

| UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA |   |   |
|---|---|---|
| PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA                 |   |   |
| FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO   |   |   |
| Nº DE RADICACIÓN: _____   |   |   |
| INFORMACIÓN EJECUTORES  |   |   |
| <b>Ejecutor 1</b>   |   |   |
| Nombre (s):   | Carlos Antonio  |  |
| Apellido (s):   | Garnica Castro  |   |
| Código:   | 20141375098   |   |
| E-mail:   | carlosa.garnica@gmovilsas.com   |   |
| Teléfono fijo:  | 4910530   |   |
| Celular:  | 3102064370  |   |
| <b>Ejecutor 2</b>   |   |   |
| Nombre (s):   |   |   |
| Apellido (s):   |   |   |
| Código:   |   |   |
| E-mail:   |   |   |
| Teléfono fijo:  |   |   |
| Celular:  |   |   |
| INFORMACIÓN DEL PROYECTO  |   |   |
| Título del Proyecto:  | Análisis de viabilidad para la producción de biodiesel en Colombia a partir de pongamia |   |
| Duración (estimada):  | 6 meses   |   |
| Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")                                  | Innovación y Desarrollo Tecnológico   | <input checked="" type="checkbox"/>   |
|   | Prestación y Servicios Tecnológicos   | <input type="checkbox"/>  |
|   | Otro  | <input type="checkbox"/>  |
| Modalidad del Trabajo de Grado:   |   |   |
| Línea de Investigación de la Facultad*:                                 |   |   |
| Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:                       |   |   |
| Grupo de Investigación:   |   |   |
| Proyecto de Investigación:  |   |   |
| Áreas del conocimiento que involucra:                                   |   |   |
| INFORMACIÓN PASANTÍA  |   |   |

|  |  |
|--|--|
| Nombre de la empresa:                                      |  |
| Dirección:   |  |
| Teléfonos:   |  |
| Correo electrónico:  |  |
| Página Web:  |  |
| <b>INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA</b>                          |  |
| Director: (Vo. Bo.)  |  |
| Proyecto de Pasantía:<br>(Tutor): (Vo. Bo.)                |  |
| Formulación Proyecto de<br>Grado: (Profesor): (Vo.<br>Bo.) |  |

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN  
COLOMBIA A PARTIR DE PONGAMIA**

**CARLOS ANTONIO GARNICA CASTRO**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**

**PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA EN MECÁNICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2017**

## CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1. IDENTIFICACIÓN .....                       | 6           |
| 1.1 TÍTULO .....                              | 6           |
| 1.2 INTRODUCCIÓN .....                        | 6           |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....           | 7           |
| 3. JUSTIFICACIÓN .....                        | 11          |
| 4. OBJETIVOS .....                            | 14          |
| 4.1 Objetivo General .....                    | 14          |
| 4.2 Objetivos Específicos .....               | 14          |
| 5. MARCO TEÓRICO.....                         | 15          |
| 5.1 CULTIVO Y PROCESO DE PONGAMIA .....       | 15          |
| 5.2 ESTADO DEL ARTE .....                     | 19          |
| 6. METODOLOGÍA .....                          | 28          |
| 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....             | 29          |
| 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN..... | 30          |
| 9. BIBLIOGRAFÍA .....                         | 31          |

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1. Moléculas de carbono según el tipo de combustible .....                           | 23          |
| Tabla 2. Fuentes y procedimientos para el desarrollo de los objetivos .....                | 28          |
| Tabla 3. Cronograma .....  | 29          |
| Tabla 4. Costos de personal.....   | 30          |
| Tabla 5. Otros gastos .....  | 30          |
| <br>   |             |
| Figura 1. Evolución de la población del planeta .....                                      | 8           |
| Figura 2. Árbol, flores y semillas de pongamia.....  | 10          |
| Figura 3. Número de vehículos en Bogotá por rangos de edad. ....                           | 12          |
| Figura 4. Proceso para obtener biodiesel a partir de semillas de pongamia .....            | 16          |
| Figura 5. Producción Mundial de Palma Africana.....  | 18          |
| Figura 6. Woods Dual Power, coche híbrido de 1917 .....                                    | 19          |
| Figura 7. Emisiones y efectos en la capa de ozono .....                                    | 24          |
| Figura 8. Proyección del consumo mundial de energía primaria.....                          | 25          |
| Figura 9 Relación entre contaminación del aire y efectos de las emisiones en la salud..... | 26          |

# 1. IDENTIFICACIÓN

## 1.1 TITULO

ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN COLOMBIA A PARTIR DE PONGAMIA (MILLETTIA PINNATA)

## 1.2 INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos para el uso del transporte público están ligados al consumo y el uso de los combustibles fósiles tales como el petróleo y sus derivados, los cuales afectan considerablemente el medio ambiente por los altos contenidos de partículas contaminantes que afectan la capa de ozono.

Este comportamiento a lo largo de los años, ha provocado una grave condición en la conservación del medio ambiente y la gran afectación del aire que preocupa considerablemente a la población humana y en los recursos naturales los cuales contribuyen con la existencia de los seres humanos, plantas y animales.

