,7	1.840,9
No- OCDE	30,2	31,5	21,9	6,9	3,8	5,6	0,1	1.034,8
Estados Unidos	23,3	40,4	22,8	9,0	1,1	3,0	0,5	2.280,7
China	60,1	19,5	2,5	0,8	1,7	15,4	-	1.435,8
Asia	23,9	30,1	12,7	1,2	1,3	30,3	1,2	1.244,4
África	17,2	20,9	11,3	0,6	1,3	48,6	0,1	558,9
Latinoamérica	4,6	45,5	19,5	1,2	10,5	18,3	0,4	463,9
Oriente medio	2,1	55,3	41,9	-	0,3	0,2	0,2	445,6
ExURSS	18,4	19,6	52,1	6,8	2,0	1,1	-	961,7

De la tabla 5.3., se observa la fuerte importancia de los combustibles fósiles en las diferentes regiones del mundo. Por ejemplo en los países desarrollados no se dispone de este tipo de combustibles, pero su economía es tan madura para adquirirlos, y esto hace que sean importadores netos de energía. En otras regiones la situación varía de acuerdo si existen yacimientos o las obras apropiadas para la generación de electricidad. Los países¹⁴ con yacimientos propios de alguno de los combustibles fósiles tienen la gran parte de su economía basada en esa fuente de energía [12].

Al hablar de fuentes de energía renovables, la biomasa siendo la cuarta fuente de energía en el mundo cuenta con un consumo a nivel mundial muy disparado,

¹⁴ China aporta a su economía el 60% a través de carbón; India respectivamente aporta cerca del 33% a través de carbón; El oriente medio a través del petróleo y gas natural tienen una cifra de 97%; Rusia, 53,4% de su consumo total de energía a través de gas natural.

siendo los países más pobres¹⁵ los de mayor consumo de este con cifras cercanas al 85%. Y los países desarrollados con un consumo de biomasa muy pequeño con un 3%. En la tabla 5.3., se observa que las demás fuentes renovables tienen un porcentaje muy pequeño del consumo de energía en todas las regiones contando con un total del 0,5% en el mundo. La energía hidráulica considerada fuente de energía renovable, depende de los afluentes hídricos de cada región. Este tipo de energía es usado mayoritariamente en países como China, Japón, Noruega, Brasil, Estados Unidos, la Federación Rusa entre otros, y contribuye al consumo global con el 2,1%.

En cuanto a energía nuclear, los países en vías de desarrollo tienen una contribución baja cercana al 1,2%¹⁶ del consumo total de energía. En los países desarrollados la contribución es mayor con el 10%¹⁷. La energía nuclear es un tema de debate¹⁸.

Existe una gran diferencia entre energía final y energía primaria. La energía final es la energía tal y como se usa en los puntos de consumo. Para que la energía esté dispuesta para el consumo, son necesarias sucesivas operaciones de transformación y transporte, desde el yacimiento a la planta de transformación y, por último, al consumidor final. En cada una de las operaciones se producen pérdidas. Alrededor del 65% del carbón que se consume como fuente de energía primaria se emplea en la generación de electricidad, en tanto el 7% se transforma en otro tipo de combustible¹⁹ y sólo el 20% es consumido como energía final [5]. Para el gas natural, como fuente de energía final es equitativo a como fuente de energía primaria, es decir su utilización en la generación de electricidad es similar a su participación en el sector industrial en la generación de vapor y fluidos con alto nivel térmico. Petróleo, las cifras muestran una diferencia mínima, pues el petróleo casi en su totalidad es dirigido a las refinerías donde a través de un proceso se deriva en varios productos de consumo final. La tabla 5.4., muestra la relación del consumo de energía primaria y final para las diferentes fuentes de energía.

También se puede clasificar el consumo de energía final dependiendo el sector, y éste depende de la región. Los sectores industrial y transporte son los más fuertes

¹⁵ África y Asia con el 80% y 90% respectivamente de su consumo total de energía.

¹⁶ En Asia y América Latina.

¹⁷ Países miembros de la OCDE

¹⁸ Es cara y complicada, además no se cuenta con un tratamiento para los residuos nucleares. Es peligrosa por fugas de escapes radioactivos y por la posible proliferación de armas nucleares.

¹⁹ Como la licuefacción del carbón y la gasificación del carbón.

en el consumo energético para los países desarrollados. En el caso de los países en desarrollo el porcentaje del sector transporte es cercano al 50% del consumo industrial en esos países. La figura 5.3., muestra la distribución del consumo de energía final global por sectores.

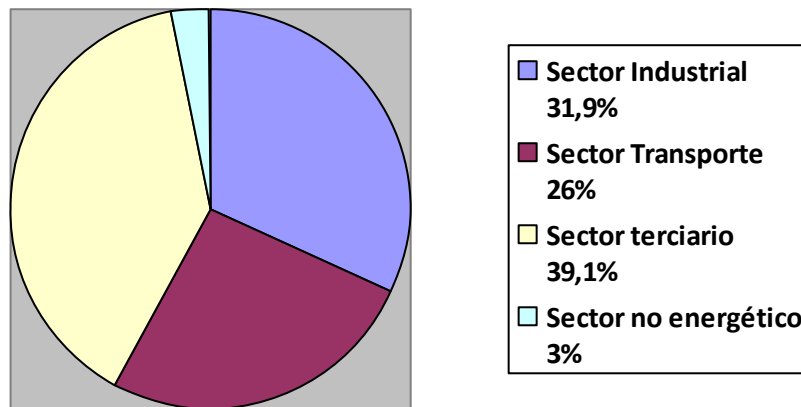
Tabla 5.4. Energía primaria y final de las fuentes de energía. Unidades en Mtep

Fuente: UPME[9].

	ENERGÍA PRIMARIA	ENERGÍA FINAL
Carbón	2.584,2	539,3
Petróleo	3.785,2	3.104,3
Gas Natural	2.241,1	1.195,06
Hidráulica	225,18	-
Electricidad	-	1.173,2
Nuclear	686,27	-
Biomasa	1.147,6	1.020,2
Demás renovables	53,6	255,04
Total	10.498	6.092,04

Fig.5.3. Distribución del consumo de energía final global por sectores. Total: 7.287,12 Mtep.

Fuente: Sánchez, C. [5]



5.4. Situación energética en Colombia.

Colombia, es un país que posee una diversidad de fuentes de energía. Para el 2010 el país registró una capacidad eléctrica efectiva neta instalada de 13.289,5MW [8]. Dentro de las principales fuentes de energía que se genera en el país, la hidroeléctrica, representa el 65% del total de la electricidad generada y los recursos térmicos como el petróleo, carbón y el gas natural el 31% aproximadamente. Las demás fuentes de energía cubren el 0,4% faltante [8].

5.4.1. Descripción de los recursos energéticos de Colombia:

Fuentes de energía convencionales:

- **Carbón:** Colombia cuenta con recursos de carbón de alta calidad suficientes para participar en el mercado mundial por mucho tiempo [5]. Las reservas medidas son de 7.063,6 Mt ubicadas principalmente en la Costa Atlántica donde se encuentra el 90% del carbón térmico y a su vez corresponde al 98% del carbón nacional. El 95% de las reservas se ubica en los departamentos de la Guajira, Cesar, Norte de Santander, Córdoba, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. (Figura.5.4.)

- **Petróleo:** El país cerró el año 2011 con una producción de 982mil barriles diarios. El potencial petrolífero (crudo y gas natural) de Colombia se estima en más de 47 mil millones de barriles de petróleo equivalente, distribuidos en 18 cuencas sedimentarias que abarcan un área de 1.036.400 km². Alrededor de 82% de esa área sedimentaria se encuentra disponible para adelantar trabajos de exploración y explotación de petróleo y gas natural. Las cuencas de mayor actividad exploratoria son las de los valles Superior y Medio del Magdalena, Catatumbo, La Guajira, cordillera Oriental, Putumayo y Llanos Orientales. Los más importantes descubrimientos hechos en Colombia son los de La Cira-Infantas, en Barrancabermeja; Chuchupa, en La Guajira; Caño Limón, en Arauca; y Cusiana-Cupiagua, en Casanare. Los centros de producción petrolera se encuentran en los departamentos del Meta, Casanare, Arauca, Santander, Antioquia, Bolívar, Boyacá, Huila, Tolima, La Guajira, Putumayo y Norte de Santander [7].

- **Gas natural:** El país cuenta actualmente con aproximadamente doce campos principales de producción de gas, localizados en cuatro regiones: Costa Atlántica, Santander, Llanos Orientales y en el Huila-Tolima [7].

Fuentes renovables de energía

• **Energía hidráulica:** La energía hidráulica es la principal fuente de energía en Colombia con el 65% de la electricidad total generada en el país. El alto potencial eléctrico es debido a que es un país montañoso y rico hídricamente. Las principales centrales hidroeléctricas del país están en Antioquia, Guadalupe, Rio Grande y Troneras; Cundinamarca, El Colegio, El Charquito, El Salto y Laguneta; Valle Anchicayá y Calima; Caldas, la Insula y la Esmeralda, además de nuevos proyectos como el embalse de Bucaramanga y la represa de Hidrosogamoso que actualmente se encuentran en construcción.

• **Energía eólica:** En Colombia la zona norte cuenta con las mejores potencialidades para generar este recurso. En la Alta Guajira, Empresas Públicas de Medellín EPM puso en funcionamiento el primer parque eólico, Jepirachí²⁰, con 15 aerogeneradores que aportan 19.5 megavatios al Sistema Interconectado Nacional.

• **Biomasa:** En Colombia se tienen estudios de producción de biomasa con el bagazo de la caña, que se estima una producción anual de 1.5 millones de toneladas y de cascarilla de arroz, con la que se producen más de 457.000 toneladas al año. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

• **Energía Geotérmica:** El Atlas Geotérmico de Colombia destaca como zonas de mayor potencialidad los volcanes Chiles - Cerro negro, el volcán Azufral en el departamento de Nariño, El Parque Nacional de los Nevados y el Área Geotérmica de Paipa - Iza Boyacá.

• **Energía de los océanos:** Colombia, según el UPME, tiene un potencial estimado en los 3000 Km de costas colombianas de 30 GW.

• **Biocombustibles:** Desde el 2003 Colombia ha venido incursionando en éste tema, actualmente el país genera bioetanol y biodiesel siendo el segundo mayor productor de América latina en bioetanol y el quinto en biodiesel [1].

• **Bioetanol:** El alcohol carburante producido en Colombia proviene exclusivamente del procesamiento de la caña de azúcar del valle geográfico del río

²⁰Jepirachi significa en Wayuunaiki, lengua nativa Wayuu, “vientos que vienen del nordeste en dirección del Cabo de la Vela”.

Cauca. Debido a las condiciones climáticas de ese lugar²¹, esta región permite cosecha y molienda de este producto durante todo el año y no en forma estacional, como en otras partes del mundo. En dicha región se encuentran ubicados los trece ingenios azucareros y las cinco destilerías de bioetanol²². En el 2009 estas cinco plantas proporcionaron al país una producción de 1'050.000 litros de alcohol por día. Entraron en funcionamiento en el 2006 y tienen un promedio de producción de 700.000 litros por día [11].

En la tabla 5.5., se muestra la producción de las destiladoras de alcohol carburante:

Tabla 5.5. Plantas de bioetanol en producción 2009. Fuente: UPME[9]

REGIÓN	INVERSIONISTA	CAPACIDAD INSTALADA (L/DÍA)	ÁREA SEMBRADA (HA)	EMPLEOS
Cauca, Miranda	Incauca	300.000	10.781	1.941
Valle, Palmira	Providencia	250.000	8.984	1.617
Valle, Palmira	Manuelita	250.000	8.984	1.617
Valle, Candelaria	Mayagüez	150.000	5.390	970
Risaralda, La virginia	Risaralda	100.000	3.593	647
Total:		1'050.000	37.732	6792

Esta capacidad instalada permitió para Diciembre del 2008 la cobertura del 64% de la demanda nacional de gasolina con una mezcla de 10% de alcohol carburante. El bioetanol es transportado en carro tanque a las plantas de los mayoristas ubicados cerca de los centro de consumo.

En el 2011 el número de plantas destiladoras de alcohol aumentó, en la tabla 5.6., se muestra los proyectos que entraron en funcionamiento:

²¹ Brillo solar permanente e intenso durante todo el año, balance adecuado de la temperatura entre el día y la noche, disponibilidad de agua, lluvias proporcionadas y suelos fértiles.

²² Risaralda, Providencia, Manuelita, Mayagüez e Incauca.

Tabla 5.6. Proyectos de bioetanol luego del 2008. Fuente: UPME[9]

PROYECTO	REGIÓN	CAPACIDAD/DÍA	PRODUCTO	FECHA DE ENTRADA
Petrotesting	Meta	20.000	Yuca	2010
Riopaila	Valle del Cauca	300.000	Caña	2009
Mayagüez (Ampliación)	Valle del Cauca	100.000	Caña	-
Maquitec	Boyacá	300.000	Remolacha	-
Consortium S.A.	Costa Atlántica	900.000	Caña	-

• **Biodiesel:** En Colombia, la producción industrial de biodiesel comenzó en el año 2008 y se optó por la utilización del aceite de palma como materia prima dado los desarrollos alcanzados en este sector. El aceite de palma es uno de los principales aceites vegetales y ha llegado a convertirse en el de mayor producción a nivel mundial siendo el cultivo que mayor cantidad de aceite produce por unidad de área sembrada y por tanto, es la materia prima del biodiesel. Este biocombustible se obtiene como resultado de la transesterificación²³ de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol en presencia de un catalizador como el NaOH. También se emplea como materia prima los aceites de fritura de origen animal y vegetal los cuales son reutilizados para su conversión [4, 10].

El biodiesel es utilizado en sistemas de calentamiento y como aditivo en motores diesel en mezclas del 10% conocida como B10, del 20% llamada B20 y en otros casos según su pureza es usada directamente en motores de ignición [3]. A diferencia del biodiesel derivado del petróleo, no contiene azufre por lo que su combustión es mucho más limpia. En la tabla 5.7 se muestra las plantas de biodiesel en Colombia para el año 2009:

Tabla5.7. Plantas de Biodiesel en Colombia. Fuente: UPME [9]

REGIÓN	INVERSIONISTA	CAPACIDAD INSTALADA (L/DÍA)	CAPACIDAD (T/AÑO)	ÁREA SEMBRADA	FECHA DE ENTRADA
Norte, Codazzi.	Oleoflores	168.719	50.000	11.111	Enero 2008

²³La *transesterificación* es la reacción de ésteres con alcoholes en medio ácido o básico.

Norte, Santa Marta.	Odinenergy	121.477	36.000	8.000	Agosto 2008
Norte, Santa Marta	Biocombustibles sostenibles del Caribe	337.437	100.000	22.222	1T 2009
Oriental, Facatativa.	Bio D	337.437	100.000	22.222	1T 2009
Centro oriente, Barrancabermeja.	Ecodiesel de Colombia	337.437	100.000	22.222	4T 2009
San Carlos de guaranoa, Meta	Aceites Manuelita	337.437	100.000	22.222	2T 2009
Norte, Santa Marta.	CleanEnergy	116.000	30.000	7.000	2T 2009
Total:		1'755.944	516.000	114.999	

La tabla muestra la producción total de biodiesel para el 2009 con 1'755.944 Litros por día. En ese mismo año nuestro país se convirtió en el primer país latinoamericano en alcanzar una mezcla del 5% de biodiesel en todo el territorio nacional. Durante los últimos años se ha visto el avance de diferentes sociedades internacionales con países como México y Ecuador [10], para avanzar con el programa nacional de biocombustibles que responde al interés que tiene el Gobierno Nacional de diversificar las fuentes energéticas del país y no depender solamente de los combustibles fósiles.

5.5. Participación de los autores.

El hombre siempre se ha visto obligado a proveerse de fuentes ricas energéticamente y transformarlas en energía útil para garantizar su existencia y una adecuada convivencia. Inicialmente usó la combustión de materiales para proveerse de fuego y así calentarse en los tiempos de invierno, al igual que para la caza. Hoy en día la combustión es la principal manera para la obtención de energía a través de muchos procesos industriales. La combustión de combustibles y materiales altamente energéticos ha llevado a que la humanidad sustente un sin número de comodidades en la actualidad.

Sin duda los combustibles fósiles son aquellos capaces de generar altos niveles de electricidad, pero son aquellos con mayores niveles de emisiones de gases de

efecto invernadero y contaminación del medio ambiente. Estas actividades industriales traen graves secuelas medioambientales.

La estrategia de varios países para menguar el alto impacto económico, político, social y ambiental del mercado energético actual es basarse en las energías alternativas que aunque son menos eficientes que las convencionales, son más amigables con el planeta tierra. En la actualidad estas tecnologías no están tan desarrolladas, pero expertos en el sector energético aseguran que con fuertes inversiones e investigaciones se puede lograr optimizar estas tecnologías y desarrollarlas a puntos competentes respecto a las tecnologías convencionales.

En el caso de los biocombustibles, es imposible que estos reemplacen el petróleo, el diesel o el gas, pero pueden menguar la alta dependencia del uso de los combustibles fósiles en el sector automotriz e industrial. Es un proceso complejo porque no solo se trata de impulsar los biocombustibles sino también de cambiar la mentalidad del sector energético, especialmente el “oil& gas” que día a día gana terreno. Con el panorama mencionado, los biocombustibles siguen adelante y se están moldeando a formas que sean seguras alimentaria y energéticamente.

Bibliografía

- [1] Aguilar L.V., Vásquez L.H. Análisis del estado actual de las tecnologías para la producción de biodiesel. 2007.
- [2] Claassen P.A., Van Lier J.B., Lopez A. M., Van Niel E.W., Sijtsma L., Stams A.J., de Vries S.S., Weusthuis R.A. Utilization of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and biotechnology*, 52:741-755. 1999.
- [3] FANGRUI, Ma. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*.70. 2007.
- [4] Foro nuclear. Disponible en: <http://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/faqas-sobre-energia/capitulo-1> [Visitada en enero de 2012].
- [5] http://www.carbunion.com/panel/carbon/uploads/usos_carbon_4.pdf [Visitada en enero de 2012].
- [6] <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=210&conID=36624&pagID=127938> [Revisada en febrero de 2012].
- [7] <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoysumundo/petroleoencolombia3.htm> [Revisada en febrero de 2012].
- [8] <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx> [Revisada en enero de 2012].
- [9] Jaime B; Leyva S; Ortiz V; Cárdenas J. UPME Unidad de planeación minero energética. Ministerio de Minas y Energía. Documento Pdf disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf
- [10] Revista DINERO. <http://www.dinero.com/negocios/articulo/entra-marcha-biodiesel-bogota/82732>.
- [11] Sánchez O.J., Cardona C.A. Producción de alcohol carburante, una alternativa para el desarrollo agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 2007.
- [12] Sánchez. C. Tecnología energética. Fuentes de energía. Tema 1. UNED.

6. PRODUCCIÓN Y MOVIMIENTOS ECONÓMICOS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN AMERICA LATINA

6.1. Situación general de los biocombustibles en América Latina

Una de las principales características de los biocombustibles que los diferencia enormemente de los combustibles de origen fósil, es que además de ser renovables, estos tienen una incidencia positiva en la problemática del cambio climático causado por los gases de efecto invernadero [11]. Esta característica hace viables a los biocombustibles como una fuente de progreso para la seguridad energética de países sobre todo aquellos con un nivel de desarrollo bajo y alta biodiversidad.

Según la consultora Garten Rothkopt en [1]. A pesar de la gran biodiversidad y voluntad política, América latina está retrasada en financiamiento e infraestructura para la producción y comercialización de los biocombustibles. Aun así, las cifras obtenidas dicen que los países latinos aportan el 40% del total de la producción de biocombustibles en el mundo. Además que el existente mercado de materias primas solo corresponde a alcoholes carburantes de primera generación, por tanto el uso de segunda y tercera generación es aún precario. Sólo un 1% del consumo total de combustibles en el mundo consumido para transporte, son biocombustibles y el 0.3% del consumo total de energía a nivel mundial para otras formas de obtención de energía²⁴. Por tanto el desarrollo e inversión en investigación, es netamente enfocado a eliminar la dependencia a los combustibles fósiles, ya que como es visto, el aporte porcentual es casi insignificante.

Los programas de biocombustibles han sido promovidos en gran medida por intereses agroindustriales, ejemplo de ello son Estados Unidos y la Unión Europea donde la industria de estas sustancias está fuertemente vinculada con el apoyo del gobierno. En Australia las dificultades financieras que enfrentan los productores de azúcar son el principal impulsor. En Brasil el programa nacional de alcohol fue estimulado por la sobrecapacidad de la industria azucarera. En India los excedentes de esta misma industria y el incremento en la producción de melaza impulsaron el programa de etanol.

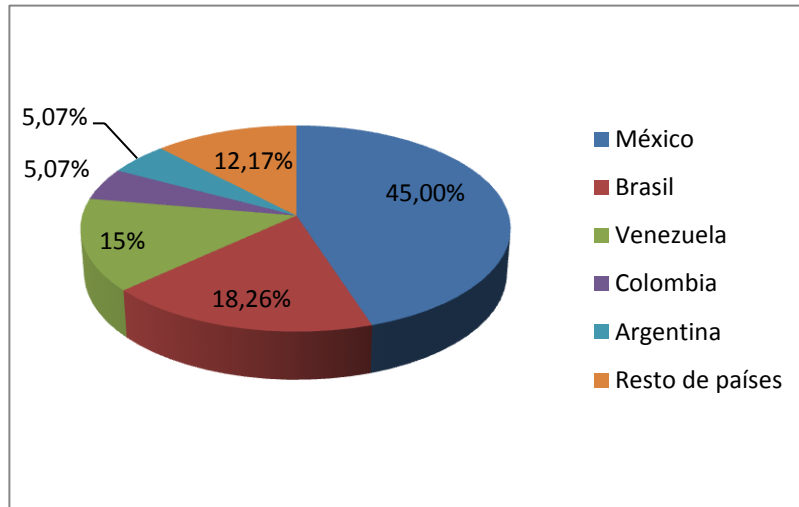
En cuestión de exportación y comercialización de biocombustibles, al igual que otros productos de cualquier índole, los factores institucionales y legislativos hacen

²⁴ Eléctrica y calefacción.

fuerte presencia en el mercado. Por tanto los países deben acogerse a las condiciones políticas de otros países con los que se pretende comerciar las materias primas y propiamente los biocombustibles. Aunque se habla de constantes expansiones de cultivos y comercialización de productos agrícolas que pueden aportar a la producción de biocombustibles en territorio sudamericano, solo se puede considerar el principio del desarrollo, y la implementación de primitivos esquemas económicos para el campo de los biocombustibles, ya que a nivel mundial, los principales consumidores de combustibles del sector de transportes también son grandes exportadores de productos agrícolas. Por tanto el surgimiento de dicha economía por parte de los países latinos requiere una alta inversión para poder competir con países potencia como Estados Unidos.

El consumo de gasolina para el parque automotor se incrementa con el pasar del tiempo, y se hace inminente la necesidad de impulsar los biocombustibles, ya que la producción de petróleo es cada vez más costosa y requiere que se haga cierto “colchón” con el uso de los biocombustibles. En cifras porcentuales del 2007, el consumo de gasolina en América Latina es el siguiente:

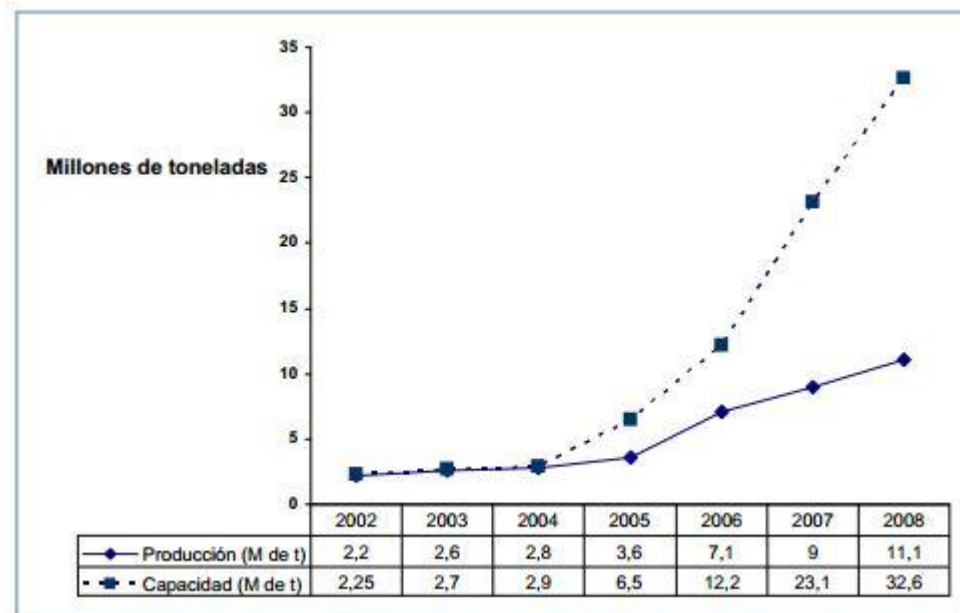
Figura 6.1. Consumo de Gasolina en América latina en 2007.
Fuente: IICA [3] Edición: Autores.



La figura 6.1 nos muestra un panorama latinoamericano del consumo de gasolina, posicionando a México y Brasil como los países de mayor aporte automotor al 2007. Estas cifras muestran sin duda el crecimiento demográfico y el desarrollo económico que tienen estos países, y son foco de atención para aquellos inversionistas en el sector de los biocombustibles, que le apuestan a naciones con alto consumo energético para posicionar sus productos.

La producción mundial de biodiesel se mantuvo relativamente estable entre dos y tres millones de toneladas anuales hasta el 2004, y en el 2005 la producción se disparó hasta alcanzar en el 2008 las 11,1 millones de toneladas. Con ello se registra una tasa de crecimiento de 37% para el período 2004-2008. En la figura 6.2., se muestra la producción y la capacidad de biodiesel en el periodo 2002-2008.

Figura 6.2. Producción y capacidad de biodiesel en el mundo (2002-2008).
Fuente: Biodiesel [1]



Durante la década pasada, la producción mundial de biodiesel se concentró en pocos países. Por ejemplo, del total durante el 2006, alrededor del 75% se produjo en Europa, donde Alemania contribuyó con el 55%, y la mayor parte del 25% restante fue producido por Estados Unidos de América. Estas cifras son muy dinámicas entre los países de América que reportan la producción de biodiesel a cierta escala comercial (como Canadá, Brasil y Argentina), mientras que la mayoría de los demás países informan una producción incipiente o en una escala de prueba. Aunque se puede producir biodiesel de cualquier aceite, las fuentes que han sido utilizadas hasta el presente son pocas. La producción de la unión europea proviene principalmente del aceite de colza y en menor medida del aceite de palma aceitera, mientras que la producción de los Estados Unidos proviene principalmente del aceite de soja. En términos potenciales, se puede decir que para los países de climas templados, la materia prima para la producción de biodiesel proviene del aceite de la colza y de soja, mientras que para los países

subtropicales y tropicales, procede del aceite de la palma africana y otras oleaginosas.

En la tabla 6.1, se puede observar la evolución del consumo de diesel en América Latina hasta 2008, donde se destacan Brasil, México y Argentina, con los mayores consumos. A 2008 Colombia tuvo un consumo de 3 billones de litros.²⁵ Sin embargo del 2008 hasta hoy se puede esperar un cambio drástico en estas cifras, ya que en tema político y gubernamental, como es de esperarse, algunos países se armaron de leyes y normas que favorecieron la producción y consumo de mezclas a la gasolina y el diesel convencional, como veremos en capítulos posteriores. Esto impulsó el diesel en el caso de Brasil, en comparación con la gasolina, lo que significó un aumento en las cifras de consumo de mezcla diesel – biodiesel.

Tabla 6.1. Consumo de diesel en América Latina. Fuente: Gazzoni [9].

Región/ país	Millones de litros			
	1990	2000	2003	2008*
América Central y el Caribe	11 443	14 990	16 552	26 485
América del Sur	29 874	46 398	47 018	75 229
Total	41 317	61 387	63 571	101 714
Argentina	4 522	7 915	6 637	10 619
Bolivia	269	370	463	741
Brasil	17 939	26 280	27 325	43 720
Chile	1 477	3 051	3 207	5 131
Colombia	925	1 830	2 058	3 293
Costa Rica	345	465	610	976
Cuba	442	262	245	392
República Dominicana	351	871	682	1 091
Ecuador	887	1 730	1 931	3 090
El Salvador	262	514	519	830
Guatemala	274	601	753	1 205
Haiti	84	140	163	261
Honduras	211	346	457	731
Jamaica	109	143	167	267
México	8 726	10 465	11 372	18 195
Antillas Danesas	221	315	369	590
Nicaragua	163	346	352	563
Panamá	179	307	643	1 029
Paraguay	424	795	986	1 578

²⁵Sistema Inglés (billón son mil millones de litros).

Perú	1 157	2 147	2 213	3 541
Trinidad y Tobago	77	213	221	354
Uruguay	275	559	522	835
Venezuela	1 998	1 722	1 676	2 682

En el 2008, el mercado estimado de diesel en América Latina fue de aproximadamente 101 billones de litros. El mayor productor fue Brasil con 43 mil millones de litros seguido de México con 18 mil millones de litros.

También se observa que en Colombia la producción de biodiesel aumentó de 2003 a 2008 un 50%. Esto se debe a las políticas favorables, implementadas por el Gobierno Nacional, donde se favorece el sector agrícola e inversionista, con beneficios y excepciones de pago de aranceles e impuestos. Dichos estímulos fueron aprovechados por sectores bioenergéticos como el de palma de aceite y caña de azúcar. Según estudios del Ministerio de Agricultura, de la materia prima usada para obtener bioetanol y biodiesel en Colombia, la palma africana y la caña tienen los más altos rendimientos comparadas con otras materias primas.

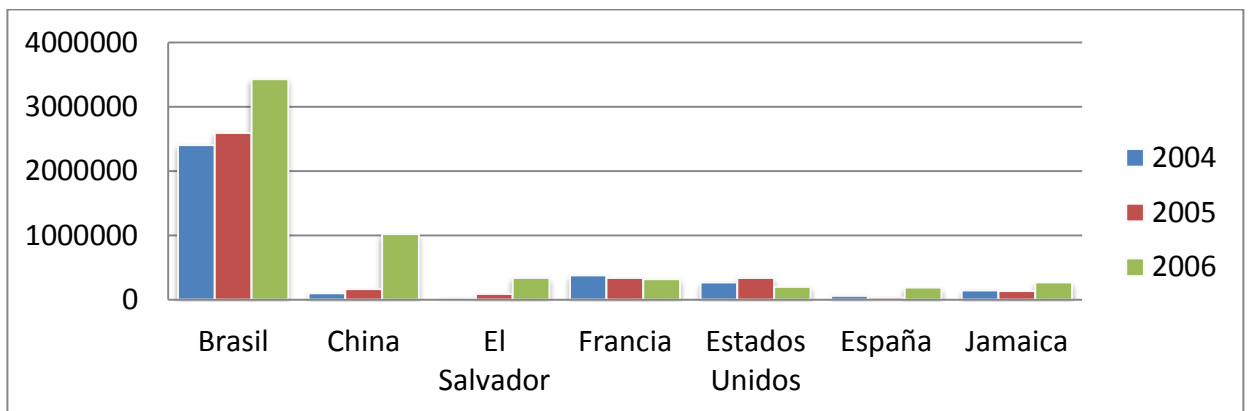
Tabla 6.2. Principales materias primas de biodiesel y bioetanol en Colombia.
Fuente: Ministerio de agricultura [4]

BIODIESEL		BIOETANOL	
Cultivo	Rendimiento (L/ha/año)	Cultivo	Rendimiento (L/ha/año)
Palma	5.550	Caña	9.000
Cocotero	4.200	Remolacha	5.000
Higuerilla	2.600	Yuca	4.500
Aguacate	2.460	Sorgo dulce	4.400
Jatropha	1.559	Maíz	3.200
Colza	1.100		
Soja	840		

6.2. Producción de etanol en América Latina

Debido al mercado joven, limitado y en desarrollo de la materia prima para producir biocombustibles, comparado con el petróleo, la producción y comercialización se hace con fines internos. La producción agrícola americana viene creciendo muy rápidamente, por consiguiente los precios tenderán a aumentar siempre que la demanda crezca. Pero existe mucha incertidumbre alrededor de estos esquemas económicos, ya que es probable que en un futuro próximo, la oferta no sea suficiente para la demanda interna. Además existen políticas que favorecen el movimiento de etanol en países como El Salvador, Jamaica y Costa Rica se benefician del “Caribbean Basin Initiative” (CBI)²⁶ exportando sus productos a Estados Unidos sin pagar impuestos, lo cual promueve el desabastecimiento de otros países no productores. El principal movimiento es el de deshidratación del etanol proveniente de Brasil para luego comercializarlo con Estados Unidos, por tanto Brasil es un exportador indirecto de etanol a norte América. En el 2006, Brasil fue el principal exportador de etanol a nivel mundial donde sin duda ha hecho posible el comercio y el crecimiento de la oferta debido a la producción de etanol a partir de caña de azúcar (ver figura 6.3). El segundo exportador fue China a pesar de los impuestos cobrados para reducir las exportaciones, tratando de impulsar el mercado interno.

Figura 6.3. Exportación mundial de etanol de 2004 a 2006.
Fuente: F.O. [11]. Edición: Autores.



En cuanto a datos del costo de producción de etanol, se ubican en un rango de 0.27 a 0.51 USD/l [2], el cual depende básicamente de factores como la disponibilidad de la materia prima y la eficiencia de la técnica empleada en su

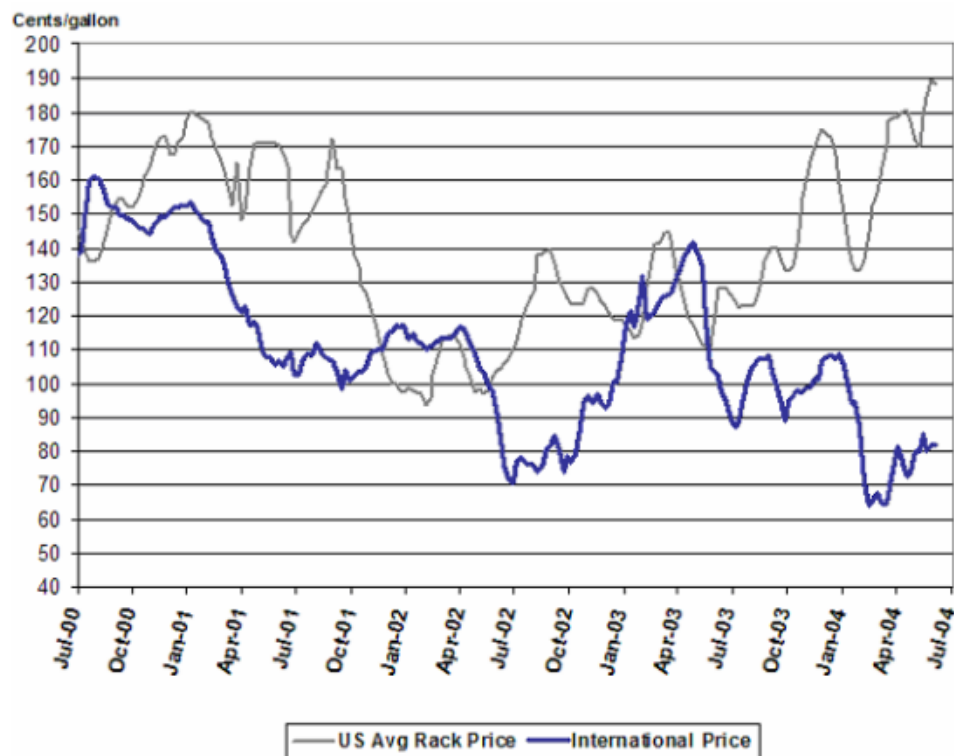
²⁶ CBI: Tratado que beneficia a los países de Centroamérica y el Caribe. Entró en vigencia en 1984.

producción, sumado a los incentivos y políticas internas y de exportación para su producción masiva. Entre 2000 y 2007 la producción mundial de etanol se triplicó y se situó en los 62 millones de litros, y el biodiesel aumentó su cifra en 10 veces durante el mismo periodo.²⁷ Es de esperarse que con el aumento o disminución de los costos y los precios del etanol, exista una volatilidad que tiene como resultado la escasez de otros sectores productivos agrícolas. Un factor determinante en la volatilidad de los precios, es el aumento del precio del petróleo, ligado a los costos en energía para producir, y el costo de fletes y transporte.

En la figura 6.4 se encuentra la variación en los precios del etanol internacional en contraste con los precios propuestos por Estados Unidos para consumo interno. Se observa que los precios disciernen uno del otro debido a la oportunidad y riesgo en el mercado, es decir a una posible ganancia del procesamiento local de etanol importado por parte de Estados Unidos. Los precios internacionales obedecen principalmente a Brasil, por su alta contribución de etanol en el mercado, como vimos anteriormente.

Figura 6.4. Precios del etanol en el mercado norteamericano y mundial.

Fuente: F.O. [11].

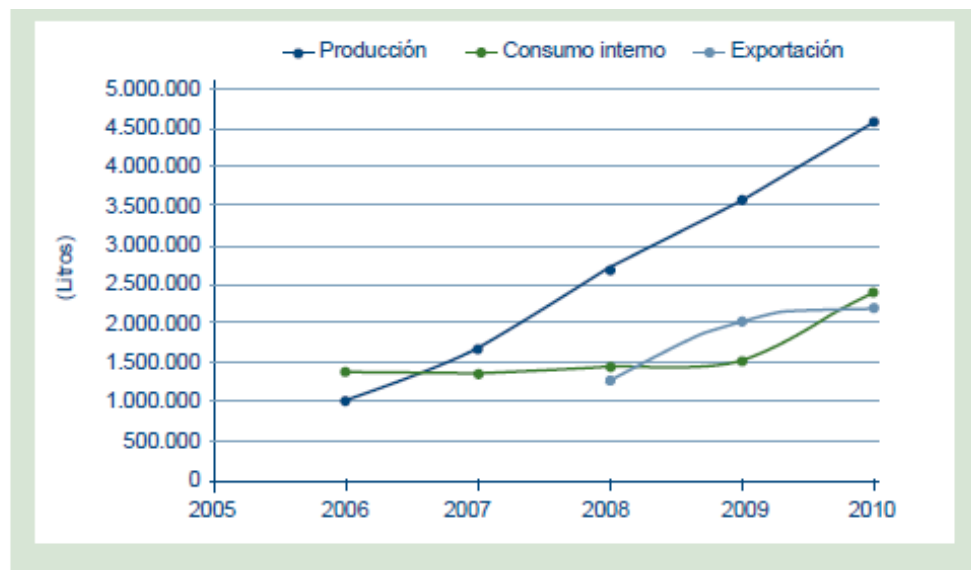


²⁷ Datos obtenidos de Aglink-Coslmo de la FAO.

En el panorama nacional, Colombia es uno de los países en América Latina de mayor producción de azúcar para el etanol. Cuenta con excedentes exportables lo cual abre una puerta a nuevos mercados y tratados de exportación, por tanto creación de empleo y crecimiento de la economía. Además puede abrir la brecha para la producción de otros productos como maíz, soya y yuca. Por tanto se tiene mucha expectativa en el crecimiento e inversión en el sector agrícola. En primera medida se tienen dos estadísticas en Colombia, el Ministerio de Agricultura y Asocaña. Las dos indican que los rendimientos de caña por hectárea y de azúcar por tonelada de caña aumentaron un 0.4% anual promedio en 2005.

Asocaña calcula que el consumo anual de gasolina para las ciudades de más de 500 mil habitantes y áreas metropolitanas (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Pereira, Bucaramanga) ronda los 76.7 Kilo barriles por día (12 millones de litros por día). Por tanto, con éstas cifras, se necesitarían 7.67 KBD de alcohol anhidro, para oxigenar las gasolinas con un 10% (1.2 millones por día). Para el 2010 la producción de etanol se incrementaría un 75%. Las primeras plantas de alcohol comenzaron a funcionar en octubre de 2006 (Incauca y Manuelita). Posteriormente se inauguraron los ingenios Mayagüez, Providencia y Risaralda. De la producción y comercialización de etanol se benefician el gobierno, el sector privado y los agricultores, por tanto el crecimiento constante de la economía. La producción favorece la exportación como se puede observar en la figura 6.5.

Figura6.5. Producción, consumo y exportación de etanol en Colombia.
Fuente: Ministerio de Minas y Energía [4]



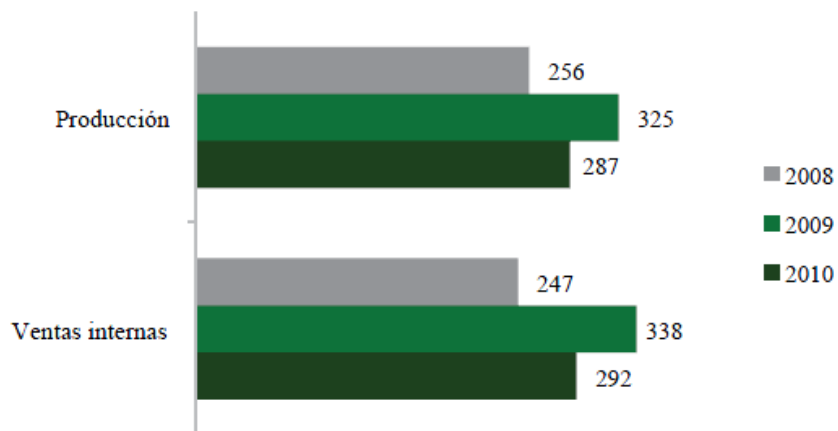
El mercado de azúcar en Colombia puede calificarse como precio-aceptante. Es decir, Colombia no es formador del precio internacional, pues si bien se encuentra

entre los quince mayores productores y exportadores de azúcar del mundo, su participación en la producción mundial es de apenas 2,0%. Adicionalmente, el mercado azucarero colombiano es abierto, toda vez que no existen restricciones a las importaciones de azúcar y solo opera el pago de un arancel, que puede llegar a ser cero, como ocurrió durante gran parte de 2010. De esta forma, el precio nacional del azúcar depende estrechamente de factores de oferta y demanda ligados a la coyuntura azucarera mundial. Durante 2010 los cinco ingenios del sector azucarero colombiano produjeron 287,1 millones de litros de alcohol carburante, 11,6% menos que en 2009, cuando la producción nacional del biocombustible llegó a 324,6 millones de litros [6].

En la figura 6.6 se destaca una caída de 11,6% en la producción nacional y de 13,7% en las ventas durante 2010. En lo corrido de 2011 el programa de oxigenación de la gasolina volvió a la normalidad, luego de una suspensión debido a la afectación en el mercado azucarero, registrada anteriormente; y actualmente beneficia a los consumidores del combustible mezclado en todo el territorio nacional. Una pequeña parte de las ventas internas en 2009 y 2010 corresponden al consumo de etanol importado.

Figura 6.6. Balance de etanol en Colombia (2008-2010).

Fuente: Asocaña [6]



Actualmente se encuentran 6 principales plantas en funcionamiento, las cuales se encuentran en su mayoría en el sur occidente del país (Tabla 5.5).

6.3. Producción de biodiesel en América Latina:

Colombia, Uruguay y Argentina se ubican a la vanguardia en el uso y producción de biodiesel en Latinoamérica. Se estima que en Argentina hay una capacidad instalada de 50,000 ton/año de biodiesel y existe una ley nacional, aprobada en el año 2005. Esta ley establece como meta la inclusión de biodiesel en proporciones del 5% en todo el gasoil comercializado en ese territorio para el año 2010. Existen entre 30 y 50 plantas de pequeña escala, cuyas capacidades alcanzan los 200,000 gal/año [10].

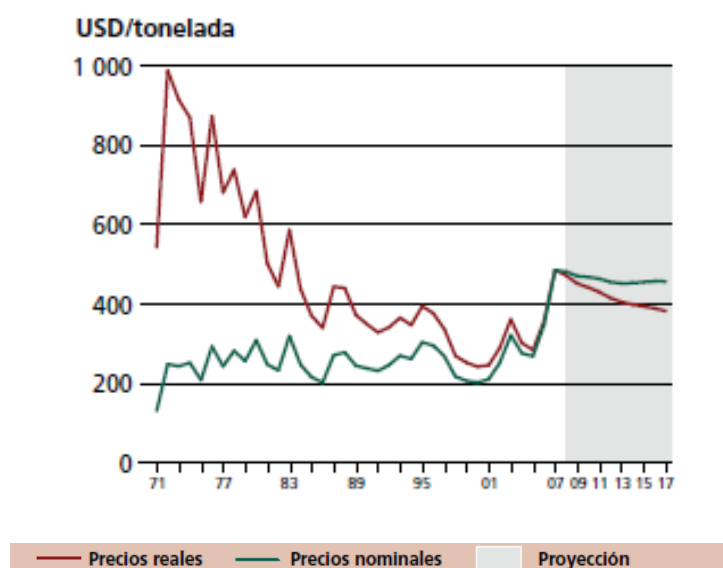
Por otra parte, en Perú la empresa “Heaven Petroleum Operators” inició su producción en una planta en Lurín, a principios del año 2006 con una capacidad de 20 millones de gal/año. Además, hay planes de construir una refinería de biodiesel cerca del Puerto Callao en Lima, con una capacidad de producción de 16.8 millones de gal/año.

Como marco de referencia, en Estados Unidos la demanda de biodiesel ha aumentó dramáticamente, gracias a la exitosa campaña y a la inclusión sensata del biodiesel en el transporte pesado y agrícola, y en la generación de potencia. Esta iniciativa fue abordada por países de Latinoamérica con la inversión en el sector agrícola y en el sector de transporte masivo. Pero a pesar de su prometedora expansión comercial, el biodiesel enfrenta varios obstáculos para extender su uso comercial, además de los mencionados anteriormente (de carácter político y económico), según Hilbert se debe tener en cuenta:

- Pocas modificaciones a los motores en uso.
- Baja reducción de la potencia o limitaciones en las condiciones de empleo.
- Bajas inversiones en el proceso de sustitución.
- Disponibilidad a corto plazo.