A raíz de esto, es indispensable encontrar alternativas viables que contribuyan con la reducción del uso de combustibles fósiles, optando por productos tales como biocombustibles o productos a base de aceite vegetal. Considerando lo anterior, el presente proyecto pretende contribuir a la implementación de uso del aceite de pongamia (biodiesel), así como el estudio de la adaptabilidad del cultivo comercial en Colombia y el análisis de los efectos del aceite de pongamia en el desempeño de los motores diésel.

En este contexto, una de esas opciones que ya ha sido estudiada en otros países consiste en la utilización del aceite de pongamia, (*Millettia Pinnata*), árbol de amplia copa caducifolio, de la familia de las leguminosas, que se encuentra especialmente

Asia, que se caracteriza por sus flores rosadas y sus semillas de color marrón, ricas en aceite.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años la contaminación ambiental generada por el uso de combustibles fósiles tales como el petróleo y sus derivados, ha sido una de las grandes problemáticas a nivel mundial debido a las repercusiones que genera sobre la capa de ozono y el efecto negativo que produce en la salud de la población. El proceso que ha seguido la humanidad en el uso de combustibles ha llegado a convertirse en una amenaza para la sostenibilidad alimentaria de las futuras generaciones.

Este problema no solo se presenta en Colombia; de hecho, uno de los debates más intensos que se dio a lo largo de los ocho años de Presidencia de Barak Obama en Estados Unidos, estuvo relacionado con los convenios internacionales orientados a la reducción de los niveles de contaminación. Una de las causas que hace que este problema sea tan generalizado a nivel mundial es la evolución de la población del planeta; la ONU estima que hace aproximadamente 2000 años los habitantes de la tierra serían más cerca de 200 millones y no fue sino hasta 1804 cuando se llegó a los 1000 millones de personas. Se calcula que en 1927 existían aproximadamente 2000 millones de personas, en 1960 aproximadamente 3000 millones, en 1974 existían 4000 millones, en 1987 5000 millones y en 1999 existían 6000 millones de personas, según los datos de la ONU.<sup>1</sup>

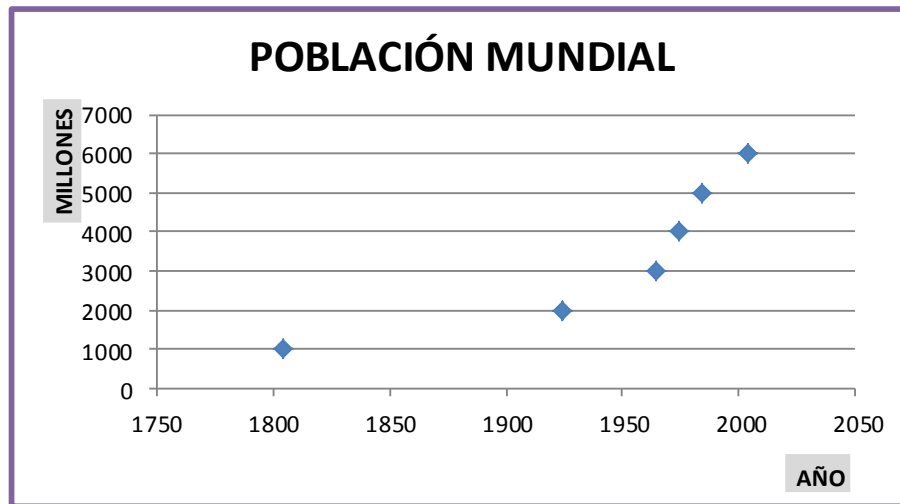
Esta proyección de la ONU se observa de manera gráfica en la Figura 1. Como se aprecia allí, el crecimiento de la población mundial tuvo una fuerte aceleración a partir del Siglo XX y más concretamente después de 1950, tal como lo señala el

---

<sup>1</sup> Naciones Unidas. 2013. Óp. Cit.

Premio Noble de Economía 2015 Angus Deaton<sup>2</sup>. Ese crecimiento de la población ha ejercido a lo largo de los años una presión que ha motivado el desplazamiento de la frontera entre las zonas rurales y las zonas urbanas, disminuyendo tanto las reservas de alimentos, como la disponibilidad de plantas que se encarguen de retirar el CO<sub>2</sub> del aire.

**Figura 1. Evolución de la población del planeta**



Fuente de los datos: Naciones Unidas.<sup>3</sup>

Además de esa evolución de la población, en Colombia el problema de la contaminación se ha visto acelerado debido a que en el país en los años recientes se ha presentado un crecimiento de la densidad de vehículos por habitante, acercándose lenta pero inexorablemente a los indicadores de otros países que tienen similares condiciones de desarrollo<sup>4</sup>. En estas condiciones de mayor número de habitantes y mayor cantidad de vehículos por cada 100.000 habitantes, la

---

<sup>2</sup> Deaton, A. El Gran Escape. Salud, bienestar y los orígenes de la inequidad. Madrid. 2015. Fondo de Cultura Económica de España.

<sup>3</sup> Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2013. Washington. 2013. Naciones Unidas.

<sup>4</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad: La oferta de transporte en Bogotá. Bogotá. 2013. Cámara de Comercio de Bogotá.



emisión de gases contaminantes ha tenido un crecimiento doblemente acelerado y, por lo tanto, preocupante.

A nivel mundial según estudios la producción de emisiones contaminantes está distribuida en alrededor del 25% en generación de energía, 24% en agricultura, 21% en la industria y 14 % en el transporte, de acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (en inglés, Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC)<sup>5</sup> y de las emisiones que producen los vehículos, “La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha lanzado una alerta por la pobre calidad del aire en las zonas urbanas de todo el planeta que está matando a millones y colapsando los sistemas sanitarios”<sup>6</sup>. Colombia cuenta con alrededor de 48.203.000 de habitantes actualmente, los cuales tienen la necesidad de transportarse a sus hogares, lugares de trabajo, entre otros; por lo tanto el efecto de la contaminación por el uso de combustibles fósiles crece inevitablemente sin embargo, cabe resaltar que son fuentes agotables y que seguramente a futuro tendrán que ser reemplazados por otras opciones; por ello nace la necesidad de generar y promover energías alternativas que contribuyan con la disminución del efecto contaminante que se genera con el uso de estas fuentes.

Teniendo en cuenta que la contaminación de aire principalmente es causada por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas. En las principales ciudades el 41% del total de las emisiones se genera en Bogotá liderando, seguida por Medellín y Cali. Las emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) son causados por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, aviones, trenes, etc.) que son los que utilizan fuentes fósiles de energía mientras que las partículas suspendidas totales (PST) y los óxidos de azufre (SOx) son generados por las fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos.

---

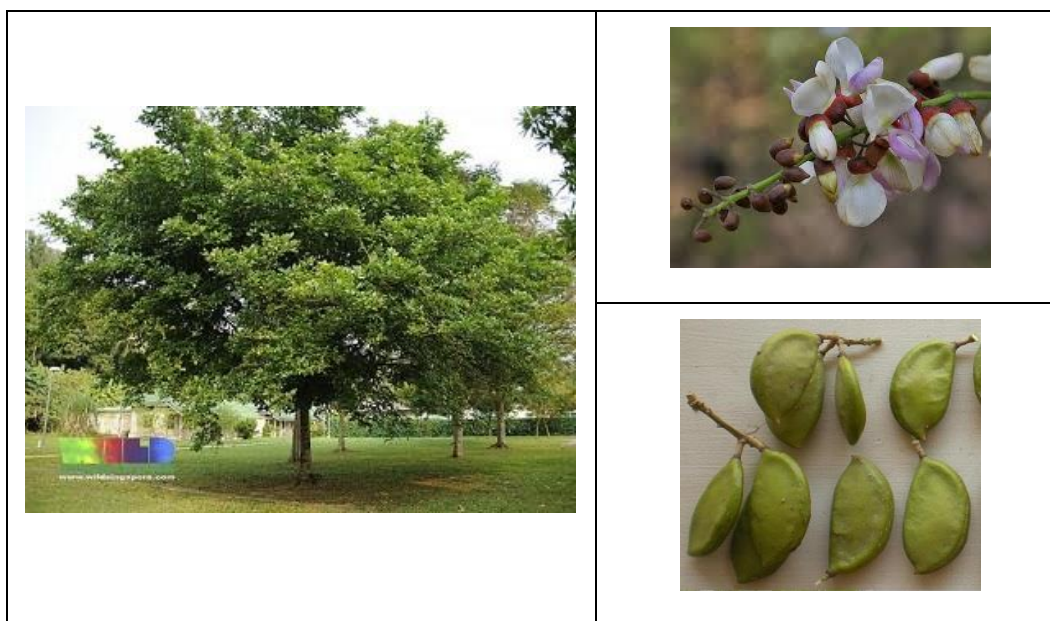
<sup>5</sup> PUIG, D. La introducción de la Salud en la COP 20: el reloj no se detiene en el camino a París. Revista Cubana de Salud Pública. 2016. V 42 N1. pp. 176-177.

<sup>6</sup> Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta Extraído de <http://www.elmundo.es/salud/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>

En este contexto, una de esas opciones que ya ha sido estudiada en otros países consiste en la utilización del aceite de pongamia, (*Millettia Pinnata*), árbol de amplia copa caducifolio, de la familia de las leguminosas, que se encuentra especialmente Asia, que se caracteriza por sus flores rosadas y sus semillas de color marrón, ricas en aceite. (Ver Figura 2)

Falasca y Bernabé<sup>7</sup> describen que se trata de una especie cuya planta tiene todas sus partes tóxicas, de alta resistente a la sequía, y que puede reemplazar a otros cultivos como productora de biodiesel; además la planta tolera los suelos anegados, salinos y alcalinos, con rendimiento alto de semillas por cada árbol, que puede cosecharse de manera mecánica.