A raíz de la producción de etanol y biodiesel, se han incrementado drásticamente los precios de productos agrícolas debido a la demanda de biocombustibles y en algunos sectores a la especulación de los precios. Pero como se observa en la figura 6.7 los precios tienden a estabilizarse y en unas proyecciones hasta el 2017, los precios de los productos agrícolas que son materia prima de biocombustibles serán favorables para el aumento de la oferta de los mismos. Uno de los principales factores favorables es el fortalecimiento de los mercados y tratados de libre comercio entre países.

Figura 6.7. Historia y proyección de precios de semillas oleaginosas.
Fuente: OCDE-FAO [2].



No obstante debe superar otros obstáculos como la competencia petrolera y contar con el apoyo de tecnología e inversión, ya sea estatal o privada para incentivar la agricultura y así poder obtener suficiente materia prima para el biodiesel. En Colombia actualmente se encuentran en funcionamiento 6 plantas, dos plantas más entrarán en funcionamiento y se aumentará la capacidad a 546 mil toneladas año; la de Ecodiesel en Barrancabermeja y la de Biocastilla de Castilla la Nueva (Meta), que pasan a complementar un grupo de ocho (Tabla 5.7 y figura 6.8).

Con esta producción se espera satisfacer el 10% de las necesidades del biodiesel en el país, lo que representa un total de 130 mil hectáreas de palma de aceite, que generarán un empleo directo y dos indirectos, por cada ocho hectáreas sembradas.²⁸ Con la incursión de estas nuevas plantas, se quiere aumentar de 5 y 7% de mezcla de biodiesel y ACPM a un 10%.

De esta forma, el país comienza a prepararse para el 2012, cuando se pondrá en vigencia el Decreto 2629, en el que se establece que, a partir del primero de enero, todo vehículo cero kilómetros tendrá que estar en la capacidad de trabajar hasta con biodiesel al 20 por ciento (B-20).

²⁸ Jorge Bendeck. Presidente de Fedebiocombustibles.

Según el presidente ejecutivo de Fedepalma, a pesar de que los resultados de todas las pruebas han sido excelentes, en el país no se puede pensar en llegar a una mezcla del 30 o del 50 por ciento de biodiesel, ni a corto ni a mediano plazo, ya que se necesitaría tener más áreas de cultivos de palma y más plantas destinadas, únicamente, para la producción del biocombustible [4].

En cuanto a proyectos de construcción, se están financiando plantas a pequeñas escala, con el diseño, construcción y puesta en funcionamiento, con aporte de recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de cuatro plantas, dos de biodiesel en Tumaco y Zulia, a partir de aceite de palma con capacidad de 3.000-10.000 litros/día y dos de etanol en Barbosa y Frontino, a partir de la caña de azúcar, con capacidad 5.000 l/día.

Figura 6.8. Producción de biocombustibles en Colombia 2010.
Fuente: Fedebiocombustibles [5].



Naturalmente con el crecimiento económico y el estímulo a la inversión en el sector palmicultor y azucarero colombiano, se estima un crecimiento considerable en la producción de etanol y aceite en todo el territorio nacional por parte de pequeñas y medianas empresas, las cuales comercializan la materia prima y aumentarán la capacidad de producción del país

6.4. Participación de los autores:

Los biocombustibles tienen una incidencia positiva en la problemática del cambio climático causado por los gases de efecto invernadero.

Esto ha llevado a la humanidad durante varias décadas a impulsar y desarrollar sistemas de producción de biocombustibles. Revisando el contexto mundial e histórico se encuentra que en 1936 en Francia ya se consumían este tipo de sustancias, en 1975 Brasil con el programa “proalcohol” sustento la crisis energética de ese entonces.

El mercado internacional de biocombustibles aún es limitado y está en proceso de formación. Gran parte de la producción mundial se dirige hacia el mercado interno del país productor. Sin embargo al investigar las diferentes fuentes de información se observa que la producción de bioetanol está más avanzada que la producción de biodiesel. En el contexto mundial, los países industrializados ven en los biocombustibles una manera aparente de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector transporte e industrial y diversificar las fuentes de energía. Los países en desarrollo han visto en los biocombustibles la posibilidad de impulsar el desarrollo rural, crear puestos de trabajo y ahorrar divisas. Por otra parte países como Colombia, E.E.U.U. Canadá, Tailandia, India, la Unión Europea han considerado planes estratégicos para desarrollar estos productos con nuevos objetivos, algunos de carácter obligatorio, donde se aumenta la participación en el sector transporte.

En el caso de América Latina, esta es una región agrícola. Los pequeños y grandes países que conforman este continente tienen en los productos del campo importantes rubros para sus exportaciones.

Bibliografía

- [1] Ajanovic A., Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices?. Viena University of technology. 2010.
- [2] Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia (Asocaña). Informe anual 2010-2011.
- [3] Cifuentes M., Biocombustibles en Colombia. 2010.
- [4] FAO. Documento informe versión online:
<http://www.fao.org/docrep/013/i1712s/i1712s06.pdf>.
- [5] Federación Nacional de Biocombustibles.
- [6] Gazzoni D., Biocombustibles y alimentos en ALC. San José, CR, IICA. 2009. Disponible en:
<http://www.iica.int/Esp/organizacion/LTGC/modernizacion/Publicaciones%20de%20Modernizacion%20Institucional/B1569E.pdf>.
- [7] Hilbert J., Panorama actual del biodiesel [En línea] Argentina. Centro de Investigación de Agroindustria e Instituto de Ingeniería Rural INTA. 2006. Disponible en el sitio web:
http://www.proteccionline.com/contenidos_pp/pp6/pp_01.htm
- [8] Informe "A Blueprint for Green Energy in the Americas 2009".
- [9] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Atlas de agroenergía y los biocombustibles en las Américas. 2007.
- [10] Jikun Huang, Jun Yang, Siwa Msangi, Scott Rozelle, Alfons Weersink. Global biofuel production and poverty in China. 2012.
- [11] Munish Puri, Reinu Abraham, Colin Barrow. Biofuel production: Prospects, challenges and feedstock in Australia. 2012.
- [12] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Biocombustibles: Perspectivas, riesgos y oportunidades. 2008. Versión en línea. <http://www.fao.org/publications/sofa-2008/es/>.
- [13] Poonam Singh Nigam, Anoop Singh. Production of liquid biofuels from renewable resources. 2010.
- [14] Revista Portafolio. Versión en línea.
<http://www.portafolio.co/archivo/documento/CMS-7381736>.
- [15] www.aper.org.py/biocombustibles

7. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

7.1. Impacto global

En la actualidad son muchas las opiniones que se encuentran sobre el impacto que generan los biocombustibles, hay quienes sostienen que los biocombustibles generan grandes impactos negativos en la ecología y en la economía mundial, como lo menciona el Dr. Jesús Rubén Azor, en su artículo “El impacto de los biocombustibles” [1], o el premio Nobel en Química, Hartmut Michel, al decir que los biocombustibles no ahorran emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y que incluso pueden agregar un mayor daño ecológico del que reparan [2], por citar algunos de ellos. Por otro lado, hay quienes defienden los biocombustibles aunque aceptan su repercusión en los mercados agrícolas mundiales, el medio ambiente y la seguridad alimentaria, reconocen que existe un riesgo, cuyo desenlace puede generar oportunidades de desarrollo, o conllevar consecuencias negativas para la seguridad alimentaria de la población más pobre del mundo como lo explica la FAO²⁹ en su artículo “El estado mundial de la agricultura y la alimentación (2008)” [3].

Vale la pena reconocer que la idea de poder cultivar productos con la finalidad de elaborar combustibles y no depender de una reserva fósil finita resulta atractiva, pero el cultivo de estos productos genera impactos socio-económicos y ambientales.

7.1.1. Impacto social y económico

El impacto que puede generar, surge a partir de la materia prima que se usa para producirlo, puesto que las materias primas empleadas en la elaboración de los biocombustibles (maíz, soja, azúcar, girasol, colza) son también recursos empleados para la alimentación humana. Generando así un incremento en la demanda de los cultivos, poniendo a los agricultores a decidir acerca de a quien le venden sus productos, resultando más rentable para ellos vender su cosecha para la elaboración de biocombustible que para el consumo humano, lo que provoca una subida en los precios a los consumidores de estas materias primas. Además de lo mencionado anteriormente, incita a la expansión de la frontera agrícola, sobre ecosistemas frágiles o sobre bosques y selvas.

²⁹Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

La producción de biocombustibles ha influido en el aumento de los precios de los alimentos (maíz, trigo y caña de azúcar), que probablemente se mantendrán creciendo durante la próxima década. Estos aumentos no solo incluyen los alimentos utilizados para la producción de combustible, sino que también se han expandido a las carnes y vegetales.

Estados Unidos es el principal productor de bioetanol en el mundo (Tabla 7.1) y a su vez el principal exportador agrícola mundial [4]. Esto ha generado inestabilidad en los precios de los países vecinos como es el caso de México, país con el cual existen fuertes vínculos comerciales. Allí se presentó un alza en el precio del maíz importado de Estados Unidos de aproximadamente el 100%. Esto hace claramente apreciable el conflicto alimento-biocombustible.

Tabla 7.1. Países productores de Bioetanol.
Fuente: Minería Panamericana [4]

PAIS	%
Estados Unidos	54.7
Brasil	33.2
China	2.5
Canadá	1.4
Francia	1.3
Alemania	1.1
España	0.7
Tailandia	0.6
Bélgica	0.4
Colombia	0.4
Otros	3.8

De las casi 40 millones de toneladas en que aumentó la utilización mundial del maíz en 2007, prácticamente 30 millones fueron absorbidas únicamente por las plantas de etanol, sobre todo de Estados Unidos. En la Unión Europea, se calcula que el sector de biodiesel ha absorbido aproximadamente el 60% de la producción

de aceite de colza de los estados miembros desde 2007, lo que equivale al 25% de la producción mundial y al 70% del comercio mundial de este producto en 2007³⁰.

Aunque, no todo el impacto socio-económico generado por los biocombustibles es negativo, se destacan beneficios como la generación de un impacto positivo en el medio ambiente al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el fortalecer la seguridad nacional al sustituir importaciones de combustibles fósiles como el petróleo, y el fomento del crecimiento económico para los campesinos³¹ en regiones agrícolas a través de la creación de demanda de cultivos locales.

En Colombia, existe una situación que poco ha sido estudiada pero que se debe analizar desde ya: cómo a futuro la petroquímica será reemplazada por la alcoholquímica y la oleoquímica, lo que generará competencias internas con los biocombustibles. Por tanto habrá fluctuaciones en el precio de los hidrocarburos debido a una posible especulación en el futuro del mercado de acuerdo con la demanda de energía renovable.

El país exhibe un gran potencial para la producción de biodiesel el cual podría servir como un ejemplo para otros países de la región, es el quinto mayor productor y exportador de aceite de palma en el mundo y es cuarto en términos de rendimiento por hectárea. Este país cuenta con 190 mil hectáreas plantadas y un plan nacional que requiere el cultivo de 640 000 ha adicionales para el año 2020 [6].

La producción de biocombustibles puede representar una oportunidad importante en la generación de empleos e ingresos en toda la cadena productiva. Es prácticamente imposible hacer una evaluación precisa de estos impactos, una vez que los resultados son fuertemente dependientes de las políticas públicas y del mercado fluctuante. Se considera un período de 15 años, entre el 2015 y el 2030, en el cual se produciría la sustitución parcial y progresiva de gasolina y el diesel por etanol y biodiesel.

En las condiciones actuales, por unidad de energía producida, la producción de bioetanol requiere, 38, 50 y 152 veces más mano de obra humana en comparación con el carbón, la energía hidroeléctrica y el petróleo, respectivamente [7].

³⁰Idem

³¹Los beneficios e incentivos a los campesinos se explica en el capítulo 8.

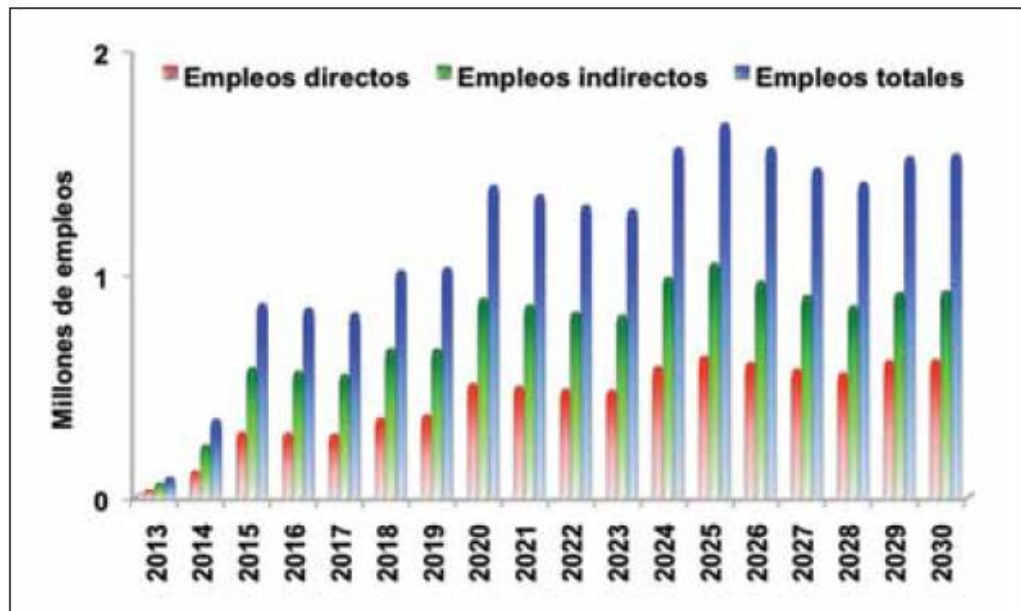
Estudios realizados en Brasil como lo presenta [6] muestran una estimación de los empleos generados y la evolución en la cadena de biodiesel y etanol, los cuales se pueden apreciar en la tabla 7.2 y figuras 7.1 y 7.2.

Tabla 7.2. Empleos generados en la cadena de etanol y biodiesel, por millón de litros producidos. Fuente: Gazzoni D [6]

Cadena	2015		2020		2025		2030	
	Dir.	Ind.	Dir.	Ind.	Dir.	Ind.	Dir.	Ind.
Etanol	22	44	18	30	12	22	8	15
Biodiesel	50	100	40	70	30	50	20	30

Las estadísticas de generación de empleo se hicieron para los 22 países de mayor representación en América Latina. La reducción de empleos por millón de litros producidos a medida que avanzan los años (tabla 7.2) se debe a los posibles avances tecnológicos y en el mejoramiento de la automatización en la cadena productiva. Para el 2020 también se estima la creación de 507.058 empleos directos y 887.351 empleos indirectos [6].

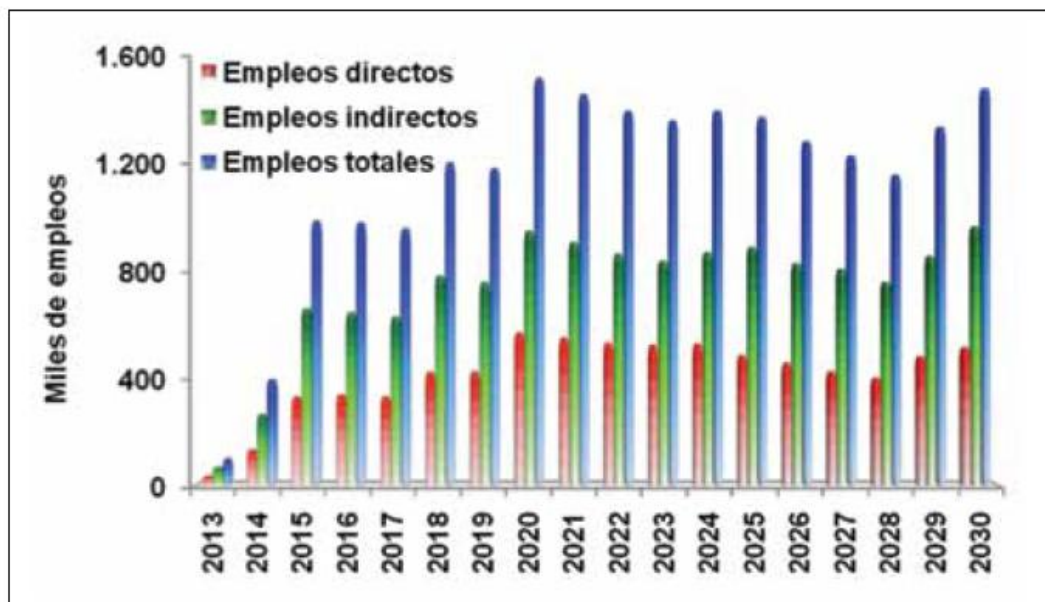
Figura 7.1. Empleos generados en la cadena de producción de biodiesel. Fuente: Gazzoni D [6]



Debido a la disponibilidad de tierras para el cultivo energético, no se anticipa el riesgo de que se pueda promover una concentración de la propiedad en manos de pocos agricultores. Sin embargo, países con baja capacidad de expansión podrían

experimentar problemas con la propiedad de la tierra por su valoración. Para evitar problemas de concentración de la propiedad de la tierra, se debe fortalecer las políticas públicas, en especial fiscales, que beneficien a los pequeños agricultores familiares para que puedan competir con otros productores de escala mayor. También deben ser asistidos técnicamente para mejorar su capacidad de producción y eficiencia, y asesoramiento para la adecuada compra de maquinaria, insumos y herramientas para el proceso, para garantizar la sostenibilidad y competitividad de sus negocios.

Figura 7.2. Empleos generados en la cadena de producción de etanol.
Fuente: Gazzoni D [6]



7.1.2. Impacto ambiental

A raíz de la enorme demanda de combustibles, los biocombustibles tienen como reto, satisfacer dicha demanda, para ser una alternativa viable, que con las técnicas actuales implicaría la ampliación del área de cultivo, poniendo en peligro el ecosistema. Puede acarrear otros efectos ecológicos negativos como la destrucción de selvas y praderas naturales y su deforestación, la utilización de grandes cantidades de agua y su contaminación a partir de la implementación de pesticidas y fertilizantes ilegales.

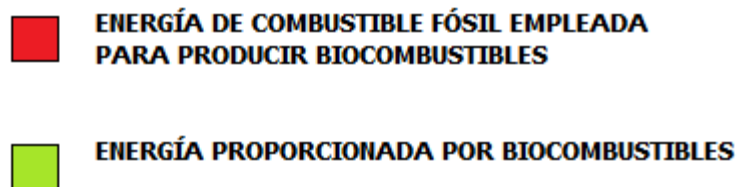
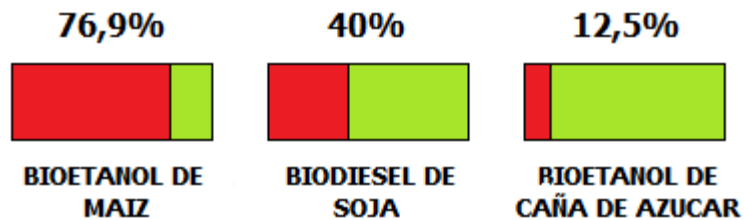
Es por tanto necesario establecer áreas de cultivo controladas que no afecten las áreas naturales, o desarrollar técnicas de aprovechamiento de subproductos agrícolas que no hagan necesario ampliar el área de cultivo.

A la hora de producir biocombustibles, un factor que cobra importancia es conocer la cantidad de combustible fósil necesario para producirlos. Poniendo en evidencia la relación entre el CO₂ producido en la elaboración del combustible, y el que se desea evitar.

En la figura 7.3, se aprecia el porcentaje de combustibles fósiles que se requiere para producir biocombustibles, el bioetanol a base de maíz, es extremadamente pobre en cuanto a su balance energético, el biodiesel a base de soja, es también bajo [8 y 11]. Lo opuesto al bioetanol a base de caña de azúcar, cuyo balance energético es alto. Lo que apunta a un aumento en el desarrollo de éste tipo de biocombustible, pero, sin descuidar que el cultivo impulsa la deforestación y el crecimiento de emisiones por pérdida de masa forestal y por cambio en el uso del suelo.

Figura. 7.3 Porcentaje de combustibles fósiles requeridos para producir biocombustibles. Fuente: www.sitiosolar.com [8]

PORCENTAJE DE ENERGÍA DE ORIGEN FÓSIL QUE SE REQUIERE PARA PRODUCIR BIOCMBUSTIBLES

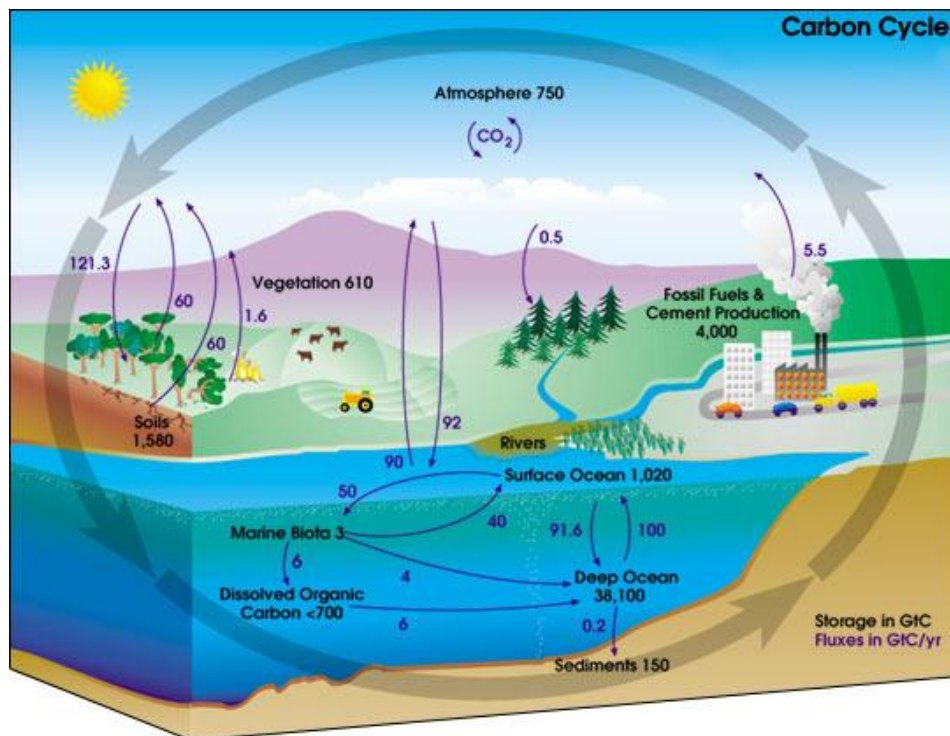


Una de las principales razones que se esgrimen para impulsar el uso de los biocombustibles en el transporte es la urgente necesidad de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La percepción de que los biocombustibles no implican emisiones de GEI no siempre es una ecuación sencilla de demostrar, para ello es necesario referirse al ciclo del carbono (Figura 7.4).

El ciclo del carbono se le conoce a las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre biosfera, atmósfera, hidrosfera y

litosfera. Este es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos en nuestro planeta, debido a que de él depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico y fundamental de todo ser vivo. Grandes controversias se han creado alrededor de este ciclo en tema de biocombustibles, algunos solo tienen en cuenta medio ciclo, es decir, el CO_2 que la biomasa emite a la hora de la combustión, otros toman en cuenta el ciclo completo donde consideran la captación de CO_2 durante el crecimiento de las plantas y el cual posteriormente se aproxima al liberado durante la combustión lo cual crea un equilibrio en la ecuación.

Figura 7. 4. Ciclo del carbono. Fuente: www.ciclodelcarbono.com [15]



En términos de los sectores industriales, el transporte es responsable del 25% de las emisiones de GEI relativas a la actividad energética a nivel global. Los biocombustibles han sido presentados como actores claves para reducir esas emisiones. Sin embargo, no es cierto que el balance de emisiones de los biocombustibles sea neutro. Diversos factores relativos al tipo de insumo utilizado, posibles cambios en el uso del suelo, la tecnología de conversión utilizada, son factores determinantes del nivel de emisiones asociadas a un biocombustible dado.

Vale la pena resaltar que existen impactos ambientales positivos por el uso de biocombustibles, como la reducción de algunos elementos que contaminan el aire, sin embargo existen diversos factores de producción y consumo que pueden llegar a generar impactos negativos. Dentro de los factores mencionados, se destacan la producción agrícola, el transporte y distribución hacia la industria, la transformación industrial, el transporte y distribución hacia el consumo y el consumo. Y otros, asociados a la producción de determinados insumos y capital productivo como fertilizantes, componentes químicos del proceso industrial, maquinaria agrícola, etc.

Con base en los datos tomados por la FAO [9], los pronósticos de avances tecnológicos, la demanda actual de combustibles líquidos y el incremento poblacional y de renta per cápita en la región, se elaboró un modelo matemático para verificar la factibilidad de producir biocombustibles en cada país del ALC, basado en un escenario de sustitución de diesel y gasolina por biodiesel y etanol, respectivamente, que incrementaría un 5% cada cinco años y empezaría en el 2015. La excepción es Brasil, que en el 2008 substituyó el 55% de la gasolina y 3% del diesel por etanol y biodiesel, respectivamente. Los mismos parámetros fueron utilizados para dimensionar la demanda futura de alimentos, para el mercado doméstico y para los principales rubros de exportación del agro regional. La conclusión final es que se demandarán 12,5 millones de hectáreas para agricultura de energía en la región. En términos porcentuales, entre el 2005 y el 2030, se estima un incremento del área agrícola de 143 millones de hectáreas (78 millones de hectáreas, provenientes del área potencial), de los cuales 6,6% serán destinados para producción de biocombustibles.

Asimismo, en el 2030, la región aún dispondrá de 521 millones de hectáreas para expansión agrícola, de conformidad con el estudio de la FAO anteriormente referido. Considérese que, con los residuos de la producción de biocombustibles, es posible producir bioelectricidad para atender parcialmente esta demanda en crecimiento en la región.

7.2. Impacto en Colombia, enfoque legal

El impacto que la producción y el uso de los biocombustibles en Colombia, siguen la tendencia mundial, impactan social, económica y ambientalmente al país, aunque con la repercusión de las políticas aquí adoptadas al respecto. Según Carrillo, es posible reducir los posibles riesgos ambientales de la producción de biocombustibles en gran escala mediante esquemas de certificación que permitan medir y comunicar el comportamiento ambiental de los biocombustibles (por

ejemplo, un índice verde de reducción de GEI). Ahora bien, la eficacia de estos esquemas de certificación necesita de la participación de todos los principales productores y compradores, y de sistemas de seguimiento bien estructurado [10].

A continuación, se enumeran algunas de las leyes colombianas en materia de Biocombustibles, que serán ampliadas en el siguiente capítulo, correspondiente a las políticas en cuanto a biocombustibles en Colombia.

Ley 693 de 2001 (Uso de alcoholes carburantes en Colombia y se crean estímulos)

- Las gasolinas que se utilicen en el país en centros urbanos de más de 500.000 habitantes, tendrán que contener compuestos oxigenados tales como alcoholes carburantes.
- Se decreto que el uso del alcohol carburante, el cual recibirá un tratamiento especial en las políticas sectoriales de autosuficiencia energética, de producción agropecuaria y de generación de empleo.

Ley 939 de 2004(Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en Motores diesel)

- El combustible diesel que se utilice en el país podrá contener biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diesel en las calidades que establezcan el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ley 788 de 2002 (Reforma tributaria)

- Se declara exento del IVA al alcohol carburante con destino a la mezcla con el combustible motor.
- Se exoneró del pago del impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor.

Ley 939 de 2004 (Se estimula la producción y comercialización de biocombustibles para uso en Motores diesel)

- Considérese exenta la renta líquida generada por el aprovechamiento de nuevos cultivos de tardío rendimiento en cacao, caucho, palma de aceite, cítricos y frutales, los cuales serán determinados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La vigencia de la exención se aplicará dentro de los diez (10) años siguientes a la promulgación de la presente ley.
- El biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diesel de producción Nacional con destino a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto a las ventas y del impuesto global.

7.3. Participación de los autores:

El impacto que generan la producción y uso de los biocombustibles, tiene como sus principales dilemas la seguridad alimentaria y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

Como se evidenció durante el desarrollo del presente capítulo, un incremento en la demanda de las materias primas para la producción de biocombustibles de primera generación, contribuye al aumento de los precios de los alimentos, amenazando la seguridad alimentaria de los compradores, y a su vez, el incremento en los precios agrava la situación agrícola.

En cuanto a los impactos en las emisiones de gases de efecto invernadero, estos varían en función de las materias primas, el lugar, las prácticas agrícolas y la tecnología. El impacto más importante está determinado por el cambio en el uso de la tierra, que produce la deforestación, afecta la biodiversidad y los recursos hídricos. Sin embargo es necesario echar un vistazo a las diferentes generaciones de biocombustibles y las materias primas a partir de las cuales se obtienen.

Estos impactos negativos pueden ser mitigados si se cuenta con una política energética sustentable que apoye la producción, comercialización y uso de los biocombustibles, asegurando la protección de la población mundial más vulnerable, garantizando su acceso a una alimentación adecuada.

Bibliografía

- [1] América Latina avanza en los biocombustibles. Minería Panamericana. 2011.
- [2] Azor, J. El impacto de los biocombustibles. Revista online de la Universidad de Mendoza. Almafuerde. Argentina
- [3] Carrillo, R. Certificación de Biocombustibles Colombianos. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008.
- [4] Cardona, C. Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial. Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2009
- [5] De Paula, G., Cristian, L., Inseguridad energética y gestión de recursos naturales estratégicos: análisis de la política de biocombustibles en Argentina en el contexto global. 2009.
- [6] FAO. Crop Prospects and Food Situation. Julio 2008.
- [7] FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. 2008.
- [8] Gazzoni, D. Biocombustibles y alimentos en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2009.
- [9] Goldemberg, J. Brazilian Energy Initiative. Apresentado no “World Summit on Sustainable Development”, Johannesburgo, sep. 2002.
- [10] González, A. Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. 2008.
- [11] <http://www.sitiosolar.com/biocombustibles.htm>
- [12] <http://www.ciclodelfcarbono.com> Revisado en Enero de 2013
- [13] Journal of Technology Management & Innovation. Universidad Alberto Hurtado, Facultad de Economía y Negocios.
- [14] N. de la T/D.B. Un estudio del UMH concluye sustituir el petróleo por biocombustibles es hoy inevitable. EL mundo. Agosto. 2007.
- [15] Sanhueza, E. Agroetanol ¿un combustible ambientalmente amigable? Revista Interciencia. 2009.

8. POLITICAS EN CUANTO A BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

8.1. Situación legal de los biocombustibles en Colombia

Existen temores de los inversionistas a cambios inesperados en la normatividad colombiana, ya que existen irregularidades en la normativa y no siempre se ajusta a patrones comunes. Por lo tanto es muy importante que la regulación hecha en Colombia para el sector sea permanente, o por lo menos que se mantenga favorable un tiempo prolongado, para promover la llegada de inversionistas extranjeros al igual que ocurre con los hidrocarburos y la minería [1].

Como la política de Estado ha sido siempre la de promover el desarrollo energético con estímulos al sector, existe oposición por parte de diferentes gremios productores de alimentos del sector agrícola que critican las políticas económicas adoptadas a favor de los biocombustibles. Pero dicho beneficio puede traer consigo una mejora multilateral de varios gremios productores del país, ya que el tema energético afecta sin lugar a dudas todo el sector productivo. A partir de la Ley 693 de 2001, se establecen los intereses que se deben manejar a favor a varios aspectos, entre ellos ambientales y sociales, los cuales se contemplan en la figura 8.1.

Figura 8.1. Criterios para la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles. Fuente: UPME [5]



El Gobierno Nacional, bajo el marco del Plan Nacional de Desarrollo (PND) que entró a regir en el 2006, implementó un marco normativo, tributario y financiero para la producción, comercialización y uso de los biocombustibles en el país, el cual otorgó al Ministerio de Minas y Energía (MME) la función de regular y discernir las tarifas y los precios de los biocombustibles. A su vez el PND dispone que el MME deba garantizar que la gasolina consumida en todas las regiones contenga 10% de alcohol carburante y 5% de biodiesel para el ACPM en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes. A partir de enero de 2010 se hizo obligatoria la medida en todo el territorio nacional.

Entre otras funciones, el MME debe promover la competencia, inversión y desarrollo de los biocombustibles, por tanto en los últimos años se ha impulsado la producción agropecuaria y la conquista de nuevos mercados. De esta forma los biocombustibles se encuentran dentro de las estrategias prioritarias del sector agrícola y energético del país.

El MME en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) dictan las medidas técnicas, la calidad y seguridad para la producción y uso de los biocombustibles, temas expuestos en la Resolución 1565 de 2004 [3] y las 180782 y 182087 de 2007 [4]. En cuestiones ambientales y de ordenamiento territorial, se hace énfasis en el aprovechamiento de la posición geográfica colombiana para el cultivo y producción de biomasa y materias primas para los biocombustibles, teniendo celosa precaución de la posible afectación de ecosistemas ligados intrínsecamente con la población y fauna colombiana. Otros aspectos como la seguridad alimentaria son expuestos entre los lineamientos de la MAVDT.

Las leyes 788 de 2002 y 939 de 2004 establecen exenciones tributarias con el propósito de fomentar la producción y consumo de biocombustibles. Dicha ley exime del Impuesto al Valor Agregado (IVA), impuesto global y de la sobretasa al alcohol carburante que se mezcle con la gasolina en todo el país. La ley 939 de 2004 exime del IVA y del impuesto global al biodiesel y establece una exención de renta líquida por 10 años a las nuevas plantaciones de palma de aceite. Dicha exención aplica a todas las plantaciones que se desarrollen antes del año 2015.³²

Con el Decreto 383 de 2007 se establecieron estímulos para la implementación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles y se

³²Art.1°. Considerase exenta la renta líquida generada por el aprovechamiento de nuevos cultivos de tardío rendimiento en cacao, caucho, palma de aceite, cítricos, y frutales, los cuales serán determinados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La vigencia de la exención se aplicará dentro de los diez (10) años siguientes a la promulgación de la presente ley.

establecen estímulos para la inversión en el sector productivo. El estímulo de zonas francas también cubre a todos los proyectos industriales, que requieran mover equipos y materias primas sin ningún tipo de arancel. Solo se le adjunta un impuesto de renta del 15%³³.

Con la Resolución 18 0022 de 2006 se definió una banda de precios que toma el mayor valor entre un precio de estabilidad de \$4.594 pesos por galón para el Alcohol Carburante (que es equivalente aproximadamente a US\$2.26 dólares por galón), recientemente definido y un precio que reconoce los costos de oportunidad de las materias primas que se utilizan en la producción del alcohol (Paridad exportación del azúcar refinado). El precio es de \$4.523,32 pesos por galón a Septiembre de 2007 (US\$2,22 dólares por galón), dado que se viene ajustando el precio gradualmente con el fin de alcanzar el precio piso.

En la Resolución 18 1780 de 2005, modificada por la resolución 18 0212 de 2007 (Ministerio de Minas y Energía) se definió una banda de precios que toma el mayor valor entre los costos de oportunidad de las materias a utilizar en la producción del Biodiesel y el costo de oportunidad del ACPM de origen fósil, además de la garantía en la recuperación de las inversiones en ambos casos.

En la Resolución 18 0687 de 2003, posteriormente modificada con la 18 1069 de 2005 se definió la regulación técnica en relación a la producción, acopio y distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y uso de los combustibles nacionales e importados. Además especifica los requerimientos para obtener la certificación del proceso de mezcla bajo la norma de la API MPMS³⁴ la cual habla del muestreo, medida y calibración de los equipos [6]. En otras palabras, especifica las obligaciones del productor del alcohol carburante para la gasolina, resaltando las pruebas y diagnósticos periodos de dicha adición de alcohol carburante. Para las estaciones con tanques subterráneos de almacenamiento de gasolina al 10% de oxigenación, se debe hacer regulación con muestreo en laboratorio, y pruebas hidrostáticas establecidas en la norma API 1650 "Instalación de sistemas de almacenamiento de petróleo bajo tierra".

Con el polémico programa Agro Ingreso Seguro (AIS) se han implementado instrumentos financieros de crédito para la siembra de cultivos para la producción de etanol y biodiesel. Y a través del Incentivo a la Capitalización Rural (ICR) se promueve el cultivo y renovación de cultivos de palma de aceite, contemplando la

³³ Normalmente el impuesto de renta es del 36%.

³⁴ Siglas en inglés. American Petroleum Institute (API). Manual de Estándares de Medición de Petróleo (MPMS).

inversión en maquinaria e infraestructura para la obtención de biocombustibles, donde se incentiva en un 20% del valor de estos proyectos para medianos y grandes productores, y un 40% del valor para pequeños productores. Este incentivo opera a través de un abono sobre el saldo de los créditos que los productores agropecuarios toman para realizar inversiones en el sector agropecuario.

Luego se introdujo el Decreto 2328 de 2008 [10], por el cual se crea la Comisión Intersectorial para Manejo de Biocombustibles, conformada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Transporte, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Departamento Nacional de Planeación. Dentro de sus funciones están:

- Coordinar el proceso de formulación e implementación de políticas por parte de otras entidades del estado con enfoque a los biocombustibles.
- Recomendar al Departamento Nacional de Planeación, que presente a consideración del Conpes³⁵ los documentos en los que se plasme la política en materia de producción y manejo de biocombustibles.
- Coordinar con el sector privado estrategias para el manejo de las materias primas dirigidas a la producción de biocombustibles.
- Promover mecanismos de cooperación entre entidades nacionales e internacionales en relación con la producción y el manejo de biocombustibles.
- Evaluar instrumentos de promoción, ejecución y desarrollo utilizados en otros países, relacionados con el manejo, producción y/o la comercialización de biocombustibles y recomendar su implementación en el Estado colombiano.
- Las demás funciones que sean propias de la naturaleza de coordinación y orientación de su actividad.

Con el Decreto 1135 de 2009, 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, donde se especifica la transición que se debe hacer con la gasolina de E10 a E20³⁶ en el 2012.

³⁵Consejo Nacional de Política Económica y Social en Colombia.

³⁶Contenido de alcohol carburante al 10% y 20% en volumen, respectivamente.

Con el Decreto 2629 del 10 de Julio de 2007 se da una actualización a la medida obligatoria para el contenido de biocombustibles en las mezclas para transporte y el parque automotor. Establece que todo importador, ensamblador y comercializador de vehículos en Colombia y demás elementos nuevos para los motores de combustión interna debe garantizar el correcto funcionamiento de sus productos, cuando sus motores utilicen mezclas con alcohol carburante al 20% (motores flex-fuel E20) o mezclas al 20% de biodiesel (flex-fuel B20) como medida mínima de mezcla, a partir de enero de 2012.

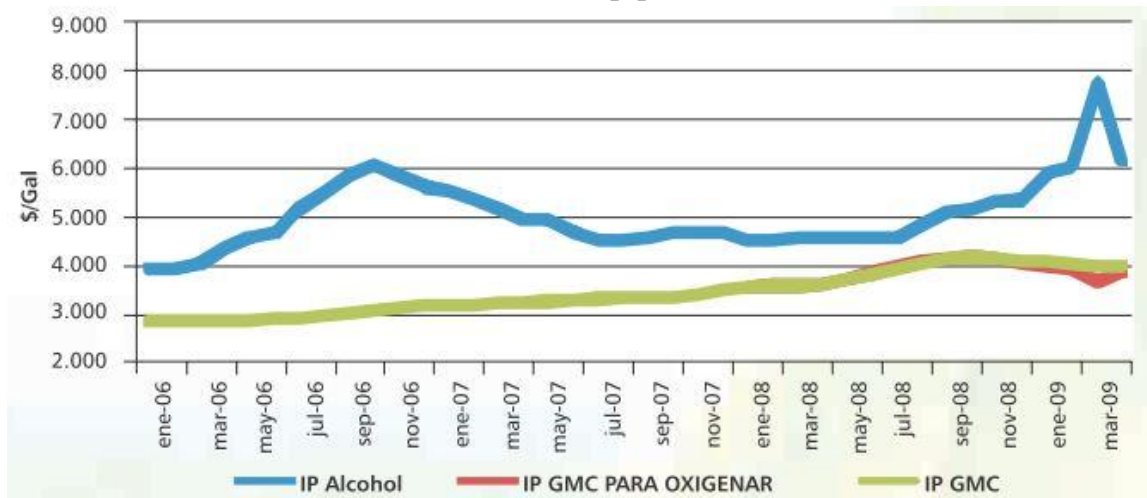
En marzo del 2008 se publicó el documento CONPES 3510 [8] que establece la política a largo plazo para el sector de biocombustibles, la cual está orientada a promover la producción sostenible en Colombia, aprovechando las oportunidades de desarrollo económico y social que ofrecen los mercados emergentes de los biocombustibles. De esta manera, se busca expandir los cultivos de biomasa conocidas en el país y diversificar la canasta energética dentro de un marco de producción eficiente. Entre sus estrategias se destacan:

- Definir un programa para la reducción de costos de producción de biocombustibles a partir del cual se puedan identificar las áreas cultivables más productivas, los mejores mecanismos de acceso a tierras cultivables y la creación de conglomerados productivos para aprovechar las sinergias entre la producción de materias primas y la transformación.
- Evaluar y definir un plan para el desarrollo de la infraestructura de transporte.
- Incentivar la producción eficiente de biocombustibles: esta medida contempla mantener los beneficios tributarios por un periodo no menor a 15 años pero paralelamente definir el sistema de desmonte de los mismos con el ánimo de promover el mejoramiento en la productividad.
- Definir un Plan Nacional de Investigación y desarrollo de biocombustibles
- Armonizar la política nacional de Biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria y nutricional para que los precios de la canasta básica no se vean alterados por la producción de biocombustibles.
- Definir un nuevo esquema de regulación de precios que tome en cuenta no sólo el costo de oportunidad de las materias primas y los precios internacionales de los combustibles, sino que incluya también un mecanismo para atenuar las consecuencias de reducciones en los mismos.
- Desarrollar acciones para abrir nuevos mercados internacionales ajustando la producción nacional a los estándares ambientales y de calidad exigidos por los grandes consumidores del mercado mundial.

- Establecer acciones para garantizar un desarrollo ambientalmente sostenible de la industria

En la figura 8.2 se hace un histograma de la evolución del ingreso al productor desde el 2006 al 2009. Es de esperarse que la fluctuación dependa en gran medida a la especulación en los precios de las materias primas. Como se evidencia, según la UPME, existe más ingreso de dinero por galón, al producir alcohol carburante en comparación con la gasolina motor corriente (GMC). A principios del 2009 ocurrió una fluctuación importante en el ingreso de producción de alcohol.

Figura 8.2. Evolución. Ingreso al productor de Gasolina y Alcohol. Fuente: UPME [5]



8.2. Normatividad técnica para los biocombustibles

La NTC 5444 [2] establece las especificaciones técnicas que debe tener el biodiesel para uso en motores de ignición por compresión (ver Tabla 8.1), y describe las condiciones de almacenamiento y disposiciones que se deben tomar al respecto. Se especifican los valores y las normas usadas en la medición de los mismos. Las normas y los métodos de ensayo usados tanto para el etanol y biodiesel son internacionales. Cabe aclarar que los valores demarcados se especifican para mezclas B5 y E5, y los biocombustibles en estado puro B100 y E100.

Tabla 8.1. Requisitos del biodiesel para mezclas con diesel. Fuente: Resolución 180782 DE 2007 [4]

Propiedad	Unidades	Requisito	Método de ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860-900	ASTM D4052 ISO 3675
Número de Cetano	Cetanos	47 mínimo	ASTM D613 ISO 5165
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	1.9-6.0	ASTM 445 ISO 3104
Contenido de agua	mg/kg	500máximo	ASTM E203 ISO 12937
Contenido k + Na	Mg/kg	24 máximo	EN 12662
Punto de inflamación	°C	120 mínimo	ASTM DS3 ISO 2719
Contenido de metanol	% en masa	0.2 máximo	ISO 14110
Corrosión en lámina	Unidad	Case 1	ASTM D 130 ISO 2160
Estabilidad térmica	% Reflectancia	70% mínimo	ASTM D6468
Cenizas Sulfatadas	% en masa	0.02 máximo	ASTM D974 ISO 3987
Punto de fluidez	°C	-----	ASTM D97
Temperatura de obturación de filtro	°C	-----	ASTM D6371 EN 116
Punto de nube	°C	-----	ASTM D 2500 ISO 3015
Carbón residual	% en masa	0,3 máximo	ASTM D 4530 ISO 10370
Glicerina libre	% en masa	12 máximo	EN 14103
Glicerina total	% en masa	0,25 máximo	ASTM D 6594
Contenido de monoglicéridos	% en masa	0,90 máximo	ASTM D 6594 ISO 14105
Contenido de diglicéridos	% en masa	0,20 máximo	ASTM D 6594 ISO 14105
Contenido de triglicéridos	% en masa	0,20 máximo	ASTIM D 6594 ISO 14105

La NTC 5308 establece las características y requisitos que debe tener el alcohol carburante obtenido a partir de la biomasa (ver figura 4.2). El Poder Calorífico inferior (PCI) del etanol anhidro es 29,703 MJ/kg(12 770 BTU/libra), y el Poder Calorífico Superior (PCS) es 26,821 MJ/kg (11 531 BTU/libra).

Tabla 8.2. Requisitos de calidad para el alcohol carburante. Fuente: Norma Técnica Colombiana [2]

Característica	Unidad	Especificación	Métodos de prueba
Color	-	Incoloro	Visual
Aspecto	-	(i)	Visual
Acidez total (como ácido acético), máximo	mg/L	56	ASTM D 1613o AB NT/ NBR9866 MB2606
Conductividad eléctrica, máxima	μS/m	500	ASTM D 1125 ABNT/N BRI 0547 MB2788
Densidad a 20 °C, máximo	kg/m ³	791,5	ASTM D 4052, ASTM D 891 AB NT/ NBR5992 MB 1533
% de etanol, mínimo ⁽²⁾	% volumen	99,5	ASTM D 5501
% alcohólico a 20 °C, mínimo	*1NPM	99,5	AB NT/ NBR5992 MB 1533
Materia no volátil a 105 °C, máximo	mg/L	30	NBR8911 MB2123
Alcalinidad	-	Negativo	ABNT/NBR 9866
Limpio, claro, sin color y libre de impurezas y de materiales en suspensión y precipitados Requerido cuando el alcohol no ha sido producido por vía fermentación a partir de caña de azúcar. ABNT NBR: Métodos de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas / Normas Brasileiras			

Cada primero de mes el Gobierno Nacional y el MME fijan el precio de los biocombustibles. Se han establecido tres fórmulas para establecer la tarifa a cobrar:

1. Un precio básico que se ajusta anualmente con el índice de precios al mayorista y la tasa de cambio, que asegura al industrial una tasa de retorno mínima.
2. Un precio que tiene en cuenta el valor de la materia prima más un costo fijo por su transformación industrial.
3. Un precio que depende del valor del hidrocarburo que es reemplazado por el biocombustible, más el costo de transformación.