**Figura 2. Árbol, flores y semillas de pongamia**



Fuente: Gómez, Gómez y Morantes<sup>8</sup>

Teniendo en cuenta que en Colombia ya existe un notorio desarrollo de plantas productoras de biocombustibles a partir de caña de azúcar y aceite de palma, los

<sup>7</sup> FALASCA, S. y BERNABÉ, M. El reemplazo del cultivo de jatropha curcas en Argentina por Pongamia Pinnata. Río de Janeiro. 2012. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.

<sup>8</sup> GÓMEZ, S., GÓMEZ, L. y MORANTES, M. Incidencia de la calidad del aire en la anatomía de hojas de Pittosporum undulatum Vent. y Sambucus nigra L en Bogotá. 2015. Boletín Semillas Ambientales.

cuales competirían con aceite de pongamia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿resulta viable la producción de biocombustible en Colombia a partir del aceite de pongamia?

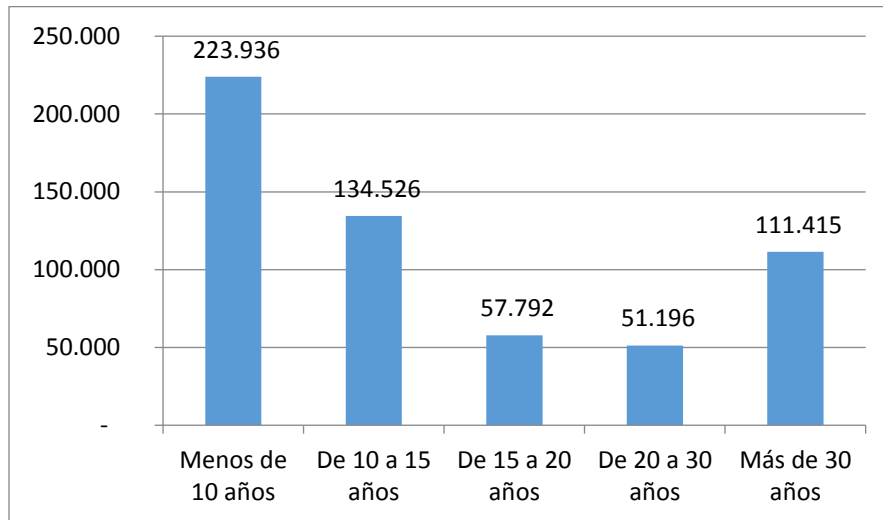
### **3. JUSTIFICACIÓN**

Otra de las causas que impacta la generación de emisiones de monóxido de carbono es la baja tasa de renovación vehicular que se presenta en Colombia. De acuerdo con cifras reveladas por la Cámara de Comercio de Bogotá<sup>9</sup>, mientras que países como Estados Unidos, Francia, México y Chile presentan tasas de posesión vehicular de 806, 595, 154 y 144 vehículos por cada mil habitantes respectivamente, en Colombia sólo llega a 79,2. Al hacer la comparación por ciudades se encuentra que Ciudad de México, Guanajuato y Curitiba registran índices de motorización de 406, 156 y 422 vehículos por cada mil habitantes, y Bogotá a septiembre de 2012 registra un total de 578.867 automóviles particulares, cuya edad promedio es de 13.5 años (Ver Figura 3)

---

<sup>9</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad: La oferta de transporte en Bogotá. Bogotá. 2014. Cámara de Comercio de Bogotá

**Figura 3. Número de vehículos en Bogotá por rangos de edad.**



Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá<sup>10</sup>

Las anteriores cifras muestran que existe un gran potencial de crecimiento en el número de vehículos que se venderán en los próximos años, pese a que la movilidad es uno de los grandes problemas de la capital del país. Simultáneamente se observa que la cantidad de vehículos con más de cinco años de edad es alta supera el 60 % del total de vehículos y sólo el 38 % del total tiene menos de 10 años de uso; en las ciudades más pequeñas la edad del parque automotor es aún mayor, debido a que la capacidad adquisitiva promedio es más baja. El promedio de edad del parque automotor de servicio privado del país es de 14.7 años de acuerdo con el informe de Proexport<sup>11</sup>. Esas cifras implican unos altos niveles de contaminación, si se tiene en cuenta que sólo a partir de 1998 se empezaron a comercializar en el país de manera masiva los vehículos con motor de inyección electrónica, que producen una combustión más limpia.

A su vez el Banco Mundial al referirse al denominado transporte limpio destaca que:

- Contribuye a las metas ambientales más amplias que hacen parte de los objetivos de desarrollo del milenio.

<sup>10</sup> Cámara de Comercio de Bogotá. 2014. Óp. Cit.

<sup>11</sup> Proexport. Sector Automotor Colombiano. Invierta en Colombia. Bogotá. 2014. Proexport.

- Con él se está tratando de restringir el consumo de energía, favoreciendo la transición hacia tecnologías de bajo carbono.
- Facilita la movilidad de personas de manera eficiente y accesible, tanto en zonas urbanas como rurales.
- Es esencial para que las ciudades funcionen mejor y para diversificar las economías rurales<sup>12</sup>.

Como se observa, este resumen del Banco Mundial conduce a la conclusión central de que el transporte limpio se aproxima al concepto de sostenibilidad, dado que equilibra las dimensiones social, ambiental y económica que hacen parte de ese concepto.

Tanto las cifras antes expuestas como las ventajas del transporte sostenible ratifican la necesidad de explorar todas las opciones que puedan contribuir a reducir el consumo de combustibles fósiles. Este proceso de exploración de alternativas debe empezar por el estudio del comportamiento de los motores, como requisito básico para poder considerar su uso masivo.

De acuerdo con los resultados del estudio realizado en Egipto por Gopal y Karuppara<sup>13</sup> en la Universidad Ain Shams y publicado por la Revista de Ingeniería de esa institución, el motor diésel puede funcionar satisfactoriamente con ésteres metílicos de aceite de pongamia y sus mezclas sin ninguna modificación del motor. El consumo específico de combustible se aumenta con el aumento en el porcentaje de biodiesel en las mezclas, debido al menor valor de calentamiento del biodiesel; además se observa que hay una reducción significativa en las emisiones de CO, hidrocarburos no quemados humo para todas las mezclas de biodiesel en comparación con el combustible diésel, a pesar de que la emisión de NO<sub>x</sub> del biodiesel es marginalmente mayor que la del diésel de petróleo. Una ventaja

---

<sup>12</sup> Banco Mundial. La estrategia de negocios del grupo del banco mundial relativa al transporte para 2008-0212. New York. 2008. Banco Mundial.

<sup>13</sup> GOPAL, K. y KARUPPARAJ, R. Effect of pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of DI compression ignition engine. Ain Shams Engineering Journal. 2014. pp. 297-305.

adicional es que el análisis de la combustión mostró que el biodiesel añadido al combustible diésel convencional disminuyó el período de retraso, aunque disminuyó la velocidad de liberación de calor de la combustión premezclada.

Sin embargo, estas ventajas no son suficientes para asegurar que esta fuente de biodiesel sea viable en Colombia, debido a que se requiere establecer, en primer lugar, la buena adaptación de ese cultivo a las condiciones locales, así como los costos asociados a su producción y el impacto de la combustión de aceite de pongamia en el medio ambiente, así como en el desempeño de los motores que lo utilicen.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Analizar la viabilidad de la producción de biodiesel en Colombia a partir de pongamia.

### **4.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar ventajas y desventajas de la producción de biodiesel a partir de pongamia a nivel mundial.
2. Identificar el grado de madurez de la tecnología requerida para la producción industrial de biodiesel a partir de pongamia definiendo la producción mínima.
3. Identificar el impacto ambiental generado por la producción de biodiesel a partir de pongamia desde el cultivo hasta la comercialización del biodiesel.
4. Elaborar un artículo científico que recoja los hallazgos del presente trabajo.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 CULTIVO Y PROCESO DE PONGAMIA

El aceite de pongamia ha sido tradicionalmente empleado como tinte textil, para fabricar jabón, como lubricante o aceite para lámparas<sup>14</sup>. Durante su cultivo se pueden presentar ataques de insectos como la mosca minadora (orden díptera, familia agromyzidae, género liriomyza), de color verde metálico que depositan huevos en las hojas tiernas y que las minan una vez eclosionan; así mismo algunas plantas pueden no sobrevivir debido a la carencia de clorofila, lo que las hace albinas.<sup>15</sup>

La transesterificación<sup>16</sup> de metilo del aceite de Pongamia se lleva a cabo según las etapas que se ilustran en la Figura 4.

El proceso empieza con la extracción del aceite de las semillas, por medio de un sistema de prensado; este aceite se filtra y se le agrega metanol, previamente mezclado con hidróxido de potasio (KOH) en una concentración de 2%. Se añade metóxido de potasio (una cantidad conocida de metanol) a la mezcla de aceite de pongamia filtrado y catalizador de KOH, de manera que los ácidos grasos libres se neutralizan; la temperatura se mantiene a 60°C. Se pueden utilizar diferentes relaciones de metanol y aceite (4: 1, 6: 1 y 8: 1) para obtener diferentes rendimientos de Pongamia. Después de un período de proceso de 1 hora, se forma biodiesel junto con la glicerina y la separación de fases.