Se paga a los productores de biocombustibles el precio más alto de estas fórmulas. La implementación del programa de biocombustibles que el Gobierno Nacional considera esencial para el desarrollo de las regiones y su impacto social, va más allá del precio del producto que se calcula, básicamente, por el precio de la materia prima y el costo de transformarla en etanol o biodiesel. Allí no hay incentivos de ninguna clase para el productor, que paga sus impuestos como en cualquiera otra industria.

En cuanto al comercio de los biocombustibles, los consumidores pagan impuestos por la gasolina (39%) y por el ACPM (29%), pero no pagan estos impuestos por la fracción de etanol y biodiesel que se mezcla con dichos combustibles fósiles.

En Colombia, las entidades gremiales y las instituciones encargadas de regular, censar y asesorar, en trabajo conjunto con el gobierno nacional a través de sus ministerios son:

- **FEDEPALMA:** Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, agrupa y representa a cultivadores y productores de aceite de palma desde su fundación en 1962 y lidera la estructura gremial y de servicios de apoyo al sector palmicultor.
- **CENIPALMA:** Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, creada por Fedepalma en 1991, es responsable de la investigación y transferencia de tecnología en el sector palmero.
- **C.I. ACEPALMA S.A:** Comercializadora Internacional C.I. Acepalma S.A., promovida por Fedepalma y creada en 1991 con aportes de sus afiliados. Es líder en la oferta exportable del país ya que más del 80% de las exportaciones de aceite de palma y palmiste se realizan a través de Acepalma.

8.3. Incentivos existentes:

Respecto a los incentivos existentes para el cultivo y producción de materia prima para uso de biocombustibles se encuentra:

8.3.1. ICR-Incentivo a la capitalización rural.

Beneficio económico que se otorga por la realización de inversiones nuevas dirigidas a la modernización, competitividad y sostenibilidad de la producción agropecuaria.

Es necesario que el productor tenga un proyecto productivo financiado con recursos de FINAGRO [11], a través de los intermediarios financieros vigilados por la Superintendencia Financiera. Está dirigido a pequeños, medianos y grandes productores, en forma individual o colectiva. [11]

Para recibir el incentivo de exención de impuestos se deberá acreditar ante la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) los siguientes requisitos:

- Registro de la nueva plantación, expedido por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Certificado de libertad y tradición del predio en el cual se encuentre el cultivo.
- Certificado del Representante Legal en el cual se constate el valor de las rentas obtenidas por el aprovechamiento de cultivos.
- Certificación del Revisor Fiscal y/o Contador Público de la empresa o del contribuyente, según sea el caso, en la que se acredite que lleva contabilidad separada de los ingresos generados por el aprovechamiento de los cultivos, así como de los costos y gastos, de los cuales deben conservar los respectivos soportes durante el tiempo previsto en el artículo.

8.4. Requisitos para obtener créditos:

Para obtener créditos que inyecten capital al sector agrícola y proyectos de producción de biocombustibles, se deben considerar los siguientes aspectos:

8.4.1. Capital de trabajo:

- ✓ Sostenimiento
- ✓ Transformación de bienes
- ✓ Servicios de apoyo a la producción

8.4.2. Inversión:

- ✓ Plantación y mantenimiento
- ✓ Adquisición de maquinaria y equipo, y reparación de maquinaria
- ✓ Adecuación de tierras

- ✓ Infraestructura de servicios de apoyo a la producción
- ✓ Compra de tierras
- ✓ Vivienda rural
- ✓ Capitalización, compra y creación de empresas.

En balance general, de 2010 a 2011, el gobierno nacional a través de sus instituciones ha otorgado 280 mil millones de pesos en créditos para el cultivo y producción de palma de aceite, como se puede ver en la tabla 8.3. El mayor aporte lo ha recibido la costa atlántica de 118 mil millones de pesos.

Tabla 8.3. Créditos otorgados 2010-2011. Fuente: FINAGRO [11]

TOTAL COLOCACIONES DE CREDITO PARA PALMA POR REGION Y DEPARTAMENTO - CUADRO COMPARATIVO AÑOS 2010 -2011		
Millones de pesos		
REGION	2010	2011
CENTRO ORIENTE	31.474	74.988
BOGOTA	147	4.911
BOYACA	250	
CUNDINAMARCA	306	8.106
HUILA	68	91
NORTE DE SANTANDER	12.890	17.522
SANTANDER	17.664	44.358
TOLIMA	150	
COSTA ATLANTICA	65.407	118.678
ATLANTICO	2.904	16.693
BOLIVAR	15.082	31.994
CESAR	39.810	41.832
CORDOBA		444

GUAJIRA	625	670
MAGDALENA	6.986	26.707
SUCRE		338
ORINOQUIA	40.973	71.063
META	28.960	50.825
ARAUCA		1.000
CASANARE	8.137	16.935
VICHADA	3.876	2.303
OCCIDENTE	34.405	15.769
ANTIOQUIA	116	3.193
CAUCA	80	3.469
NARIÑO	31.382	7.815
VALLE	2.827	1.292
TOTAL	172.259	280.498

En lo corrido del 2012, para el mes de abril se han capitalizado 97 mil millones de pesos en créditos para cultivo de palma (ver tabla 8,4).

Tabla 8.4. Créditos otorgados en el 2012. Fuente: FINAGRO [11]

TOTAL CREDITO OTORGADO AL CULTIVO DE PALMA EN EL AÑO 2012 (cifras en millones)		
Periodo	No.	Valor (\$)
Enero	75	16.272
Febrero	80	39.279
Marzo	60	24.203

Abril	34	17.579
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
Total	249	97.333

8.5. Participación de los autores:

A través de las políticas e intereses del gobierno la producción y uso de los biocombustibles han alcanzado niveles elevados los cuales han impulsado el desarrollo tecnológico para ser competentes a la demanda que ciertos países han puesto en estos productos como alternativa energética. Es evidente la importancia de la participación del sector privado en la producción de materia prima y en la obtención de los biocombustibles dado el nivel de las inversiones que se requiere para abastecer la industria nacional e internacional.

El Estado Colombiano en su soberanía debe establecer reglas claras para toda la cadena productiva de los biocombustibles que ofrezcan al inversionista garantías para su inversión y además, un producto competitivo en el mercado de combustibles. Es fundamental también la expedición de la normativa que regirá la cadena: Productor (Agrícola e Industrial) – Inversionista – Comercializador – Comprador – Refinador – Distribuidor – Regulador – Fiscalizador – Exportador – Usuario final.

En la medida que toda la cadena de producción y utilización tenga reglas claras (políticas estables y definidas), que garanticen una rentabilidad aceptable y un combustible competitivo en el mercado, se podrán crear las condiciones para

disponer de un combustible nacional amigable con el ambiente, elaborado con materia prima local y que adicionalmente genere empleos en los sectores agrícolas, industriales, comerciales y financieros.

Existe un importante aspecto a considerar; y es que pese a que la normativa colombiana junto con la del Estado Brasileiro son unas de las más desarrolladas, se escapa en su caso lo relativo al cultivo de la palma africana. La palma es una planta que, al no ser nativa de estas tierras, genera un desequilibrio de los ecosistemas existentes ya que es una excelente competidora frente a las demás plantas y absorbe enormes cantidades de agua lo que origina una real y tangible amenaza frente a los demás cultivos circundantes. Pero ese no es todo el problema. Muchas de las tierras que son sembradas con palma deben esperar un largo periodo para verla crecer y que esta sea útil. En ese tiempo, estos cultivos están siendo atacados por una bacteria que destruye los cogollos de la palma y acaba con años de expectativas de sus productores. Para disminuir este impacto tan negativo, los productores han optado por invertir en un nuevo tipo de palma alterada genéticamente; lo particular del caso es que esa palma debe comprarse a Francia que tiene la patente sobre ella y esto tiene así, una incidencia sobre el mundo económico de la misma y su desarrollo y acceso para todos.

Bibliografía

- [1] API. Manual de Estándares de Medición de Petróleo MPMS. Portal web: http://www.lalibreriadelau.com/libros-de-geologia-ca29_46/ntc-norma-tecnica-colombiana-ntc-5836-3-manual-estandares-p150102.
- [2] Decreto 2328 de 2008. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Portal web: portal.fedepalma.org/documen/2008/decreto_2328.pdf
- [3] Documento CONPES 3510. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. 2008.
- [4] FEDEBIOCOMBUSTIBLES. 2010. Portal web: www.fedebiocombustibles.com/
- [5] Fondo para el financiamiento del Sector Agropecuario. Portal web: http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php.
- [6] Norma Técnica Colombiana 5444. Biodiesel para uso en motores diesel. Especificaciones. Icontec.
- [7] Portal web de la presidencia de la república. <http://web.presidencia.gov.co/sp/2010/abril/06/11062010>.
- [8] Resolución 1565 de 2004. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Ministerio de Minas y Energía. Colombia.
- [9] Resolución 18 0687 de 2003. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Ministerio de Minas y Energía. Colombia.
- [10] Resolución 180782 y 182087 de 2007. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Ministerio de Minas y Energía. Colombia. Portal web: http://portal.fedepalma.org/biodiesel_marco_legal.htm
- [11] UPME. Unidad de planeación minero energética. Biocombustibles en Colombia.

9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES RESPECTO A LAS DEMÁS FUENTES DE ENERGÍA

Los biocombustibles, a diferencia del petróleo, carbón y del gas natural están catalogados como una forma segura de energía, puesto que su producción se origina mediante recursos renovables. Su principal ventaja consiste en que son una palanca para el desarrollo agrícola, así como una alternativa para el uso de tierras y la ampliación de la frontera agrícola, teniendo presente los límites de la seguridad alimentaria. Son combustibles biodegradables lo cual generan una mejor calidad al medio ambiente, esto ocurre al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y óxidos de azufre causantes de la lluvia acida, además de reducir entre 60% y 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados [1].

El panorama actual y las experiencias observadas a nivel mundial revelan que los biocombustibles son un recurso para mitigar el alza e inestabilidad en los precios del petróleo. No representan una alternativa para eliminar dicha crisis. Esto debido a que una sustitución total del combustible fósil por biodiesel y bioetanol sería agrícolamente imposible, la extensión de tierra necesaria para cultivar la materia prima destinada a la producción del biocombustible, es tan grande que pondría en riesgo y hasta podría llegar a desplazar a los cultivos con fines alimenticios³⁷[2].

Para el 2012, los precios de producción de biocombustibles en Colombia fueron más altos que la producción del petróleo. Se prevé que una vez se encuentre instalada la tecnología de forma general en todo el país, el precio será mucho menor que el de la gasolina o el diesel lo cual es otro punto favorable [3]

Es importante analizar que la aplicación del etanol y del biodiesel como fuente energética se encuentra en el sector automotriz como combustible de motores de combustión interna y motores de compresión a diferencia de las demás fuentes de energía donde el mayor porcentaje de su finalidad se encuentra en la industria a través de la generación de electricidad [3].

³⁷ La FAO calcula que las tierras destinadas para la producción de biocombustibles estarían entre 250 y 800 millones de hectáreas en el mundo, excluyendo bosques, áreas destinadas a la ganadería, áreas para cultivos alimenticios y áreas protegidas. La mayor parte de estas áreas está en las zonas tropicales del globo. Colombia, por su parte, cuenta con 21,5 millones de hectáreas con vocación agrícola, de las cuales el 18,6% actualmente tiene uso agrícola. En Colombia, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, se estima un área potencial de 114.828 ha (2,7% del área actualmente en uso agrícola) para la producción de biocombustibles.

9.1. Ventajas y desventajas de los biocombustibles (Etanol y biodiesel)

9.1.1. Ventajas específicas del etanol como aditivo de la gasolina.

- Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países. Esto es aún más importante para los países no productores de petróleo, dado que la mayoría de este se encuentra en zonas de alta inestabilidad política, como el Medio Oriente, y que la tendencia de los precios es continuar aumentando o manteniéndose elevados.
- El etanol, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, lo que ayuda a descontaminar nuestras ciudades y a reducir los gases causantes del efecto invernadero.
- Mayor contenido de oxígeno (menor cantidad de aditivo requerido)
- Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo y el Metil Ter Butil Éter (MTBE)³⁸, los cuales han causado el incrementado del porcentaje de personas afectadas por cáncer (MTBE) y la disminución de capacidades mentales, especialmente en niños (plomo).
- El etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento [12, 13].
- En comparación con el metanol, el etanol es menos higroscópico³⁹, tiene un calor de combustión mayor y un menor calor de vaporización, y lo más importante, es mucho menos tóxico. Adicionalmente, el acetaldehído formado durante la oxidación de etanol es menos peligroso que el formaldehído producido durante la combustión del metanol [12].
- El bioetanol contribuye a disminuir las importaciones de gasolina o petróleo, reduciendo el impacto de las subidas recurrentes del precio del petróleo en un contexto de disminución de las reservas nacionales (seguridad energética) [12].
- Su empleo favorece el aprovechamiento de materias primas y recursos renovables nacionales como la caña de azúcar, la yuca, el sorgo, etc., incluyendo además la gran cantidad de residuos lignocelulósicos (residuos forestales y urbanos, desechos industriales y domésticos, hojas secas, tallos, madera, etc.) que tienen posibilidad de transformarse en alcohol etílico.

³⁸ MTBE: Es una sustancia química usada en la gasolina como aditivo oxigenado.

³⁹Higroscópico: es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.

- Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ende, elevando su nivel de vida.
- Puede posibilitar que se fomente el comercio y el empleo en las zonas rurales deprimidas contrarrestando la migración hacia los centros urbanos. Una de las principales consecuencias es el aumento en el valor que reciben los productores de bienes básicos agrícolas por su producción, lo cual también tiene efectos sobre la calidad de vida.

9.1.2. Desventajas específicas del etanol como aditivo de la gasolina.

- El etanol se consume de un 25% a un 30% más rápidamente que la gasolina; para ser competitivo, por tanto, debe tener un menor precio por galón [5].
- La gasolina mezclada con etanol conduce a una mayor presión de vapor de Reid (RVP)⁴⁰ es más alta, lo que implica una mayor volatilización que puede contribuir a la formación de ozono y de smog.
- Cuando es producido a partir de caña de azúcar, en muchos lugares se continúa con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nitroso, dos gases que agravan el calentamiento global. Esto se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, pero disminuiría el empleo rural, a pesar de las críticas que se han hecho a las condiciones de este. [7]
- Cuando el etanol es producido a partir de maíz, en su proceso de elaboración se está utilizando gas natural o carbón para producir vapor y en el proceso de cultivo se usan fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola pesada. Esto podría solucionarse mediante el uso de sistemas de producción agrícola orgánicos o por lo menos ecológicos. También se puede utilizar el CO₂ proveniente de las destilerías para la producción de algas (que a su vez se pueden usar para producir biocombustibles). Además, en caso de que haya ganaderías cercanas, se puede usar el metano del estiércol para producir vapor (en esencia este equivale a usar biogás para producir biocombustible) [7].
- La tendencia a que se formen dos fases líquidas en presencia de agua: una fase acuosa con presencia de etanol y otra fase orgánica que contiene los hidrocarburos que componen la gasolina [7].
- El etanol es altamente corrosivo, lo cual es función del contenido de agua.

⁴⁰ Una presión de vapor Reid (Reid vapor pressure) indica la tendencia de un hidrocarburo líquido a volatizarse. Su determinación se basa en los métodos establecidos en las normas ASTM D 323 o D 5191.

- En el caso del etanol producido por el sector azucarero, existe el riesgo de que en dependencia de la coyuntura del mercado interno y externo del azúcar los ingenios azucareros puedan optar por la disminución de la producción de etanol cuando los precios del azúcar sean especialmente altos en el contexto internacional.
- Otro de los grandes temores cuando se implementa un programa de oxigenación de la gasolina con etanol es la presión que puede generar sobre los precios de los alimentos relacionados con las materias primas para la producción de etanol, como por ejemplo el azúcar, la panela y el maíz.
- Considerando los impactos ambientales, se ha expresado cierta preocupación por el hecho de que el uso de etanol en mezclas con combustibles aumenta los niveles de aldehídos en comparación con la combustión de la gasolina.

9.1.3. Ventajas específicas del Biodiesel.

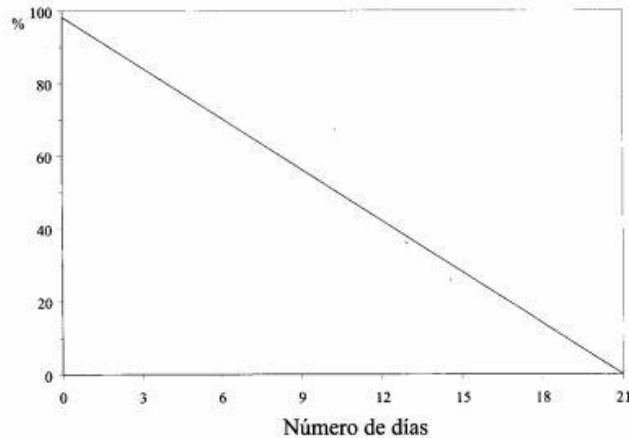
- Debido a que no contiene azufre, no se producen sus óxidos durante la combustión. Su mezcla con el ACPM disminuye los y niveles de azufre de éste último, y en el caso Colombiano, podría evitar la necesidad de instalar plantas de desulfurización de alto costo para el diesel [14].
- El uso de biodiesel reduce las emisiones de óxidos de azufre. Los aceites y grasas, por su propio origen no contienen azufre.
- El uso del biodiesel permite reducciones cercanas al 75% de las emisiones de monóxido de carbono y una reducción sustancial de las emisiones de material particulado, aldehídos e hidrocarburos aromáticos monocíclicos. Adicionalmente se reducen dramáticamente las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos, especialmente los cancerígenos como el fenantreno y el benxopireno [14].
- La emisión de material particulado se reduce en un 65% con respecto al diesel [15].
- El biodiesel tiene mayor lubricidad que el diésel de origen fósil, por lo que extiende la vida útil de los motores [15].
- Mayor viscosidad que el diesel, lo que alarga la vida del motor [14, 15].
- Es más seguro de transportar y almacenar, ya que tiene un punto de inflamación 100°C mayor que el diésel fósil. El biodiesel podría explotar a una temperatura de 150°C [15].
- El biodiesel permite al productor agrícola autoabastecerse de combustible; además, su producción promueve la inclusión social de los habitantes menos favorecidos del sector rural, debido a que no requiere altos niveles de inversión [15].

- El elevado contenido de ácido palmítico (saturado) en el éster de la palma, hace prever un índice de yodo inferior a los demás ésteres (colza, girasol, soja, higuera), lo que reduce la tendencia a la formación de depósitos, aumenta su estabilidad y garantiza cumplimiento de normativas más severas sobre biocombustibles [16].
- Prácticamente no contiene azufre, por lo que no genera SO₂ (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental. El Consejo Internacional de Transporte Limpio⁴¹ está considerando al azufre como el “plomo” del próximo siglo. Actualmente en todas partes las legislaciones están exigiendo disminuir el contenido de azufre del diésel, de manera que este sea diésel bajo en azufre o LSD⁴². El LSD tiene un menor grado de lubricidad que el diésel, por lo que es más necesario adicionarle biodiésel [16].
- Una sustitución del 30% de ACPM por biocombustible en Colombia, requeriría unas 270.000 nuevas hectáreas de aceite de palma cultivada, lo que implicaría cerca de 70.000 empleos directos [16].
- El biodiésel es degradable (Figura 9.1.) y no tóxico. Se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil, el tiempo de degradabilidad del ACPM es aproximadamente 80 a 100 días.
- El biodiésel se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diésel fósil [16].
- El biodiésel no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos [16].
- La utilización del biodiésel no requiere modificaciones sobre el motor. En caso de usarse puro es recomendable reemplazar las piezas del motor que contengan caucho natural o espuma de poliuretano (mangueras, manguitos, sellos y uniones). Tales materiales pueden ser atacados químicamente por el biodiésel puro debido a su acidez [16].

⁴¹ ICCT, por sus siglas en inglés.

⁴² diésel de bajo contenido de azufre.

Figura 9.1. Degradabilidad del biodiesel en función del número de días.
Fuente: Fedepalma



9.1.4. Desventajas específicas del biodiesel:

- Incremento en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) [17].
- El biodiesel presenta problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas ($<0^\circ\text{C}$), especialmente el que se produce de palma africana e higuera [17].
- Los costos de la materia prima son elevados y guardan relación con el precio internacional del petróleo. Dichos costos representan el 70% de los costos totales del biodiesel, por lo que este actualmente es un producto relativamente costoso [17].
- Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiesel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques [16].
- El contenido energético del biodiesel es algo menor que el del diésel (12% menor en peso u 8% en volumen), por lo que su consumo es ligeramente mayor.
- Vinculación de la Palma al desplazamiento y ataque de la selva.
- Incompatibilidad con algunos plásticos y cauchos.
- Poder calorífico inferior al del diésel.
- El biodiesel de baja calidad (con un bajo número de cetano) puede incrementar las emisiones de NO_x (óxidos de nitrógeno), pero si el número de cetano es mayor que 68, las emisiones de NO_x serían iguales o menores que las provenientes del diésel fósil [18].

9.2. Situación Nacional:

Hasta el momento se ha hablado acerca de las ventajas y desventajas de los biocombustibles así como del alcohol carburante y el biodiesel específicamente, pero es necesario conocer la situación del país frente a este tema.

El país entró en el tema de los biocombustibles por la vía del bioetanol mediante la Ley 693/2001, que considera el uso de etanol carburante en las gasolinas y en el combustible diesel, factor coadyuvante para el saneamiento ambiental de las áreas en donde no se cumplen los estándares de calidad. Además, esta medida apoya la autosuficiencia energética del país y actúa como dinamizador de la producción agropecuaria y del empleo productivo, tanto agrícola como industrial. Por otra parte, la producción de biocombustibles a partir de vegetales se encuentra entre los principales medios para combatir el cambio climático, propósito internacional adoptado por un importante grupo de países a través del Protocolo de Kyoto, que contempla ventajas y ayudas financieras de la comunidad internacional para los países y entidades que lo implementen. Este protocolo forma parte de la legislación colombiana en virtud de la Ley 629 de 2000.

9.2.1. Justificación para fomentar la estrategia de Biocombustibles.

El fomento de la producción de biocombustibles en Colombia representa para el país varios beneficios, algunos de ellos son los siguientes:

•Disminución de la dependencia del país de los combustibles fósiles (importaciones).

El consumo promedio de gasolina en Colombia en 2005, según datos de ECOPETROL [18], fue de 3.277.729 galones/día, para un total anual de ventas 1.199.648.775 galones. El consumo promedio de ACPM en Colombia en 2005, fue de 3.179.276 galones/día, para un total anual de ventas 1.163.614.871 galones. ECOPETROL ha señalado que la demanda de combustible diesel viene creciendo, mientras la demanda de gasolina está decayendo. En [18] las importaciones de diesel (ACPM) ascienden a 8.000 barriles al día y las importaciones para el año 2005 fueron en promedio 16.219 barriles por día lo que suma 368'222.184 dólares diarios en promedio

• Beneficios Ambientales

Los principales beneficios ambientales que se aprecian en Colombia son la reducción de contaminantes locales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el ámbito de la contaminación del aire de las ciudades, la contribución a la mejora de la calidad del aire por el uso de

biocombustibles es poco significativa cuanto mejor sea la calidad del combustible convencional (especialmente el contenido en azufre) y menor la edad del parque vehicular.

Respecto a la contribución de los biocombustibles a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios de ciclo de vida muestran en general reducciones de mayor o menor cuantía en comparación con los combustibles fósiles. Por ejemplo al utilizar el 10% de etanol en las gasolinas hay reducción de emisiones de CO entre 22% y 50% en vehículos de carburador y reducciones menores en vehículos de inyección, así mismo se obtiene una reducción de emisiones de hidrocarburos totales THC entre 20% y 24%. El biodiesel reduce la emisión del hollín en un 40% a 60% y reduce la emisión de monóxido de carbono CO entre un 10% y 50%.⁴³

• Empleos vinculados al sector rural

De acuerdo con los cálculos del sector cañicultor, el nivel de producción de alcohol relacionado con los empleos vinculados para el año 2006 fue de 40.600, de lo cual en ese año se planteó que aumentaría a 56.900 cuando se tuviera una mezcla del 10% en todo el país y a 138.300 para una mezcla del 25% como lo muestra los cálculos realizados por Asocaña en la tabla 9.1.

Tabla 9.1. Empleos asociados a la producción de alcohol.

Fuente: Asocaña [19]

Indicador	Mezcla 10%	Mezcla 25%
Alcohol (l/día)	1'400.000	3'400.000.
Área de caña (ha)	47.500	115.500
Empleos directos	8.100	19.800
Empleos indirectos	48.800	118.500
Total empleos vinculados	56.900	138.300

Para la generación de biodiesel a partir de la palma, los cálculos indican que se vinculan en la parte de producción 13.125 empleos directos e indirectos, para una mezcla de 5%. Según lo muestra los datos de Fedepalma mostrados en la tabla 9.2.

Tabla 9.2. Empleos asociados a la producción de Biodiesel. Fuente:

Fedepalma [20]

Indicador	Mezcla 5%	Mezcla 20%	Biodiesel 100%
Biodiesel (t)	210.000	840.000	4'200.000

⁴³La literatura señala que al reemplazar una tonelada de ACPM por una tonelada de biodiesel se evita la emisión de 3.3 toneladas de CO₂.

Aceite crudo de palma (t)	210.000	840.000	4'200.000
Área sembrada (ha)	52.500	210.000	1'050.000
Empleos directos e indirectos	13.125	52.500	262.500

• **Diversificación de cultivos.**

A nivel mundial el alcohol carburante se produce básicamente de caña de azúcar y de maíz, y el biodiesel de aceite de palma y de colza, pero existen amplias posibilidades que otros cultivos agrícolas puedan convertirse en materia prima para biocombustibles, como la remolacha, la yuca y la papa (tabla 5.3). En las condiciones colombianas, investigaciones de universidades como la Universidad Autónoma de Colombia, han revelado a través de sus estudios una ventaja potencial para el cultivo de remolacha, que podría llegar a producir 24.000 litros de alcohol por hectárea.

Tabla 9.3. Rendimiento de distintos cultivos para la producción de Biocombustibles. Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles [21]

Bioetanol		Biodiesel	
Cultivo	Rendimiento l/ha	Cultivo	Rendimiento l/ha
Caña	8.400	Palma	5.550
Yuca	5.200	Cocotero	4.200
Remolacha	24.000	Aguacate	2.460
Sorgo dulce	2.200	Higuerilla	1.320
Maíz	1.600	Soja	420

9.2.2. Estrategias para el desarrollo del sector de los biocombustibles en el país.

Además de las ventajas de los combustibles, ya comentadas, los biocombustibles representan una nueva actividad para la agricultura utilizando tierras no necesarias para la producción de alimentos y favoreciendo la ocupación de la población rural en Colombia [18].

Para aprovechar la ventaja que representan los biocombustibles en el sector agrícola, el Gobierno a través del Ministerio de Agricultura ha postulado una ruta de acción, que comienza con una perspectiva energética, lo cual incluye nuevos cultivos más productivos y con menores costos de producción de los tradicionales. Así mismo, debe tenerse en cuenta que son los materiales lignocelulósicos los que ofrecen en el futuro, un potencial mayor para la producción de bioetanol. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa, susceptibles de ser utilizados para estos fines, se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola y forestal. Muchos de estos residuos no sólo no tienen

valor económico en el contexto en el que se generan, sino que suelen provocar problemas ambientales durante su eliminación. Para que los biocombustibles de origen agrícola sean una alternativa energética real, se necesita que estos productos, no sólo presenten características equivalentes a los de procedencia fósil, sino también que, en el conjunto de los procesos de obtención se consigan balances energéticos positivos y lleguen al mercado a un costo similar al de los productos derivados del petróleo a los que sustituyen. El principal inconveniente con el que se enfrenta la comercialización de estos combustibles en el sector de transporte es el alto costo de producción [18].

El Gobierno Nacional reconoce que para el fomento del sector de biocombustibles deben desarrollarse una serie de acciones en diferentes ámbitos:

- **Información:** Es indispensable desarrollar estrategias informativas, tanto a nivel de los consumidores, como de los comercializadores y otros sectores. Estas campañas deben incluir temas como los beneficios ambientales, económicos y sociales de biocombustibles, la reglamentación sobre su uso, las normas de calidad existentes etc [18].

- **Mejoramiento de procesos productivos y organizacionales:** La posibilidad de mejorar los procesos de producción y reducir los costos de producción de los biocombustibles, existe realmente en la medida en que se mejore la productividad para obtener las materias primas, por lo tanto se hace indispensable la investigación en tecnologías de producción para los cultivos, fuente de materia prima para biocombustibles, como también la transferencia de esas tecnologías a los productores. De igual manera se debe hacer énfasis en los procesos de organización de productores, que garanticen la producción sostenida y el suministro estable de materia prima para los biocombustibles [18].

- **Investigación y desarrollo tecnológico:** Teniendo en cuenta la situación geográfica de nuestro país se hace indispensable investigar los cultivos opcionales para convertirse en materia prima para biocombustibles, el desempeño de biodiesel de palma en las diferentes zonas climáticas del país y las emisiones del biodiesel de palma en climas fríos. Además se requiere avanzar en el desarrollo tecnológico del proceso de producción de alcohol carburante, como pre-tratamiento e hidrólisis enzimático de la celulosa y los usos finales de la lignina, entre otros [18].

- **Comercialización:** Es indispensable desarrollar estudios de mercado muy completos, tanto a nivel nacional como internacional, para diferentes fuentes de materias primas y diferentes tipos de biocombustible [18].

- **Medidas económicas:** En la actualidad la producción de biocombustibles se realiza a partir de cultivos tradicionales como la caña de azúcar, cereales, remolacha, colza, girasol, etc., los cuales han sido seleccionados y mejorados para la producción alimentaria (no para uso como energético), y su precio se determina en este mercado. Lo anterior hace que los biocombustibles no sean competitivos y se requiera liberarlos de impuestos para que lleguen al mercado en competencia con los productos de origen fósil [18].

- **Normatividad:** Para asegurar el fomento real de la producción de biocombustibles es necesario contar con un marco normativo estable en materia económica que garantice la seguridad de las inversiones privadas. Al mismo tiempo es necesario tener claridad sobre factores externos que requerirán de la intervención del Estado para garantizar que los beneficios de la estrategia de biocombustibles, se transmitan directamente al sector productivo, como la propiedad y la titulación de tierras [18].

9.3. Participación de los autores:

El panorama actual y las experiencias observadas a nivel mundial revelan que los biocombustibles son un recurso para mitigar el alza e inestabilidad en los precios del petróleo. No representan una alternativa para eliminar dicha crisis. Esto debido a que una sustitución total del combustible fósil por biodiesel y bioetanol sería agrícolamente imposible, la extensión de tierra necesaria para cultivar la materia prima destinada a la producción del biocombustible, es tan grande que pondría en riesgo y hasta podría llegar a desplazar a los cultivos con fines alimenticios

Entre sus puntos favorables está el bajo costo de su producción frente a los elevados precios del petróleo producto de los aranceles de las importaciones, así como por las políticas e intereses de los países productores del mismo. Analistas prevén que una vez se encuentre instalada la tecnología de forma general en todo el país, el precio será mucho menor que el de la gasolina o el diesel. Respecto a las otras fuentes de energía renovables, se aprecia que las demás fuentes de energía están basadas en la generación de electricidad para el gasto energético doméstico e industrial de la población, unas a pequeña escala y otras a gran escala.

Es importante analizar que la aplicación del etanol y del biodiesel como fuente energética se encuentra en el sector automotriz como combustible de motores de combustión interna y motores de compresión a diferencia de las demás fuentes de

energía donde el mayor porcentaje de su finalidad se encuentra en la industria a través de la generación de electricidad.

Bibliografía

- [1] Aguilar L., Vásquez L. Análisis del estado actual de las tecnologías de producción de biodiesel. [Tesis de grado] Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. El Salvador-2007
- [2] Aguilar L., Vásquez L. Análisis del estado actual de las tecnologías de producción de biodiesel. [Tesis de grado] Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. El Salvador-2007.
- [3] Araya P. “Efecto de la utilización de biodiesel sobre las emisiones de vehículos pesados”. [Tesis de grado] Universidad de Chile. 2009.
- [4] Arias A., Arbeláez F., Ortega J. Estrategia de desarrollo de los biocombustibles: implicaciones para el sector agropecuario. Ministerio de Agricultura de Colombia. Bogotá 2006.
- [5] Asocaña. Sector azucarero de Colombia. Informe anual 2010-2011. Disponible en línea en: <http://www.asocana.org/documentos/2552011-a0bbe3d-00ff00,000a000,878787,c3c3c3,0f0f0f,b4b4b4,ff00ff,2d2d2d,b9b9b9.pdf>
- [6] Bravo E. “Biocombustibles, cultivos energéticos y soberanía alimentaria en América Latina. Encendiendo el debate sobre los biocombustibles”. Quito, Ecuador.
- [7] Carpintero O. “Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico” Revista: El ecologista No. 49, 2006.
- [8] Coviello M., Gómez J., Razo C., Rodríguez A. “Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe” Comisión económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile-2008.
- [9] Cresto V. “Biodiesel una alternativa real al gasóleo mineral”. Revista de Ingeniería Química. Marzo 2000. P 135-145.
- [10] Fedepalma. Congreso mundial de energías renovables 2011. Disponible en línea en: http://portal.fedepalma.org/documen/2011/Energias_Renovables.pdf
- [11] Federación Nacional de Biocombustibles. Ministerio de agricultura. Disponible en línea en: <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>
- [12] Galarza et.,al. 2007. “Algunos aspectos del funcionamiento del mercado laboral en el sector rural”. DNP, BID, Banco Mundial, PNUD, CEPAL, CAF.
- [13] Gomez J., Samaniego J., Antonissen M. “Consideraciones ambientales entorno a los biocombustibles líquidos” Comisión económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Santiago de Chile-2008.
- [14] <http://www.alimentosargentinos.gov.ar> [Visitada en Febrero de 2012]
- [15] Masjuki H., Kalam M., Maleque M., Suhaimi T., Mokhtar N. “Performance and exhaust emissions of compression ignition engine fuelled with coconut oil and palm

olein”. Proceedings of 1998 PORIM International Biofuel an lubricant Conference. PORIM 1998.P 75.

[16] Revistaing.uniandes.edu.co/pdf/ccardona.pdf [Visitada en Enero de 2012]

[17] Sánchez J., Rodríguez F., Desarrollo agroindustrial de biocombustibles en Castilla y León. [Trabajo de investigación premiado por el Consejo económico y social de Castilla y León] Universidad de Salamanca-2006.

[18] Scheinkerman E., Begenisic F. “Perspectivas de los biocombustibles en argentina y brasil”. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA: Secretaria de Agricultura, ganadería, pezca y alimentación- SAGPYA. Buenos Aires-2006.

[19] SISTEMAS DE CONTROL MOTOR, MOTRONIC. Instrucción técnica de BOSCH, 1.999.

[20] Texo JP., Betancur C., Duque JP. “Perspectivas generales del desarrollo de la industria de los biocombustibles en Uruguay” [Tesis de grado] Montevideo 2009.

[21]Ugolini J. “Estudio para determinar la viabilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel”. Argentina 2001.

10. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA. OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA BIOMASA

Según la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588⁴⁴, la biomasa se define como: “Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización” [1,17].

El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles comúnmente utilizados, supone unas ventajas medioambientales de primer orden, como son [1]:

- Disminución de las emisiones de azufre.
- Disminución de las emisiones de partículas.
- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NOx.
- Ciclo neutro de CO₂, sin contribución al efecto invernadero.
- Reducción del mantenimiento y de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles en las casas.
- Reducción de riesgos de incendios forestales y de plagas de insectos.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando su quema en el terreno.
- Posibilidad de utilización de tierras de barbecho con cultivos energéticos.
- Independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales.

Estas ventajas convierten a la biomasa en una de las fuentes potenciales de empleo en el futuro, siendo un elemento de gran importancia para el equilibrio territorial, en especial en las zonas rurales [1]. Además de ser candidata a sustituir el petróleo en la producción de combustibles para el sector transporte [35,36].

La gran ventaja de la biomasa como fuente energética es que está presente en las áreas rurales en gran proporción, y promueven un impulso económico en el sector rural y aprovechamiento de residuos agrícolas e industriales [37]. En algunos países no desarrollados, el 90% de su energía proviene de la leña y otros biocombustibles [38,39]. Se promueve la reforestación de la tierra evitando la erosión en gran parte. A su vez, su combustión es más limpia que la de los

⁴⁴ Certificación técnica Europea sobre la descripción de los biocombustibles.

combustibles fósiles, ya que se disminuye la emisión de sustancias nocivas como el azufre y NOx.

Desde el punto de vista financiero, la inversión en las instalaciones de biomasa es mayor en comparación con los combustibles fósiles, debido a la falta de fabricación de estos sistemas en serie y algunos requerimientos especiales que tiene la combustión de la biomasa para obtener un mejor rendimiento del sistema. Pero en operación y explotación, la biomasa es más económica y sus principales costos son la compra de materia prima y transporte.

Se ha hablado en mayor proporción de los biocombustibles líquidos como el bioetanol y biodiesel, específicamente aquellos biocombustibles que son destinados al parque automotor. Pero existen otros bioproductos que son utilizados en la industria y que hacen parte del crecimiento de la biomasa como fuente energética renovable y sostenible. Las biorefinerías no sólo son capaces de utilizar los residuos orgánicos de la agricultura, sino también de las industrias productoras de materias primas destinadas a la fabricación de papel, textiles y productos alimentarios [31].

Según el tipo de materia prima usada para la transformación, y del proceso físico de obtención primario las biorefinerías se pueden clasificar en:

- Biorefinerías de cosechas completas: Aquellas que transforman cereales y efectúan procesos de trituración en seco o en húmedo. La trituración del maíz se puede utilizar como alimento y extruido como agente de relleno o aglutinante para otros productos. En ambos procesos de trituración se obtienen productos combustibles, pero la diferencia es que en la húmeda se obtienen grasas, aceites y fármacos a partir de almidones y azúcares obtenidos del proceso [2].
- Biorefinerías verdes: Sus materias primas son cosechas de alfalfa, tréboles o cereal inmaduro y siguen procedimientos de fraccionamiento en húmedo. La idea de esta tecnología es separar el jugo rico en nutrientes del pastel de prensa⁴⁵, y aprovecharlo a través de proteínas y azúcares para producir alimentos, productos químicos y combustibles. A su vez se produce energía en forma de biogás y cogeneración (calor y energía). Las Biorefinerías verdes representan sistemas complejos de tecnologías sostenibles ambientalmente y tecnologías amigables para el uso de materiales y energía así como la explotación de materias primas biológicas verdes y biomasa de residuos para un uso sostenible regional de la tierra [2].

⁴⁵ Parte del proceso de la biomasa para su posterior obtención en biocombustibles.

Los biocombustibles líquidos más utilizados hoy en día son el bioetanol y el biodiesel, que se obtienen a partir de fuentes de biomasa comestible como la caña de azúcar o aceites de maíz y vegetal, respectivamente. El aumento exponencial en el consumo de estos biocombustibles ha tenido lugar en los últimos años [35,40].

10.1. Fuentes de Biomasa

Hablar de las fuentes de biomasa, implica echar un vistazo a un amplio rango de materiales, que incluyen residuos agrícolas, cultivos energéticos, residuos de la industria forestal, residuos urbanos y residuos ganaderos, y pueden ser usados en procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles [3].

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y para usos primarios en pequeña escala; como en la cocción de alimentos o en el secado de granos, etc [3].

• Plantaciones energéticas

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento (como la Paulownia o el Eucaliptus camaldulensis), las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación [3].

Como ya es conocido, pueden ser utilizados para la generación de energía cultivos de plantas como la caña de azúcar, el maíz, el sorgo, el trigo y plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel [3].

• Residuos forestales

Los residuos forestales son una importante fuente de biomasa explotada mundialmente, actualmente se adelantan investigaciones de proyectos de inversión como el caso de Argentina, para desarrollar tecnologías eficientes [4]. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial

energético es mucho mayor, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín [4, 12].

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte [4, 30].

• **Desechos agrícolas**

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros), se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%. Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido [25].

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de estiércol de animales. Estos desechos, generalmente son esparcidos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. A pesar de éste beneficio, esta práctica puede provocar una sobre fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

• **Desechos industriales**

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos [19].

• **Desechos urbanos**

Los centros urbanos generan gran cantidad de biomasa en muchas formas, en residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos⁴⁶ carecen de adecuados sistemas para su

⁴⁶Guatemala, Honduras, Nicaragua y el Salvador.

procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación [19].

10.2. Procesos de tratamiento de Biomasa

La biomasa, requiere ser convertida para facilitar su utilización y transporte, con fines energéticos, es por eso que, usualmente se convierte en briquetas⁴⁷, carbón vegetal, etanol y electricidad, mediante procesos sencillos (como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra), o procesos de alta eficiencia como la cogeneración o la dendro-energía⁴⁸.

En términos generales, los procesos de conversión de biomasa más importantes, pueden clasificarse en tres categorías, procesos de combustión directa, procesos termo-químicos, y procesos bio-químicos.

10.2.1. Procesos de combustión directa

Esta es la forma más común, de extraer energía de la biomasa. Estos procesos son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente (cocción de alimentos), en estufas, hornos, calderas, entre otros. Esta forma de obtención de energía genera posibilidad el aprovechamiento del vapor de a combustión para procesos industriales. En la figura 10.1 es posible observar una lista de los métodos desarrollados para la combustión directa de los residuos sólidos.

Tabla 10.1. Uso directo de desechos sólidos. Fuente: Universidad Nacional del Nordeste [4]

Producto	Tecnología	Usos en América central	Características
Polvos	Quemadores de polvos	De moderado a bajo	
Astillas	Hornos y calderas en suspensión y lecho fluidizado	De moderado a bajo	
Pellets			
Leñosos	Hornos, calderas y	Amplio	El tamaño dificulta su empleo en dispositivos

⁴⁷ Las briquetas o bloque sólido combustible son bio-combustibles para generar calor utilizados en estufas, chimeneas, salamandras, hornos y calderas.

⁴⁸ Energía producida por la madera según la FAO.

	estufas domésticas		de alta eficiencia, requiere procesamiento.
Carbón vegetal	Estufas domésticas		Disminuye la eficiencia energética total, pero su uso es más conveniente con menos humo.

Estos procesos son ineficientes, debido al desperdicio de la energía liberada, y a la contaminación que genera. Es importante resaltar en éste punto, que la eficiencia del proceso, puede mejorar con mejores prácticas de operación y diseño de los equipos.

10.2.2. Procesos termo-químicos

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte.

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, es decir en un proceso de combustión controlado, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. Dependiendo de la tecnología, el producto final es un combustible sólido, gaseoso, o combustible líquido. El proceso básico se llama pirolisis o carbonización e incluye la producción de carbón vegetal y la gasificación [28].

- **Combustión**

Se hace de manera directa o mediante la adición controlada de aire para producir una oxidación completa. En la segunda se obtienen productos como dióxido de carbono, agua, cenizas y calor, el cual es aprovechado con ciclos de agua o aire. Es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. Los factores más importantes a considerar en este proceso son:

- Exceso de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico (combustión completa).
- Temperatura de combustión: 600 - 1.300 °C

Características del combustible:

- Físicas: Baja densidad, menor tamaño dependiendo del tipo de alimentación de biomasa del horno, y mínima humedad posible (a menor humedad el poder calorífico de la biomasa aumenta para efectos de combustión).
- Químicas: Bajo contenido en azufre.

Actualmente este método se utiliza en industrias de materia prima usada para biocombustibles como la azucarera, papelera y de derivados de la madera, siendo cada vez más importante su aplicación en las basuras urbanas, mediante los incineradores.

La combustión tradicional de biomasa tiene por defecto la producción excesiva de monóxido de carbono, y otros componentes como los NOx que se consideran nocivos para la humanidad y que disminuyen el calor generado a través de la combustión.

- **Gasificación**

Se denomina gasificación de biomasa a un conjunto de reacciones termoquímicas que se producen en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor, tras ser debidamente acondicionados [7].

- **Pirolisis**

Consiste en la descomposición de la biomasa por la acción del calor (a unos 450 °C) en ausencia de oxígeno, proceso en el que la naturaleza y la composición de los productos finales dependen de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirólisis. Así, los productos obtenidos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos
- Líquidos hidrocarbonados
- Residuos sólidos carbonosos

En definitiva, la pirolisis parece ser un buen método para la obtención de energía a partir de biomasa seca y, quizás, el mejor para convertir los residuos sólidos urbanos en compuestos de interés económico. Las investigaciones en marcha

permiten contemplar un futuro muy interesante en la aplicación de la pirólisis como procedimiento para convertir la biomasa en energía útil [41].

10.2.3. Procesos bio-químicos

Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. A continuación una descripción de los procesos bioquímicos.

- **La digestión anaerobia**

Consiste en la digestión de biomasa humedecida con bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico), produciendo un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se coloca la biomasa (generalmente desechos de animales) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar; después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. La materia remanente dentro del digestor es un buen fertilizante orgánico. Los digestores han sido promovidos fuertemente en China e India para usos domésticos en sustitución de la leña. También se pueden utilizar aguas negras y mieles como materia prima, lo cual sirve, además, para tratar el agua [7].