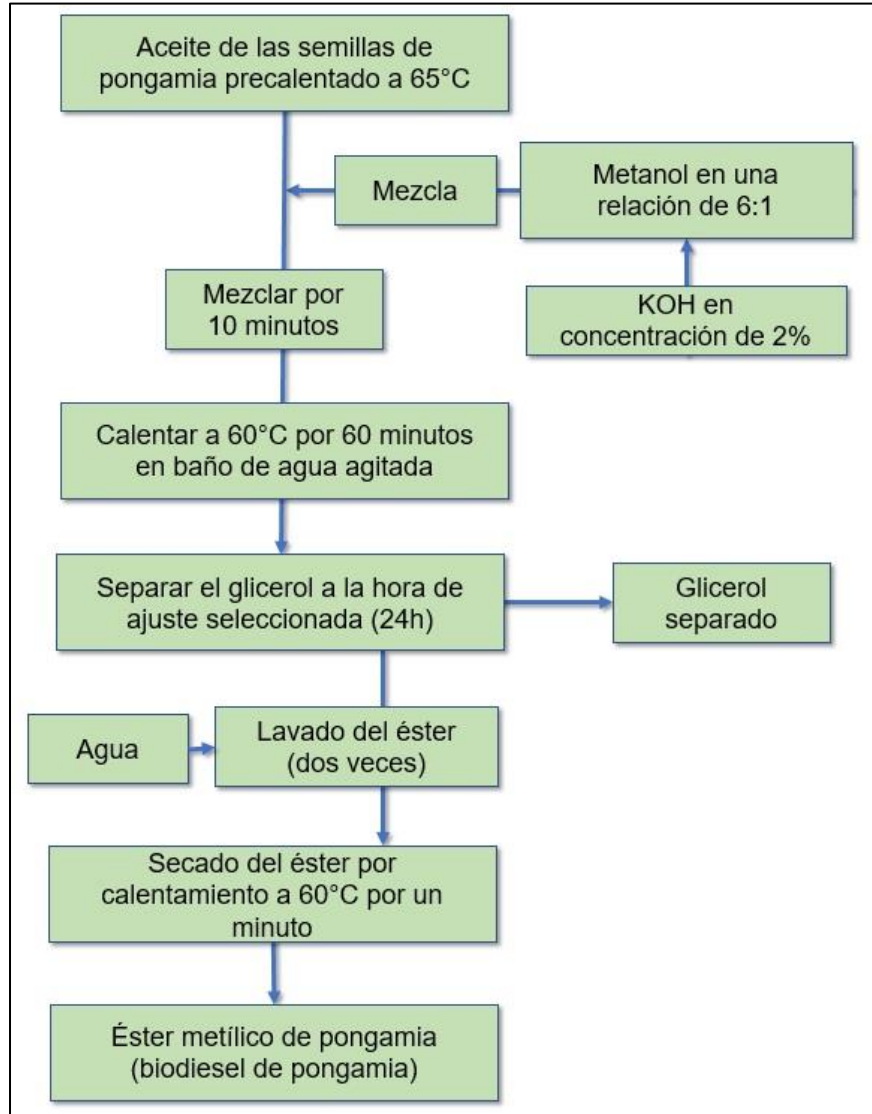
---

<sup>14</sup> SERRANO, Marta. Estudio de la influencia de las materias primas en la producción y propiedades de biodiesel como combustible. Universidad Complutense de Madrid. Tesis doctoral. 2016.

<sup>15</sup> RIKA Victoria, ENCISO Manuel, VERA Mirtha. Influencia del tamaño de maceta y la composición de sustrato sobre la calidad de Pongamia pinnata (L.) Pierre. Investig. Agrar. 2015. V 17 N1. pp.65-71.

<sup>16</sup> Proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol.

**Figura 4. Proceso para obtener biodiesel a partir de semillas de pongamia**



Fuente: Prasad<sup>17</sup>

Al comparar el desempeño del biodiesel de pongamia con el de palma, Prasad<sup>17</sup> explica que la necesidad de precalentar el biodiesel de palma por encima de la temperatura ambiente, para mejorar el rendimiento del motor, particularmente la potencia de frenado y las características de emisión de escape. A través de un estudio adicional incorpora el éster metílico de aceite de palma precalentado en un

<sup>17</sup> PRASAD, Sytaram. Study of performance and emissions of C.I. Engine with pongamia based biodiesel. Thapar University, Patiala. Punjab, India. 2016.



motor de encendido por compresión para operarlo; de esta forma se obtienen mejores características de pulverización y atomización. Otras características distintivas como el par, el rendimiento térmico de los frenos, la emisión de gases de escape, la potencia de frenado y el consumo específico de combustible fueron comparables a las del combustible fósil. A su vez, la eficiencia térmica del aceite de pongamia es 63,11% mayor que la del diésel a carga parcial, y se reduce a 11,2% con combustible diésel a plena carga.

De acuerdo con las cifras obtenidas por Franco<sup>18</sup>, alrededor de 8,7 millones de hectáreas fueron utilizadas para producir la materia prima requerida por los principales productores durante el año 2011. Sin embargo, países industrializados enfocados en la producción de biodiesel, como Estados Unidos y la Unión Europea, no disponen de las extensiones de terreno requeridas para su creciente demanda en la producción de biocombustibles.

En el país, para el 2011, el rendimiento por hectárea sembrada de palma fue de entre 2.600 y 2.800 litros de biodiesel por hectárea. Si bien la industria de los biocombustibles ha generado efectos sobre el uso de los productos y bienes agrícolas, en el país no existe evidencia de que la evolución del sector cause alteraciones sobre el precio de los alimentos; sin embargo, en países como México, Estados Unidos y Argentina, los precios de alimentos como el maíz y otros comestibles empleados para la producción de biodiesel, *“se han visto alterados por la producción de etanol, generando problemas inflacionarios que se ven directamente reflejados en la seguridad alimentaria de las familias, cuyo producto básico de consumo es el maíz amarillo”*<sup>19</sup>. En este aspecto, la pongamia tiene la ventaja de no generar este tipo de efectos, dado que es un aceite no comestible.

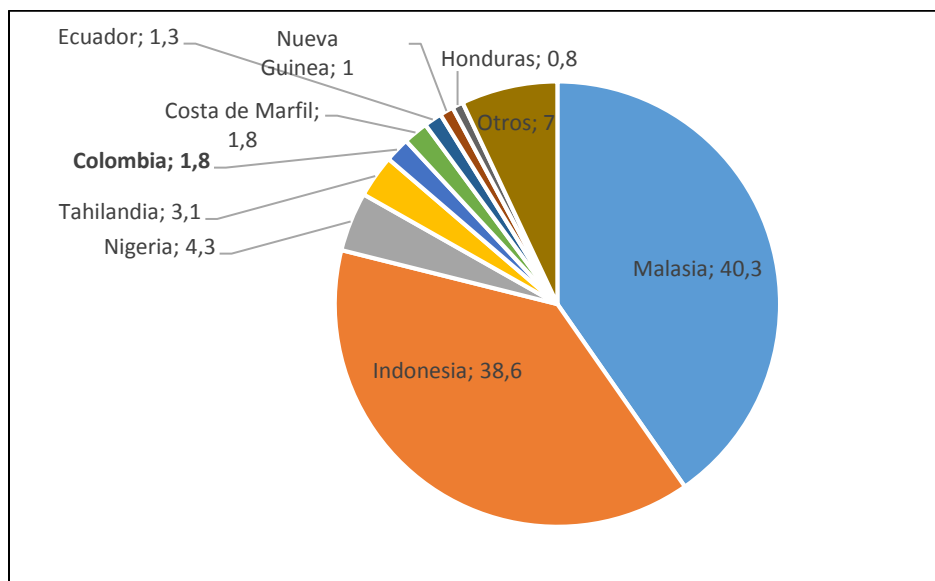
---

<sup>18</sup> FRIANCO, M. Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Barcelona. 2013.

<sup>19</sup> SÁNCHEZ, Martha Elena. Evolución de los Biocombustibles en Colombia y su incidencia sobre el precio de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Economía. Bogotá. 2015.

Los líderes mundiales de producción de aceite de palma son Malasia e Indonesia, frente a los cuales la capacidad instalada en Colombia es comparativamente pequeña, tal como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5. Producción Mundial de Palma Africana**



Fuente: Acevedo y Díaz<sup>20</sup>

Prácticamente la totalidad del aceite de palma que se produce en el país es para consumo interno. En 2013 existían 407.000 hectáreas sembradas en Colombia con palma de aceite.<sup>21</sup>

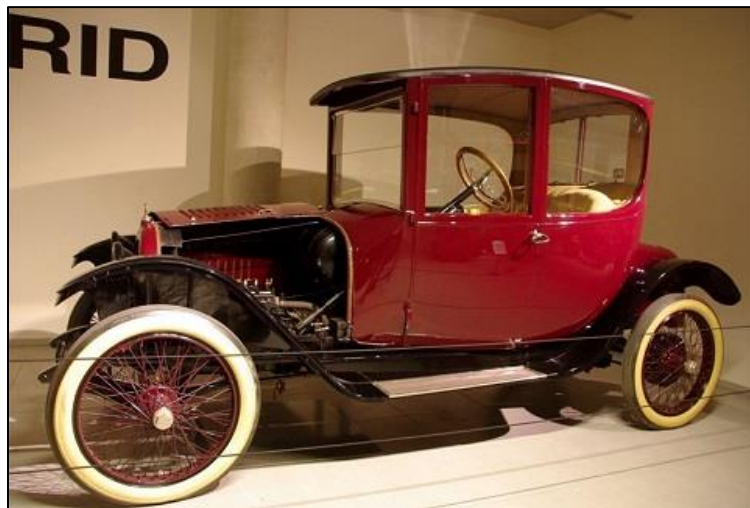
<sup>20</sup> ACEVEDO Diego, DÍAZ Nidia. Formulación del departamento de investigación y desarrollo para Oleaginosas Las Brisas S.A. Universidad industrial de Santander. Programa de Alta Gerencia. Bucaramanga. 2014.

<sup>21</sup> GUALTEROS, J. Estudio prospectivo de la cadena productiva del Biodiesel a partir de palma africana en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2013.