- **Fermentación alcohólica**

Las plantas almacenan la energía solar captada en forma de hidratos de carbono simples (azúcares) o complejos (almidón o celulosa), a partir de los cuáles se puede obtener alcohol por fermentación, siguiendo diferentes etapas en función del tipo de biomasa de partida. Estas etapas son las siguientes:

Pretratamiento de la biomasa: transformación de la materia prima para favorecer la fermentación por medio de trituración, molienda o pulverización

- **Hidrólisis:** transformación, en medio acuoso, de las moléculas complejas en azúcares sencillos por medio de enzimas (hidrólisis enzimática) o mediante el uso de reactivos químicos (hidrólisis química).
- **Fermentación alcohólica:** conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas.

- **Separación y purificación del etanol:** destilación de la masa fermentada para obtener etanol comercial del 96% o destilación adicional con un disolvente (benceno) para obtener etanol absoluto (99,5%)

De todas las etapas indicadas, los procesos de destilación son los de mayor coste, debido a su consumo de energía [23-28].

10.3. Tratamiento para el transporte de la biomasa

Para ser aprovechada energéticamente de una manera eficiente, la biomasa requiere ser transformada, para que ciertas características como el gran tamaño de las piezas, la heterogeneidad y poca uniformidad, el elevado contenido de humedad, la poca densidad, y el difícil transporte y manipulación, faciliten la obtención de energía.

Lo anterior, puede llegar a generar problemas en equipos de tratamiento y manejo, tales como el taponamiento en los equipos de astillado, trituración, transporte y manipulación, fermentación de la biomasa amontonada perdiendo parte de su poder calorífico, y el incremento de la humedad. Dificultando el aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía.

Esto hace evidente la conveniencia de propiedades controladas en la biomasa, tales como, la homogeneidad y uniformidad, la alta densidad (mediante compactación), la disminución de la humedad relativa baja, estar libre de contaminantes, la facilidad en el manejo y almacenaje, y la economía en el transporte.

A continuación se enuncian algunos de los procesos a los que es sometida la biomasa antes de ser transportada:

- Reducción de la granulometría: consiste en la homogenización y reducción del tamaño de la biomasa, dando la posibilidad de un transporte y almacenaje más sencillo y económico, e incluso la alimentación automática a diferentes equipos.
- Reducción de la humedad: fundamental para reducir costes de transporte, se consigue mediante secado. El secado es la fase más costosa de las transformaciones previas. Existen dos formas de secado distintas: secado natural y secado forzado. El secado natural es ideal para zonas con clima mediterráneo o continental y cuando la humedad de la materia prima sea elevada (>30%). Por el contrario, el secado forzado es mucho más costoso y sólo es necesario para algunos usos finales como la producción de pellets.

- Densificación o compactación de la biomasa: consiste en reducir el volumen de la biomasa, consiguiendo minimizar el coste de transporte y almacenaje. Al mismo tiempo se evita la degradación por fermentación.
- Eliminación de componentes no deseados: consiste en eliminar residuos extraños, como metales, plásticos, piedras. Se aplican técnicas de cribado, separación por gravedad, imanes, etc.

En Latinoamérica, la biomasa, representa una importante fuente de energía a nivel de la industria rural, en la elaboración de ladrillos y cal. Dentro de las aplicaciones industriales están, la generación de calor (para secar productos agrícolas, y para producir cal y ladrillos), la co-generación (generación simultánea de calor y electricidad, como en la industria del procesamiento del café y azúcar), la generación eléctrica, los hornos industriales, y las calderas, entre otros [30-34].

10.4. Participación de los autores:

Los biocombustibles son productos de la biomasa sometida a diferentes tratamientos. Estos tratamientos a los cuales se somete la biomasa, entre otros factores, dependen del producto que se quiera obtener teniendo en cuenta la materia prima para la tecnología aplicada.

Como se mencionó a lo largo del resumen anterior, existen varios métodos de aprovechar la biomasa, entre ellos se encuentran los procesos termoquímicos y bioquímicos, los primeros usados para la producción de biodiesel y los últimos para la producción de etanol.

Existen otros procesos los cuales son aplicados a la biomasa para facilitar su utilización y transporte convirtiéndola en briquetas, carbón vegetal, entre otros. Se recomienda consultar los capítulos concernientes a las generaciones de los biocombustibles

Bibliografía

- [1] A.J. Ragauskas, et al., Science 311. 2006.
- [2] Aprovechamiento de residuos forestales para la generación de energía eléctrica. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- [3] Bandeira E., Loyola E., Macedo M., Visões Ambientais para o Financiamento de Biocombustíveis no Brasil. 2007.
- [4] Biomasa, cultivos energéticos, IDAE.
- [5] Biomasa, Manuales sobre Energía Renovable, Focer.
- [6] Biomasa: Maquinaria agrícola y forestal, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- [7] BiomassUsers Network Centroamérica BUNCA, 2002.
- [8] Castro N., Bioenergía no Brasil e na Europa: uma análise comparativa. 2008.
- [9] Clancy D., Breen J., Thorne F., Wallace M., A stochastic analysis of the decision to produce biomass crops in Ireland. 2012.
- [10] Cuiping L., Chuangzhi W., Yanyongjie, Haitao H., Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. 27:119-130, 2004.
- [11] Caputo A., Palumbo M., Pelagagge P., Scacchia F., Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. 28: 35-51, 2004.
- [12] Coelho S., Una cuestión de medio ambiente en la cadena productiva de los biocombustibles en Brasil. 2006.
- [13] Energía de la Biomasa, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid Octubre de 2007.
- [14] Energías Renovables, gasificación de biomasa. Ministerio de Industria, turismo y comercio. Gobierno de España.
- [15] Esteban, L. Aplicaciones y panorama actual de la utilización energética de la biomasa en edificios. CIEMAT-CEDER. 2011.
- [16] Fernández, J. Guía completa de la biomasa y los biocombustibles.
- [17] Heinimo, J., Junginger, M. Production and trading of biomass for energy – An overview of the global status. 33: 1310-1320, 2009.
- [18] Huber G., Iborra S., Corma A., Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. 2006.
- [19] IEA. World energy outlook pp. 596. ISBN 92-64-10989-7-2006.
- [20] Kamm, B. Technical description of green and whole crop biorefineries. 2009.
- [21] Larsen, L., Jepsen, M., Frederiksen, P. Scenarios for biofuel demands, biomass production and land use e The case of Denmark. 2012.
- [22] Luque, R., Herrero, L., Campelo, J., Clark, J., Hidalgo, J., Luna, D., Marinas, J., Romero, A. Energy Environ. Sci. 1. 2008.
- [23] Lynd L., Laser M., Bransby D., Dale B., Davison B., Hamilton R., Himmel M., Keller M., mcmillan J., How biotech can transform biofuels. 2008.
- [24] Madrid, A. La biomasa y sus aplicaciones energéticas.

- [25] Martins O., Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia Elétrica. 2004.
- [26] Menichetta E., Otto M., Energy Balance & Greenhouse Gas Emissions of Biofuels from a Life Cycle Perspective. 2009.
- [27] Michelana, M., Matín, F. Los biocombustibles.
- [28] Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural 2006.
- [29] Naciones Unidas. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 1998.
- [30] Pérez, E., Gil J. Eficiencia y ahorro energético en bio-refinería.
- [31] Roset J., Situación y potencial de valoración energética de residuos. IDAE Madrid. 2011.
- [32] Sierra, F. Biorefinerías. Universidad Nacional de Colombia.
- [33] Subedi M., Sharma R., Allometric biomass models for bark of *Cinnamomum tamala* in mid-hill of Nepal. 2012.
- [34] Gomez L., Steele-King C., McQueen-Mason, Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls. 2008.
- [35] Schmidt J., Leduc S., Dotzauer E., Kindermann G., Schmid E., Cost-effective CO₂ emission reduction through heat, power and biofuel production from woody biomass: A spatially explicit comparison of conversion technologies. 2009.
- [36] Serrano, J., Pineda, A., Balua, A., Luquea, R., Campelo, J., Romero, A., Ramos, J. Catalytic transformations of biomass-derived acids into advanced biofuels 195: 162-168, 2012.
- [37] Soyez K., Kamm M., Kamm B. 1ra Conferencia internacional de bio-refinería verde. Alemania. 1997.
- [38] Tolosana, E. Manual técnico para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal.
- [39] U.S. Department of Energy. Biofuels, Biopower, and Bioproducts: integrated biorefineries. 2010.
- [40] Yin, C. Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production. 120: 273-284, 2012.
- [41] Zhang F., Johnson D., Sutherland J., A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel. 2011.

11. BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN.

11.1. Descripción general.

Los biocombustibles (Bioetanol, Biodiesel y Biogás) de primera generación son aquéllos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana. Una diferencia de los de segunda generación es que los últimos no compiten con la producción de alimentos. En la actualidad, las tecnologías de producción de aquéllos de primera generación son más simples y económicas y, en consecuencia, éstos se diferencian de los de segunda generación por el tipo de biomasa de donde se obtienen, y en la tecnología que se utiliza para su procesamiento.

Los biocombustibles líquidos, también son denominados biocarburantes, son obtenidos a partir de la biomasa mediante procesos químicos y biológicos. Estos son, principalmente el bioetanol y el biodiesel. Son utilizados principalmente en el transporte y en la industria química.

La IEA⁴⁹ clasifica los biocombustibles en las siguientes categorías [1]:

- **Biocombustibles de primera generación:** Son aquellos que en la actualidad ya han alcanzado una etapa de producción comercial. En general, proceden de cosechas cultivadas con técnicas similares a las cosechas agrícolas alimenticias.
- **Biocombustibles de segunda generación:** No compiten con la utilización de suelos agrícolas, sino que son producidos a partir de biomasa lignocelulósica como la contenida en la paja, hierba, tallos, cañas, raíces, madera, cáscaras, etc.
- **Biocombustibles de tercera generación:** Son especialmente los aceites, procedentes de las algas y el hidrógeno procedente de la biomasa. Aún se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo y lejos de su producción a gran escala y, por tanto de su comercialización.

En este capítulo se describirán los biocombustibles de primera generación y aspectos relacionados con ellos, en los siguientes capítulos se tratará sobre los biocombustibles de segunda y tercera generación.

⁴⁹IEA: International Energy Agency.

11.2. Bioetanol de primera generación:

El bioetanol es un alcohol etílico deshidratado producido a partir de la fermentación de elementos de la biomasa ricos en componentes azucarados, amiláceos y, últimamente lignocelulósicos [19]. Entre los insumos empleados en la producción de bioetanol de primera generación se encuentran la caña de azúcar, la remolacha, el maíz, el sorgo, el trigo, la cebada y residuos celulósicos. Se usa en la industria como sustituto o aditivo de la gasolina en los motores de explosión. Como subproductos se obtienen fertilizantes y alimento para ganado.

Para este biocombustible, no existen diferencias en el combustible resultante entre los de primera o segunda generación, ya que en ambos casos se obtiene alcohol etílico. La diferencia está en la materia prima debido a que el etanol de primera generación o convencional, se obtiene de productos agrícolas que tienen valor alimenticio, pero su costo de producción es más bajo. Por su parte, el etanol de segunda generación se obtiene de biomasa rica en celulosa⁵⁰ y hemicelulosa⁵¹ sin valor alimenticio. Sin embargo, la tecnología de procesamiento de estos materiales es más compleja, por lo que los costos de inversión y producción asociados son elevados, lo que hace inviable su uso a corto plazo.

La producción de etanol de primera generación o etanol convencional, se fabrica a partir de caña de azúcar y de maíz entre otros siendo éstos los cultivos más utilizados a nivel mundial con ese propósito⁵². En ambos productos (azúcar y maíz), el procesamiento industrial consiste en la conversión bioquímica de los carbohidratos en alcohol.

Como se mencionó anteriormente el alcohol de primera generación se puede producir de modo natural mediante la fermentación de azúcares por ciertos microorganismos bajo condiciones ácidas⁵³. Generalmente el bioetanol se obtiene a partir de melazas procedentes de la caña de azúcar, siendo la reacción química más importante la de la conversión de la sacarosa en etanol, con un rendimiento aproximado al 80%.

⁵⁰La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre.

⁵¹La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean.

⁵²La yuca, el sorgo, la cebada y la remolacha también son bastante usados.

⁵³Valores de PH: 4 y 5.

El contenido de energía del producto destilado no es muy alto, alrededor de 30GJ/Tm⁵⁴, por lo que el balance global de la producción de etanol es negativo. Para crear mayores rendimientos económicos en la cadena de producción se aprovechan los residuos que se van generando (bagazo) para calentar las mezclas sucesivas. Este, es el residuo que queda de la fermentación, el cual se puede lavar y secar hasta poder valorizarse económicamente, utilizándose como abono.

La IEA ha estimado los rendimientos de la producción de bioetanol de primera generación en unidades de litro equivalentes de gasolina por hectárea. Estos rendimientos ordenados decrecientemente se muestran en la tabla 11.1., para varias regiones geográficas.

Tabla 11.1. Rendimientos de la producción de bioetanol de primera generación a partir de varios tipos de biomasa en diferentes regiones del mundo. Fuente: IEA [1]

Materia prima	Región	Lge/Ha
Caña de azúcar	Brasil	4.490
Caña de azúcar	Media mundial	3.630
Remolacha	Europa	3.300
Maíz	Norte América	1.980
Trigo	Europa	1.650

Como se aprecia en la tabla anterior, el mejor rendimiento de bioetanol por hectárea se obtiene a partir de la caña de azúcar. En latitudes medias europeas se puede obtener a partir de la remolacha, pero el calor que es necesario aportar para las destilaciones fraccionadas es mucho más difícil de obtener a partir de los residuos.

El bioetanol se puede utilizar directamente en algunos vehículos con motores de combustión interna preparados específicamente para ello. Mezclado con gasolina corriente se obtiene el llamado “gasohol” denominado por ejemplo E10, el cual significa que la proporción en volumen es 10% bioetanol y 90% gasolina corriente. Generalmente el porcentaje comprendido del rango está entre 10% y 15%, excepto de Brasil donde se usa E85 [2].

Aunque la energía por unidad de volumen del etanol es un 67% de la que provee la gasolina, sus mejores propiedades de combustión, junto con sus bajas proporciones en el “gasohol”, hace que el volumen (Litros) de gasohol consumido

⁵⁴El del petróleo de es 42 GJ/Tm.

por un vehículo se aproxime al de los vehículos que utilizan gasolina sin mezclar[3].

La mejor tecnología para obtener etanol de caña de azúcar se ha desarrollado en Brasil, debido a la implantación del programa de uso de este combustible a partir de 1975. En el caso de etanol de maíz, la mejor tecnología ha sido desarrollada en Estados Unidos desde la década de los 90, tanto para la producción de alcohol como de distintos subproductos. Es importante señalar que al contrario de lo que se piensa, en el proceso de producción de etanol de maíz se obtiene un subproducto que por su contenido proteico tiene una amplia utilización en alimentación de vacunos, cerdos y aves, lo que no ocurre con el de caña de azúcar. Además, es conveniente destacar que una tonelada de maíz tiene un rendimiento de etanol de 402 litros, mientras que una tonelada de caña de azúcar de 85 litros. Es decir, el maíz tiene un rendimiento 4,7 veces superior a la caña de azúcar [4].

11.3. Biodiesel de primera generación:

Para la producción de biodiesel de primera generación, es necesario disponer de biomasa o productos agrícolas ricos en aceite o grasas de animales (vacunos, cerdos y aves). En este caso, la tecnología que se utiliza se basa en la conversión termoquímica, que consiste en retirar la glicerina de estos productos. Con este propósito se han desarrollado cuatro métodos, siendo el más utilizado el de la transesterificación de los aceites y grasas en general. Este consiste en separar la glicerina con el uso de un alcohol (metanol o etanol) y de un catalizador básico (hidróxido de sodio o potasio). La extracción de la glicerina es importante porque la viscosidad del aceite natural dificulta el funcionamiento de la bomba inyectora y del motor diesel [5].

El biodiesel de primera generación se puede obtener a partir de aceites vegetales procedentes de semillas oleaginosas de una gran variedad de plantas: Soja, Colza, Girasol, Palma, etc. El contenido energético es de unos 36-40 GJ/Tm, un 90% del contenido energético que provee el gasóleo o diesel (42GJ/Tm), y superior al del etanol (30GJ/Tm) [6].

Algunos de estos aceites pueden quemarse directamente en motores diesel, pero su uso continuado hace que, debido a su combustión incompleta y a su alta viscosidad, puedan provocar obstrucciones a los inyectores [7]. Para rebajar la viscosidad se somete a los aceites a un proceso de hidrólisis, con lo cual se obtienen ácidos grasos y glicerina. Posteriormente, los ácidos grasos son

sometidos a un proceso de transesterificación con metanol, con lo que se obtienen los ésteres metílicos que son menos viscosos y se queman mejor en los motores.

Para la producción de 1MJ de biodiesel a partir de soja y metanol hoy en día se utiliza 0,3MJ de combustibles fósiles, principalmente para la obtención del metanol. Por ello es necesario adaptar los procesos de producción de modo que el metanol provenga de la biomasa, con lo que las emisiones de carbono correspondientes a la producción de biodiesel serán reducidas.

En la tabla 11.2., se presentan los datos del rendimiento en la producción de biodiesel a partir de varios tipos de biomasa en unidades de litros equivalentes de biodiesel por hectárea, correspondientes a varias regiones geográficas.

Tabla 11.2. Rendimiento de la producción de biodiesel de varios tipos de biomasa.

Fuente: IEA [1].

Materia prima	Región	Lde/Ha
Colza	Europa	1.080
Soja/Colza	E.E.U.U.	720
Colza	Brasil	630
Lignocelulosa	Mundial	3.000
Lípidos de microalgas.	Mundial	11.863

El costo de la inversión y de producción de biodiesel de segunda y tercera generación es bastante más elevado que el de la primera generación siendo esto una ventaja de este producto.

11.4. Biocombustibles 1G en Colombia:

Colombia es uno de los países de mayor producción y productividad en América Latina en dos materias primas de enorme peso en la producción futura de biocombustibles, como son el azúcar y el aceite de palma. El país tiene excedentes exportables de estos dos productos y la producción de biocombustibles, tanto para el mercado interno como para el mercado internacional, a partir de dichos productos, le abre una nueva e importante posibilidad de negocios, de creación de empleo y en general, de creación de riqueza. A lo anterior se suma la posibilidad que tiene el país de expandir su frontera agrícola, no sólo en lo que concierne a estos dos productos sino a otros como el maíz, la soja y la yuca. Esta situación ha creado gran expectativa y el sector privado ha dado señales de querer invertir en este campo. Asimismo, ha

inducido al Gobierno a crear un marco regulador que se espera que tenga repercusiones positivas en el crecimiento de este subsector [8].

11.4.1. Bioetanol:

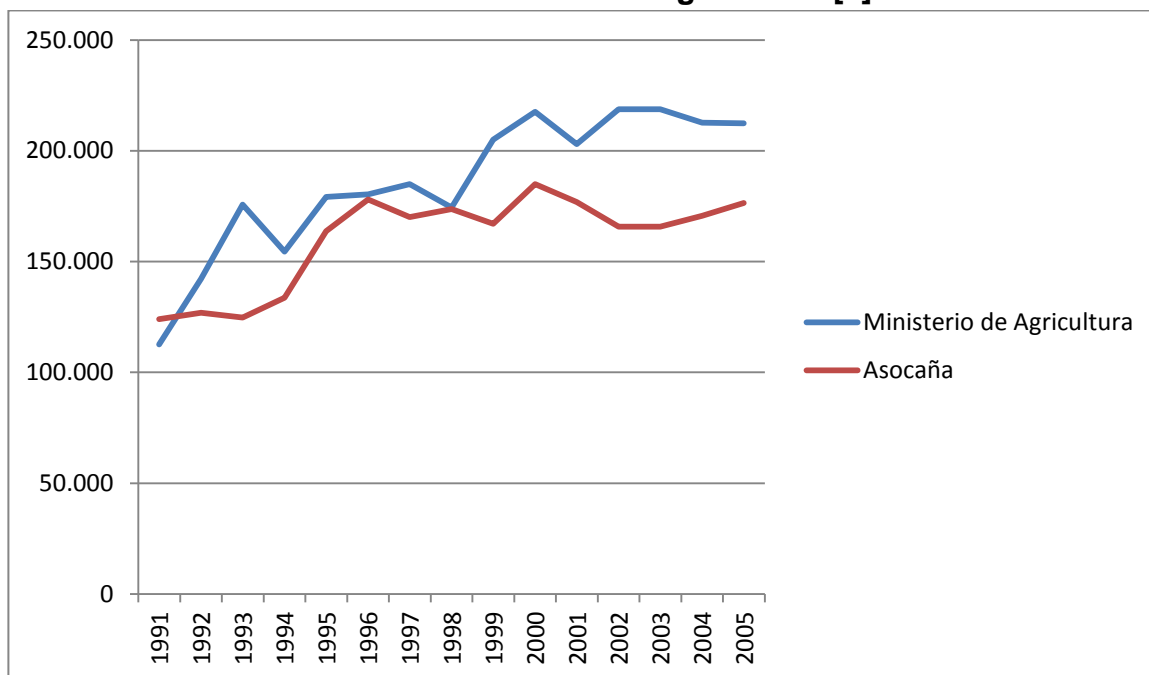
- Cultivos de caña: área sembrada y rendimiento actual.

Para calcular el área de caña de azúcar plantada y cosechada, existen dos fuentes de información, una de origen público y otra de origen privado, respectivamente: el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y la Asociación Colombiana de Cultivadores de Caña de Azúcar (Asocaña). Ambas fuentes coinciden en que el área cosechada de caña de azúcar se incrementó en el periodo comprendido entre 1991 y 2005. Para el Ministerio dicha área creció, en promedio, a una tasa anual del 3,8%, pasando de 112.640 hectáreas en 1993 a 212.446 hectáreas en el 2005 (ver Tabla 11.3 y Figura 11.1). Asocaña, en cambio, considera que, en ese mismo periodo, el crecimiento fue más tenue, con una tasa promedio anual del 2,8%, y señala que el área cosechada pasó de 124.043 hectáreas en 1991 a 176.366 hectáreas en 2005.

Tabla 11.3. Caña de azúcar cosechada en Colombia en el periodo 1991-2005.
Fuente: Ministerio de Agricultura [5]

Año	Ministerio de Agricultura	Asocaña
	Cosechada	Cosechada
1991	112.640	124.043
1992	142.224	126.912
1993	175.731	124.707
1994	154.461	133.729
1995	179.206	163.694
1996	180.391	178.025
1997	184.992	170.151
1998	174.445	173.700
1999	205.044	167.099
2000	217.570	184.986
2001	203.069	176.828
2002	218.706	165.732
2003	218.706	165.732
2004	212.651	170.662
2005	212.446	176.366
Crec %	3,8%	2,8%

Figura 11.1. Caña de azúcar cosechada en Colombia periodo 1991-2005.
Fuente: Ministerio de Agricultura [5]



• **Etanol:** producción (por hectárea y por tonelada de azúcar) y costos: Asocaña calcula que el consumo anual de gasolina para las ciudades de más de 500 mil habitantes y para las áreas metropolitanas (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Pereira, Bucaramanga) ronda los 76,7 KBD⁵⁵ (12 millones de litros por día). Por lo tanto, y teniendo en cuenta las disposiciones legales, se necesitarían 7,67 KBD de alcohol anhidro por día, para oxigenar las gasolinas con un 10% de alcohol anhidro; es decir, 1,2 millones de alcohol anhidro por día.

Esto quiere decir que, para cubrir la demanda anual de las siete ciudades, es necesario contar con 5,93 millones de toneladas de caña de azúcar, lo que corresponde, en términos de área, a unas 54 mil hectáreas de caña de azúcar.

En el caso de que se oxigenaran la gasolina de todo el país, las necesidades serían de 1,4 millones de litros de alcohol anhidro por día. Esta producción demandaría 7 millones de toneladas de caña de azúcar al año y 63 mil hectáreas sembradas con este cultivo.

Según estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en el 2005, se estimó que, de acuerdo con la demanda de ese año, para el año 2010 la

⁵⁵Kilo barriles por día.

producción de etanol se incrementaría aproximadamente en un 75% pasando de 1'370.000 litros/día a 2'400.000 litros/día, con un número de destilerías alrededor de 28. El Ministerio de minas y energía, estimó que los años 2006 y 2007 serían exclusivamente para la comercialización interna, con el fin de abastecer el mercado nacional, y a partir del 2008, la producción sería de tal magnitud que supliría la demanda interna y permitiría la exportación del producto (Tabla 11.4 y Figura 11.2).

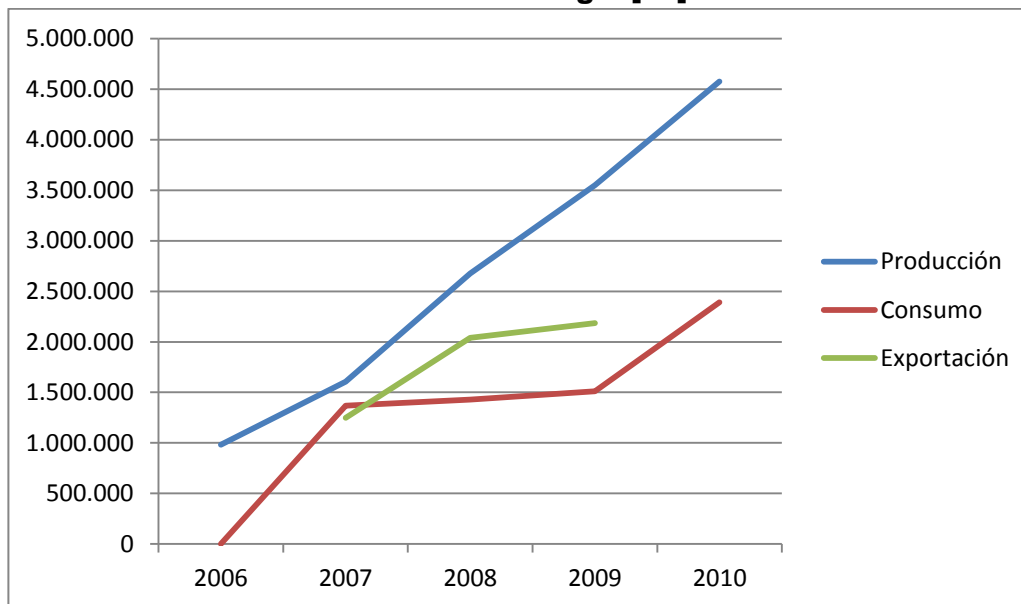
Tabla 11.4. Estimación de producción y consumo de etanol en Colombia.

Fuente: Ministerio de minas y energía [12+]

	2006	2007	2008	2009	2010
Has	43.000	66.000	108.000	146.000	193.000
Litros promedio/ día	983.000	1'607.500	2'677.200	3'548.400	4'574.000
Número de plantas	6	9	15	21	28
Consumo litros/día	1'370.000	1'370.000	1'430.000	1'510.000	2'390.000
Exportación (Litros)			1'247.200	2'038.000	2'184.000

Figura 11.2. Estimativo de la producción, consumo y exportación de etanol.

Fuente: El autor, elaborado con base en datos del Ministerio de minas y energía [12]



• Capacidad industrial instalada.

La capacidad de molienda de los 14 ingenios del país es de 80.000 toneladas de caña por día, las cuales se dividen entre la producción de alcohol y la producción de azúcar. Según lo dispuesto por la Ley 693 de 2001, en el Valle del Río Cauca

se comenzaron a implementar las primeras plantas productoras de alcohol carburante: el 28 de octubre de 2005 se inauguró la primera productora de alcohol, la del ingenio del Cauca-Incauca. Ese mismo mes inició producción la planta del ingenio Providencia, y en marzo de 2007 las plantas de los ingenios Manuelita, Mayagüez y Risaralda. Estos cinco ingenios instalaron destilerías en sus plantas y tienen una capacidad de producción de un millón cincuenta mil litros diarios; además, han realizado inversiones por aproximadamente US\$ 80 millones, aunque el Ministerio de Minas y Energía informa que fueron del orden de los US \$ 100 millones. (Tabla 11.5)

Tabla 11.5. Inversión y capacidad de producción de las plantas que procesan caña de azúcar. Fuente: Ministerio de minas y energía [12]

Departamento	Inversionista	Inversión (millones US \$)	Capacidad (l/día)	Fecha de puesta en funcionamiento.
Cauca	Ingenio del Cauca	20	300.000	2005
Valle del Cauca	Ingenio Manuelita	14,3	250.000	2007
Valle del Cauca	Ingenio Mayagüez	18,2	150.000	2007
Valle del Cauca	Ingenio Providencia	13	250.000	2006
Risaralda	Ingenio Risaralda	14,2	100.000	2007

• Disponibilidad de cultivos sustitutos para la producción de etanol.

En Colombia, los productos más promisorios para la producción de etanol, además de la caña de azúcar, son la caña panelera y la yuca, cuyas áreas, producción y rendimientos aparecen en la Tabla 11.6.

Tabla 11.6. Materias primas para la producción de etanol (2000-2005). Fuente: Evaluaciones agropecuarias. [13]

Producto	Variable	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Caña de azúcar	Área (ha)	217.570	203.069	218.706	212.651	203.384	212.446
	Producción (t)	2.812.709	2.410.836	2.881.661	2.776.776	2.702.863	2.855.283
	Rendimiento (t/ha)	12.928	11.872	13.176	13.058	13.289	13.440
Caña Panela	Área (ha)	214.582	222.204	243.118	246.057	249.384	243.866
	Producción (t)	1.301.503	1.434.828	1.587.893	1.657.431	1.696.186	1.697.114
	Rendimiento (t/ha)	6.065	6.457	6.531	6.736	6.802	6.959

Yuca	Área (ha)	179.348	190.97	172.124	174.444	176.811	179.912
	Producción (t)	1.792.382	1.980.110	1.779.250	1.840.717	1.943.098	2.073.130
	Rendimiento (t/ha)	9.994	10.411	10.337	10.552	10.990	11.523

11.4.2. Biodiesel:

Según la Unidad de planeación Minero Energética, del Ministerio de Minas y Energía las plantas productoras de biodiesel en Colombia son:

Tabla 11.7. Plantas de biodiesel en Colombia (2010). Fuente: Ministerio de agricultura [13]

Región	Inversionista	Capacidades (miles de Ton/año)	Inversiones en millones de USD	Siembra (miles de ha)	Empleos (miles)	Fecha de entrada
Norte	Oleoflores S.A.	50,0	11,0	11,1	7,6	2007
Norte	Odinenergy Santa marta Corp.	36,0	12,0	6,7	4,5	2008
Norte	Biocombustibles sostenibles del Caribe S.A.	100,0	17,0	22,2	15,1	2009
Oriental	Bio D S.A.	100,0	41,0	22,2	15,1	2009
Central	Ecodiesel de Colombia S.A.	100,0	35,0	22,2	15,1	2009
Oriental	Aceites Manuelita S.A.	100,0	42,0	22,2	15,1	2009

Materia prima: En Colombia la principal fuente de aceite es la palma aceitera, cuya superficie de siembra es de 335.500 de hectáreas aproximadamente, de las cuales un 65,7% se encuentra en estado de producción y el 34,3% restante está en su fase de desarrollo. Además de la palma aceitera (palma africana), existen ocho cultivos que pueden proveer aceite para la fabricación de biodiesel: coco, higuera, aguacate, jatropha, colza, maní, girasol y soya.

En la tabla 11.8., se muestran los rendimientos potenciales de algunas fuentes potenciales de aceite como materia prima para la elaboración de biodiesel. Se incluyen datos acerca de su incidencia estimada sobre la generación de empleo.

Tabla 11.8. Rendimiento de las principales fuentes de biodiesel 1G en Colombia. Fuente: Ministerio de agricultura [13]

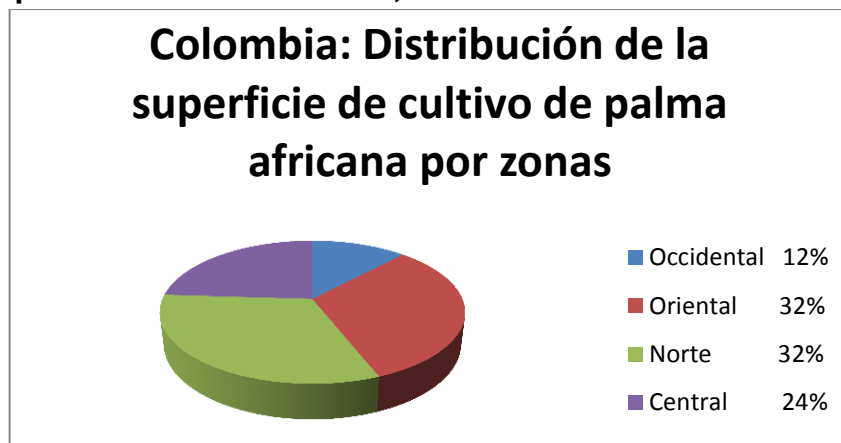
Cultivo	Rendimiento (l/ha/año)	Rendimiento (gal/ha/año)
Palma	5550	1466
Cocotero	4200	1110
Aguacate	2460	650
Maní	990	262
Soya	840	222
Girasol	890	235

- Palma Africana:** Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo. Tiene como fortaleza un gremio que cuenta con sólidas instituciones, ya que desde 1962 fue creada FEDEPALMA.

En cuanto a su historia, la palma se introdujo en el país en 1932 y fue sembrada con fines ornamentales en la estación agrícola de Palmira (Valle del Cauca). El cultivo comercial solo comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company (UFCo) estableció una plantación en la zona bananera del departamento de Magdalena.

La expansión del cultivo ha mantenido un crecimiento sostenido. A mediados de la década de los sesentas, existían 18 mil hectáreas en producción y hoy existen más de 220 mil hectáreas en 73 municipios del país, distribuidos en cuatro zonas productivas, como se muestra en la Figura 11.3.

Figura 11.3. Colombia: Distribución de la superficie de cultivo de palma africana por zonas. Fuente: Autor, basado en datos de FEDEPALMA [10]



A continuación se citan los departamentos beneficiados por el cultivo de palma aceitera según la región:

Norte: Magdalena, Norte del Cesar, Atlántico, Guajira.

Central: Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar.

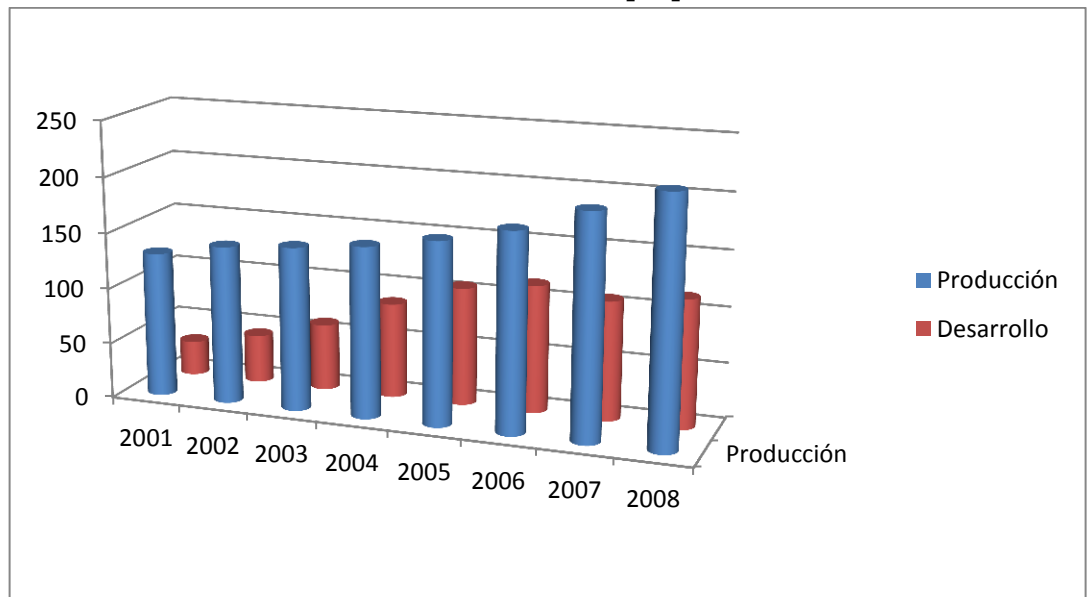
Oriental: Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá.

Occidental: Nariño.

De acuerdo con cifras de FEDEPALMA, los departamentos que poseen más área sembrada en palma de aceite son en su orden: Meta (1), Cesar (2), Santander (3), Magdalena (4), Nariño (5), Casanare (6), Bolívar (7), Cundinamarca (8) y Norte de Santander (9).

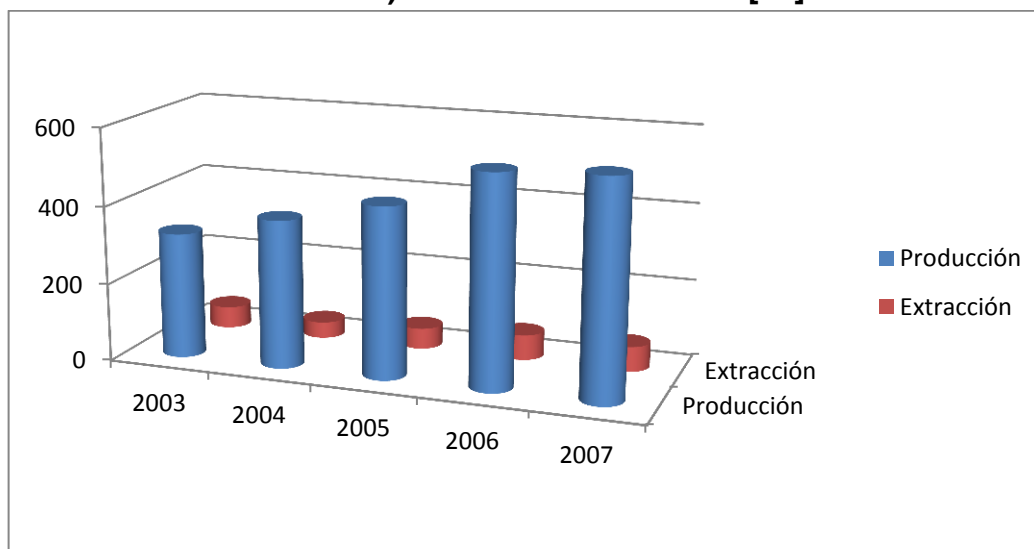
La Figura 11.4 muestra la evolución del cultivo de palma, para el período comprendido entre el 2001 y el 2008. En ella se aprecia que la producción es mayor que el desarrollo. En el periodo mostrado ambos indicadores van en ascenso debido al apoyo que ha tenido estos sectores por parte del gobierno.

Figura 11.4. Colombia. Evolución de la superficie de cultivo de palma aceitera en el período 2001–2008 (en miles de hectáreas). Fuente: FEDEPALMA [10]



También se puede observar la relación de la estructura de costos de producción de aceite de palma. Figura 11.5.

Figura 11.5. Colombia. Costos de producción de fruto y de extracción de aceite de palma en el periodo 2003-2007. (En dólares Estadounidenses por tonelada). Fuente: FEDEPALMA [10]



La mayor proporción del costo de producción de aceite corresponde a la producción del fruto, con una participación del 89,6% con respecto al costo total, mientras que el costo de extracción representa solamente el 10,4%.

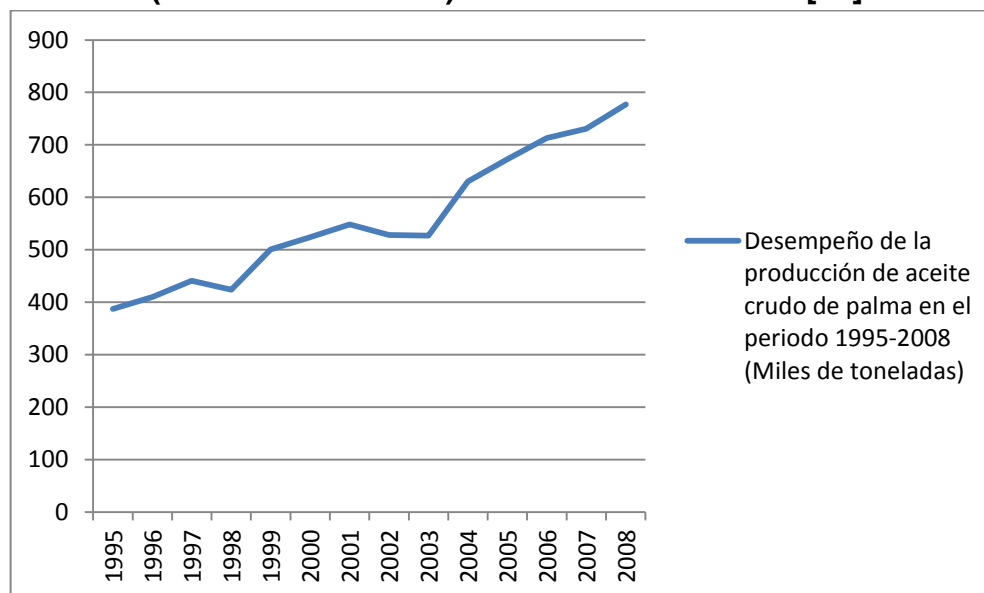
Las labores de cultivo y la administración para la producción de fruto tienen una relativa contribución al costo de producción, que alcanza un 40,4% y un 14,2% respectivamente, sobre el costo total, lo cual demuestra la significativa incidencia de estos rubros de costos sobre el empleo y el ingreso agrícola de los palmicultores⁵⁶.

Durante el período comprendido entre el 2003 y el 2007, se ha registrado un incremento de los costos de producción, en una magnitud del 13,0% en la tasa media anual. A su vez, el precio local y el precio internacional del aceite crudo de palma, han mostrado incrementos del 7,9% y del 15,2%, respectivamente, en la tasa media anual de cambio para el mismo período referido.

La producción de aceite de palma ha crecido de forma constante desde 1995, pero es desde el 2004 cuando la tasa de crecimiento se duplica del 4% al 8% promedio anual, como se puede mostrar en la Figura 11.6.

⁵⁶Algunas de las labores de cultivo consisten en previvero, vivero, preparación de suelos, siembra en sitio definitivo y mantenimiento de la etapa improductiva (tres años), así como mantenimiento del cultivo en etapa productiva y cosecha (25 años).

Figura 11.6. Producción de aceite crudo de palma en el periodo 1995-2008 (Miles de toneladas). Fuente: FEDEPALMA [10]



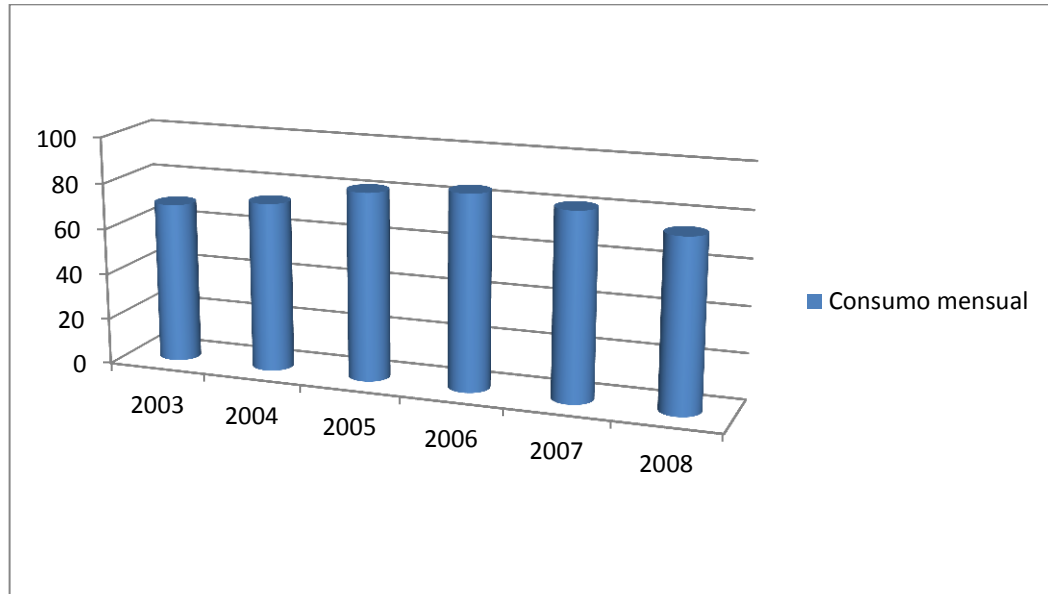
El crecimiento sostenido de esta actividad ha sido el resultado de la dinámica de crecimiento de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia, la cual ha mostrado capacidad para atender volúmenes crecientes de exportaciones, así como el desarrollo de nuevos mercados locales, alternativos al mercado tradicional, principalmente el aprovisionamiento de materia prima para la elaboración de biodiesel. Los indicadores de desempeño agrícola e industrial que se muestran en el Tabla 11.9., permiten visualizar la respuesta tangible a las condiciones de la demanda de aceite de palma.

Tabla 11.9. Producción y rendimientos de palma (2001-2007). Fuente: FEDEPALMA [10]

Año	Producción de racimos de fruta fresca (miles de t FF)	Producción de aceite crudo de palma (ACP) Miles de t	Rendimientos por ha de producción		Tasa de extracción (t FF/t ACP)
			t FF/ha	t ACP/ha	
2001	2648,5	547,6	20,4	4,2	20,7%
2002	2558,2	528,4	18,0	3,7	20,7%
2003	2579,5	526,6	17,6	3,6	20,4%
2004	3106,5	630,4	20,3	4,1	20,3%
2005	3240,7	672,6	19,8	4,1	20,8%
2006	3450,3	713,3	19,4	4,0	20,7%
2007	3589,7	731,3	18,0	3,7	20,4%
2008	3722,1	777,5	16,9	3,5	20,9%
		Promedios	18,6	3,8	20,6%

Consumo de diésel: Durante el período comprendido entre el 2003 y el 2008, el consumo mensual de diésel ha registrado una participación histórica de un 38,6% con respecto al consumo mensual total de combustibles y una tasa media de crecimiento anual de un 1,4% promedio anual para este mismo período. El consumo de diésel en Colombia se muestra en la Figura 11.7.

Figura 11.7. Consumo mensual de diésel en el período 2003 – 2008 (Miles de barriles / día calendario). Fuente: UPME [12].



Posibilidades de incrementar la oferta de biodiesel: Ante un posible escenario de consumo de aceite de palma que incluya al segmento de uso para biodiesel, se deberá habilitar el abastecimiento en tiempo, oportunidad y calidad suficiente como para satisfacer las metas propuestas de mezcla de biodiesel con combustible fósil. El 2008 considerado como año base de este escenario permite anticipar el comportamiento de los siguientes años inmediatos hasta el 2011.

FEDEPALMA demostró las posibilidades del sector para atender los diversos segmentos de consumo, incluido el de consumo, exportación e incluso biodiesel, como se detalla en el Tabla 11.10.

Tabla 11.10. Estimación de la participación de mercado para el aceite de palma en el escenario 2008 - 2011 (miles de toneladas).

Fuente: FEDEPALMA [10]

Año	Participación según segmento del mercado			Total
	Consumo	Biodiesel	Exportación	
2008	413	40	128	581
2009	423	243	192	858
2010	433	502	76	1011
2011	444	518	124	1086
Participación (2008-2011)	48,4%	36,9%	14,7%	100,0%

El ingreso del segmento de uso de aceite de palma para biodiesel generó una significativa participación del 36,9% para el escenario 2008–2011, donde el crecimiento de este segmento se ubicó en un 134,8% promedio anual (tasa media de cambio 2008– 2011), sin mayor detrimento para el segmento de uso del mercado tradicional de alimentos y jabonería (consumo).

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia ha estimado un potencial de 3,3 millones de hectáreas para la siembra de palma aceitera. Este potencial se distribuye entre cuatro zonas con tradición y dotación agrícola para la siembra, con un posible impacto sobre la generación de empleo, conforme se muestra en la tabla 11.11.

Tabla 11.11. Empleo actual y estimado en función del área potencial de palma aceitera. Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, CORPOICA – CENIPALMA [9]

Zona	Áreas de cultivo (miles de ha)		Empleos actuales (en miles)	Empleo estimado en función del área potencial (en miles)		
	Sembrada	Potencial		20%	50%	100%
Central	91,2	693,1	24,6	37,4	93,6	187,1
Norte	111,7	579,5	30,2	31,3	78,2	156,5
Occidente	39,9	66,9	10,8	3,6	9,0	18,1
Oriental	121,5	1933,8	32,8	104,4	261,1	522,1
Total	364,3	3273,3	98,4	176,8	441,9	883,8

Las superficies de siembra y las cantidades de demanda de aceite de palma fueron proyectadas para diversas mezclas de biodiesel con combustible fósil. Los

resultados en su momento (2008) mostraron que se requerirían 66,4 miles de hectáreas y 236,4 miles de toneladas, respectivamente, para satisfacer un B5. Estas proyecciones coincidieron con el escenario propuesto para el 2008–2011, pues para el año 2009 se esperaba que la oferta de 243,0 miles de toneladas superará la demanda estimada para un B5 de 236,4 miles de toneladas.

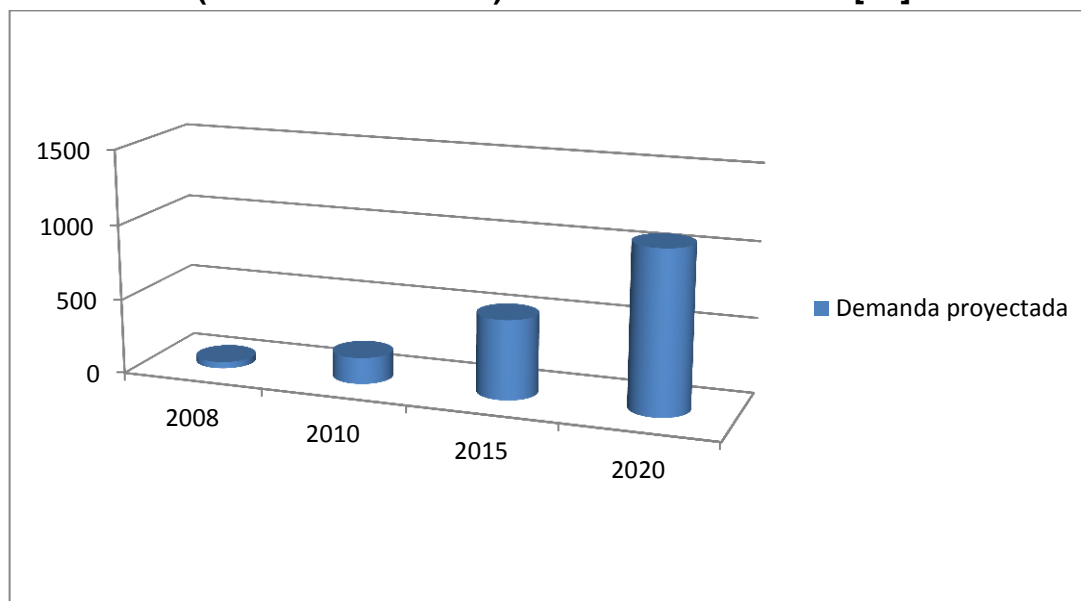
La proyección de demanda de B10 requirió de 472,8 miles de toneladas de aceite de palma, conforme se muestra en el Tabla 11.12.

Tabla 11.12. Demanda de biodiesel en función de la mezcla. Fuente: FEDEPALMA [10]

Mezcla	Área de siembra (miles de ha/año)	Producción de aceite de palma (miles de t/año)
B5	66,4	236,4
B10	131,3	472,8
B15	197,0	709,3
B20	262,7	945,7

Por su parte, el Ministerio de Minas y Energía de Colombia proyectó la demanda de biodiesel 2008–2020, mediante la cual se puede derivar la solicitud de materias primas para atender la demanda interna en función de las metas propuestas de mezcla, del 5%, 7% y 10%, respectivamente, como se muestra en la Figura 11.8.

Figura 11.8. Demanda proyectada de biodiesel en el período 2008–2020 (miles de toneladas). Fuente: FEDEPALMA [10]



La palma africana es el cultivo de mayor rendimiento para los biocombustibles y permite una producción de 5500 litros de biodiesel por hectárea al año y le sigue el cocotero con 4200 litros [13, 14].

11.5. Tecnologías para la producción de biocombustibles de primera generación.

11.5.1. Tecnologías para la producción de alcohol carburante.

Producción de etanol a partir de azúcares.

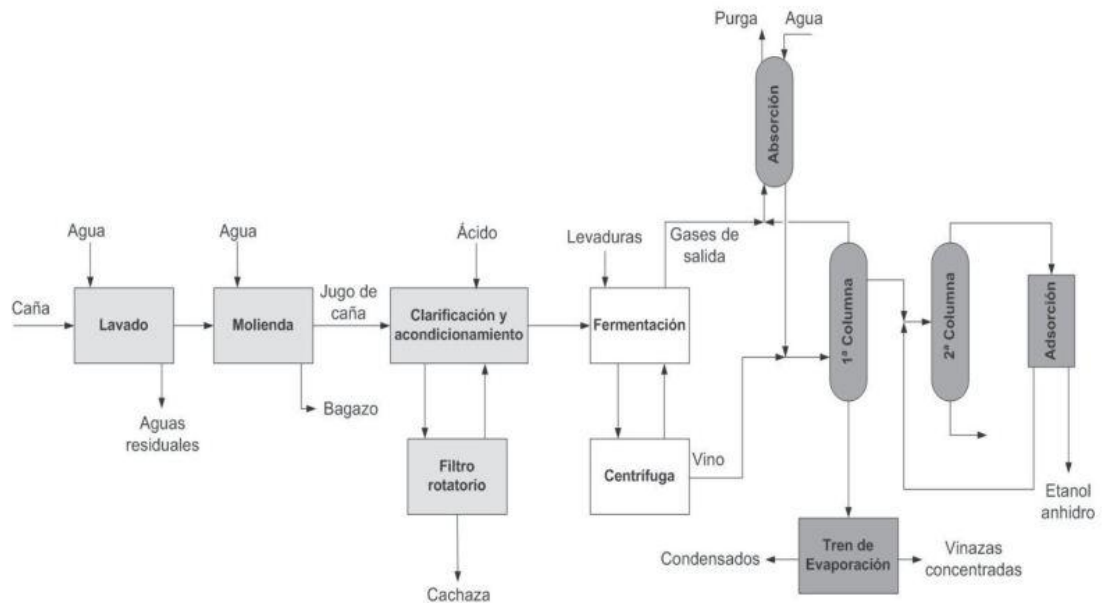
Esquema tecnológico:

El proceso de producción de bioetanol directamente de la caña de azúcar comprende en forma global la extracción del jugo de caña, el cual es rico en azúcares y su acondicionamiento para hacerlo más asimilable por parte de las levaduras durante la fermentación. De la mezcla que se obtiene del cultivo resultante de la etapa de fermentación debe separarse la biomasa celular, para luego llevar a cabo la concentración de etanol y posterior deshidratación mediante diferentes operaciones unitarias obteniéndose etanol anhidro⁵⁷. Este proceso puede tener como punto de partida no solamente la caña cortada sino las melazas de caña, así como otras corrientes con altos contenidos de carbohidratos fermentables derivados del proceso de obtención de azúcar en los ingenios. Las plantas productoras de etanol están localizadas junto a los ingenios azucareros [17].

En la figura 11.9 se muestra el proceso global de producción de alcohol carburante a partir de caña de azúcar en destilerías autónomas. El esquema productivo en una destilería anexa a un ingenio se diferencia en las primeras etapas (lavado, molienda y clarificación) siendo prácticamente el mismo desde la etapa de fermentación, aunque suele ser necesario una etapa de acondicionamiento de las melazas antes del cultivo de las levaduras en los fermentadores. Los procesos de producción de etanol emplean prácticamente las mismas operaciones tanto en una destilería autónoma como en una destilería anexa a un ingenio azucarero [15-22, 26].

⁵⁷Etanol anhidro, es la forma en la cual es utilizado este biocombustible como aditivo oxigenante.

Figura 11.9. Esquema general del proceso de producción de alcohol carburante a partir de caña de azúcar. Fuente: Cardona [17]



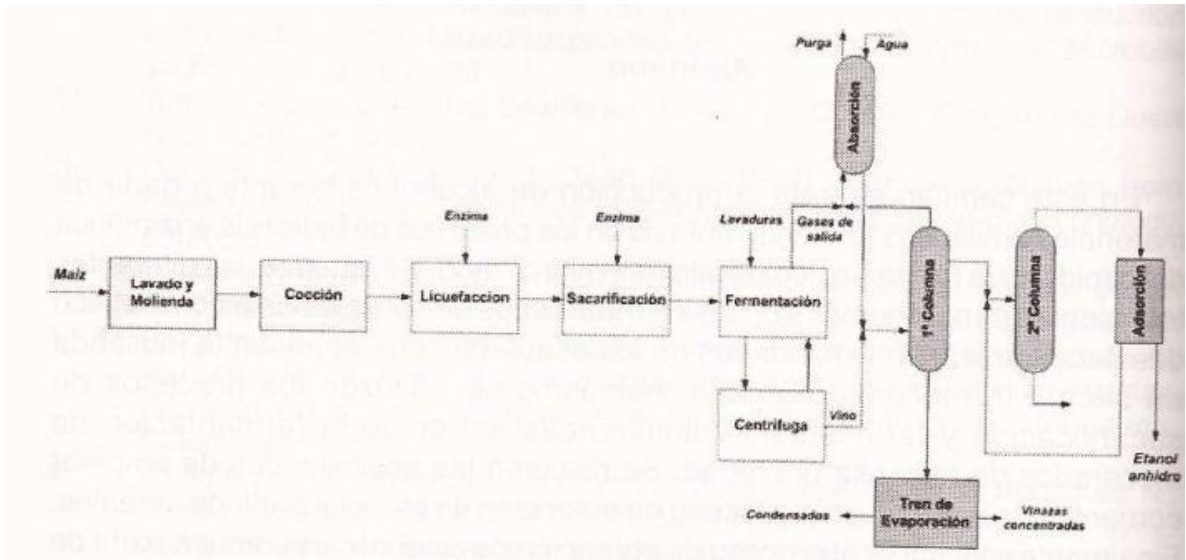
Producción de etanol a partir de almidón.

Esquema Tecnológico:

La producción de alcohol carburante a partir de materiales con alto contenido de almidón tiene algunas etapas adicionales en comparación con el proceso de producción del biocombustible a partir de materiales con alto contenido de azúcares como lo es la caña de azúcar como se muestra en la Figura 11.10. El esquema tecnológico requiere de una etapa de pretratamiento de los materiales amiláceos⁵⁸, el cual promueve a que el almidón sea más susceptible a la hidrólisis. Esta etapa es conocida como licuefacción, en esta el almidón se hidroliza parcialmente a temperaturas elevadas. La siguiente etapa es la sacarificación, el almidón licuado se somete a una hidrólisis más profunda donde se obtienen los azúcares fermentables para su conversión a etanol [19]. Después de la fermentación el proceso es prácticamente similar al correspondiente a los materiales con contenido de azúcares.

⁵⁸Materiales amiláceos son aquellos que contienen almidón, ejemplo de uno de ellos es el maíz.

Figura. 11.10. Esquema general del proceso de producción de etanol a partir de materiales amiláceos. (Caso del maíz –Molienda en seco). Fuente: Sánchez O.J., Cardona C.A. [19]



Durante la etapa de evaporización de las vinazas se pueden obtener ciertos subproductos que tienen valor como componentes de alimentos balanceados para animales. La materia prima más empleada para en la producción de etanol a partir de almidón es el maíz y el trigo. Estados Unidos, principal competidor de Brasil en producción mundial de alcohol etílico, produce su etanol en su gran mayoría a partir del maíz, del cual es el primer productor mundial [18,19, 27].

11.5.2. Tecnologías para la producción de biodiesel.

La producción de biodiesel al igual que la producción de bioetanol y muchos otros procesos químicos, consta de varias etapas (acondicionamiento de las materias primas, reacción o transformación química, separación de los productos y enriquecimiento hasta el grado de pureza requerido).

La producción de biodiesel se puede clasificar en las siguientes tecnologías:

- Tecnología convencional con reactores que operan por lotes.
- Tecnología integrada de intensificación de procesos.
- Tecnologías no convencionales (últimos desarrollos en la producción de biodiesel).

Como se mencionó anteriormente existen varias tecnologías para la producción de biodiesel, estas pueden depender de factores como la capacidad de producción, el tipo de alimentación y la materia prima a usar. En la tabla 11.13., se muestran las compañías especializadas en la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales existentes en el mundo [29].

Tabla 11.13. Principales compañías especializadas en la producción de biodiesel. Fuente: Cardona C.A., Orrego C. E., Gutiérrez L. F.[25]

Nombre de la Compañía	País
HENKEL	Alemania
ESTERFIP	Francia
ESTERECO	Italia
BALLESTRA	Italia
OCENA AIR ENVIRONMENTAL	Estados Unidos
PACIFIC BIODIESEL	Estados Unidos

11.6. Participación de los autores:

Anteriormente quedó evidenciado que los biocombustibles de primera generación son aquellos provenientes de la biomasa de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana. Estas tecnologías son más simples y económicas y han alcanzado una etapa de producción comercial. Las nuevas tendencias de los biocombustibles se enfocan a buscar materia prima que no comprometa la seguridad alimentaria y que tengan índices energéticos más altos. Siendo también estas últimas más prometedoras.

Bibliografía

- [1] Aguilar L., Vásquez L. Análisis del estado actual de las tecnologías de producción de biodiesel. [Tesis de grado] Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. El Salvador-2007.
- [2] Aya W.A., Pineda J.C. Sánchez O.J., Cardona C.A. “Análisis comparativo de diferentes materias primas amiláceas para la obtención de alcohol carburante” En: III Congreso Colombiano de Ingeniería Química. Manizales, Colombia. 2005.
- [3] Cardona C.A., Orrego C. E., Gutierrez L. F., “BIODIESEL”. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2009.
- [4] Cardona C. A. , Sánchez O. J., Montoya M. I., Quintero J. A. “Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz” Scientia et Technica, 28: 187-182. 2009
- [5] Caro J., Rivera J., Corina D., Calderón M. “La agroenergía en la región andina: Situación actual y perspectivas” Seminario Internacional de Biocombustibles: Potencia de Colombia. Cartagena- 2009.
- [6] Echegaray O., Carvalho J., Fernandes A., Sato S., Aquarone E., Vitolo M., “Fed batch culture of *saccharomyces cerevisiae* in sugarcane blackstrap molasses: Invertase activity of intact cells in ethanol fermentation. Biomass and bioenergy, 19: 39-50
- [7] Gnecco J.G. “Alternativas de disposición de vinaza”. En: III Jornada Técnica de Ingeniería Química. Manizales, Colombia. 2003.
- [8] Gnecco J. “Situación de la producción de etanol en Colombia”. Disponible en: http://www.ciat.cgiar.org/training/pdf/060315_escenarios_de_produccion_de_etanol_en_colombia.pdf.
- [9] Gil G.H., Jones W.J., Tornabene T.G. “Continuous ethanol production in two-stage, immobilized/suspended-cell bioreactor”. Enzyme and microbial Technology, 13: 390-399. 1991.
- [10] Guerreo R., Marrero G., Martínez JM., Puch L. “Biocombustibles líquidos: situación actual y oportunidades disponibles para España”. Fundación ideas. Madrid 2010.
- [11] <http://www.iea.org/>
- [12] <http://www.wind-works.org>
- [13] <http://portal.fedepalma.org/>
- [14] <http://www.ecopetrol.com.co/>
- [15] <http://www.minminas.gov.co>
- [16] I SEMINARIO-TALLER BIOCMBUSTIBLES BIODIESEL – BIOETANOL 2007 Bogotá.

- [17] Jaime B., Leyva S., Ortiz V., Cárdenas J., Garzón E. “biocombustibles en Colombia” Unidad de planeación minero energética. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. Bogotá-2009.
- [18] Montoya M.I., Quintero J.A. “Esquema tecnológico de la producción de bioetanol carburante” [Tesis de grado] Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2005
- [19] Murtagh J.E. “Molasses as feedstock for alcohol production”. En: Lyons T.P., Kelsall D.R., Murtagh J.E. The Alcohol Textbook. University Press: Nottingham pp 89-96. 1995.
- [20] Observatorio Agrocadenas Colombia. (2006). la agroindustria de la azúcar en Colombia. Agroindustria y Competitividad. Estructura y dinámica en Colombia 1992-2005. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural – IICA: Bogotá pp 95-130.
- [21] Pandey A., Soccol C.R., Mitchell D. “New developments in solid state fermentation: i-bioprocess and products”. Process Biochemistry, 35: 1153-1169. 2000
- [22] Pandey A., Soccol C., Nigam C., Soccol V. “Biotechnological potential of agro-industrial residues: I: Sugarcane bagasse. Bioresource Technology, 74: 69-80. 2000
- [23] Robalino C. “Elaboración de una manual de operación de un reactor experimental de transesterificación para la obtención de biodiesel proveniente de aceite vegetal” [Tesis de grado] Escuela Superior Politécnica del litoral. Quito, Ecuador – 2009.
- [24] Sánchez O.J., Cardona C.A. “Producción de alcohol carburante: Una alternativa para el desarrollo agroindustrial”. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 2007.
- [25] Sánchez O.J., Cardona C.A. “Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks”. Bio resource Technology. 2006
- [26] Seixas M. “Etanol: Atlas de la agro energía y los biocombustibles en las américas.” IICA: Instituto Americano de Cooperación para la Agricultura.
- [27] Twidell J., Weir T. “Renewable Energy Resources”. Handbook, 2006.
- [28] Vega O., “BIODIESEL: Atlas de la agro energía y los biocombustibles en las américas.” IICA: Instituto Americano de Cooperación para la Agricultura.
- [29] Zamora E. “Agrocombustibles: La situación de Nicaragua en el contexto regional”. Nicaragua-2008.

12. BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Una vez definidos los biocombustibles de primera generación, en la búsqueda de obtener nuevas fuentes de energía renovable y más amigable con el medio ambiente, la humanidad optó por tecnificar y mejorar los procesos de transformación de materia prima del sector agrícola y forestal con el fin de aprovechar toda aquella biomasa capaz de ser transformada en energía disponible en mayor proporción que si se quemara de manera convencional. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias [1].

Así mismo, son aquellos biocombustibles, que corresponden a tecnologías y técnicas de obtención que permanecen en continua investigación y desarrollo, ya que por ser procesos tan jóvenes, generan altos costos al momento de transformar las materias primas. Por tanto la fuente de esa energía a transformar son aquellos residuos forestales y agrícolas que durante su existencia, almacenaron energía solar, y ahora es energía que consideramos disponible en mayor proporción, si se logra aprovechar y mejorar los procesos de transformación existentes, o impulsar nuevos procesos que sean rentables y promuevan el crecimiento productivo [21, 28].

Los países que le apuestan a la producción de biocombustibles 2G son principalmente los mismos que impulsaron los biocombustibles 1G. Suecia por ejemplo, contempla un plan gubernamental en el cual se proyecta la sustitución completa del petróleo en el sector automotor para el 2020. La principal estrategia es la investigación y desarrollo en la producción de etanol a base de celulosa [20]. Estados Unidos mediante su ambiciosa política de apoyo a los biocombustibles, considera los 60 mil millones de litros de 2G para el 2022, convirtiéndose en el país con mayor aporte tecnológico a gran masa en el mundo, debido a la importación considerable de biocombustibles.

Los impactos que podrían generar los biocombustibles 2G durante su desarrollo son contemplados de manera positiva, ya que al no afectar el sector agrícola y alimenticio, se crearían buenas expectativas para este tipo de tecnología. La creación potencial de empleos directos e indirectos a través de la cadena de valor sería apreciable bajo cualquier contexto social. A su vez se impulsarían los sectores asociados a la biomasa, como el sector agrícola y rural [16, 21].

En primera medida, para que la producción de los biocombustibles 2G crezca de manera productiva y sea una fuente sostenible mundial, se requiere un aumento

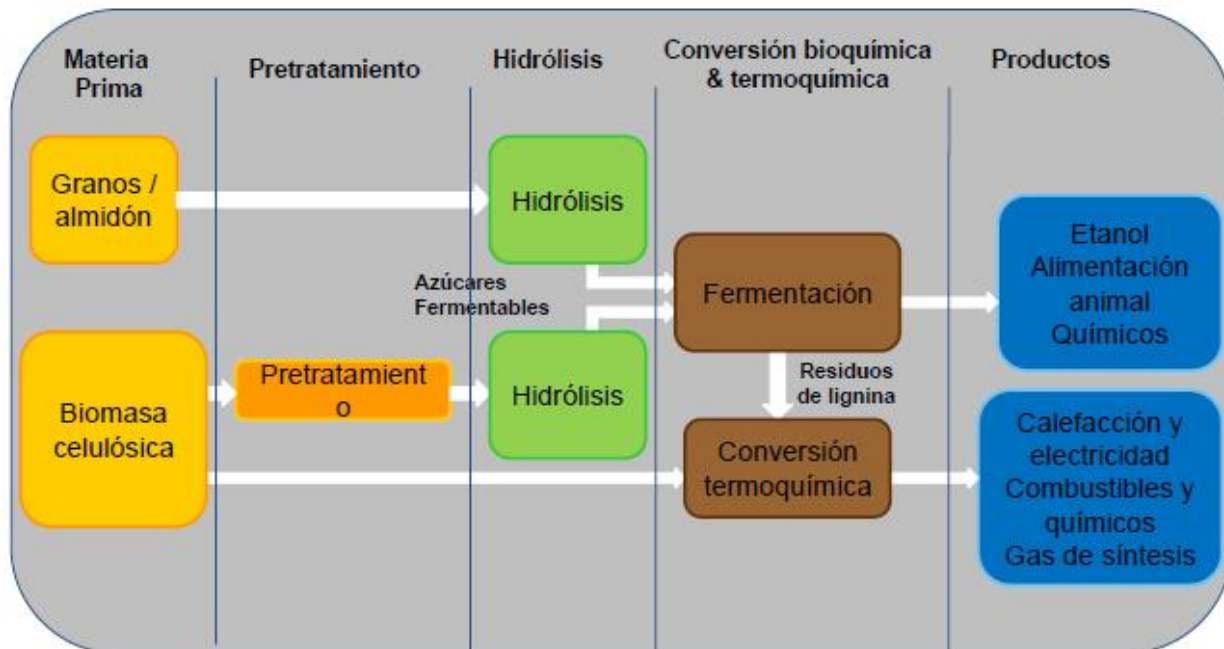
en la disposición y uso de la biomasa, lo cual es un factor limitante en muchos casos, donde la agricultura juega un papel importante en el aporte de esos subproductos usados en la tecnología 2G de producción [17, 35]. A continuación se muestra en la tabla 12.1., los principales productos de los biocombustibles de segunda generación.

Tabla 12.1. Productos de biocombustibles 2G. Fuente: Biofuels Research Advisory Council [24].

Tipo Biocarburante	Nombre Específico	Materia Prima	Proceso
Bioetanol	Bioetanol celulósico	Material lignocelulósico	Hidrólisis avanzada & fermentación
Biocarburante Sintético	-Biomass to liquid (BTL) -Fischer-Tropsch diesel -Biodiesel sintético - Biometanol. -Alcoholes pesados -Biodimetiléter	Material lignocelulósico	Gasificación & síntesis
Biodiesel	Biodiesel de hidrotreatmento H-BIO	Aceites vegetales & grasas animales	Hidrotreatmento
Biogás	Gas natural sintético (SNG)	Material lignocelulósico	Gasificación & síntesis
Biohidrógeno		Material lignocelulósico	Gasificación & síntesis // Biológico

Para hablar más a fondo de las implicaciones de la producción de 2G, estudiaremos en primera medida los procesos de obtención de los mismos. Naturalmente en cada proceso de transformación termoquímica de la biomasa, se involucran reactores, reactivos, catalizadores, insumos, bombas, válvulas, sistemas de refrigeración, sistemas neumáticos y demás dispositivos de control para garantizar su correcta transformación [28]. Estos procesos fueron mencionados en el capítulo de la biomasa.

Figura 12.1. Fuentes de biocombustibles 2G y la secuencia de procesos.
Fuente: Ortiz A. [21].

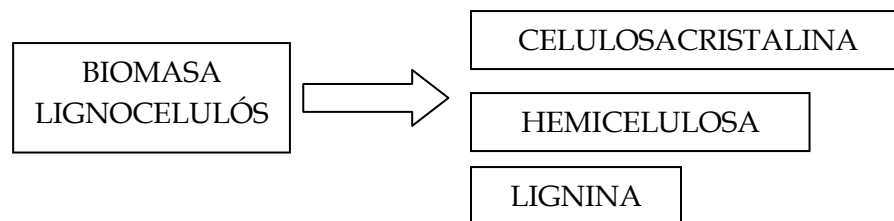


En la figura 12.2 se mencionan algunos de los procesos de fermentación e hidrólisis que también fueron estudiados en el capítulo 6 del seminario. Por tanto el estudio de los procesos involucrados de biocombustibles 2G se enfocará hacia el ámbito industrial y económico, sin ahondar demasiado el ámbito químico que estos procesos sugieren.

12.1. Materia prima para producción del bioetanol 2G.

Para el caso del bioetanol a partir de biocombustibles 2G, los procesos de transformación de materia prima son diferentes a los de 1G, ya que los procesos de fertilización y obtención de alcoholes se hacen a partir de biomasa lignocelulósica, requieren más transformación que en 1G, ya que se pueden obtener 3 fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente a etanol. En la figura 12.2 y la tabla 12.2, se especifican las fracciones obtenidas a partir de la biomasa lignocelulósica y sus respectivos porcentajes en diferentes fuentes lignocelulósicas.

Figura 12.2. Biomasa lignocelulósica. Fuente: Los autores.



La celulosa cristalina, compuesta por largas moléculas de D-glucosa, corresponde a la fracción con más presencia, seguida de la hemicelulosa, la cual está formada por polímeros de azúcares de cinco átomos de carbono. De las tres fracciones que se obtienen de la lignocelulósica, la hemicelulosa es la más fácil para hidrolizar a etanol ya que no presenta estructura cristalina⁵⁹, mediante procesos ácidos o enzimáticos. Pero tiene el inconveniente de baja fermentación del azúcar obtenido para poder obtener finalmente el etanol. La lignina es la última fracción que se obtiene, conformada por polímeros de fenilpropano ligados por enlaces éster y carbono-carbono. La proporción de las fracciones obtenidas a partir de la biomasa lignocelulósica corresponden a un 35% de celulosa cristalina, 25% de hemicelulosa, y un 25% de lignina. El 15% restante corresponde a otras cadenas de carbono y azúcares en menor proporción [21].

Tabla 12.2. Fuentes y porcentaje de la biomasa lignocelulósica. Fuente: [25].

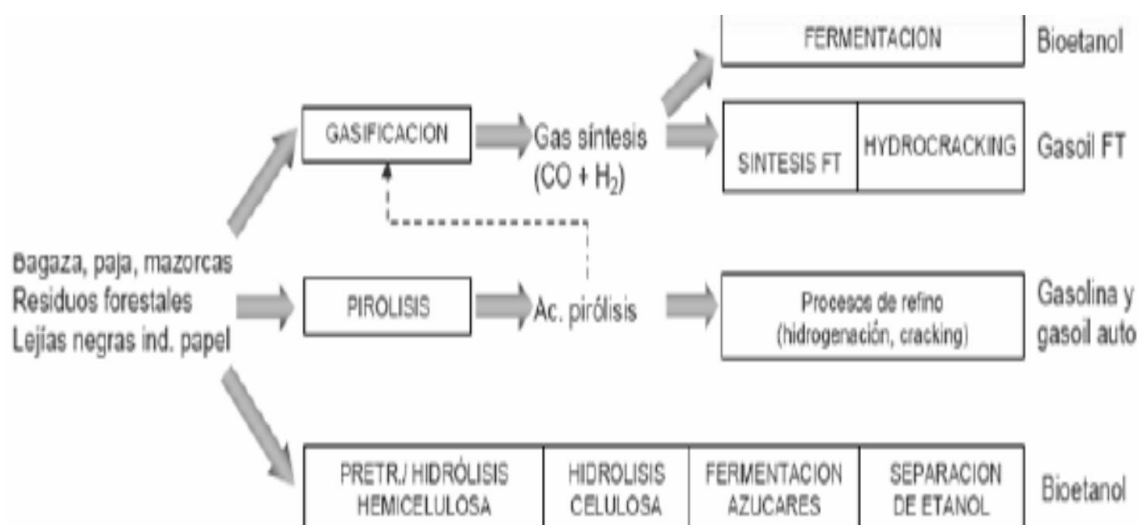
FUENTE	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Rastrojo de maíz	36-37	22-23	16-17
Olote de maíz	36	23	17
Fibra de maíz	14.28	16.8	8.4
Bagazo de caña	50	20	30
Paja de cebada	40-44	28-30	20-22
Paja de trigo	33-38	21-25	23
Paja de arroz	34	25	23
Madera	40-50	20-26	17-30
Madera de pino	46.4	8.8	29.4

⁵⁹ Las estructuras cristalinas son más difíciles de disociar debido a la alta fuerza entre enlaces.

Pasto	31	20-24	17-18
Papel de oficina	68.6	12.4	11.3

En general, los procesos de obtención de etanol, y refinamiento a partir de biomasa lignocelulósica se pueden resumir a la obtención de gases de síntesis y cadenas de azúcares donde se hace una separación de sustancias, las cuales se vuelven subproductos de la siguiente estación de los procesos, para llegar a obtener Bioetanol y Gasoil (Figura 12.3).

Figura 12.3. Procesos de transformación de biomasa lignocelulósica. Fuente: BioOils [23].



Entre los pretratamientos que recibe la biomasa lignocelulósica se destacan los de reducción del tamaño de sus partículas como la molienda, trituración, y los de reducción de humedad como el secado. Otros tratan el aspecto de asimilación de los catalizadores como el ataque microbiano y agentes químicos como el hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, glicerol, fenol, etilenglicol, entre otros.

Las investigaciones y avances en la obtención de biomasa lignocelulósica se están llevando a cabo en las cosechas y residuos agrícolas e industriales que se puedan aprovechar de manera eficiente. Como la lignina no hace parte del aprovechamiento, se debe disminuir su contenido. Otro aspecto de la biomasa, es que se debe mejorar la adaptación de la misma con las enzimas dispuestas para romper las estructuras lignocelulósicas. En el aspecto de pretratamientos de la biomasa, las investigaciones se enfocan en el desarrollo de procesos de adición de líquidos iónicos y biológicos con ciertos tipos de hongos. A su vez, se busca la

presencia de microorganismos capaces de descomponer las estructuras cristalinas y produzcan la fermentación de los azúcares de manera rápida. Todos los avances en investigación se verán reflejados en la superación de la denominada “barrera de la recalcitrancia” que limita aproximadamente el 40% del contenido de energía presente en la celulosa, en contraste con el 90% de conversión energética con los procesos de fermentación del bioetanol 1G [2, 15].

En la primera fase del desarrollo productivo de la biomasa lignocelulósica, se debe fortalecer el sector de reserva y recursos de la biomasa. Los residuos agrícolas y forestales se deben aprovechar al máximo, sin necesidad de utilizar grandes tierras para cultivar, lo que equivale al aprovechamiento máximo que se pueda tener con la biomasa lignocelulósica existente actualmente. De no ser así, se corren peligros ambientales y de utilización de espacios destinados al sector alimenticio, lo que desvirtúa el concepto de los biocombustibles 2G, los cuales no deberían afectar el sector alimenticio ni agrícola [32, 33].

Estudios de la IEA [3], muestran que gran parte de las cantidades de biocombustibles 2G podrían producirse a partir de residuos forestales y agrícolas existentes, sin afectar el sector alimenticio: 10% de los residuos agrícolas y forestales en 2007 pudieron producir alrededor de 120 mil millones de litros de BTL diesel o etanol lignocelulósico, y alrededor de 172 mil millones de litros de bio-SNG. Esto significa alrededor de un 5% de la demanda actual de combustible en el sector transporte. Cerca del 25% de los residuos forestales y agrícolas en el mundo pudieron producir alrededor de 300 mil millones de litros de BTL o etanol lignocelulósico, cifra correspondiente al 10.5% de la demanda de transporte mundial. La IEA en su estudio también contempla un crecimiento del 28% aproximadamente de los residuos forestales y agrícolas para el 2030, lo que intensifica las cifras de aquella biomasa aprovechable para producir biocombustibles 2G. [3, 32]

12.2. Materia prima para la producción de biodiesel 2G.

Son diversas las materias primas oleaginosas que pueden ser utilizadas para la obtención de biodiesel 2G. Se encuentra la higuera, la Jatropha, el Algodón, y la moringa entre otras plantas que no hacen parte de la dieta alimenticia de los seres humanos. Además de los aceites vegetales y animales, que son fuente de triglicéridos para la producción de biodiesel, es también usado los aceites usados que son desechados por la industria de los alimentos y que generan un problema ambiental para ese propósito.

12.2.1. Semilla y Aceite de Higuierilla.

La Higuierilla pertenece a la familia de las Euforbiáceas⁶⁰, es originaria de regiones tropicales. En Colombia se encuentra distribuida desde el nivel del mar hasta los 2.700msnm. Es una planta heliófila⁶¹ por lo cual su cultivo en el país está tomando fuerza por las políticas de apoyo, subsidios, zonas francas y las condiciones climáticas actuales. Las hectáreas cultivadas en el territorio nacional son alrededor de 1.000, las cuales se encuentran distribuidas principalmente en Antioquia, el eje cafetero (Dorada, Magdalena medio y Puerto Salgar), también en Cundinamarca y Santander [10].

La demanda del aceite de higuierilla es comparativamente alta con respecto a la oferta, lo que muestra la importancia de incentivar el cultivo de este fruto en el país, sin embargo no hay programas en el país para tal fin. La ventaja más grande de esta planta y que la ubica dentro de los biocombustibles de segunda generación es que es un aceite no comestible, por lo tanto no compite con la alimentación humana. Actualmente en Colombia no se produce biodiesel a partir del aceite de Higuierilla. Todo lo que se produce de la semilla y del aceite de Higuierilla se destina a exportación, perdiendo así los beneficios económicos que representaría transformar esta materia prima en productos de mayor valor agregado.

La planta de Higuierilla necesita ciertas condiciones propicias para su cultivo, entre ellas se incluyen los suelos arenosos y secos con mucha exposición solar, condiciones agroecológicas que se cumplen en grandes zonas del territorio nacional.

12.2.2. Jatropha.

La Jatropha, es otra planta oleaginosa que ha venido ganando interés para la producción de biodiesel. El aceite de la semilla de esta planta no compite con la alimentación humana y su cultivo recupera suelos. Son dos características que hacen de esta planta una muy buena opción para la producción de biodiesel. Sin embargo el cultivo de Jatropha aún no se realiza en grandes extensiones, relegando su cultivo a pequeñas parcelas donde se realiza investigación del comportamiento de la planta.

60 Euforbiáceas: Familia botánica que incluye hierbas, arbustos, lianas y grandes árboles, conforman uno de los grupos de plantas más diversificados del mundo y se cuentan entre las familias de árboles más importantes en los bosques húmedos tropicales.

61 Heliófila: Requiere de plena exposición solar y puede soportar condiciones de sequía.

Esta planta es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3.500 especies agrupadas en 210 géneros. Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales [26]. No requiere un tipo de suelo especial. Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos. La *Jatropha* crece casi en cualquier parte, aún en las tierras cascajosas, arenosas y salinas, puede crecer en la tierra pedregosa más pobre, inclusive en las hendiduras de piedra. Climáticamente resiste normalmente el calor aunque también soporta bajas temperaturas y resistir escarchas ligeras. Su requerimiento de agua es sumamente bajo y puede soportar períodos largos de sequedad. Es susceptible a inundaciones. El fruto de la *Jatropha Curcas* es de color café claro en cuyo interior se encuentran varias semillas de tamaño, forma y apariencia de una almendra [14]. El aceite obtenido del prensado de las semillas es de color amarillo claro, inoloro y con sabor ligero a nuez, se utiliza para más de 400 productos en la industria química. El mayor impacto es su uso como materia prima para la obtención de biodiesel [27].

En cuanto a productividad, los cultivos empiezan a producir de manera rentable al cabo de una año de sembrado, su producción se incrementa cada año durante los primeros 5 años y a partir de ahí se estabiliza en los 30-50 años que le quedan de vida. En la tabla 12.3., se muestra la productividad de la *Jatropha Curcas*.

Tabla 12.3. Productividad de la *Jatropha curcas* en cultivo.
Fuente: Cardona C. [14].

Año	Rendimiento
1	250Kg/Ha de semilla igual a 115Kg de aceite.
2	1.000Kg/Ha de semilla igual a 460Kg de aceite.
4	5.000Kg/Ha de semilla igual a 2.300Kg de aceite.
6	12.000g/Ha de semilla igual a 5.520Kg de aceite.

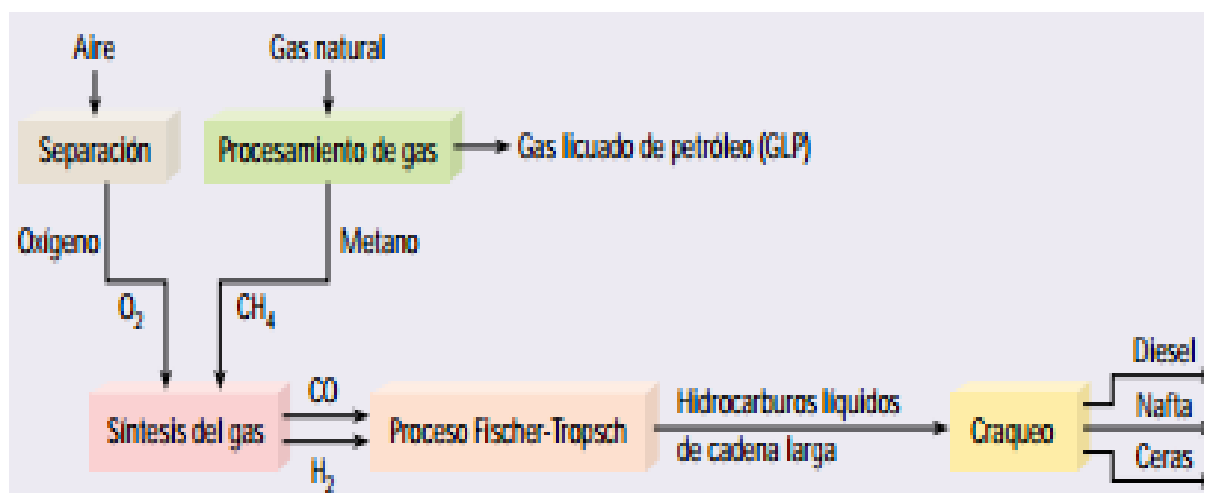
12.2.3 Biomasa a líquidos (BTL)⁶².

Son los obtenidos de biomasa lignocelulósica a través de procesos termoquímicos, para ser transformados en hidrocarburos líquidos. Generalmente en los procesos de BTL se obtiene combustible Diesel. Como es un proceso mixto

⁶² Siglas en inglés de "BiomassToLiquids".

de uso de hidrocarburos en estado gaseoso y sólido, se debe entender como fuente no renovable en parte, ya que la materia prima es el gas natural que en subproducto produce Gas licuado de petróleo. El otro subproducto es el metano el cual se insufla⁶³ en un reactor en conjunto con oxígeno puro, para producir monóxido de carbono e Hidrógeno y posteriormente se pasan por otro reactor, llamado Fischer-Troposch, el cual tiene presencia de catalizadores que ayudan a reformar los gases en moléculas largas de hidrocarburos. Al reactor se añade agua, para que la reacción se transforme en cadenas de moléculas de parafina y olefina durante un proceso de crecimiento en cadena. Para convertir el gas natural en líquido, se enfría hasta aproximadamente $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura a la cual el metano se licua. Finalmente las moléculas se fraccionan produciendo diesel, Nafta (gasolina) y ceras.

Figura 12.4. Procesos de transformación de BTL. Fuente: Shlumberger [6].



En estos procesos, como en la mayoría de procesos termoquímicos, se controlan variables como la concentración, la actividad del catalizador, velocidades, temperaturas y presiones. Entre los catalizadores usados se encuentran las zeolitas fabricadas a base de alúmina y sílice, encargadas de ionizar y disociar los reactivos y producir reacciones. También se usan aditivos que aceleran las reacciones, que dependen de la producción que se requiera.

Entre las ventajas de producir BTL se destacan dos principales: La capacidad de producción es superior a la del bioetanol y el biodiesel, mayor a 4000 L/ha; y la alta calidad del producto, ya que posee mayor número de cetano y nada de azufre,

⁶³ Inyectar el gas en otro medio que puede ser otro gas o un líquido, el cual sirve como reactivo para algún proceso termoquímico.

sumado a las bajas emisiones de NOx. Entre los inconvenientes se identifican los relacionados con el costo, ya que tiene altos costos de inversión y producción [23].

En la investigación del mejoramiento del proceso de obtención, se intenta mejorar la actividad de los catalizadores mencionados. También se busca que la zeolita usada no necesite el aporte de hidrógeno para su desoxigenación, ya que la inclusión de hidrógeno al proceso de obtención del biodiesel 2G aumenta considerablemente los costos de producción de la planta. El uso de la dolomita⁶⁴ disminuye el costo de insumos utilizados en el proceso, pero genera subproductos de alquitrán que no son deseados en el proceso.

12.3. Participación de los autores.

Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que no comprometen la seguridad alimentaria, es decir aquellos cuya materia prima es la biomasa lignocelulósica como la paja, la hierba, los tallos, cañas, raíces, madera, cáscaras etc.

La biomasa lignocelulósica representa una fuente abundante y disponible de azúcares para la producción de bioetanol, y biodiesel BTL. Estos materiales con alto contenido lignocelulósico son residuos de diferentes actividades económicas del hombre, en particular residuos vegetales agrícolas que no son destinados a la producción de alimentos.

La gran cantidad de residuos agrícolas, forestales, sólidos urbanos y residuos agroindustriales provenientes de la industria agroindustrial, industrial y de alimentos conforman el llamado complejo lignocelulósico. Este biopolímero comprende alrededor del 50% de la biomasa lignocelulósica en el mundo cuya producción se estima en cifras mayores a 50.000 millones de Toneladas. Estas cifras ponen en evidencia la gran importancia de la biomasa como materia prima renovable para la producción de alcohol carburante y como solución para el aprovechamiento de un vasto porcentaje de residuos de las actividades domésticas, agrícolas e industriales.

⁶⁴ Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_2)_2$, usada como catalizador del proceso de gasificación.

Bibliografía.

- [1] Average biofuel yields based on IEA for cellulosic-ethanol and, biomass-to-liquid (BTL) diesel, bio-synthetic natural gas (bio-SNG).2008.
- [2] Batista E., "Prediction of liquid-liquid equilibrium for systems of vegetable oils, fatty acids, and ethanol". Journal of Chemical – engineering.1999.
- [3] Bio-OilsEnergy. El futuro de los biocarburantes: Segunda generación. Portal web: http://www.bio-oils.com/EL_FUTURO_DE_LOS_BIOCARBURANTES.pdf
- [4]Biofuels Research AdvisoryCouncil (BIOFRAC).Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond. 2006.
- [5] Cansino J., Romero M., Promotion of biofuel consumption in the transport sector: An EU-27perspective. 2012.
- [6] Cardona C.A., Sánchez O.J., Ramírez J.A.,Alzate L.E. "Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado". RevistaColombiana de Biotecnología. 2004.
- [7] Chum H.L., Overend R.P. "Biomass and renewable fuels". Fuel processingTechnology, 171: 187-195.
- [8] Conversión de gas a líquidos . Versión PDF de análisis de la compañía Schlumberger. Versión online:
http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish03/win03/p34_41.pdf
- [9] Cuervo L.,FolchJ.,Quiroz R. Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. 2009.
- [10] Ensayo. Set-Te Biocombustibles sobre los procesos de los biocombustibles.2007.
- [11] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Portal web: www.iica.int
- [12] Falasca S., Ulberich A., Las especies del género Jatropha para producir biodiesel en Argentina. 2008.
- [13] Gutiérrez, L.F. Estudio y diseño de proceso simultáneos de reacción extracción. Tesis PhD., Departamentos de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Manizales, Colombia: s.n., 2008. P. 162.
- [14] Herrero J., Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares.2008.
- [15] Hammond G., Kallu S., McManus M., Development of biofuels for the UK automotive market. 2007.
- [16] Huang J., Yang J., MsangiS, RozelleS., WeersinkA., Global biofuel production and poverty in China. 2012.
- [17] IEA. Sustainable Production of SECOND -Generation Biofuels Potential and perspectives in major economies and developing countries 2010.

- [18] Instituto Sueco. Generando energía para un futuro sostenible. Sweden.se. The oficial Gateway of Sweden. Portal web: <http://www.sweden.se/sp/Inicio/>. 2011.
- [19] Janssen R., Rutz D., Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities.
- [20] Joyce B., Stewart C., Designing the perfect plant feedstock for biofuel production: Using the whole buffalo to diversify fuels and products. 2011.
- [21] M.A. GÓMEZ. El rincón de la Ciencia: ¿Qué es el almidón?. Portal web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/Rc-58.htm> [Revisado: 05/03/2012].
- [22] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Portal web: <http://www.minambiente.gov.co/portal/default.aspx>.
- [23] Naik A., Vaibhav V., Rout, Dalai A., Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. 2009.
- [24] Ortiz A., Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para la producción de biocombustibles: Aspectos Técnicos y Económicos. México. 2008.
- [25] Palmqvist E., Hahn B. "Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification". *Bioresource Technology*, 74:17-24. 2000.
- [26] Portal web: WWW.BIO-TEC.NET
- [27] Quintero-Ramírez R. 1977. Jorgensen H. 2007. Moiser N. 2005. U.S. Department of Energy. 2006.
- [28] Salinas V. "Refinación física del aceite de soya", 2004. México: Sud Chemie de México S.A.
- [29] Sánchez O.J., Cardona C.A. "Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas". *Interciencia*, vol. 30, 671-678. 2005.
- [30] Sánchez O.J., Cardona C.A. "Producción de alcohol carburante: Una alternativa para el desarrollo agroindustrial" Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales 2007.
- [31] Sheng C., Lee K., Second-generation biofuel (SGB) in Southeast Asia via lignocellulosic biorefinery: Penny-foolish but pound-wise. 2011.
- [32] Silva E., Escobar J., Rocha M., Grillo M., Venturini, Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels sustainability assessments. 2010.
- [33] Spath P., Dayton D., Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas. 2003.
- [34] Sun Y., Cheng J. "Hydrolysis of lignocellulosic material for ethanol production". *Bioresource Technology*, 83:1-11. (2002)

- [35] Torres C., Jatropha y Curcas - Desarrollo fisiológico y técnico. Cultivos Energéticos SRL. 2007.
- [36] Zhang W., Yu E., RozelleS., Yang J., Msangi S., The impact of biofuel growth on agriculture: Why is the range of estimates so wide?. 2012.

13. BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN

La tercera generación de biocombustibles, pretende crear biocombustibles a partir de cultivos específicos, por ejemplo las algas, que pueden alcanzar un potencial energético hasta 30 veces mayor que el de los cultivos energéticos en tierra, ya que capturan una gran cantidad de energía solar y se reproducen rápidamente.

Esta generación de biocombustibles, en lugar de mejorar la materia prima (utilizada en las demás generaciones), pretende mejorar los procesos por medio de los cuales se obtiene. Es por esto que la producción de bioetanol a partir de algas todavía se encuentra en etapa experimental por lo que el uso de esta tecnología para producción en masa de biocombustibles no es económicamente viable [1].

13.1. Materia Prima [2]

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde azules.

Las algas son todas las plantas no vasculares⁶⁵ (por ejemplo, sin un sistema de distribución de nutrientes especializado) e incluyen las macroalgas, algas marinas y microalgas. Aunque no existe una definición formal, generalmente se entiende que incluye todas las algas demasiado pequeñas como para verse claramente a simple vista [3].

Los biocombustibles más viables en términos de producción se basan principalmente en los combustibles extraídos de las algas cultivadas en el agua. Las algas pueden ser capaces de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y servir como materia prima para la producción de biodiesel [32]. Las algas consumen dióxido de carbono (CO₂) para el crecimiento normal durante la fotosíntesis, por lo que es un sumidero de dióxido de carbono prometedor de los proyectos de energía, químicos y de fermentación [33,34].

Algunos informes indican que el combustible de algas puede representar hasta 30 veces más energía por hectárea que los cultivos más comunes. Mientras que otros

⁶⁵Se denomina plantas no vasculares, a aquellas que no cuentan con un sistema especializado de distribución de nutrientes.

sugieren que los rendimientos de aceite de las algas son 10-100 veces más que los cultivos energéticos de la competencia.

Algunas cepas de algas pueden producir el 50% de su peso en aceite [+], que es mucho mejor que la semilla de colza (que se podría producir una tonelada de biodiesel por hectárea), o aceite de palma (8 toneladas por hectárea). Algunos estiman que es posible llegar a producir entre 40 y 90 toneladas por hectárea es posible a partir de algas. Las algas cultivadas en estanques, en principio, puede colocarse en cualquier lugar y no hay necesidad de utilizar las tierras de cultivo. Las algas crecen bien en agua salada, por lo tanto, no es necesaria la utilización del agua dulce y de esta forma se preserva, mientras que la producción de cultivos requiere enormes cantidades de agua dulce.

Un estudio publicado en 2012 confirma que los biocombustibles de algas son una solución legítima a los esfuerzos para combatir el ciclo de vida de las emisiones de GEI. El estudio se conoce como Ciencia y Tecnología Ambiental de ExxonMobil Research and Engineering, MIT, y SyntheticGenomics. El estudio encontró que cuando se produce en grandes volúmenes, las algas tienen el potencial de producir enormes cantidades de combustible por unidad de área de producción.

Las algas están compuestas básicamente por proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos y ácidos grasos. Los ácidos grasos e hidrocarburos se encuentran en las membranas, en las vacuolas, en los productos de almacenamiento, metabolitos, etc. El porcentaje de ácidos grasos varía según la especie, aunque hay especies cuyos ácidos grasos representan 40% de su peso seco [32,35]. Estos ácidos grasos son los que posteriormente son convertidos en biodiesel. Para la producción de estos se buscan algas que contengan un alto contenido en lípido y que sean fácilmente cultivables [4].

La investigación de microalgas acuáticas en Colombia comenzó en la década de los noventa trabajando algunos grupos como Euglenophyceae, Chlorophyceae (Orden Chlorococcales), Zygothryx (familias Desmidiaceae y Mesotaeniaceae), Bacillariophyceae y Chrysophyceae, restando el estudio de otras clases como Cyanophyceae, Tribophyceae, Dinophyceae y Cryptophyceae. Los estudios de microalgas se han adelantado en lagos y ríos ubicados en la frontera colombo - brasilera conocida como el eje Apaporis - Tabatinga (PAT), en ecosistemas de los ríos Amazonas y Putumayo, donde existe información ecológica. (Duque- Núñez, 2000). El objetivo de estas investigaciones estuvo orientado a determinar las clases taxonómicas de las especies identificadas, así como las condiciones más favorables para su cultivo. La producción masiva de microalgas se ha convertido en una pieza clave para el desarrollo de la acuicultura, ya que se ha determinado

que en estado fresco son el alimento de más alta calidad para fases larvales y para organismos filtradores. Las empresas productivas y de investigación acuícola en Colombia utilizan microalgas para alimentar a los animales de los que se ocupan. Actualmente, las investigaciones sobre el aislamiento de cepas nativas y la obtención de productos de interés como proteínas a partir de dichas especies de microalgas ha sido impulsada en los últimos años, así como el diseño de birreactores para su cultivo masivo [4].

13.2. Tecnologías para la obtención

En cuanto a las microalgas, se han evaluado y/o desarrollado varios métodos de extracción de lípidos, con el fin de hacer fácil, eficiente, económico y amigable con el ambiente el proceso de extracción.

13.2.1. Métodos de extracción [5]:

13.2.1.1. Extracción con solvente químico

La extracción de lípidos con solventes químicos ha sido utilizada tradicionalmente para obtener lípidos de fuentes animales y vegetales, para el caso de las microalgas, el solvente es por lo general adicionado a la biomasa seca aunque en algunos casos es utilizado en biomasa con cierta cantidad de agua, lo que disminuye los costos globales del proceso, pero disminuye también la eficiencia de la extracción.

Una gran variedad de solventes orgánicos suelen ser utilizados en la extracción de aceite de microalgas, siendo los más populares el hexano y el etanol, mediante una mezcla hexano-etanol, es posible extraer más del 98% de los ácidos grasos presentes en la biomasa [6], sin embargo, al ser el etanol un buen solvente de extracción, su selectividad hacia los lípidos es relativamente baja comparada con otros solventes, por lo que en extracciones con etanol, pueden aparecer otros componentes de las microalgas como azúcares, pigmentos o aminoácidos [23,36,37].

13.2.1.2. Extracción asistida por microondas

La extracción asistida por microondas aprovecha la polaridad de las moléculas que componen la estructura de la microalga como los lípidos y las proteínas para crear fricción y por consiguiente calor, lo cual hace que el agua contenida en la célula escape debilitando la pared celular. La extracción de lípidos asistida por

microondas se caracteriza por ser una técnica que disminuye el tiempo y aumenta la eficiencia del proceso.

Este método fue comparado con otros procedimientos de destrucción celular como autoclave, molino de bolas, resonancia inducida y shock osmótico, seguidos todos por una extracción con la mezcla metanol-cloroformo para las especies de algas como la *Clorellavulgaris*, *Scenedesmus* sp. y *Botryococcus* sp. [7], obteniendo de esta última especie mediante la combinación microondas/solventes, el doble de la cantidad de aceite que se extrajo con las otras técnicas evaluadas.

13.2.1.3. Extracción mediante ultrasonido

La técnica de ultrasonido consiste en la exposición de las microalgas a ondas acústicas de una frecuencia determinada, la utilización de ondas acústicas para la destrucción de la pared celular de las microalgas fue estudiada entre otros por Faerman et al. [8], quienes demostraron experimentalmente que la aplicación de ultrasonido a baja frecuencia, causa una fuerte destrucción celular, incluso mayor que cuando se aplican ondas de alta frecuencia.

Cravotto et al. [9] desarrollaron una técnica de extracción con ultrasonido y asistida por microondas simultáneamente, trabajando a frecuencias entre 19 y 300 kHz obtuvieron incrementos significativos en la cantidad de aceite de microalgas extraído en comparación con métodos más convencionales.

13.2.1.4. Extracción mediante fluidos supercríticos

Estos métodos surgieron como una alternativa al empleo tradicional de grandes cantidades de solventes tóxicos para realizar extracciones, de este tipo de procesos, los más prometedores son la extracción con fluidos supercríticos (SFE), y la extracción con agua subcrítica (SWE), estas técnicas se caracterizan por poseer cortos tiempos de extracción y altas selectividades [10, 36, 38].

Un fluido recibe el nombre de supercrítico cuando es forzado a permanecer a unas condiciones de presión y temperatura superiores a sus presiones y temperaturas críticas, bajo esas condiciones, el fluido posee características tanto de un gas, como de un líquido, lo que le da algunas propiedades especiales como baja viscosidad y alta difusividad relativa, lo que les permite penetrar fácilmente en los sólidos y ofrecer una extracción más rápida.

Adicionalmente, a estos fluidos se les puede modificar su densidad con un cambio de presión y/o temperatura, como la densidad está ligada con la solubilidad [11], la selectividad del fluido puede ser modificada. Otra característica que hace

interesante la utilización de la extracción con fluidos supercríticos, es la posibilidad de acoplar el sistema de extracción, con sistemas de caracterización tales como cromatografía de gases, o cromatografía de fluidos supercríticos [12].

Se ha utilizado la extracción mediante fluidos supercrítico en varias especies de microalgas para obtener diferentes sustancias, [13] utilizó CO₂ supercrítico para obtener ácidos grasos Omega-3 de la alga *Hypneacharoides*, [14], aplicaron esta técnica para extraer b-caroteno de la microalga *Dunaliella salina* y diolefinas de la microalga *Botryococcus braunii*, así como para extraer carotenoides de la microalga *Clorellavulgaris* [15].

La extracción mediante agua subcrítica (SWE), también ha surgido como una técnica útil para reemplazar la extracción tradicional, posee la ventaja de ser amigable con el ambiente y de gran eficiencia cuando se hace extracción en muestras sólidas.

13.2.1.5. Extracción a través de Autoclave

Un autoclave originalmente es un aparato que se utiliza para esterilizar instrumentos médicos u otros objetos por medio de presión y agua a altas temperaturas, el principio de extracción mediante el autoclave es similar a la extracción mediante agua subcrítica, una ventaja de esta técnica para ser utilizada en la extracción de aceite de microalgas, es que se puede trabajar con la biomasa húmeda, lo cual evade la etapa de secado de la biomasa de microalgas, durante la cual se pueden degradar los lípidos presentes en las algas y aumenta los costos globales de proceso.

La metodología de utilización de esta técnica es variable, Minowa et al. [16] utilizaron una solución salina acuosa como fluido de trabajo y autoclavan a 300°C y 100 MPa con tiempos que oscilan entre 5 y 60 minutos, adicionalmente purgan con nitrógeno el aire residual. Mendes-Pinto et al. [17], utilizan autoclavado para extraer carotenoides de la microalga *Haematococcus pluvialis* a 121°C y 1 atm. Durante 30 minutos, obteniendo mayor porcentaje de extracción que con otras técnicas evaluadas.

No obstante, todos los experimentos que utilizan autoclavado para la extracción de aceite de microalgas, incorporan una etapa adicional de extracción con solvente químico, por lo cual podemos decir que el autoclavado es una técnica de

pretratamiento para una posterior extracción química, que una técnica de extracción en sí misma.

13.2.1.6. Proceso de Shock osmótico

El shock osmótico consiste en una reducción repentina de la presión osmótica, las células están inicialmente equilibradas en un medio de alta presión osmótica, luego, este medio es diluido repentinamente, entonces, por osmosis, el agua ingresa repentinamente a la célula, incrementa la presión interna, y causa ruptura, es un método relativamente fácil de emplear, aunque se recomienda utilizarlo solamente en células debilitadas [18].

13.2.1.7. Extracción enzimática

En la extracción enzimática se degrada la pared celular de las microalgas mediante el empleo de enzimas, esto facilita la salida de los aceites presentes en la célula para su posterior transformación en biodiesel, estas enzimas, también pueden ser utilizadas para transformar los ácidos grasos presentes en las microalgas, en lípidos aptos para su posterior transesterificación [19], sin embargo, la actividad enzimática se ve afectada por muchas variables como la naturaleza de la enzima, las concentraciones y las razones de los reactantes, la composición de los aceites o mezclas de ácidos grasos, la composición de la pared celular, el contenido inicial de agua, la temperatura, entre otros [20].

13.2.1.8. Destrucción mecánica

La destrucción mecánica como herramienta de extracción de componentes de microalgas, abarca varias clases de dispositivos mecánicos como homogenizadores celulares, molinos de bolas, sistemas de prensado [21], evaluaron varios sistemas de destrucción mecánica para la extracción de lípidos de la microalga *Botryococcus braunii* concluyendo que el mayor porcentaje de extracción de aceite se obtuvo al utilizar un molino de bolas con esferas cristal de 1 mm. Durante un tiempo de un minuto. Los métodos de destrucción mecánica poseen la desventaja de la dificultad para la recuperación del aceite extraído, adicionalmente, al ser una técnica que destruye mediante impactos la pared celular, libera además de los lípidos, otras sustancias presentes dentro de la célula, todo esto hace que esta clase de métodos sean utilizados en combinación con métodos de solvente químico.

13.3. Procesos de obtención de biodiesel a partir de microalgas

El aceite puede ser transformado en biodiesel por transesterificación donde se combinan aceites vegetales y/o grasas animales con alcohol (metanol o etanol) en presencia de un catalizador con el fin de formar ésteres grasos. Del producto recuperado se separa la glicerina como un subproducto muy valioso para la industria. La mezcla de alcohol / éster restante se separa y el exceso de alcohol se recicla. Posteriormente los ésteres son sometidos a un proceso de purificación que consiste en el lavado con agua, secado al vacío y posterior filtrado [36,39,40].

El aceite debe ser limpio y con un máximo de 0.5% de ácidos grasos libres. Después se mezcla el aceite con 16 % de metanol o 43% de etanol y con 1 - 3 % catalizador (KOH). El metanol o el etanol y el catalizador deben estar libres de agua. El aceite no debe tener más de 0.1 % de H₂O para evitar la formación de jabón.

Existen una gran cantidad de aceites que permiten obtener biodiesel. Generalmente, la reacción de transesterificación es usada para transformar los aceites en presencia de un alcohol y un catalizador, debido a su rendimiento y fácil operación. La selección del alcohol para el proceso depende principalmente de criterios técnicos, económicos y de seguridad.

Para asegurar un buen desempeño del combustible obtenido en motores diesel, el Comité Europeo de Estandarización (CEN) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) han establecidos unos criterios técnicos que deben satisfacerse.

Debido a los criterios establecidos, la fuente de aceite debe tener ciertas características composicionales para satisfacer ambos estándares. Así, es importante verificar si las especies de microalgas pueden ser una fuente de aceite para la producción de biodiesel.; si es así, la reacción de transesterificación puede llevarse a cabo. En [8] reportaron las variables principales que afectan el rendimiento en la transesterificación de aceites vegetales. Aunque su estudio no incluyó algas, los resultados pueden ser extendidos a este tipo de aceite. Algunas de sus conclusiones incluyen que se alcanza mayor formación de ésteres con aceites con un contenido de ácidos grasos libres menor al 0.5%. El alcohol debe ser anhidro. La relación de alcohol y aceite debe ser 6:1 para dar una óptima conversión. A reactores de gran escala, el 1% de hidróxido de sodio es efectivo como catalizador.

Finalmente, puede obtenerse una conversión de ésteres del 96-98% al transesterificar aceites refinados con metanol, etanol o butanol a 60°C, 75°C y 114°C respectivamente con 0.5% de metóxido de sodio.

Adicionalmente, la producción de biodiesel mediante transesterificación genera glicerol como co-producto generando una saturación del mercado de este producto.

13.4. Participación de los autores:

Es evidente que para la obtención de biocombustibles, se han venido utilizando fuentes primarias de biomasa que afectan la seguridad alimentaria, como se estudió en capítulos anteriores. Como alternativa para la solución de éste inconveniente, aparece la tercera generación de los biocombustibles, cuya materia prima son las microalgas.

Y son precisamente las microalgas, su estudio, el factor determinante a la hora de desarrollar esta generación. El reto está en aprovechar su capacidad energética, en el desarrollo de tecnologías de extracción de los aceites que contienen, en la adaptación y/o creación de los procesos de producción y finalmente el análisis económico correspondiente.

De los estudios encontrados sobre el tema en cuestión, el factor común es la urgente necesidad de estudio e investigación continua, además del desarrollo en el campo de las microalgas, dado que hasta el momento, el costo de producción de aceite proveniente de estas, es considerablemente mayor que el precio del diesel. Entonces, resulta un desafío pasar del proyecto a la ingeniería de detalle.

Bibliografía

- [1] Aguilar, L., Vásquez, L. Análisis del estado actual de las tecnologías de producción de biodiesel. Universidad Centroamericana, 2007.
- [2] Alam F., Datea A., Rasjidina R., Mobinb S., Moria H., Biofuel from algae- Is it a viable alternative?.49: 221-227, 2012.
- [3] Amaro, H., Ângela, C., Macedo, Malcata, X. Microalgae: An alternative as sustainable source of biofuels. 44: 158-166, 2012.
- [4] Cardona, C., Sánchez, O. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. BioresourTechnol 2007.
- [5] Chester T.L. Pinkston J.D. Supercritical fluid and unified chromatography, Anal. Chem. 76 4606–4613. 2004.
- [6] Cheung, P. C. K. Temperature and pressure effects on supercritical carbon dioxide extraction of n_3 fatty acids from red seaweed. Food Chemistry, 65, 399–403. 1999.
- [7] Christenson L., Sims R., Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. 29: 686-702, 2011.
- [8] Cravotto G, Boffa L, Mantegna S, Perego P, Avogadro M, Cintas P. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. UltrasonicsSonochemistry; 15:898–902. 2008.
- [9] Del Valle, J. M., & Aguilera, J. M. Review: high pressure CO2 extraction. Fundamentals and applications in the food industry. Food Science and Technology International, 5, 1–24. 1999.
- [10] Faerman, V.; Mukmenev, I.; Shreiber, I. Sonication of Microalgae and its Precipitation ActaAcustica united with Acustica, 88, 4, 592-593. 2002.
- [11] Gonzalez, A., Kafarov, V., Guzmán, A. Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. Noviembre 2009.
- [12] Hughes, D.E., Wimpenny, J.W.T. and Lloyd, D. Methods in Microbiology, Norris, J.R. and Ribbons, D.W., editors), 5B, 1-54. 1971.
- [13] John RP, Anisha GS, Nampoothiri KM, Pandey A. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. Bioresour Technol. 2011.
- [14] Kim J., RealfM., Lee J., Whittaker C., Furtner L., Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. 2010.
- [15] King, J. W. Advances in critical fluid technology for food processing. Food Science and Technology Today,14, 186–191. 2000.
- [16] Kothari R., Pathak V., Kumar V., Singh D., Experimental study for growth potential of unicellular alga Chlorella pyrenoidosa on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. 116: 466-470, 2012.
- [17] Lam M., Lee K., Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. 88: 3548-3555, 2011

- [18] Lam, M., Lee, K. Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward. 30: 673-690, 2011.
- [19] Lam, M., Lee, K, Mohamed, M. Current status and challenges on microalgae-based carbon capture. 10: 456-469, 2012.
- [20] Lee S., Yoon, B., Oh, H. Rapid method for the determination of lipid from the green alga *Botryococcus braunii*, *Biotechnology Techniques* 12, 553–556. 1998.
- [21] Lee, J.-Y. et al., Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *BioresourTechnol.* 2009.
- [22] Liu S., Abrahamson L., Scott G., *Biorefinery: Ensuring biomass as a sustainable renewable source of chemicals, materials, and energy.* 2011.
- [23] Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan C. Biofuels from microalgae. *BiotechnolProg.* 49: 221-227, 2008.
- [24] Lundquist, T., Woertz, I., Quinn, N., Benemann, J. A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production. *Energy Biosciences Institute. University of California. Berkeley, California.*
- [25] Matthews, R. *The Biofuels Pipedream. Global warming is real.* 2012
- [26] Mendes, R. L., Fernandes, H. L., Coelho, J. P., Reis, E. C., Cabral, J. M. S., Novais, J. M. Supercritical CO₂ extraction of carotenoids and other lipids from *Chlorella vulgaris*. *Food Chemistry*, 53, 99–103. 1995.
- [27] Mendes, R. L., Nobre, B. P., Cardoso, M. T., Pereira, A. P., & Palabra, A. F. Supercritical carbon dioxide extraction of compounds with pharmaceutical importance from microalgae. *Inorganica Chimica Acta*, 356, 328–334. 2003.
- [28] Mendes-Pinto, M. M.; Raposo, M. F. J.; Bowen, J.; Young, A. J.; Morais, R. Evaluation of different cell disruption processes on encysted cells of *Haematococcus pluvisialis*: effects on astaxanthin recovery and implications for bio-availability. *J. Appl. Phycol.* 13, 19-24. 2001.
- [29] Minowa T, Yokoyama S, Kishimoto M, Okakurat T. Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. *J Fuel*; 74(12):1735–8. 1995.
- [30] Ranjan, A., Patil, C., Moholkar, VS. Mechanistic assessment of microalgal lipid extraction. *IndEngChem Res* 2010.
- [31] Richmond, A. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology.* Blackwell Science Ltd. 2004.
- [32] Robles Medina A., Molina Grima E., Giménez Giménez A., Ibáñez González M. J. Downstream processing of algal polyunsaturated fatty acids *Biotechnology Advances*, 16, 517-580. 1998.
- [33] Sagarpa. *Generaciones de los biocombustibles.* Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Junio. 2011.

- [34] Sánchez, A. Perspectivas del proceso de producción de biodiesel de tercera generación. Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena. 2012.
- [35] Sawangkeaw, R., Bunyakiat, K., Ngamprasertsith, S. A review of laboratory-scale research on lipid conversion to biodiesel with supercritical metanol. *J Supercrit Fluids* 2010.
- [36] Shabbir Z., Tay D., A hybrid optimisation model for the synthesis of sustainable gasification-based integrated biorefinery. 2012.
- [31] Suali E., Sarbatly R., Conversion of microalgae to biofuel. 16: 4316-4342, 2012.
- [37] Yen, H., Hub, I., Chen, C., Ho, S., Lee, D., Chang, J. Microalgae-based biorefinery – From biofuels to natural products. 2012.
- [38] Wang T., Yabar H., Higano Y., Perspective assessment of algae-based biofuel production using recycled nutrient sources: The case of Japan. 2012.
- [39] Ward O. P., Singh A. Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production. *Process Biochemistry*, 40, 12, 3627-3652. 2005.

14.INTRODUCCIÓN A MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

14.1. Definición del motor de combustión interna

Se denomina motor a toda máquina capaz de transformar energía en movimiento a otra forma de energía cualquiera [1].

Los motores térmicos son máquinas que transforman la energía calorífica en energía mecánica directamente utilizable. La energía calorífica normalmente es obtenida de la combustión de combustibles líquidos y gaseosos y el trabajo útil es conseguido por órganos unas veces con movimiento alternativo, otras con movimiento rotativo y otras por el empuje realizado por un chorro de gas [1].

Según su principio de funcionamiento los motores térmicos se clasifican en alternativos, rotativos y de chorro, y según el sitio donde se produzca la combustión se clasifican en: dos grupos, los primeros llamados de combustión externa, cuando ésta se verifica fuera de los mismos y de combustión interna, cuando el combustible es quemado en su interior.

La combustión se realiza en el denominado fluido operante, el cual está constituido por una mezcla de combustible y comburente. El combustible normalmente utilizado es gasolina y gasoil y el comburente que suministra el oxígeno necesario para la combustión es aire atmosférico.

Los motores alternativos se dividen en dos grandes grupos: motores de ciclo Otto o de encendido por chispa y motores de ciclo Diesel o de encendido por compresión. Aunque sus principios de funcionamiento son diferentes, su esquema y la nomenclatura de sus partes esenciales son semejantes [1].

14.2. Motor de ciclo Otto:

Mejor conocidos como los motores a gasolina, en ellos las bujías encienden la mezcla aire-combustible consistente de aire y gasolina, creando la combustión en el interior de los cilindros. La presión allí generada empuja el pistón hacia el punto muerto inferior. Este movimiento es convertido por el cigüeñal, al cual los pistones están conectados mediante las bielas en movimiento rotatorio. A fin de obtener fuerza continua desde el motor, es necesario extraer los gases innecesarios creados en los procesos de combustión y suministrar una nueva mezcla de aire-combustible dentro de los cilindros en una forma cíclica [1].

14.2.1. Ciclo Otto de cuatro tiempos:

El motor de ciclo Otto funciona de la siguiente manera:

- 1er tiempo: (1-2) Admisión a la mezcla aire-combustible, se hace a presión atmosférica y temperatura constante. Válvula de admisión abierta y válvula de escape cerrada.
- 2do tiempo: (2-3) Hay una compresión de la mezcla, hay aumento de presión y disminución de volumen. Válvula de admisión y escape cerrados.
- 3er tiempo: (3-4) Existe la combustión (por explosión de la mezcla) a volumen constante

(Punto 4) Es el fin de la combustión, suministro de calor a volumen constante.

(4-5) Existe una expansión de los gases. Considerando todo el tercer tiempo hay un aumento de presión, temperatura y volumen.

- 4to tiempo: (5-2) Se conoce como el desfogue del motor, se reconoce por ser la salida de los gases a volumen constante, disminución de presión y temperatura. (2-1) Es la segunda parte del escape, y el principio de la apertura de la válvula de admisión.

En este ciclo la producción de energía tiene lugar solamente en uno de los cuatro tiempos del ciclo (3er tiempo). En las figuras 14.1 y 14.2 se visualizan el ciclo térmico y las posiciones del pistón.

Figura 14.1. Diagrama Presión Volumen del ciclo Otto.

Fuente: Picazo Arteaga. [1]

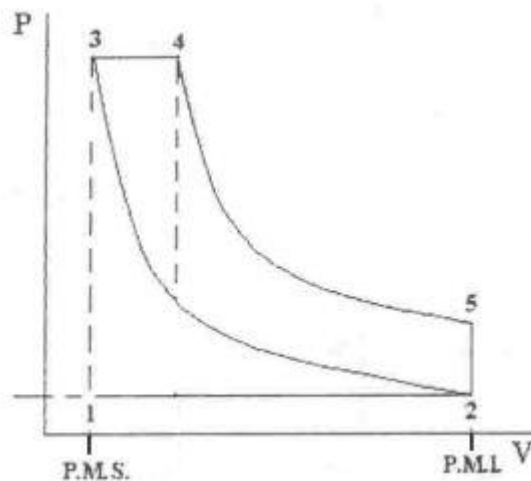
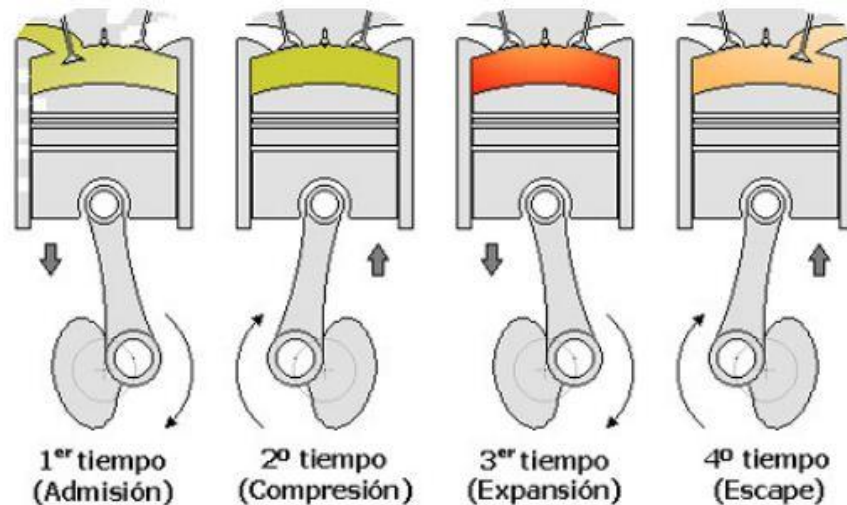


Figura 14.2. Esquematación del ciclo Otto. Fuente: Picazo Arteaga [1]



14.2.2. Ciclo Real:

Se conoce como ciclo real a la sucesión de eventos que tienen lugar en el interior de las máquinas de combustión interna reales, que operan en el medio ambiente natural, sujetas a todos los fenómenos físicos dictados por la naturaleza.

Los ciclos reales se diferencian de los ciclos teóricos, en que estos se consideran para máquinas hipotéticas, exentas de problemas mecánicos y operando con gases perfectos en condiciones ideales. En cambio en ciclos reales no se cumplen estas condiciones.

Sin embargo los ciclos reales se desarrollan en condiciones que guardan cierto grado de aproximación, mayor o menor con las condiciones ideales por lo que estos ciclos consecuentemente guardan cierto parecido aunque sea mínimo, con los ciclos teóricos. En otras palabras se puede decir que los ciclos reales son el resultado de las deformaciones que sufren los ciclos teóricos, cuando se desarrollan en las condiciones naturales en máquinas prácticas.

Debido a la multitud de factores y fenómenos que tienen lugar durante el desarrollo del ciclo en una máquina real, resulta prácticamente imposible calcular matemáticamente todos los puntos del ciclo, por lo que la única manera de conocer con exactitud todos los fenómenos que ocurren durante el desarrollo del ciclo real es por medio de medición directa. Se puede obtener, por ejemplo, un diagrama del ciclo real, en los ejes “presión volumen” y “presión posición”, midiendo simultáneamente la presión y el volumen en el interior de los cilindros, a lo largo de todo el desarrollo del ciclo y llevando estos valores a una gráfica.

14.3. Causas que desvían al ciclo real del ciclo ideal:

Las principales causas que desvían al ciclo real del teórico, son todas aquellas condiciones ideales que se han fijado para el estudio de los mismos y no se cumplen en la práctica.

14.3.1. Los gases que toman parte del ciclo no son gases ideales (perfectos), sino mezclas de gases imperfectos y vapores.

Los gases reales que se manejan en los motores de combustión interna, no siguen las leyes del comportamiento de los gases ideales. Solamente a muy bajas presiones y temperaturas, estos gases reales se comportan de forma aproximada a los gases perfectos.

Las causas de este fenómeno radican fundamentalmente, en las fuerzas de interacción de las moléculas unas sobre otras, las cuales se hacen más notables cuanto mayor sean las moléculas y cuanto más cercanas estén unas a otras.

Las ecuaciones de los gases perfectos no toman en cuenta estas interacciones, lo cual explica que sólo se puedan aplicar con cierta aproximación en gases monoatómicos de moléculas pequeñas y bajas presiones, a los cuales el espacio intermolecular es relativamente grande. En estas condiciones las fuerzas que actúan entre ellas son casi despreciables.

14.3.2. Pérdidas de calor a través de las paredes:

Las paredes del cilindro y demás partes del motor que están en contacto con los gases calientes, distan mucho de ser aislantes perfectos y por el contrario son conductores de calor en unidades apreciables. Esto hace que una parte importante del calor del ciclo, se pierda por conducción a través de las paredes metálicas, lo que tiene un efecto directo sobre el trabajo y eficiencia del ciclo, que se ven disminuidos. Esta pérdida llega a ser tan grande, que puede absorber hasta una tercera parte del calor del ciclo.

Durante la combustión interna también hay pérdidas de calor a través de las paredes de la cámara de combustión, las cuales reducen aún más el calor disponible del ciclo, por lo que la temperatura máxima se ve nuevamente alterada y con ella la eficiencia. (Punto 4 de la figura 14.3.).

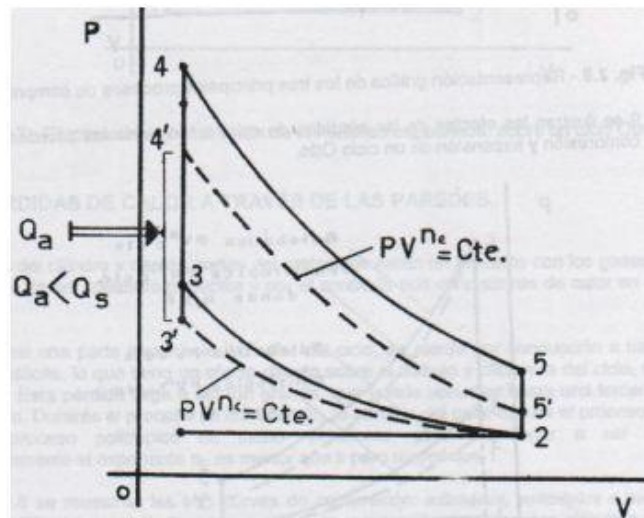
En la expansión, las pérdidas de calor a través de las paredes del cilindro continúan con mayor inestabilidad, debido a las altas temperaturas de los gases. Esto da por resultado que el proceso adiabático teórico de la expansión se convierta en un proceso politrópico de mayor pendiente (Figura 14.3).

El resultado es que al final de la expansión, las condiciones de presión y temperatura del punto 5 del proceso real son menores que las del punto 5 del proceso teórico adiabático. Como se ilustra en la figura 14.3, el trabajo útil del ciclo hecho durante la expansión es consecuentemente menor cuanto mayor sean las pérdidas de calor.

Durante el proceso de combustión seguirán habiendo pérdidas de calor a través de las paredes, pero estas afectan poco a poco el ciclo, ya que prácticamente no se está ejecutando trabajo.

En términos generales se puede decir que la transmisión de calor a través de las paredes, es la causa que afecta más al ciclo real, en donde se originan las mayores pérdidas.

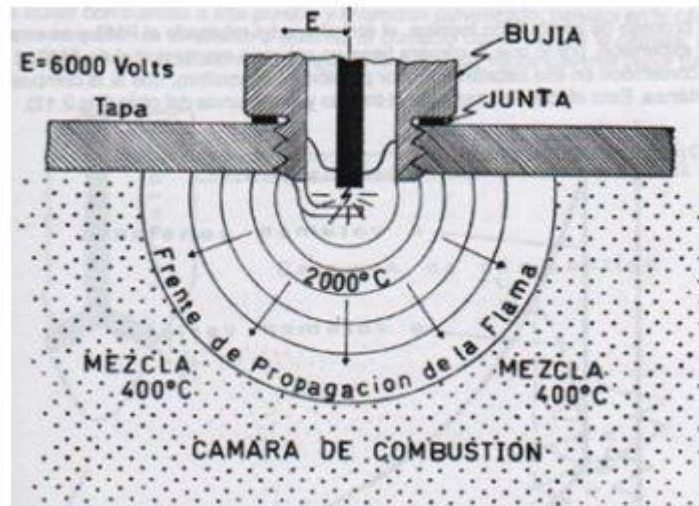
Figura 14.3. Efecto total de las pérdidas de calor. Fuente: Picazo Arteaga [1]



14.3.3. La combustión no es instantánea, ni ocurre a volumen constante en el ciclo Otto.

El fenómeno de la combustión en el ciclo Otto, se lleva a cabo en forma progresiva, propagándose desde el punto de encendido hasta los últimos rincones de la cámara, a un cierto ritmo o “velocidad de propagación de la flama”, lo cual toma un cierto tiempo finito “t”. Durante este tiempo el émbolo se está moviendo continuamente, y por lo tanto el volumen de la cámara va cambiando, lo que da por resultado que el proceso deje de ser isométrico, como en el ciclo teórico y se realice a volumen variable (Figura 14.4.).

Figura 14.4. Proceso de la flama en un motor ciclo Otto.
Fuente: Picazo Arteaga [1]



La secuencia del proceso es como sigue. Durante la compresión, la mezcla de aire y partículas de gasolina líquida, finalmente pulverizadas, aumentan su temperatura hasta que todas esas partículas se han evaporado y forman una mezcla íntima de moléculas de combustible con moléculas de Oxígeno y Nitrógeno[1].

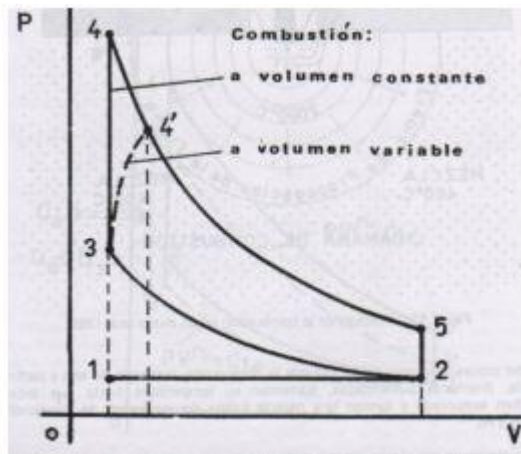
Esta mezcla no reacciona por sí sola, ya que cada una de esas moléculas está en equilibrio. Hacia el final de la carrera de compresión, salta una chispa entre los electrodos de la bujía, por medio de un alto voltaje oportunamente aplicado. Esta chispa, aunque pequeña, es suficiente para romper la estructura de las moléculas de combustible que encuentra a su paso, las cuales se convierten en átomos libres Carbón e Hidrógeno, de características electropositiva [1,2 y 3].

Estos átomos en presencia del Oxígeno de característica electronegativa, reaccionan violentamente formando los compuestos de Dióxido de carbono y Agua, con gran desprendimiento del calor que es radiado desde esos focos de alta temperatura que forman el inicio de la flama [3].

Aunque esta primera reacción es pequeña (ya que la forman las pocas moléculas que la chispa encuentra a su paso), genera suficiente calor para elevar la temperatura de las moléculas vecinas a valores tales, que se rompe su estructura y se forman más átomo libre de H y C, los que a su vez reaccionan con el Oxígeno generando más calor que contagia a las moléculas vecinas, y en esa forma se va propagando la combustión como una reacción en cadena, que viaja en forma de una onda esférica desde el punto donde saltó la chispa, hasta los últimos rincones de la cámara [3 y 4].

Cuando el proceso de combustión termina el embolo ya ha rebasado el PMS y se encuentra en la carrera de expansión, por lo que la cámara tiene un volumen mayor que el del PMS, y por lo tanto los gases contenidos en ella estarán a menor presión y temperatura que si la combustión hubiera sido instantánea. Esto afecta directamente el trabajo y la eficiencia del ciclo (Figura 14.5).

Figura 14.5. Efecto de la variación del volumen durante la combustión, en un ciclo Otto. Fuente: [2]



La variación del volumen durante el proceso, depende de la velocidad del motor y del tiempo "t" que dura la combustión. Este a su vez depende del tamaño y forma de la cámara, y de la velocidad de propagación de la llama. Por último, dicha velocidad depende de las características del combustible, de su proporción en la mezcla, y de variables tales como la presión y la temperatura [1].

14.3.4. La combustión no es completa o perfecta:

La combustión se realiza luego de que las partículas de combustible se han evaporado completamente, esto es, cuando todas sus moléculas se han separado pasando a formar un gas. En estas condiciones se mezclan con las moléculas de aire, hasta que sobreviene el rompimiento de la estructura, y sus átomos libres se combinan con el oxígeno.

Para que la combustión se realice en forma completa, se requiere que haya una mezcla perfecta, entre el oxígeno y el combustible. Sin embargo, en la práctica esto no se logra debido principalmente a los dos factores siguientes:

1. El número de moléculas del combustible y del aire, es extraordinariamente elevado. (varios cientos de trillones por mm^3 de combustible).

2. El tiempo de que se dispone, entre el momento en que se vaporizan las moléculas y la combustión, es extremadamente pequeño. (milésimas de segundo):

Por eso resulta prácticamente imposible lograr una mezcla perfecta, molécula a molécula, entre el oxígeno y el combustible. Cuando la partícula de combustible se evapora, la nube de moléculas que se forma, no se difunde tan rápidamente en la masa de aire por lo que quedan zonas donde es mayor la concentración del aire. Esto da por resultado que al venir la combustión, los átomos de carbón e hidrógeno de algunas moléculas, no encuentren oportunamente átomos de oxígeno con que combinarse, por lo que no se queman y se quedan en esa condición hasta que son expulsados por el escape, sin haber reaccionado y generado calor. Al mismo tiempo, en algunas zonas de la cámara de combustión quedaron átomos de oxígeno, que no encontraron oportunamente carbón o hidrógeno con quien reaccionar [5].

El resultado directo de esta combustión incompleta, es que no se genera todo el calor que de acuerdo con la capacidad calorífica del combustible fuera de esperarse, por lo que el ciclo recibe menos calor, y en consecuencia el trabajo útil del ciclo se reduce proporcionalmente [1 y 5].

Al mismo tiempo se desperdicia una cierta cantidad de combustible de escape, que no solo es dinero perdido, sino que también es una de las causas de la contaminación atmosférica.

Las causas principales que afectan este fenómeno de la combustión incompleta, son la mayor o menor dificultad del combustible para evaporarse, y el tiempo disponible para lograr la mezcla íntima del combustible y el comburente.

La manera más práctica de contrarrestar la combustión incompleta, es aumentar la proporción de aire en la mezcla aire combustible, ya que de esa forma aumentan las probabilidades para las moléculas de combustible de encontrar oportunamente el oxígeno que necesitan para la combustión, aunque al final quede oxígeno sobrante, el cual por venir de la atmósfera no representa dinero perdido ni contaminación [1].

14.3.5. El movimiento de apertura de las válvulas no es instantáneo.

En los motores de combustión interna, las válvulas se mueven operadas por levas que les imprimen los desplazamientos adecuados para abrir y cerrar en los momentos oportunos, de acuerdo con el desarrollo del ciclo [1].

Dado que la colocación del árbol de levas no puede ser arbitraria, la ley de movimiento de estas es transmitida hasta las válvulas, a través de una serie de mecanismos tales como seguidores, vástagos, balancines, etc.

Todo el conjunto de mecanismos incluyendo las propias válvulas, tiene una masa finita que al recibir la acción de una fuerza finita, produce una aceleración finita. Por lo tanto la válvula toma un cierto tiempo para desplazarse a lo largo de toda la carrera de apertura, lo mismo que para el cierre, a una velocidad determinada por la aceleración por la cual está sujeta [1].

Por lo anterior, se ve claro que los movimientos de las válvulas no pueden ser instantáneos, pues se requerirían fuerzas y aceleraciones infinitas para lograrlo.

Durante el tiempo que toma la apertura y el cierre de las válvulas, el embolo recorre parte de su carrera, lo que significa que no en toda su carrera de admisión o escape, estarán completamente abiertas las válvulas, sino que parte de dichas carreras suceden con las válvulas parcialmente cerradas [1].

Esto dificulta la entra y salida del gas al cilindro, y produce un llenado incompleto del mismo, o sea una menor cantidad de mezcla aire combustible, y por ende menor cantidad de calor suministrado y menos trabajo útil y potencia.

Cuando mayor es la velocidad del motor, mayor porcentaje de la carrera toma la apertura y cierre de las válvulas, y el fenómeno se hace más notable. En motores muy rápidos, la apertura de la válvula de admisión puede tomar hasta un 50% de la carrera, y el cierre el otro 50%.

Para contrarrestar en parte este problema, se modifican los tiempos de apertura de las válvulas, es decir, el instante en que comienza la apertura, y en que termina el cierre, de tal manera que ya no coincidan el PMS y el PMI respectivamente. La válvula de admisión se arregla de modo que inicie su movimiento de apertura antes del PMS, o sea un cierto ángulo de giro del cigüeñal antes del PMS. Así mismo, la terminación del movimiento del cierre ocurre después del PMI, en un cierto grado de giro del cigüeñal. Estos ángulos son variables de acuerdo con el tipo de cada motor. Con esto se consigue ganar tiempo fuera de la carrera de admisión, para el inicio de la apertura y terminación del cierre, en cuyos periodos la válvula está casi cerrada; y darle a la propia carrera de admisión mayor tiempo con la válvula totalmente abierta [1, 3 y 4].

La válvula de escape se arregla de una forma similar, pero dándole anticipo de la apertura un ángulo mucho mayor antes del PMI, para facilitar la salida de los

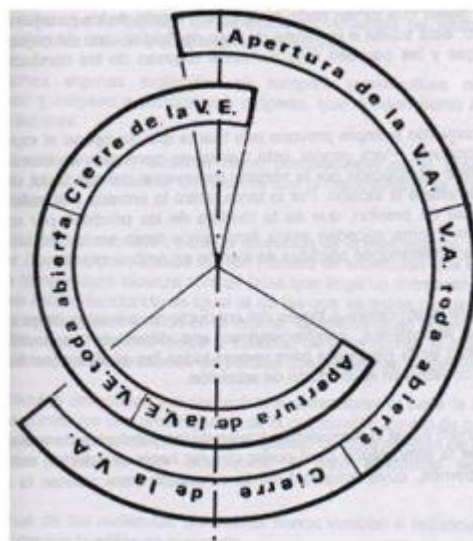
gases hacia el final de la carrera de expansión, y evitar que haya contrapresión al iniciarse la carrera de escape, lo cual produciría trabajo negativo [1].

La válvula permanece totalmente abierta la mayor parte de la carrera, y termina de cerrar un ángulo después del PMS.

En la figura 14.6, se muestra el diagrama angular, un ejemplo de colocación de los puntos de apertura y cierre de las válvulas tanto de admisión como de escape.

Figura 14.6. Diagrama angular del ciclo Otto de 4 tiempos.

Fuente: Picazo Arteaga [1]



14.3.6. Rozamiento del gas con los conductos:

La conducción de los gases que toman parte en el ciclo a través de los pasajes que los introducen y los expulsan del cilindro, está sujeta a las leyes del flujo de fluidos, uno de cuyos fenómenos es el rozamiento del gas con las paredes más o menos rugosas de los conductos por los cuales circula [1].

Como se sabe, el rozamiento siempre provoca una fuerza que se opone al movimiento del fluido que circula por un conducto. Para vencer esta fuerza es necesario consumir parte de la presión del fluido tal, que multiplicada por la sección transversal del conducto, dé una fuerza igual y contraria que contrarreste la fricción. Por lo tanto, entre la entrada y la salida del conducto se establece una diferencia de presión, que es la medida de las pérdidas por rozamiento. En los motores de combustión interna suceden estos fenómenos tanto en los conductos

de admisión como en los de escape, originándose pérdidas de fricción en ambos casos.

El gas que circula desde la atmósfera a través de los conductos de escape, requiere tener una mayor presión que la atmosférica para poder circular hacia el exterior, estableciéndose un diferencial de presión entre ambos extremos, cuya magnitud es la necesaria para vencer la fricción.

Cuanto mayor sea la velocidad del gas, y el grado de dificultad que encuentre a su paso por los conductos, mayores serán las pérdidas por fricción.

14.4. Componentes mecánicos de nuestro interés de los motores de combustión interna [4]

A continuación algunos componentes mecánicos fundamentales de los motores de combustión interna:

- El cilindro, dentro del cual se mueve el pistón con movimiento rectilíneo alternativo, forma parte, en los motores pluricilíndricos, del bloque de cilindros. Normalmente se fabrica unido a la bancada, se puede considerar como la estructura soporte del motor. En algunos modelos de motores el bloque de cilindros se fabrica separado de la bancada, a la cual se une mediante espárragos.
- La culata constituye la parte superior del cilindro, al cual cierra dejando un volumen comprendido entre ella y el pistón que se denomina cámara de combustión o de compresión en la cual se quema el fluido activo.
- El pistón, dotado de segmentos que impiden la fuga de gas entre él y el cilindro, transmite el empuje de dicho gas, a través del perno o bulón, a la biela, y de ésta, a la manivela del cigüeñal.
- La biela y la manivela constituyen un sistema mecánico que transforma el movimiento lineal alternativo del pistón en movimiento de giro del cigüeñal, el cual para reducir el rozamiento gira sobre los cojinetes de bancada.
- Los colectores de admisión y de escape son los conductos a través de los cuales se carga y se descarga el fluido operante del interior del cilindro.
- Las válvulas de aspiración y de escape, accionadas por un sistema mecánico denominado distribución, que son mantenidas en su asiento por la acción de su correspondiente muelle, abren y cierran el cilindro permitiendo que los gases frescos y quemados entren y salgan de él en los momentos oportunos.

14.5. Comparación de los motores Otto y Diesel:

Los motores Otto y Diesel, que tienen una forma constructiva, una disposición de elementos y un funcionamiento semejantes, se diferencian esencialmente por su sistema de alimentación y por su combustión.

- La alimentación en los motores de tipo Otto se realiza introduciendo una mezcla aire-combustible en el interior del cilindro durante la admisión. Esta mezcla, una vez comprimida, se incendia por medio de una chispa eléctrica, lo que origina una combustión suave y progresiva. En los motores Diesel el llenado de los cilindros se realiza solamente con aire, introduciendo el combustible a alta presión el cual arde espontáneamente al ponerse en contacto con el aire previamente comprimido, cuya temperatura está por encima del punto de inflamación del combustible, haciéndolo bruscamente, lo que produce la trepidación característica de estos motores, la cual es cada vez más reducida por los nuevos sistemas de inyección a muy alta presión y multipunto.
- Los motores Otto no pueden trabajar con grandes relaciones de compresión. El valor máximo queda limitado a una relación de 9/1 a 10/1 para que la temperatura alcanzada en la compresión no rebase el punto de inflamación de la mezcla y se produzca el autoencendido. En los motores Diesel es necesaria una elevada relación de compresión, del orden de 22/1 a 24/1, para conseguir las temperaturas adecuadas en el interior del cilindro, con objeto de que se produzca la autoinflamación del combustible al ser inyectado. Este grado de compresión hace que las presiones de trabajo sean muy elevadas por lo que deben estar constituidos por elementos muy resistentes que soporten grandes cargas, lo que hace que sean más pesados y lentos. Como se vio el rendimiento térmico en ambos motores es función de la relación de compresión y, al ser más alto en los motores diesel, el aprovechamiento de la energía del combustible es mayor en ellos que en los de ciclo Otto.
- Debido a la forma de realizar la mezcla, los motores de tipo Otto necesitan utilizar combustibles ligeros y fácilmente vaporizables con el objeto de obtener una buena mezcla aire-combustible. Estos motores están condicionados en cuanto al tipo de combustible empleado, siendo el de mayor uso la gasolina. En los motores Diesel, como la mezcla aire-combustible se realiza al pulverizar este a alta presión en el interior de los cilindros, la volatilidad del combustible no tiene gran importancia y se

pueden utilizar, en consecuencia, combustibles más pesados y de menor calidad.

- Hasta la aparición de los motores Otto de inyección, el sistema de alimentación Diesel tenía la ventaja de que al suministrar en cada momento la cantidad justa de combustibles según las necesidades de marcha, no se producía derroche en los mismos por mezclas excesivamente ricas ni pobres. Además, como en los Diesel en el interior del cilindro se quema todo el combustible, no hay producción de gases tóxicos y, como consecuencia, la contaminación atmosférica es menor. Sin embargo necesitan una gran precisión en la construcción de la bomba de inyección y un filtrado muy riguroso del combustible para que no se obstruyan los inyectores.
- Un inconveniente del motor Diesel es el arranque en frío. En invierno cuando el aire y las paredes del cilindro están a temperaturas muy bajas, la temperatura alcanzada en la compresión puede no ser suficiente para inflamar el combustible. Por esto necesitan usar calentadores que se colocan en las cámaras de combustión, lo que hace más lenta su puesta en marcha. Estos calentadores son puestos en funcionamiento bien por el conductor, bien de forma automática durante unos instantes antes de arrancar el motor. Así se calienta el aire y las paredes de la cámara. El calor generado se transmite al pistón y al cilindro, lo que favorece el calentamiento del aire que penetra en su interior. Con ello se consigue una mayor temperatura del aire al finalizar la compresión. Estos calentadores se desconectan automáticamente al accionar el arranque.
- El consumo de combustible en los motores depende esencialmente de la relación de compresión, de la forma de realizar la carburación y del llenado de los cilindros. Estos factores varían notablemente en ambos tipos de motores y determinan la diferencia de consumo existente entre ellos. Cuanto más elevada sea la relación de compresión, mayor es el rendimiento térmico y, por tanto, también lo es el aprovechamiento de la energía calorífica del combustible. Esto significa que, a igualdad de potencia, el consumo de combustible es menor cuanto mayor sea la relación de compresión.
- En los motores Diesel el bajo consumo de combustible se debe, fundamentalmente, al alto grado de compresión con que trabajan. En los motores Otto la relación de compresión está muy por debajo del límite

crítico, porque está limitado por la temperatura de la cámara de combustión al término de la compresión, que no debe superar el valor de auto inflamación de la mezcla. Para incrementar el grado de compresión, los constructores trabajan en la aplicación de nuevas tecnologías que permitan elevarlo y reducir, por tanto, el consumo del motor.

Los estudios en cuestión se encaminan a conseguir culatas de material de mayor conductividad térmica, para facilitar la evacuación del calor, a la mejora del diseño de las cámaras de combustión y al empleo de combustibles capaces de soportar mayores temperaturas sin auto encenderse.

Por otra parte, se tiende a la fabricación de motores Diesel de nueva tecnología, cuya velocidad de régimen sea superior y a reducir el coste de fabricación para aprovechar las ventajas que proporciona el menor consumo y el menor precio del combustible empleado.

Como en los motores de gasolina, la preparación de la mezcla se efectúa de forma que la riqueza obtenida está muy próxima a la teórica, lo que no ocurre en los motores Diesel que, por su particular forma de alimentación, necesitan una sobre aportación de aire para obtener una buena combustión, es por lo que la riqueza en combustible de la mezcla es mayor en los motores de gasolina.

Otro de los factores que inciden sobre el consumo de combustible es la forma de funcionamiento de ambos motores.

En los motores Otto la regulación de la potencia se realiza admitiendo mayor o menor cantidad de mezcla en el cilindro según las necesidades de potencia solicitada. Esta disposición presenta el inconveniente de que, a menor carga, el grado de compresión es más bajo, lo que hace que el rendimiento térmico sea menor, y es por lo que el menor consumo corresponde a las zonas de trabajo próximas a la plena carga.

En los motores Diesel la regulación de potencia se realiza variando la cantidad de combustible inyectado en función de la potencia solicitada.

Como la mayor o menor cantidad de combustible inyectado no influye en el llenado del cilindro con el aire, la relación de compresión no disminuye, es por lo que el rendimiento térmico se mantiene constante a cualquier régimen de carga.

Debido al tiempo disponible para realizar la mezcla, unos 360° de giro del cigüeñal, y al poco peso de sus elementos móviles, los motores de tipo Otto no tienen grandes limitaciones para alcanzar un elevado número de revoluciones. En

la práctica están limitados por las fuerzas de inercia y por los rozamientos, que crecen con el cuadrado de la velocidad.

La velocidad de régimen alcanzada por los motores de encendido por chispa, puede llegar a alcanzar incluso 17000 r.p.m. En los motores Diesel, sin embargo, la velocidad de régimen está limitada por el corto tiempo de que disponen para la formación de la mezcla en el interior de sus cilindros, unos 30° 16 máximo, lo cual limita la velocidad de los mismos, llegándose en los motores más rápidos a un régimen que aún hoy no supera las 6000 r.p.m.

Esta característica representa una gran ventaja de los motores Otto sobre los Diesel pues, debido a su alto régimen de funcionamiento, se pueden obtener grandes potencias aun con pequeñas cilindradas por ser la potencia función de estas dos variables.

Además, como los motores Otto tienen un menor peso muerto, son más ligeros y más económicos.

14.5.1. Ventajas y desventajas de los motores Diesel respecto a los del ciclo Otto.

Haciendo un resumen de todo lo expuesto en este apartado, se pueden considerar las siguientes ventajas e inconvenientes de los motores Diesel con respecto a los de ciclo Otto [5]:

14.5.1.1. Ventajas:

- Mayor rendimiento térmico con mayor potencia útil.
- Menor consumo de combustible aproximadamente el 30% menos.
- Empleo de combustible más económico.
- Menor contaminación atmosférica.
- No existe peligro de incendio.
- Motor más robusto y apto para trabajos duros, con una mayor duración de uso.
- Menor costo de entretenimiento.
- Mayor rentabilidad.

14.5.1.2. Desventajas:

- Mayor peso del motor.
- Necesitan soportes más fuertes.

- Elementos de suspensión de mayor capacidad.
- Costo más elevado del motor.
- Menor régimen de revoluciones.
- Motor más ruidoso y con mayores vibraciones.
- Reparaciones más costosas.
- Arranque más difícil.
- Requieren mayor calidad en los aceites de engrase.

Debido a las ventajas de los motores Diesel con respecto a los de explosión, sobre todo en el empleo de combustibles más económicos y al mejor aprovechamiento de la energía, el campo de aplicación de estos motores crece constantemente, incluso para vehículos de turismo. Son por estas razones los más empleados en la Agricultura [6].

14.7. Participación de los autores:

Los motores son llamados el corazón de las máquinas rotativas. Son estos los que hacen posible indirectamente saciar muchas de las necesidades de los seres humanos como el transporte, generación de electricidad, etc.

Dentro de la cámara de combustión de los motores es donde ocurre el proceso de transformación de la energía química proveniente de la mezcla combustible-aire en energía mecánica en forma de trabajo y calor. Y es a través de los ciclos existentes que se logra aprovechar la energía generada.

El óptimo desempeño de estos sistemas consiste en conocerlos y preservar un estado de funcionamiento adecuado. El mantenimiento automotriz es fundamental para la longevidad de los motores, especialmente en motores de equipos que están en condiciones agresivas.

Bibliografía

- [1] Ernest Vennk, "El automóvil: Mantenimiento y reparaciones" Edit. Utcha. 2da Edición. México, 1999.
- [2] Francois Gassau, Jean Pierre Jauleus, "Manual del sistema y funciones del automóvil Renault". Edit. Renault. Francia, 2003.
- [3] José Picazo Arteaga. "Mantenimiento de motores automotrices". Instituto Politécnico Nacional. México 2009.
- [4] Jesús Calvo, Marco Antonio Miravete, "Mecánica del automóvil" Edit. Diana. 2da Edición. México, 1999.
- [5] Michael Johnson, "Manual técnico Dodge- Plymouth", Edit. Dodge, Estados Unidos, 1995.
- [6] P. Read, P.C. Reid." Manual técnico del automóvil". Edit. Interamericana. 2da Edición. Alemania, 2004.

15. IMPACTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

15.1. Contextualización.

Los biocombustibles se han convertido, con el paso de los años y las grandes problemáticas presentadas por los hidrocarburos, en una alternativa ideal para la disminución de la contaminación expedida a la atmósfera por el consumo indiscriminado de combustibles fósiles y/o hidrocarburos, empleados en los sistemas de transporte. Día a día es mayor el número de personas en diferentes ciudades del mundo que toman conciencia de que el problema de la contaminación ambiental y, en especial, el problema de la contaminación atmosférica, a través de las emisiones generadas por el transporte, es un problema que exige que todos seamos parte de la solución.

Bajo los notables efectos del deterioro medioambiental y las presiones de organizaciones del mundo, varios gobiernos del mundo⁶⁶ han acordado bajar los índices de emisión de CO₂ y otros gases que producen el efecto invernadero.

Por otra parte, constantes guerras bélicas y de mercado, generadas alrededor de los hidrocarburos, han puesto de manifiesto la necesidad estratégica de cada país de tener una independencia energética. De nuevo, la búsqueda de alternativas energéticas para el transporte en general ha colocado a la vanguardia de las investigaciones científicas y de mercado a los biocombustibles.

En Colombia, el proceso de cambio hacia mezclas de gasolina y etanol inició con base en el modelo brasilero, sin tener en cuenta las diferencias fundamentales entre el parque automotor de este país con respecto al de Brasil [1]. Es así cómo se emite la ley 693, aprobada en Colombia en el año 2001⁶⁷, sobre el uso de combustibles oxigenados, la cual obligó a todos los usuarios a utilizar, a partir del mes de septiembre de 2005, una mezcla de gasolina con alcohol etílico anhidro (etanol) en proporción en volumen de este último de $10 \pm 0,5 \%$ ⁶⁸.

El gobierno colombiano se propuso impulsar la producción de biocombustibles buscando primordialmente, la disminución de la dependencia de los combustibles

⁶⁶ Estados Unidos, China, India, Australia, en general avalado por 140 países.

⁶⁷ Capítulo 4.

⁶⁸ El nombre dado a las mezclas de gasolina y etanol se designa con la letra "E" seguida de un número correspondiente al contenido de etanol en la mezcla. De esta manera la gasolina pura se conoce como E0 y la mezcla de gasolina con 10% de etanol en volumen, se denomina E10.

fósiles. La implementación de este programa se proyectó en diferentes fases⁶⁹ que incluían el centro del país, al inicio, y que recientemente se ha completado para todo el territorio colombiano.

Por otra parte, aunque el total de los autos colombianos a gasolina soportan una mezcla de combustibles etanol-gasolina en proporción del 10% de etanol [1], sin necesidad de realizar cambios en los vehículos, el uso de mezclas superiores involucra cambios en los sistemas de alimentación y en algunas partes de los motores, que deben ser consideradas antes de realizar cualquier uso de mezclas superiores al 10% de etanol.

De esta manera, el uso de mezclas superiores al 10% de etanol y 20% de biodiesel involucra costos adicionales al simple hecho de adquirir el nuevo combustible. Estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia [2] ponen en evidencia las partes del sistema de alimentación del combustible, que deberían ser reemplazadas a fin de asegurar su estabilidad durante el uso de combustibles mayormente oxigenados.

15.2. Desempeño en motores con etanol y mezclas con etanol.

El etanol como combustible tiene un desarrollo de casi 30 años en el mundo [1,3, 4], existe un panorama difuso sobre las propiedades físico-químicas⁷⁰ de las mezclas gasolina-etanol y su comportamiento cuando se utilizan en motores de combustión interna [1]. No es clara la relación entre las propiedades, el desempeño y las emisiones finales del motor. Esto en gran parte puede deberse a la existencia de calidades variables de gasolina y a los diferentes tipos de motores empleados en el mundo [1]. Sumado a los pocos estudios que se concentran en la combustión de mezclas gasolina-etanol, debido a que los cambios realizados en los motores en países como Brasil y Estados Unidos corresponden a un largo proceso de prueba y error [3].

Es importante mencionar el proceso de combustión en los motores, pues es allí donde se transforma la energía química de la mezcla en energía mecánica especialmente en potencia. El proceso de combustión de los biocombustibles trae consigo relaciones de aire-combustible menores que aquellas presentes en los procesos de combustión con combustibles derivados del petróleo [4]. El oxígeno presente en el combustible (gasolina) proporciona comburente adicional y la

⁶⁹Comentadas en el capítulo 4.

⁷⁰Calor de Vaporización, Presión de vapor de Reid, Temperatura de autoencendido, Número de octano, Densidad, etc.

relación aire-combustible debe disminuir. Cuando se utilizan biocombustibles en motores de combustión interna, el consumo de combustible aumenta [3]. Esto se debe a que para la misma velocidad de operación del motor, y el mismo nivel de carga y por tanto la misma masa de aire, para los dos casos (combustibles tradicionales y biocombustibles), si disminuye la relación de aire-combustible estequiométrica, la masa de combustible que se necesita debe ser mayor [1-5].

MacLean [3] y Hsieh [4] muestran en sus trabajos que la potencia (P) y el torque (T) no disminuyen a pesar de que el poder calorífico inferior (LHV) del etanol es menor que el de los combustibles fósiles ($LHV_{E0} < LHV_{E\#}$). En algunos casos P y T aumentan junto con la eficiencia térmica para las mismas condiciones de operación [5]. Una explicación para este fenómeno puede ser que la temperatura para el autoencendido del etanol es mayor que la de la gasolina y el diesel, así como su calor de vaporización [6] y el número de octano. Esto revela entonces la posibilidad de tener una temperatura más alta de combustión, dependiendo de varios factores de operación del motor, a medida que el contenido de combustible oxigenado aumenta. Este es un índice del aumento proporcional en las emisiones de óxidos de nitrógeno [7], y en el deterioro prematuro de los motores al tener condiciones de funcionamiento diferentes para las que fue diseñado, y daños principalmente en las partes lubricadas [6-8].

Respecto a las emisiones producidas por la combustión de biocombustibles en motores de combustión interna, se resalta la reducción en las emisiones de monóxido de carbono y el aumento del dióxido de carbono emitido al ambiente, el cual es proporcional a la disminución de CO [9]. El CO₂ producido no tiene efecto directo como gas invernadero, ya que proviene del proceso de combustión de un combustible cuya materia prima es una fuente renovable de energía a partir de biomasa [10].

En cuanto a las emisiones de NO_x, es difícil predecir la tendencia de esta emisión debido principalmente a que no existe una relación entre el combustible utilizado y los parámetros principales de operación del motor [11]. Esta producción puede estar relacionada directamente con las condiciones de operación del motor [11]. El mismo comportamiento variable se presenta para las emisiones de hidrocarburos sin quemar (HC)[11], ya que estos dependen en gran medida del hidrocarburo o grupo de hidrocarburos específicos que se estén midiendo. Se puede evidenciar la aparición de hidrocarburos pesados, procedentes de aceites lubricantes y combustibles derivados de petróleo, y también las emisiones de hidrocarburos livianos en estado de gases.

Otro aspecto interesante tiene que ver con la emisión de material particulado. En motores con ciclo de presión constante y ciclo de volumen constante, estas emisiones disminuyen a medida que aumenta la proporción de etanol en la mezcla [12].

También es importante resaltar las emisiones no reguladas como los aldehídos, que pueden aumentar en relación a la combustión del combustible fósil [18]. Existen estudios que confirman la alta probabilidad de desarrollar cáncer y enfermedades relacionadas en seres humanos [18].

Existe un gran desconocimiento de las consecuencias a corto y largo plazo sobre los motores que funcionan en Colombia, la cual posee ciudades capitales en diferentes pisos térmicos [1]. La ciudad de Bogotá (Capital de la república de Colombia) es un ejemplo, ubicada a 2600 msnm., cuenta con más de un millón de vehículos de los cuales según cifras del Ministerio de transporte [13], el 9,1% corresponde a transporte particular y el restante a transporte público⁷¹. El promedio de edad de los vehículos particulares es de 15 años y de los vehículos públicos de 25 años según cifras del ministerio de transporte [13]. Estas cifras son muy similares para el resto del país, donde la mezcla E10 se ha venido implementando desde el año 2007 [14]. Lo anterior significa que los automotores que circulan por las carreteras colombianas no cuentan con un sistema de control de emisiones apto, por lo que las condiciones de operación no son las adecuadas en la mayor parte de los casos, debido a que utilizan tecnologías de dosificación de combustible y control de emisiones obsoletas o carecen de ellas[1]. Lo anterior, si bien es una situación que se viene presentando con el uso de combustibles fósiles, existe evidencia de que el proceso de combustión cambia con la introducción de los biocombustibles [14] como se mencionó anteriormente. Uno de los cambios fundamentales está relacionado con el aumento en el consumo de combustible y el incremento asociado de la temperatura promedio dentro de la cámara de combustión [5]. Como ya se mencionó esto puede causar problemas de mantenimiento a largo plazo en motores sin modificar, es decir motores que utilizan mezclas E10.

Existen principalmente dos problemas cuando se operan motores de combustión interna con este combustible (etanol-gasolina). El primero de ellos consiste en la aparición de residuos de etanol sin quemar (posible separación de componentes), en los múltiplos de admisión y de escape [15,16]. El segundo problema es que la temperatura promedio del motor tiende a aumentar por encima de los valores de

⁷¹91 Vehículos por cada 1000 habitantes.

operación con combustible sin mezclar [17], principalmente en los puntos de máximo torque y máxima potencia.

La mayor temperatura de funcionamiento del motor produce mayores emisiones de NOx debido a la disociación del nitrógeno en la cámara de combustión por alta temperatura y su posterior combinación con átomos de oxígeno para formar NO, NO₂ y N₂O [5]. Esto sucede en rangos de trabajo del motor de alta presión media efectiva y/o alto torque o potencia [18]. Lo anterior tiene como consecuencia un menor tiempo esperado de vida de los componentes móviles principales del motor, debido a la degradación más rápida del aceite lubricante (la tasa de oxidación del lubricante aumenta el doble por cada 10°C de aumento de temperatura del motor en promedio [18,19]). Este problema está relacionado directamente con la forma en que se desarrolla el proceso de combustión de mezclas gasolina-etanol en los MCI encendidos por chispa.

15.3. Desempeño en motores con biodiesel y mezclas con diesel.

El biodiesel se puede usar en motores en forma pura (100% biodiesel) o en una mezcla de diesel y biodiesel en diferentes concentraciones. La mezcla más difundida es la B20, significa una mezcla de 20% biodiesel y 80% diesel fósil. En cantidades menores al 5% de mezcla (B5) es considerada como aditivo y la mezcla puede hacerse con diesel de petróleo o diesel con bajo nivel de azufre (LSD). En estas proporciones como aditivo puede ser usado en los motores sin hacer ninguna modificación.

15.3.1. Efectos del biodiesel en las emisiones de gases y el desempeño del motor.

Se han determinado las consecuencias del motor con respecto a las emisiones de gases, la potencia y el consumo. En la tabla 15.1., se aprecia una comparativa entre los gases contaminantes que genera un motor utilizando B100 y otro con B20, partiendo de las emisiones que produce un motor que usa diesel derivado del petróleo.

Tabla. 15.1. Emisiones medidas del biodiesel comparadas al diesel convencional.

Fuente: [www. Biodiesel.org](http://www.Biodiesel.org)

Tipo de emisión	B100	B20
Hidrocarburos totales sin quemar. (HC)	-68	-14
Monóxido de carbono (CO)	-44	-9
Partículas en suspensión (PM)	-40	-8
Sulfatos.	-100	-20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	-80	-13
Hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrogenados (nPAH)	-90	-50
Potencial de destrucción de la capa de ozono	-50	-10
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	+6	+1

Cabe destacar de la tabla 15.1 que al usar B100 los sulfatos se reducen totalmente, el monóxido de carbono disminuye en un 44% y los HC son reducidos en un 68%. De la tabla 15.1. Se aprecia que el único efecto negativo es el incremento de óxidos nitrogenados. Estos datos son relativos ya que dependen del diseño y tipo del motor sean automóviles, vehículos de transporte público, maquinaria pesada, etc.), del tipo de combustible según su composición, materia prima del que fue creado y la antigüedad y mantenimiento del motor.

Otro aspecto importante es que el humo generado por un vehículo con biodiesel es menor al momento del arranque en comparación a un vehículo con diesel.

Al utilizar biodiesel existe una pérdida de potencia de hasta un 15% y un aumento del consumo de combustible, esto debido a que el biodiesel posee un poder energético menor al diesel convencional (121.000BTU y 135.000BTU respectivamente). Esto ocurre con mezclas superiores al 20%, en mezclas inferiores la pérdida de potencia es mínima y el funcionamiento del motor es similar al del diesel convencional [35-40].

15.3.2. Efectos del biodiesel en el sistema de alimentación de combustible:

La lubricidad es un factor importante en el diesel y en el biodiesel pues los sistemas de alimentación como bomba de inyección y los inyectores están lubricados por medio del combustible [21].

La lubricidad es un término cuantitativo que describe la capacidad que tiene un líquido de afectar la fricción entre las superficies que están en movimiento relativo bajo carga y determinar el desgaste a las superficies de metal.

Son varias las técnicas de evaluación de lubricidad [21 y 33]:

- HFRR: Dispositivo de Oscilación de Alta Frecuencia (High FrequencyReciprocatingRig)
- BOCLE: Evaluador de Lubricidad de Bola sobre Cilindro (Ball-onCylinderLubricityEvaluator)
- SLBOCLE: Evaluador de Lubricidad de Bola sobre Cilindro de Marcas por Carga (Scuffing Load Ball-onCylinderLubricityEvaluator)
- Prueba de Perno de Falex y Bloque en V.
- Prueba de cuatro bolas.

Si existe un valor bajo de lubricidad existirá un desgaste mayor de los componentes, causando un mayor costo de mantenimiento e incluso la necesidad anticipada de recambio de piezas.

El biodiesel posee un alto valor de lubricidad aumentando la capacidad de lubricación de los componentes. En la tabla 15.2., se muestra la lubricidad de diferentes mezclas de biodiesel a través de los sistemas BOCLE (Ball-onCylinderLubricityEvaluator) y SLBOCLE (Scuffing Load Ball-onCylinderLubricityEvaluator).

Tabla 15.2. Evaluación BOCLE de lubricidad. Fuente: EngineeringTestingServices[21]

Porcentaje de mezcla Diesel-Biodiesel	Diesel del petróleo BOCLE (gramos)	Diesel LSD BOCLE (gramos)
0,00%	2200	4250
0,10%	2750	5000
0,20%	3450	5000
0,30%	3200	5550
0,40%	3500	5500
1,0%	3200	5700
10,0%	6000	6000
20,0%	6000	6000
100%	6000	6000

Se aprecia en la tabla 15.2., que a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel en la mezcla también lo hace la lubricidad.

El biodiesel puro (B100) o mezclas superiores al 30% pueden causar daños en componentes de la inyección como empaques, sellos o mangueras, debido a los materiales que lo componen que no son compatibles, estos elementos se pueden reemplazar [35-40]

Mezclas inferiores al 20% no deben causar daños o desperfectos [35-40]. El biodiesel no es compatible con polímeros que muestran un comportamiento elástico, fabricados con caucho natural y piezas de cobre o que contengan aleaciones de este material [43, 45-49]

En una prueba realizada por Instituto de Investigación de Southwest sobre la resistencia a la tensión, elongación, dureza y variaciones de volumen de ciertos elastómeros en presencia B100, B20 y B30, se comprobó que el biodiesel puro o mezclado es compatible con todos los elastómeros probados (Teflón, Nylon 66, Nitrilo, Viton A 401C, Viton GFLT, Fluorsiliconas, Poliuretano, Polipropileno) aunque hubo pequeñas diferencias con la goma de nitrilo. Los elastómeros que mejor desempeño tuvieron con el diesel son el Teflón, Viton A 401C y Viton GFLT.

El biodiesel con el tiempo tiende a ablandar y degradar ciertos tipos de elastómeros y compuestos de caucho natural usados en mangueras y sistemas de sellado de bombas de combustible [43]. Esto ocurre con los vehículos modelo 1994 para atrás. La mayoría de los vehículos construidos luego de 1994 poseen tuberías y sellos completamente sintéticos, por lo cual no tendrán este problema.

Los vehículos antiguos deben ser inspeccionados antes de utilizar altos porcentajes de mezcla para asegurarse que el sistema de alimentación de combustible no contenga los compuestos de elastómeros incompatibles con el biodiesel, de lo contrario es necesario su reemplazo.

Las casas fabricantes recomiendan que las gomas butílicas o naturales no entren en contacto con biodiesel puro, pues quedarán pegajosas y se disolverán. El biodiesel tiene un efecto solvente que puede liberar depósitos acumulados en las paredes del tanque de combustible o en las tuberías, obstruyendo los filtros del sistema. Se debe tomar precauciones para evitar que estos depósitos lleguen a los filtros de combustible del motor.

Con respecto al almacenaje y el transporte del biodiesel debe tenerse presente la compatibilidad con metales y aleaciones que contengan cobre, bronce, plomo, zinc y estaño pues estos metales pueden catalizar reacciones químicas de degradación del combustible.

Utilizar recipientes de polietileno o polipropileno muy delgado puede provocar problemas de filtraciones, para evitar eso se debe depositar en contenedores de plástico hechos de polipropileno de alta densidad u otros plásticos con un recubrimiento interior fluorado.

Los materiales recomendados para el almacenaje de biodiesel son el acero inoxidable, el aluminio, el polipropileno fluorado, el polietileno fluorado, el teflón y la fibra de vidrio.

En general las precauciones que se toman para el biodiesel son las mismas que para el diesel, minimizar contenido de agua y otros contaminantes, minimizar la exposición del sol, minimizar cambios de temperatura, etc [43].

El biodiesel sufre de un problema de oxidación si permanece almacenado por periodos mayores a seis meses, experimentando cambios en su número ácido, viscosidad y número de cetano.

Para tiempos mayores de almacenaje se recomienda usar aditivos especiales que lo estabilicen, como el TBHQ (Butil Hidroquinona Terciario).

Otras precauciones adicionales son las de evitar el contacto con superficies pintadas, se recomienda limpiarlas inmediatamente cuando se salpiquen con biodiesel puro y evitar la exposición prolongada del concreto al biodiesel pues causa un deterioro prematuro en el mismo.

15.3.3. Efectos del biodiesel en el funcionamiento del motor.

La calidad del aceite es fundamental para lubricar las piezas en movimiento y limitar el desgaste del motor y en todos ellos el lubricante siempre se contamina con el combustible que pasa en pequeñas cantidades al cárter de aceite a través de los anillos [6, 36].

El diesel es más liviano que el aceite y reduce la capacidad de este para lubricar el motor, con el tiempo los componentes químicos del aceite y el combustible comienzan a formar aglomeraciones y finalmente se convierte en un lodo espeso, dificultando el movimiento del aceite y dañando el motor. Normalmente existe mayor dilución en motores diesel de inyección directa que en motores de inyección indirecta [36].

Volkswagen condujo pruebas de durabilidad a principio de los 80's analizando el motor diesel usado con su motor DI y encontró que el uso de un 100% de biodiesel no afectaría adversamente el uso del motor [22]. Cuando se realizaron las pruebas de durabilidad de 100% biodiesel en los motores DI, Volkswagen encontró que la dilución del aceite del motor por el biodiesel puro era inaceptablemente alto. De todas formas, esta dilución no aparenta tener efectos sobre la capacidad de lubricación del aceite del motor hasta llegar al punto donde el antioxidante del aceite es totalmente utilizado y se produce el espesamiento del aceite. Este espesamiento se produce más rápido que con el diesel debido a la fracción no saturada de la cadena de ácidos grasos que se encuentran en el biodiesel. Algunos suponen que en la medida que la cadena de ácidos grasos que se encuentran en varios de los aceites vegetales que sirven de base al biodiesel son más insaturados, los problemas potenciales producidos por mezclas con niveles mayores de biodiesel deberían ser mayores.

En esa época, a principios de los 80, Volkswagen recomendaba el uso de mezclas con menos del 30% de biodiesel para asegurar que no se produjeran problemas por la dilución del aceite [22]. Desde entonces, las tolerancias de los motores y la dilución del aceite por efecto del combustible, se ha reducido dramáticamente. Esto ha disminuido los problemas por espesamiento del aceite, que podría potencialmente causar la utilización de mezclas con alto contenido de biodiesel en los motores modernos. Virtualmente, todos los fabricantes de motores de USA

mantienen las garantías existentes sobre los mismos cuando se utiliza B20 y los análisis de muestras de aceites del motor tomadas en ómnibus urbanos en USA, indican que no hay efectos negativos en cuanto a la dilución del aceite, tanto en motores viejos como nuevos. Volkswagen, apoya el uso de mezclas con mayor cantidad de biodiesel, de acuerdo con sus experiencias [22].

De todas maneras, los análisis de aceites del motor cuando se utiliza biodiesel o mezclas del biodiesel son alentadores. A la alta lubricidad del biodiesel se le atribuye la reducción de partículas de metal y carbón en el aceite del motor. Informes de pruebas que están ahora disponibles indican que debido a este factor se incrementa la vida útil del motor [22, 36].

Pruebas realizadas por investigadores canadienses, como también en la universidad de Missouri, han comprobado importantísimas reducciones de partículas de metal en el aceite, con una variedad de mezclas de biodiesel. En el caso canadiense, se visualizó una reducción del 40% de limaduras, con una mezcla de solo 10% de biodiesel. Los ingenieros de Cummins, creen que la reducción de partículas de carbón es la causante del extraordinario estado en que se encontraba el motor Cummins 5,9 L de inyección directa, que estuvo funcionando durante 160000 km con biodiesel puro en la prueba realizada por la Universidad de Missouri [22].

En resumen, las pruebas realizadas utilizando B20 en motores diesel, sean estos nuevos o usados, con inyección directa o indirecta, demuestran que ningún hecho negativo puede ocurrirles y que posiblemente aumente la vida útil de los mismos. El uso de mezclas de biodiesel mayores que B20 en motores con DI, viejos o nuevos, debería producir resultados iguales o mejores, mientras que el uso de mezclas mayores a B20 puede producir en algunos motores antiguos con DI un espesamiento en el aceite [22].

La duración de los motores que utilizan biodiesel ha sido específicamente estudiada en Brasil por Volkswagen, utilizando biodiesel puro y mezclas [22]. En USA, se han comprobado más de 30.000.000 de km. recorridos sin ningún tipo de problema durante estos últimos cuatro años. Toda la información indica que la durabilidad de los motores es comparable cuando se usa biodiesel o diesel derivado del petróleo [22].

15.4 Compatibilidad de materiales.

Algunos materiales plásticos más antiguos, utilizados en sellados, mangueras y filtros, como la goma natural y la goma sintética butílica, tienden a degradarse más rápidamente con el etanol. Sin embargo, desde 1980, estos materiales se están reemplazando por elastómeros fluorados, lo que solucionó este problema. Según se sabe, no hay un problema significativo de compatibilidad de gasolinas con oxigenados y elastómeros en coches más antiguos. No aumentaron los problemas al introducirse la gasolina con etanol o MTBE en áreas metropolitanas en 1992, incluso en las regiones con mayores proporciones de coches antiguos en la flota, según Chevron.

Con relación a los metales, en condiciones normales de uso, estos materiales están siempre sujetos a la corrosión, es necesario seleccionar de forma adecuada y, eventualmente, utilizar revestimientos protectores. Los metales considerados de baja resistencia al etanol y sus mezclas son las aleaciones para fundición por presión (tipo Zamac) y algunas aleaciones de aluminio. La agresividad del etanol depende de la concentración alcohólica en la gasolina y está asociada, particularmente, a la presencia de agua, ácidos orgánicos y contaminantes. Para mezclas de gasolina con 10% de etanol, el desgaste de componentes metálicos fue bastante estudiado y se lo considera irrelevante, comparado a la gasolina normal. En concentraciones más elevadas, hay un efectivo temor de que haya problemas de compatibilidad y corrosión. Esto explica porque, durante los años 1970, cuando la gasolina brasileña pasó a incorporar etanol con niveles más elevados, se introdujeron, paulatinamente, diversos cambios en los sistemas de combustible de los vehículos. Los procesos de recubrimiento metálico y de protección como niquelado y cromado son comunes en los tanques de combustible de los automóviles brasileños, y es también creciente el uso de materiales plásticos para estos componentes [43].

La manera más eficaz de reducir eventuales problemas de compatibilidad de materiales con etanol es a través de la adecuada especificación, estableciendo niveles máximos de acidez total, pH, conductividad eléctrica, así como límites para algunos iones (cloruros, sulfatos, hierro, sodio y cobre). Por eso es esencial, para el éxito de un programa de etanol combustible, la correcta definición y la estricta observación de la especificación de este biocombustible.

En este sentido, es relevante la iniciativa de armonizar las especificaciones del etanol combustible, como está siendo conducida por un esfuerzo conjunto de Brasil, Unión Europea y Estados Unidos, con buenos resultados.

Compatibilidad del metanol.

Actualmente, el etanol se presenta como una fuente importante de combustible renovable para el sector de la automoción. Se sabe que los carburantes tradicionales, como la gasolina, no han causado problemas de corrosión, debido principalmente a su baja miscibilidad en el agua. En cambio, los biocarburos en base alcohol pueden contener una considerable cantidad de agua y, además, se puede producir la oxidación parcial de sus componentes por su exposición a la atmósfera [48]. Estas reacciones pueden ocasionar corrosión y posterior fallo, de cualquier componente metálico en contacto con las mezclas etanol-gasolina. En consecuencia, todos los sectores relacionados con la industria que emplean este combustible, empresas productoras, logística, dispensadores y fabricantes de vehículos, pueden estar afectados por esta problemática.

Las legislaciones de la mayoría de los países permiten utilizar etanol mezclado con gasolina en concentraciones del 5% y 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales. Concentraciones más elevadas, implica que se debe disponer de un vehículo flexible, con un depósito, motor y sistema de combustible único y capaz de funcionar con gasolina y etanol, solos o mezclados en cualquier proporción. Por otra parte, el etanol también se utiliza en forma de aditivo de la gasolina como etil-tercbutil éter (ETBE) [42].

El conocimiento de las reacciones químicas que pueden producirse entre el etanol y los materiales que forman parte de los motores de combustión, no es reciente, ya que a finales del siglo XIX, se propuso el etanol para su uso como combustible en los primeros motores de explosión de ciclo Otto, pero no fue hasta la década de los 70 del siglo pasado, cuando Brasil empezó a utilizarlo, aprovechando que se obtenía como subproducto de la caña de azúcar [23]. Hasta hace una década no se había planteado seriamente su utilización de forma significativa a nivel mundial; el principal motivo del renovado interés por el etanol ha sido su consideración como combustible neutro, a efecto de emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y gases sulfurados, entre otros [24].

Las propiedades físico químicas del etanol y de la gasolina son muy distintas. Altamente corrosivos. Los biocarburos en base alcohol, tienen una elevada miscibilidad con el agua y además, se puede producir la oxidación parcial de sus componentes por su exposición a la atmósfera, aumentando su acidez siendo, por tanto, potencialmente corrosivos. Por otra parte, el etanol deshidratado también puede ocasionar problemas de corrosión, debido principalmente a su naturaleza higroscópica. Además, durante su almacenaje, el etanol se puede oxidar a ácido acético y aumentar su acidez, con el consiguiente riesgo corrosivo. El origen de la

presencia de agua en el etanol es diverso; generalmente proviene de su obtención, al contener 5% de agua azeotrópica que no se elimina en los procesos normales de destilación. Para evitarlo se emplean distintas técnicas, entre las que destacan la utilización reciente de microorganismos [25]. Este etanol hidratado ha sido muy utilizado en Brasil mezclado con gasolina, comprobándose que, en ausencia de inhibidores adecuados, las piezas de los vehículos estaban sometidas a problemas importantes de corrosión [26]. Es necesario mencionar la aparición de corrosión bajo tensión en componentes metálicos de fábricas de etanol en los Estados Unidos. Estas apariciones permiten deducir que la causa está relacionada con el modo de obtención del etanol. De todo esto, se puede concluir, que todos los materiales metálicos que están en contacto con el etanol, desde su obtención, hasta su utilización en los vehículos, son susceptibles de sufrir corrosión. Además, la sustitución de un combustible tan extendido, como es la gasolina, conlleva un proceso largo y complejo, ya que involucra a muchas industrias y normativas.

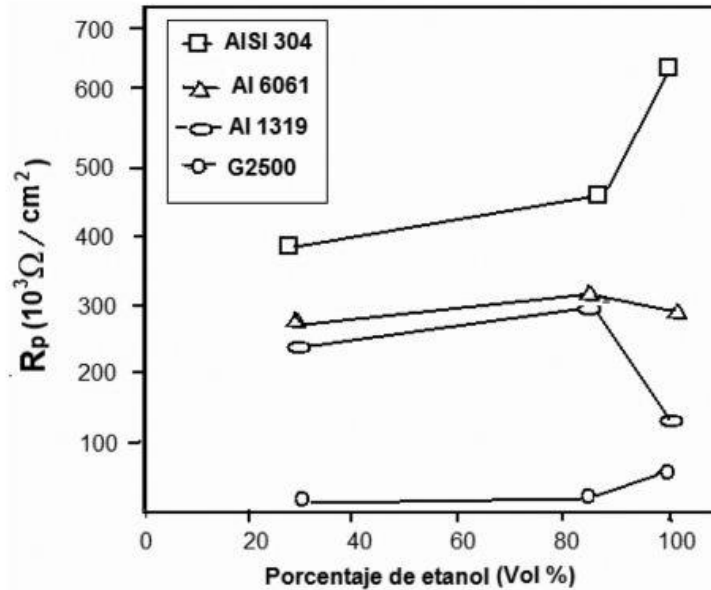
Es importante mencionar los efectos de los diferentes componentes de la mezcla de combustible sobre los elementos metálicos, ya que los motores en su gran parte están conformados por este tipo de materiales.

Efecto del contenido de etanol.

El contenido de etanol en mezclas con gasolina es un factor importante debido al efecto corrosivo sobre los materiales metálicos con los que entra en contacto. En principio, es esperable que, un incremento del porcentaje de etanol, provoque un incremento de impurezas, agua, cloruros, etc., así como de conductividad eléctrica de la mezcla final del combustible y, por tanto, que se favorezca el mecanismo de corrosión electroquímica.

Existen ensayos [25, 26, 34, 35] donde se ha determinado la resistencia a la corrosión de varias aleaciones metálicas: aleaciones de aluminio Al 6061 y Al 319, acero inoxidable AISI 304 y fundición gris 2500, en los combustibles E30, E85 y E100 en etanol hidratado (5% H₂O). Resultados de estas pruebas concluyen que el contenido en etanol apenas influye en el potencial de corrosión y en la resistencia a la polarización del acero inoxidable austenítico AISI 304, tal y cómo se observa en la figura No 11.1. La resistencia a la polarización de la fundición gris es, en presencia de todos los combustibles estudiados, más baja que la observada para las aleaciones de aluminio, aunque aumenta de $10,7 \times 10^3$ Ohm/cm² en E30 a $56,9 \times 10^3$ Ohm/cm² en la mezcla E100 [25, 34].

Figura No. 15.1. Relación entre la resistencia a la polarización de cuatro aleaciones (aleaciones de aluminio Al 6061 y Al 1319, acero inoxidable AISI 304 y fundición gris G2500) y el contenido en etanol. Fuente: C. Berlanga [27]



Efecto del contenido de agua.

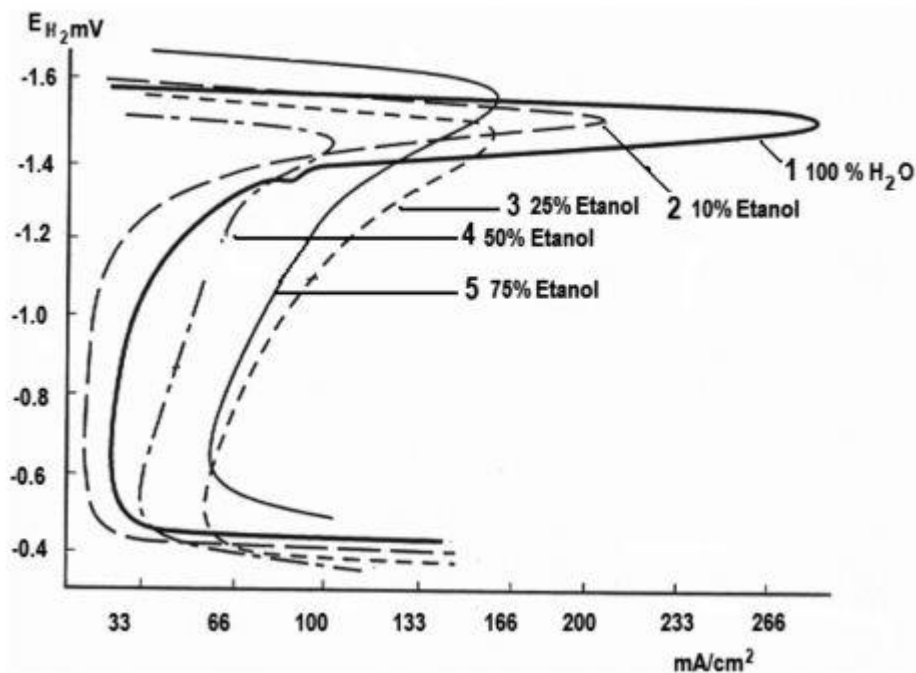
El papel del agua es determinante en el estudio de la corrosividad de las mezclas etanol-gasolina y, de hecho, es una de las variables que marca la calidad del etanol como biocombustible. Esto se debe tanto a su papel como disolvente de impurezas inorgánicas como a su protagonismo en los mecanismos de corrosión [25].

El etanol y el agua son solubles en todas las proporciones, mientras que el contenido máximo de agua que puede contener la gasolina es de sólo 0,19%. Se ha calculado que el combustible E90, 90% etanol, puede contener hasta un máximo de 0,5% H_2O antes que sus fases se separen, lo cual puede favorecer el aumento de la velocidad de corrosión [28]. Los contenidos elevados de agua, en las mezclas etanol-gasolina, promueven la corrosión de los distintos sistemas metálicos empleados en los sistemas de combustión de vehículos, observándose una fuerte dependencia con la temperatura de servicio, en particular en aleaciones de aluminio, así como en el comportamiento de materiales poliméricos[25-29].

V.P. Persiantseva [29], realizó ensayos de inmersión de un acero al carbono, una aleación de aluminio y cobre de alta pureza, durante 15 días en soluciones etanol/agua, con distintas concentraciones de etanol. Observó que las velocidades

de corrosión en etanol puro y agua son similares, alcanzándose las cinéticas de corrosión más elevadas para la mezcla formada por porcentajes volumétricos idénticos de etanol y agua. Las curvas de polarización electroquímica de la aleación de aluminio D-16, (Figura 11.2.) en soluciones etanol/agua, muestran zonas de pasividad amplias, especialmente para las soluciones con contenido de etanol que varía entre el 0 y el 75%. Las densidades de corriente de pasivación oscilan entre márgenes muy grandes, alcanzando el valor de 66 mA/cm² para la mezcla 75% etanol - 25% agua. Al mismo tiempo, con la mezcla formada por un 50% de agua en etanol, el potencial de corrosión de la aleación aumenta, mientras que el cobre y especialmente los aceros al carbono, desplazan su potencial de corrosión hacia valores más activos [30].

Figura. 15.2. Curva de polarización de la aleación de aluminio D16 en soluciones etanol/agua (1:100% H₂O; 2: 10% Etanol; 3: 25% Etanol; 4: 50% Etanol; 5: 75% Etanol). Fuente: Persiantseva[28].



Compatibilidad de materiales metálicos utilizados en componentes para automóviles con mezclas etanol-gasolina.

Para comprobar la compatibilidad de los materiales metálicos, utilizados en componentes de vehículos en mezclas etanol-gasolina, se han realizado ensayos de inmersión, ensayos en autoclave y ensayos de campo utilizando vehículos. Los

ensayos de inmersión son muy útiles ya que, aunque no simulan bien las condiciones de servicio de los materiales, se pueden usar como paso previo a la selección de materiales, sin que supongan un coste elevado. Los ensayos en autoclave, simulan las condiciones en servicio de los motores y son regulados por normas provenientes del sector de la automoción. Los ensayos de campo, al emplear los propios vehículos, ofrecen los resultados más válidos, pero presentan la desventaja ya que se ajustan a las condiciones de servicio pero la desventaja de su elevado coste. Los pioneros en realizar investigaciones con este tipo de ensayos fueron tanto universidades como empresas de automoción brasileñas, durante la década de los años 80[31,32]. Wolyneć y Tanaka [29], realizaron ensayos mediante la utilización de vehículos alimentados con etanol hidratado durante 30.000 km. Extrajeron todas las piezas que estaban en contacto con el combustible, evaluando el daño que habían sufrido. Destacaron la corrosión severa por picaduras detectada en el recubrimiento de zinc del depósito de combustible, así como corrosión de los carburadores, fabricados con la aleación Al-Zn⁷². Para solucionar estos problemas, se evaluaron 18 recubrimientos distintos y aplicados sobre un acero al carbono AISI 1020[32-35]. Los recubrimientos de óxido de aluminio níquel y estaño⁷³ ofrecieron una buena protección al metal y, en particular, los de níquel y estaño aumentaban mucho su capacidad protectora utilizándolos con una capa intermedia de cobre. Por otro lado, los recubrimientos de aluminio, plomo, fosfatos, zinc y zinc/aluminio ofrecían poca resistencia a la corrosión en etanol.

15.5. Emisiones de gases de escape

Como consecuencia de la composición, la combustión de la gasolina con etanol y del etanol puro en motores, en comparación a las gasolinas típicas, produce menores emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos y otros compuestos contaminantes. Al mismo tiempo, se elevan los aldehídos (compuestos del tipo R-CHO) y, dependiendo de las características del motor, los óxidos de nitrógeno (NOx). Normalmente, los límites legales de emisión para vehículos se cumplen totalmente, y los beneficios resultantes del uso del etanol son un hecho bastante conocido [52-55].

Es interesante observar que la motivación básica para la adición de etanol en la gasolina de diversas regiones de Estados Unidos, a partir de los años 1990, fue exactamente la mejora de la calidad del aire, asociada a la oxigenación promovida

⁷²Llamados Zafrak

⁷³Llamados Dacromet.

por el etanol. Como los modelos más antiguos son más contaminantes, cuanto más antiguo es el motor (es decir, con carburador y sin catalizador), más significativo es el potencial de ventajas ambientales proporcionadas por el etanol frente a la gasolina. Además, es relevante comentar que el etanol daña menos el catalizador, en comparación a la gasolina, principalmente por el hecho de contener menos contaminantes, como el azufre [49].

En algunos estudios, se señala una preocupación especial con las emisiones de aldehídos asociadas al uso de etanol. En efecto, estas sustancias presentan potencial cancerígeno y pueden presentarse en concentraciones más elevadas en el escape de los motores que utilizan etanol que en aquellos a gasolina pura. Sin embargo, los catalizadores – equipos instalados en los vehículos estadounidenses a partir de 1975 y que pasaron a ser progresivamente utilizados en todos vehículos comercializados en otras regiones del mundo y en Brasil a partir de 1997 – reducen estos contaminantes a niveles tolerables, sin agravantes. Actualmente, la emisión media de aldehídos en los vehículos nuevos brasileños es de 0,014 g/km para los vehículos a etanol y 0,002 g/km para los vehículos a gasolina (la gasolina de referencia para las pruebas de emisión contiene un 22% de etanol anhidro), inferiores al actual límite de 0,030 g/km establecido por la legislación ambiental brasileña, así como al futuro límite de 0,020 g/km, que pasará a regir en 2009. Diversas mediciones en ciudades estadounidenses, comparando la calidad del aire antes y después de la introducción más masiva de 10% de etanol en la gasolina, no indicaron cualquier incremento significativo en la concentración atmosférica de aldehídos. En rigor, la mayor fuente de aldehídos en las áreas urbanas proviene de los motores diesel y parecen ser bastante conclusivas las observaciones de un estudio integral desarrollado en Australia, según el cual la adopción del 10% de etanol en la gasolina permite disminuir en un 32% las emisiones de CO, en un 12% las emisiones de hidrocarburos y en más de 27% las emisiones de aromáticos, reduciendo el riesgo carcinogénico en un 24%.

15.6. Adaptaciones necesarias para el uso de combustibles flexibles [56].

Modificaciones en la calibración del motor: La computadora del vehículo calibra la alimentación de combustible y el avance de chispa para controlar la combustión, permitir el arranque en frío y el cumplimiento con los requisitos de emisiones.

Piezas internas del motor: Los aros de pistón, asientos de válvulas, válvulas y otros componentes tienen que fabricarse con materiales compatibles con etanol y

están diseñados para reducir al mínimo los efectos limpiantes de los combustibles con alcohol, que pueden disolver los lubricantes de las piezas.

Sistema de identificación de combustible: El sistema detecta automáticamente la composición del combustible y ajusta el motor para las distintas mezclas de etanol y gasolina.

Sistema de inyección de combustible: Se tiene que fabricar con materiales compatibles con el etanol y permitir un flujo mayor para compensar por la menor densidad energética del etanol.

Conexiones eléctricas y cables del sistema de combustible: Los sistemas tienen que estar eléctricamente aislados y se tienen que fabricar con materiales diseñados para tener en cuenta la mayor conductividad y corrosividad del etanol (si se llega a exponer al combustible).

Conjunto de bomba de combustible: Los componentes dentro del tanque tienen que estar fabricados con materiales compatibles con etanol y deben permitir el mayor flujo necesario para compensar por la menor densidad energética del etanol.

Conjunto de llenado de combustible: Sistema antisifón y amortiguador de chispas diseñado para tener en cuenta la mayor conductividad del etanol.

Tanque de combustible: Se tiene que fabricar con materiales compatibles con etanol y diseñar para reducir al mínimo las emisiones evaporativas del etanol.

Colectoras y líneas de combustible: Se tienen que fabricar con materiales compatibles con etanol, con sellos, juntas y mangueras de goma clasificadas para uso con etanol.

15.7. Participación de los autores:

Como se ha mencionado a través del desarrollo de este trabajo, el interés de los biocombustibles está enfocado en el sector automotriz. Específicamente en los sistemas de potencia de todas aquellas máquinas que conforman este sector, es decir en los motores. Es allí donde ocurre la transformación de energía química a energía mecánica, potencia.

Importante mencionar que los primeros combustibles con los cuales se trabajó el motor Otto y Diesel no fueron de origen fósil sino agrícola, pero debido a su bajo desarrollo tecnológico de la época fueron opacados por la expansión petrolera.

Los biocombustibles líquidos tienen múltiples características sobre la eficiencia y vida del motor. Características que pueden ser buenas y nocivas para el sistema de potencia del vehículo. En la actualidad son dos los criterios que se trabajan en términos de motores en cuanto a biocombustibles, el primero la necesidad de diseñar y construir vehículos que sean flexibles, es decir vehículos con la capacidad de soportar diferentes proporciones de biocombustible en la mezcla obteniendo la mejor eficiencia, para esto, la ingeniería ha trabajado de forma multidisciplinaria para lograr esta meta integrando la ciencia de materiales, el diseño mecánico, la automatización industrial y el mantenimiento automotriz. Hoy en día existen vehículos "Flex fuel".

El segundo criterio es reconocer la realidad del parque automotor que circula diariamente en las ciudades que no son flexibles y de los cuales un gran porcentaje puede tener más de 30 años de uso. Los biocombustibles tienen efectos altamente nocivos en estos motores y sus sistemas complementarios, debido a los materiales con los cuales estos fueron construidos. Es necesario entonces además de diseñar vehículos flexibles, adaptar el parque automotor convencional actual a las condiciones de resistencia de los biocombustibles.

Bibliografía

- [1] Acevedo, H. y Arias. O. F. "Caracterización de un motor de combustión interna por ignición utilizando como combustible mezcla de gasolina corriente con etanol al diez por ciento (10%) en volumen (E10)". Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería, 2005.
- [2] Acevedo H., Duque C., Galeano C., Mantilla J. "Evaluación funcional en banco de un motor y sus sistemas asociados durante mil horas, operando con una mezcla de gasolina y alcohol carburante al 10% (E10)". Informe Final ANDI.2005.
- [3] Agudelo A., Agudelo J., Benjumea P. "Diagnóstico de la combustión de biocombustibles en motores". (2007). Primera edición. Imprenta Universidad de Antioquia
- [4] Behrentz E. Beneficios ambientales asociados con el uso de combustibles alternativos. (2006). XIII Conferencia Energética Colombiana. Agosto 24 y 25 Bogotá 2006.
- [5] Bengtsson S; Fridell E; Andersson K. Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping. 44: 451-462, 2012.
- [6] Boyle G., Everett B., Ramage J. "Energy systems and sustainability, power for a sustainable future". Oxford University Press. 2003.
- [7] C. Berlanga, M. V. Biezma y J. Fernández. revisión y estado del arte de la corrosividad del etanol y sus mezclas con gasolina. revista de metalurgia. 507-518
- [8] Dec J. Advance compression- ignition engines-understanding the in-cylinder processes. Proceedings of the Combustion Institute. 32: 2727-2742, 2009.
- [9] D. Korotney, Water Phase Separation in Oxygenated Gasoline, Fuel Studies and Standards Branch, EEUU, 1995.
- [10] Demirbas A. Competitive liquids biofuels from biomass. Applied Energy. 88: 17-28, 2011.
- [11] Engineering Testing Services. Disponible en: www.mbm.net.
- [12] Fazal M.A; Hasseb A.S.M.A; Masjuki H.H. Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials. Fuel processing technology. Malaysia, 91: 1308-1314, 2010.
- [13] Ghobadian B. Liquid biofuels potential and outlook in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Iran, 16: 4379-4384, 2012.
- [14] Grau B; Bernat E; Rita P; Jordi R; Antoni R. Environmental life cycle assessment of rapessed straight vegetable oil as self-supply agricultural biofuel. Renewable Energy an International Journal. Spain, 50: 142-149, 2013.
- [15] Haik Y; Mohamed Y. E; Tahir A. Combustion of algae oil methyl ester in an indirect injection diesel engine. Energy. 36: 1827-1835, 2011.
- [16] Hansen A. C., Zhang Q., Lyne P. W. L. "Ethanol-diesel fuel blends a review". Bioresource Technology 96: 277-285, 2005.

- [17] He B., Shuai S., Wang J., He H. "The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine". *Atmospheric Environment* 37: 4965-4971. 2003.
- [18] He B., Wang J., Hao J., Yan X., Xiao J. A study on emissions characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. *Atmospheric Environment* 37: 949-957. 2003.
- [19] Hsieh W., Chen R., Wu T., Lin T. "Engine performance and pollutant emission of an si engine using ethanol-gasoline blended fuels". *Atmospheric Environment* 36 403-410, 2002.
- [20] Hsieh W., Chen R., Wu T., Lin T. "Engine performance and pollutant emission of ansi engine using ethanol-gasoline blended fuels". *Atmospheric Environment* 36 403-410, 2002.
- [21] Hernández F; Rodríguez C; Hernández J. Biofuels and fossil fuels: Life cycle Analysis (LCA) optimization through productive resources maximisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 2621-2628, 2011.
- [22] <http://www.mintransporte.gov.co:8080/inlinea/InfAutomotores.aspx>.
- [23] <http://www.oilfox.com.ar/pdf/impactos%20sobre%20el%20motor.pdf>
- [24] JAMA Position Statement FQ-01 "Quality of Bioethanol and use of ethanol-blended Gasoline", 2009, pp. 1-3.
- [25] Kaul S; Saxena R. C; Kumer A; Negi M. S; Bhatnager A. K; Goyal H. B; Gupta A. K. Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. *Fuel processing technology*. 88: 303-307, 2007
- [26] Komninos N. P; Rakopoulos C. D. Modeling HCCI combustion of biofuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Greece, 16:1588-1610, 2012
- [27] Kousoulidou M; Fontavas G; Ntziachristos L; Samaras Z. Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions. *Laboratory of applied thermodynamics*. 89: 3442-3449, 2010.
- [28] Lapuerta M., O. Armas, J. Rodríguez-Fernández, *Prog. Energy Combust. Sci.* 34 (2008) 198-223.
- [29] Lapuerta M; Villagos M; Agudelo J; Boehman A. Key properties and blending strategies of hydrotreated vegetable oil as biofuel for diesel engines. *Fuel processing technology*. USA, 92: 2406-2411, 2011.
- [30] Lebedevas S; Makarevicius V; Sendzikiene E; Zaglinskis J. Oxidation stability of biofuel containing camelina sativa oil methyl esters and its impact on energy and environmental indicators of diesel engine. *Energy Conversion and Management*.
- [31] Lubrication Engineers Technical Department. Motor Oil Degradation. In *Techni/tips* Number 68. Disponible en línea en: http://www.le-international.com/uploads/documents/068_Motor%20Oil%20Degradation.pdf
- [32] Mantilla J.M. "Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. 2010.

- [33] MacLean H.L., Lave L. B. "Evaluating automobile fuel/Propulsion system technologies". *Progress in Energy and Combustion Science* 29 1-69, 2003.
- [34] N. L. Singh, P. Srivastava y P.K. Mishra, *J. Sci. In.Res.* 68 (2009) 617-623.
- [35] Ocampo W. "Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia?". *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Antioquia*. 2006
- [36] Orbital Engine Company. A literature review based assessment on the impacts of a 10% and 20% ethanol gasoline fuel blend on non-automotive engines. *Environment Australia*. 2002.
- [37] Piloto R. Determinación de la influencia del uso de biodiesel en el funcionamiento de motores diesel. *Revista CENIC Ciencias Químicas*. 41:57-58, 2010.
- [38] Pouloupoulos S. G., Samaras D. P., Philippopoulos C. J. Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol-containing fuels. *Atmospheric Environment* 35 4399-4406, 2001.
- [39] Pramanik P; Das P; Kim P. J. Preparation of biofuel from argemone seed oil by an alternative cost-effective technique. *Fuel reviews*. Republic of Korea, July 2011.
- [40] Rodriguez. G., Ribeiro M. Estudio comparado entre el combustible diesel y biodiesel. UPT en biodiesel del programa de extensión del INTI.
- [41] Russo D; Dassoti M; Lawtor V; Olabi A. G. State of the art of biofuel from pure plant oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Ireland, 16: 4056-4070, 2012.
- [42] Schumager, G.L; Hires, W.G. "Cummins 5,9l Biodiesel fueled engine". University of Missouri- Columbia. USA.
- [43] S. Wolyneec y D. K. Tanaka, *Proc 9º Seminário Nacional de Corrosão - SENACOR*, RJ. Anais. Rio de Janeiro, Brasil, ABRACO (Eds.), 1982. pp. 166 - 176.
- [44] S. Wolyneec y D. K. Tanaka, *Proc 3º Simpósio Nacional de Corrosão na Produção e Utilização do Álcool*, ABRACO (Eds.), Rio de Janeiro, Brasil, 1983, pp. 1 - 38.
- [45] Renata I. Transferencia tecnológica sobre las ventajas y desventajas de la utilización de biodiesel. *Instituto Nacional de Aprendizaje*. San José. 2008.
- [46] Sarkar A; Kumar A; Jyoti B; Kuman B. The performance and emission characteristics of SI engine running on different ethanol gasoline blends. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 3, Issue 6, June 2012.
- [47] Schifter I; Diaz J. P; González U. Combustion characterization in a single cylinder with mid-levels hydrated ethanol-gasoline blended fuels. *Fuels*. Mexico 2012.
- [48] Tran M.K; Dunn D; Pham T.K. Characterizing sooting propensity in biofuels-diesel flames. *Combustion and flame*. 159: 2181-2191, 2012.
- [49] Ushakov S; Valland H; Aesoy V. Combustion and emissions characteristics of fish oil fuel In a heavy duty diesel engine. *Energy Conversion and Management*. 65: 228-238, 2013.

- [50] V. Codling, Proc. Internat.Symp. on Alcohol FuelTechnology, Inst de Pesquisas Tecnologicas do Estado de Sao Paulo (Eds.), Guaruja, Brasil, 1980, pp. 285-288.
- [51] V. P. Persiantseva, I. L. Rozenfeld, V. E. Zorina, E. K. Enikeev y M. I. Churaeva, Prot. Met. 15 (1979) 245-248.
- [52] Vojtisek M; Pechout M; Mazac M. Measurement of consumption rates of viscous biofuels. Fuel.Czech Republic. 91: 81-86, 2012.
- [53]Yüksel F., Yüksel B. The uses of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. Renewable Energy 29: 1181-1191, 2004.
- [54] Walls W.D; Rusco F; Kendix M. Biofuels policy and the US market for motor fuels: Empirical analysis of ethanol splashing. Energy policy. 39: 3999-4006, 2011.
- [55] Wook S. Optimization of combustion chamber geometry for stoichiometric diesel combustion using a micro genetic algorithm fuel processing technology. Republic of Korea, 91:1742-1752, 2010.
- [56] Wu C., Chen R., Pu J., Lin T. "The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels". Atmospheric Environment 38: 7093-7100. 2004.

16. PERSPECTIVAS, INVESTIGACIONES Y NUEVOS DESARROLLOS EN LOS BIOCOMBUSTIBLES

16.1. Estrategia Colombiana en el área bioenergética [1].

La industria de los distintos países ha iniciado la búsqueda de alternativas energéticas, que además de abastecer las necesidades de su propio país, sirvan para consolidar junto con la ayuda de más países de una misma región la tan anhelada “seguridad energética”, que garantiza el cubrimiento de la demanda nacional de energía no solo en el presente sino también en el futuro.

Han sido muchas las alternativas que a fin de ser una posible solución se han planteado en torno al tema, desde la energía eólica, “que basa la producción de energía en la explotación de hidrógeno, convirtiendo la energía del viento en energía mecánica” [2]; hasta la energía solar, que se obtiene “mediante dos tipos de procesos de absorción con paneles solares” [3]; pasando también por el estudio de la energía hidráulica, que es “otro ejemplo de energía limpia y renovable, que se obtiene de la cinética del agua producida por la gravedad a partir de la construcción de represas en los ríos que presentan desniveles en la caída del agua” [4], entre otras. Sin embargo, llama la atención dentro de estas múltiples opciones, la producción de energía a partir del uso de biomasa es decir, a partir del uso de “los biocombustibles”, por el notable impacto que tras su aparición han generado en los diferentes ámbitos (social, jurídico, económico) del orden nacional e internacional y en general, por el destacado papel que durante esta última década han tenido en los distintos países del mundo quienes ya se interesan no solo en su uso, sino también en su producción. Es por ello precisamente que puede decirse que el gran interrogante que cobija el problema de investigación planteado se remite a preguntar ¿Qué tan evolucionada está la legislación en materia de biocombustibles a nivel suramericano? Pues el contestar a este interrogante nos dará a conocer de paso, el tratamiento que a esta nueva fuente de energía se le ha dado en la región.

En términos generales, la región se desarrolla favorablemente tanto en materia jurídica como en materia productiva, dadas las condiciones climáticas y terrestres de la misma. El punto ahora es lograr no solo un avance individual de los países, sino en conjunto; ya que esta “asociación” puede permitirles hacer un verdadero contrapeso a los grandes productores de hidrocarburos y puede llegar a asegurarles no solo su propio abastecimiento, sino también el abastecimiento de otros Estados (un poco más rezagados energéticamente hablando) lo cual garantizaría tras la exportación de estos recursos el incremento de ingresos,

llevándolos muy probablemente a consolidarse como proveedores de energías alternativas.

En Colombia se hace evidente cómo en los últimos años el tema de los biocombustibles ha evolucionado, a tal punto que ha dejado de ser un tema del que solo se hacían breves menciones que lo plasmaban como una más de las posibilidades de surgimiento energético y ¿por qué no? hasta de surgimiento económico; para ser hoy día uno de los temas de mayor mención y tratamiento no solo a nivel nacional sino prácticamente a nivel mundial.

Pese a parecer aparentemente novedoso, los biocombustibles son un tema ya bastante conocido en Colombia, especialmente por la población rural que los ha empleado desde hace varios años para satisfacer sus necesidades energéticas.

Según lo expresado por el ex-ministro de agricultura y desarrollo rural Andrés Felipe Arias, en una de las entrevistas en las que habló sobre el tema "*la agricultura comienza a sustituir el petróleo*"⁷⁴, es evidente, por lo menos en este Estado, como día a día se hace más obvia la necesidad de ser experto en esta nueva forma de producir energía; las razones al igual que en otros países son muchas, y van desde el ánimo de reducir los niveles de dependencia energética, hasta motivos de gran trascendencia colectiva como lo son las razones ambientales, ya que el uso de los biocombustibles reduce notablemente la contaminación, y así mismo permite emplear para su producción recursos de carácter renovable, de los que en Colombia se producen en gran cantidad (como ejemplo la palma de aceite). Este hecho aunque en principio generó gran discusión, pues se decía que al emplear dichos recursos lo que se ponía en riesgo era entonces la seguridad alimentaria, hoy día puede decirse que en el caso colombiano, esta discusión está superada y que ya se habla incluso de tomar los excedentes exportables para transformarlos en etanol y biodiesel, pues la oferta de aceite de palma y caña es suficiente para cubrir la demanda tanto por parte del sector de alimentos como por parte del sector de los biocombustibles.

16.2. Trabajos, investigaciones y experiencias académicas en este campo

A continuación, se relacionan algunas investigaciones realizadas en su mayoría por institutos y universidades que tratan temas como el cultivo, producción y tratamiento de diferentes tipos de biomasa con el fin de obtener biocombustibles.

⁷⁴EL COLOMBIANO. País en firme hacia los biocombustibles. Julio 15/ 2010.

16.2.1. Materia prima

Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades [5].

La presente revisión proporciona información actualizada con relación a los principales retos científico-tecnológicos que se deben enfrentar y resolver para lograr producir biodiesel a partir de microalgas a un costo competitivo. Se discute el entorno ambiental que ha generado la necesidad de este tipo de producto, haciendo énfasis en el cambio climático, los gases efecto invernadero (GEI) y la producción de bioenergéticos.

Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol [6]

El propósito de esta revisión es mostrar un panorama de los métodos que se han desarrollado para hidrolizar la lignocelulosa.

Las microalgas, fuente de aceite para la producción de biodiesel [7]

Se presenta un avance investigativo en la producción de biocombustibles, en términos de las microalgas como materia prima.

Bioglicerol como materia prima para la obtención de productos de valor agregado [8]

El objetivo de este capítulo es revisar el estado del arte de las diferentes posibilidades de transformado de glicerol obtenido como co-producto en la producción de biodiesel, ya sea utilizándolo como única materia prima o con otros componentes para reaccionar simultáneamente. Además, al inicio del capítulo se presentan algunas propiedades fisicoquímicas del glicerol sus principales aplicaciones comerciales.

16.2.2. Procesos

Producción de biodiesel a partir de residuos grasos animales por vía enzimática [9].

En la realización de esta investigación, se emplearon con éxito grasas animales extraídas directamente de residuos orgánicos de un matadero municipal en la reacción de transesterificación como materia prima alternativa de bajo costo para la producción de biodiesel.

Las reacciones de transesterificación se realizaron por vía enzimática con dos lipasas comerciales N435 y RM IM. De las dos enzimas probadas, la enzima N435

fue la más eficiente tanto en el sistema libre de solvente como en el sistema con terbutanol como solvente. En ambos sistemas el exceso de etanol fue la mejor condición para la reacción alcanzando conversiones de 80% en 48 horas en el caso del sistema libre de solvente y 65% en 24 horas en el sistema con terbutano.

Obtención de biodiesel por reacción extractiva [10].

Con la realización de este trabajo se verificaron las ventajas operativas de la extracción reactiva sobre los procesos convencionales para el caso del biodiesel. Con estos resultados se genera la posibilidad de obtener biodiesel de forma más eficiente a nivel energético y económico.

Modelamiento y simulación de un biorreactor de membrana para obtención de biodiesel [11].

Se modeló y simuló un biorreactor de membrana empleando un catalizador enzimático lipasa de *Candida Antártica* para la obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol. Se obtuvo una conversión de 0.97 para un tiempo de residencia de 10.64 min, el cual fue comparado con un reactor CSTR donde se obtuvo una conversión de 0.76. Desde este punto de vista se dedujo que el biorreactor de membrana presenta mejor desempeño para la producción de biodiesel que el CSTR.

Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas [12]

En este estudio, se presenta una revisión de los métodos de extracción de aceite que se han utilizado en la obtención de lípidos provenientes de microalgas a nivel de laboratorio (métodos de extracción con solventes químicos, shock osmótico, extracción con fluidos supercríticos, autoclavado, extracción con ultrasonido, extracción asistida con microondas, extracción mediante destrucción mecánica, extracción enzimática), así como una metodología de extracción con solventes químicos elaborada por los autores en el marco de proyectos apoyados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Corporación Instituto de Morrosquillo, el Instituto Colombiano del Petróleo ICP-ECOPETROL, la Universidad Industrial de Santander y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED.

Control de un biorreactor para fermentación alcohólica en continuo [13]

En este trabajo se plantean algunas soluciones para el control de las variables biotecnológicas del proceso usando el algoritmo tradicional PID, haciendo un

análisis dinámico de los resultados y planteando estructuras multi-lazo y multivariable usando desacopladores entre algunas variables para la optimización del proceso.

Aplicación del filtro de Kalman extendido a un proceso de fermentación alcohólica en continuo [14]

En este trabajo se implementan las técnicas propuestas por Kalman para realizar la observación de los estados del sistema en un proceso de fermentación alcohólica.

Diseño integral de biorreactores continuos de tanque agitado aplicados a procesos de fermentación [15]

En este trabajo, se formula una estrategia integral de diseño de biorreactores con el objeto de obtener procesos más eficientes desde un punto de vista técnico, energético y ambiental.

Integración energética de un ciclo de producción y purificación de hidrógeno a partir de etanol para una celda de combustible tipo PEM [16]

En éste trabajo se presenta el diseño de un proceso de purificación de hidrógeno a partir de etanol para una celda de combustible tipo PEM (pilas de combustible de membrana polimérica).

Producción enzimática de biodiesel [17]

Se estudian las lipasas, como recursos que pueden catalizar la producción de biodiesel mediante reacciones de esterificación transesterificación e interesterificación, requiriendo de acondicionamientos que garanticen la apertura del centro activo a los sustratos, la estabilidad de estas enzimas en medios tan agresivos como disolventes orgánicos y la disponibilidad de agua suficiente para que desempeñen la función catalítica.

Biocatálisis mediante células. Aplicación a la producción de biodiesel [18]

Se presenta un avance investigativo en la producción de biocombustibles, en términos de la biocatálisis mediante células, dado que las biotransformaciones industriales han permitido una revolución biotecnológica debido a su selectividad y eficiencia.

Producción de biodiesel utilizando tecnología de fluidos supercríticos [19]

Se presenta un avance investigativo en la producción de biocombustibles, considerando las condiciones supercríticas como una alternativa de proceso viable, pues permite la presencia de impurezas como ácidos grasos insaturados y agua, sin ser necesario pre-tratamientos como en el caso de los procesos convencionales.

Posibilidades de procesos reacción-separación para la producción de biocombustibles [20]

En este capítulo, se presentan las posibilidades, ventajas y limitaciones del uso de la intensificación de la producción de biodiesel mediante la integración de procesos reacción-separación (destilación reactiva y extracción reactiva). Además se analizan algunas configuraciones para llevar a cabo este proceso y se muestra cómo estas tecnologías permiten obtener mayores conversiones, rendimientos y menores gastos energéticos.

Estandarización y selección de microorganismos de interés para la producción de bioetanol [21]

Este capítulo recopila algunas de las metodologías implementadas a nivel investigativo e industrial para manejar adecuadamente los agentes biológicos empleados en la fermentación, la caracterización, las tendencias para su mejoramiento y la importancia de adelantar programas de estandarización de microorganismos. También se presentan características metabólicas de dos de los principales microorganismos utilizados a nivel industrial y los procedimientos de mayor uso para el mejoramiento de cepas con características deseables.

Nuevas tecnologías en la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica [22]

En este capítulo se presentan los nuevos avances tecnológicos para las tres etapas de proceso pretratamiento, transformación y separación y se analiza la posibilidad de implementación a escala comercial a corto plazo.

Estabilidad de biorreactores para producción de etanol [23]

Se presenta un avance investigativo en la producción de biocombustibles, estudiando la estabilidad de los biorreactores para la producción de etanol, se investigan los factores que causan las inestabilidades y se sugieren estrategias para evitarlas.

Producción de hidrógeno a partir de bioetanol [24]

Se presenta un avance investigativo en la producción de biocombustibles, considerando el etanol como una alternativa atractiva para la producción de hidrógeno por su fácil transporte, baja toxicidad y su amplia posibilidad de producción en grandes cantidades a partir de biomasa, lo cual le infiere de forma adicional un carácter de combustible renovable.

Biorreactores asistidos por campos electromagnéticos [25 y 31]

En este capítulo se enfocan los avances investigativos del bioelectromagnetismo en la ingeniería de bioprocesos aplicado a la producción de biocombustibles.

16.2.3. Pruebas

Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma [26]

En este artículo se presentan los resultados de las prestaciones mecánicas y ambientales de un motor diesel de automoción de 2.5 litros de cilindrada, turboalimentado, montado en banco de ensayos, que utiliza diesel corriente y biodiesel de aceite de palma mezclado al 5, 10 y 20% en volumen.

Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel [27]

Este artículo presenta una revisión de estudios comparativos entre las emisiones de material particulado por la combustión de diesel de petróleo, biodiesel y mezclas de los dos combustibles, basados no sólo en la concentración másica de las partículas emitidas, sino también en la distribución de su tamaño, concentración y composición química. Finalmente, se presenta la necesidad del país de realizar una caracterización completa de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel, biodiesel de aceite de palma y mezclas de los dos, dadas las características particulares de estos combustibles en Colombia. La revisión fue presentada en el I Seminario Internacional de Biocombustibles, Universidad Nacional de Colombia, agosto 4 al 6 de 2004.

Biodiesel, una revisión del desempeño mecánico y ambiental [28, 32, 33]

En este artículo se presenta una revisión bibliográfica de investigaciones relevantes relacionadas con el desempeño mecánico y ambiental de motores

diesel, utilizando diversos combustibles, entre ellos el diesel convencional y alquilésteres obtenidos de aceites vegetales (biodiesel).

Efecto del uso de biodiesel en la emisión de contaminantes atmosféricos [29]

Este estudio ha permitido concluir que la naturaleza del combustible condiciona algunas de las propiedades fisicoquímicas y la reactividad de la carbonilla producida. Las cuatro carbonillas estudiadas (carbonilla diesel, carbonilla biodiesel, Printex-U y Vulcan) presentaron resultados similares en la caracterización realizada por DRX, espectroscopia Raman y espectroscopia DRIF.

16.3. Biocombustibles de cuarta generación [30, 34-37].

Estos biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) 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.

Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización. Es por ello que el presente trabajo busca analizar de forma breve el estado actual de estos mercados, sus antecedentes y panorama futuro, así como determinar los nexos entre mercados vía comercio internacional.

16.4. Participación de los autores:

Como se trató en capítulos anteriores, la estrategia colombiana en términos de biocombustibles, está directamente relacionada con los decretos y leyes que se promulgan en el área.

Según el decreto 1135 del 31 de marzo de 2009, era obligatorio que en el año 2012 el 60% de los vehículos de hasta 2.000 centímetros cúbicos vendidos en el país fueran Flex-Fuel E85, es decir, que funcionaran con una mezcla de 85% de etanol y 15% con gasolina.

Sin embargo, como era de esperarse, el porcentaje de mezcla tanto para el biodiesel como para el bioetanol, descendió debido a la imposibilidad de satisfacer la demanda local, por la insuficiente capacidad instalada.

A enero del 2013, el Gobierno estudia la posibilidad de aumentar el porcentaje de mezcla de acuerdo al incremento en la producción, además de considerar la posibilidad de crear una segunda mezcla entre 25% y 85% para tecnología Flex Fuel, por el momento, la política de mezclas vigente establece para el etanol una mezcla entre 8% y 10% con gasolina y del 10% de biodiesel con diesel.

Lo anterior en cuanto al producto (biodiesel y/o bioetanol) terminado, porque a la hora de referirnos a las materias primas con las cuales se obtienen los biocombustibles, la perspectiva mundial es unánime, la tendencia es la investigación.

El desarrollo del seminario evidenció, la opinión de los diferentes sectores en cuanto a la producción de biocombustibles, los necesitamos, necesitamos de una alternativa energética limpia, que no comprometa la seguridad alimentaria de la población vulnerable. Es por esto que las tendencias en términos investigativos, giran en torno a la tercera y cuarta generación de los biocombustibles que no afectan la seguridad alimentaria, incluso presentan enormes ventajas con respecto a las demás generaciones por el uso que se le da a la tierra. Y se concentran en las microalgas y la obtención de aceites a partir de bacterias genéticamente modificadas.

Referente a las experiencias académicas en el campo de los biocombustibles, gran cantidad de pruebas de laboratorio comparan el comportamiento de los motores de combustión interna utilizados con diferentes porcentajes de mezcla de biocombustibles, midiendo la producción y/o reducción de los gases de efecto invernadero, entre otros factores que determinan la viabilidad del uso y promoción de los biocombustibles a nivel mundial.

Revelan los estudios mencionados en el presenta capítulo, que la historia de los biocombustibles líquidos, partiendo con el biodiesel y el bioetanol, ha apuntado al desarrollo del biodiesel por encima del bioetanol, destacando sus ventajas energéticas y económicas.

Para visualizar éste fenómeno basta con echar un vistazo a los precios actuales de los dos productos. Para enero del 2013, el precio para un litro de biodiesel en Colombia, según la resolución 91864 del 28 de diciembre del 2012 es de \$1.888,52 (USD \$1,07/Lt) y de \$ 1.954,20 (USD \$1,11/Lt) litro de bioetanol.

Bibliografía

- [1] Agudelo, J., Bedoya, I., Agudelo, A. Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma. *Ingeniería y Desarrollo*. 2005.
- [2] Agudelo, J., Benjumea, P., Gómez, E., Pérez, J. Biodiesel, una revisión del desempeño mecánico y ambiental. *Ingeniería & Desarrollo*. Universidad del Norte. 13: 1-14, 2003
- [3] Álvarez, C. *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional*. 2009.
- [4] Cansino, J., Romero, P., Roman, R.,Rodríguez, R. Renewable and Promotion of biofuel consumption in the transport sector:An EU-27 perspective. *Sustainable Energy Reviews* 16: 6013–6021, 2012.
- [5] Cardona, C., Cerón, A. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 5. 2009.
- [6] Castañeda, M. *Biocombustibles*. Voluntad. Bogotá. 2009. p. 96.
- [7] Cubides, D., Cardona, C. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 4. 2009.
- [8] Cuervo, L., Folch, J., Quiroz, R. Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM. México.
- [9] Domingo, A.,Silveira, M., Santos, A., Ferreira, L., Borenstein, D. The emergence of the biodiesel industry in Brazil: Current figures andfuture prospects. *Energy Policy* 44: 395–405, 2012.
- [10] Echeverry, N., Quintero, O., Ramírez, M., Álvarez, H. Control de un biorreactor para fermentación alcohólica en continuo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Facultad de Minas. Medellín. Colombia.
- [11] Flórez, L., López, J, L. López, J, E. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 2. 2009.
- [12] Gasparatos, A., Lehtonen, M., Stromberg, P. Do we need a unified appraisal framework to synthesize biofuel impacts, 2012.
- [13] GernotStoeglehner, G., Narodoslowsky, M. How sustainable are biofuels Answers and further questions arising from anecological footprint perspective. *Bioresource Technology* 100: 3825–3830, 2009.

- [14] González, A., Kafarov, V., Guzmán, A. Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. Universidad Industrial de Santander. 2009.
- [15] Giunta, P., Mosquera, C., Laborde, M. Integración energética de un ciclo de producción y purificación de hidrógeno a partir de etanol para una celda de combustible tipo PEM. Facultad de Ingeniería UBA.
- [16] Higueta, J., Cardona, C., Mariscal, J., Naranjo, J., Triana, C. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 8. 2009.
- [17] Huang, J., Yang, J., Msangi, S., Rozelle, S., Weersink, A. Biofuels and the poor: Global impact pathways of biofuels on agricultural markets. *Food Policy* 37: 439–451, 2012.
- [18] *Ibíd.* p. 18.
- [19] Kafarov, V. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 11. 2009.
- [20] López, F., Bueno, A., Illán, M., Giraldo, O. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 7. 2009.
- [21] Lorea, M., Olguín, E. Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal RELBAA*, Volumen 1 No. 1, 2010.
- [22] Montoya, M., Cardona, C., Orrego, C., Gutiérrez, L. Obtención de biodiesel por reacción extractiva. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 2006.
- [23] Orrego, C., Cetina, D., Hernández, O. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 1. 2009.
- [24] Orrego, C., Hernández, O., Cetina, D. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 3. 2009.
- [25] Paz, I. Diseño integral de biorreactores continuos de tanque agitado aplicados a procesos de fermentación. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. 2010.
- [26] Paz, I., Cardona, C. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 10. 2009.

- [27] Pérez, V., Rodríguez, O., Pereira, N. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 12. 2009.
- [28] Pérez, A. Biocombustibles en Suramérica: Referentes normativos y legislación actual. Bogotá. 2010.
- [29] Posada, J., Cardona, C., Cetina, D., Orrego, C. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 6. 2009.
- [30] Quintero, O., Di Sciascio, F. Aplicación del filtro de kalman extendido a un proceso de fermentación alcohólica en continuo. Instituto de Automática INAUT, Universidad Nacional de San Juan Argentina.
- [31] Quintero, J., Cardona, C. Avances investigativos en la producción de biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. Capítulo 9. 2009.
- [32] Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, núm. 20, noviembre, 2004, pp. 58-68. Universidad de los Andes, Colombia. 2004.
- [33] Rivera, I., Gerardo, V., Saldoval, G. Producción de biodiesel a partir de residuos grasos animales por vía enzimática. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Guadalajara, México. 2009.
- [34] Solano, P., Moncada, J., Cardona, C., Ruiz, O. Modelamiento y simulación de un biorreactor de membrana para obtención de biodiesel. Revista Universidad EAFIT, Norteamérica, 44, mar. 2011.
- [35] Tecnológico de estudios superiores de ecatepec. *Libro de ciencia y tecnología* N° 2. México. 2009. p. 337.
- [36] Villeda, V., Dahmen, M., Hechinger, M., Marquardt, W. Towards model-based design of biofuel value chains. *Current Opinion in Chemical Engineering* 1:465–471, 2012.
- [37] Zidansek, A., Blinc, R., Jeglic, A., Kabashi, S., Bekteshi, S., Slaus, I. Climate changes, biofuels and the sustainable future. *International journal of hydrogen energy* 34: 6980–6983, 2009.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El desarrollo de un proyecto de grado en la modalidad de “Seminario de investigación” brinda a los estudiantes una herramienta válida para formarse como investigadores, fomentando su capacidad de observación, discusión, argumentación, permitiéndoles dar solución a un problema específico mediante el trabajo individual y colectivo.
- El enfoque que tuvo el seminario de investigación fue general, pues el tema desarrollado: “los biocombustibles” permite la realización de investigaciones exhaustivas en el futuro en todos los temas tratados por parte de otros estudiantes de la escuela de Ingeniería Mecánica.
- Con la realización de este trabajo los participantes vivieron las experiencias del trabajo en equipo, desarrollando y afinando cualidades importantes como la capacidad de comunicación interpersonal de ideas y aportes intelectuales,
- Los documentos entregables del Seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores son una fuente ordenada de información que permite a futuros estudiantes y profesionales entender esta importante rama de las energías renovables y marca la pauta para futuros trabajos de grado de ingeniería y maestría de la Universidad Industrial de Santander.
- Para realizar un estudio adecuado de los impactos que generan los biocombustibles, es necesario tener en cuenta las generaciones de biocombustibles en desarrollo e investigación, puesto que no todas las generaciones impactan de igual forma los ámbitos económico, social y ambiental.
- En términos de competitividad, los biocombustibles varían de acuerdo a las materias primas utilizadas, la tecnología empleada, y el mercado en el que se desarrollen.
- La variación en los costos de la materia prima y la variación en los precios del petróleo son factores que afectan directamente la viabilidad económica de los biocombustibles.
- El futuro de los biocombustibles depende de la inversión que se haga en investigación y desarrollo por parte de las naciones. Colombia es un diamante en bruto para el desarrollo de los biocombustibles en el mundo.

- Para los países desarrollados, la producción de biocombustibles hace parte de una estrategia competitiva, que permite el crecimiento económico dentro del mercado mundial.
- Además de las ventajas ambientales y sociales que se obtienen a partir de los biocombustibles, es de vital importancia que cuenten con ventajas económicas que le permitan competir con los combustibles fósiles.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un proyecto de grado en la modalidad de “Seminario de investigación” en el tema de “microalgas”, que promueva el estado del arte de este biocombustible y su importancia en la región.
- Se recomienda realizar un proyecto de grado en la modalidad de “Seminario de investigación” en el tema de “biorefinerías”, el cual abarque los parámetros necesarios para poner en marcha un proyecto piloto.
- Revisar la bibliografía recopilada a través de la documentación del seminario, especialmente el capítulo 11 y desarrollar bancos de ensayo referentes a los modelos ahí explicados.
- Desarrollar un curso de biocombustibles líquidos para motores como materia electica complemento de la asignatura “Máquinas térmicas alternativas” y “Combustión industrial”.
- Actualizar el laboratorio de motores de la escuela de ingeniería mecánica con diferentes bancos de motores flexibles que promuevan el conocimiento de los mismos, respalde la legislación implantada por el gobierno, y forme a los futuros profesionales en el cuidado y preservación del medio ambiente.
- Incluir en los próximos simposios y eventos académicos el tema de los biocombustibles aplicados a los motores de combustión interna para despertar y desarrollar la capacidad investigativa de los futuros profesionales en esta área.
- Se recomienda usar el “seminario de investigación en biocombustibles líquidos para motores” como una guía de futuros proyectos de grado en la modalidad de investigación y diseño y construcción de bancos de ensayo para evaluar parámetros de motores.

ANEXOS

(Ver CD adjunto)

- Compendio de Sesiones del Seminario
- Base de datos con bibliografía consultada
- Recopilación de actas y presentaciones