## 5.2 ESTADO DEL ARTE

Algunos de los niveles de emisiones que exigen los convenios internacionales para la protección del medio ambiente no pueden cumplirse con los motores de combustión interna que equipan a los actuales vehículos de transporte público o privado<sup>22</sup>. Debido a estas reglamentaciones en la comunidad europea y en los Estados Unidos, en Colombia se hace reforma a la ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres, considerando las nuevas políticas internacionales sobre la emisión de gases y la antigua reglamentación nacional, se decreta el reglamento para el control y Revisión Técnica de las emisiones de gases contaminantes producidas por Vehículos Automotores<sup>23</sup>. Aunque puede decir que los autos eléctricos ya existían desde la época de 1917, se trataba de un auto de marca Ford que era 100% eléctrico y del cual solo quedó un solo vehículo.<sup>24</sup>

**Figura 6. Woods Dual Power, coche híbrido de 1917**



<sup>22</sup> CIFUENTES, Luis. Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana. Diseño de Metodologías de Compensación de Emisiones para Chatarrización de Fuentes Móviles. Santiago, Chile. 2009. p.24

<sup>23</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Decreto 3422. Por el cual se reglamentan los sistemas de transporte públicos de conformidad con la ley 1151 de 2007. 9, septiembre, 2009.

<sup>24</sup> LÓPEZ, Carlos. Historia del auto eléctrico. Club de autos eléctricos de Chile. 2 de agosto de 2010. [En línea]. Documento electrónico. Consultado en marzo 10 de 2015. Disponible en [http://www.autos electricos.cl/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=60](http://www.autos electricos.cl/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=60)

Fuente: Prieto.<sup>25</sup>

El Woods Dual Power fue un automóvil equipado con un motor a gasolina y cuatro cilindros ubicado en la parte delantera y que proporcionaba una potencia de 12 CV; sin embargo, su motor principal era eléctrico y era movido por baterías ubicadas en su parte posterior, permitiéndole alcanzar una velocidad de 30 km/h.<sup>26</sup>

Sin embargo, fue solo hasta comienzos de la década de los noventa cuando se empieza la producción en serie de este híbrido, como consecuencia de la necesidad de disminuir los gases de combustión que son los creadores del efecto invernadero<sup>27</sup>. Hoy en día las marcas más importantes y hasta las de alta gama, se preocupan por estar a la vanguardia sin dejar atrás su aporte a la disminución de gases de automotores en el mundo. El vehículo eléctrico es comercializado exitosamente en países como, Reino Unido, Italia, España, Irlanda, Noruega y Chile<sup>28</sup> y muchas de las grandes ciudades de estos países han tenido que reformar su sistema eléctrico de modo que se pueda cumplir con la demanda de vehículos eléctricos. Ejemplos de primera mano se encuentran, en Estados Unidos la ciudad de Portland, Oregón, que en 2010 ya era la primera ciudad de Estados Unidos en contar con una estación pública para recargar vehículos eléctricos, teniendo la capacidad de recargar cerca del 80% de una batería de ion-litio en 30 minutos, lo cual es considerado una recarga bastante rápida y puede brindar una autonomía de hasta 480 Km. en los modelos más avanzados de vehículos eléctricos<sup>29</sup>.

Los efectos que el cambio climático produjo han incidido en que las leyes en los diferentes países establezcan limitaciones en las emisiones admisibles<sup>30</sup>, lo cual ha

---

<sup>25</sup> PRIETO, Maria. Un coche híbrido de 1917. [En línea]. Disponible en Internet. Consultado en marzo 12 de 2015. <http://bloclly.com/motor-giga/un-coche-hibrido-de-1917/gmx-niv119-con661.htm>

<sup>26</sup> PRIETO, Maria. Óp. Cit.

<sup>27</sup> GUILLEN F. ¿Puede España Liderar el desarrollo del sector de vehículos eléctricos? Guía del vehículo eléctrico. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid 2009. p.39.

<sup>28</sup> El Tiempo. Redacción vida hoy. de agosto de 2010. Óp. Cit.

<sup>29</sup> GORDILLO, J. Development and Implementation of a Hybrid Photovoltaic System for Energy Back-up, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2009.

<sup>30</sup> En Colombia el marco jurídico que integra la regulación del sistema ambiental y el control de emisiones incluye la Ley 2811 de 1974, la Ley 44 de 1993, la Ley 99 de 1993, la Ley 23 de 1995, la

ocasionado que las empresas debieran comenzar a crear esta clase de vehículos; pero esto no para ahí, dado que las ciudades y las poblaciones deben prepararse para la llegada de esta innovación. De ahí las propuestas de las empresas como es el caso de la General Electric y NEC, que piensan dar el servicio de recargas vehiculares de manera gratuita por el momento, lo que se suma a las iniciativas de países en Europa que, con el propósito de incentivar el uso de esos vehículos, han comenzado a colocar estaciones de recarga en las ciudades más importantes.<sup>31</sup>

En Colombia hasta hace un par de años esta tecnología no era del todo conocida, entre otras razones porque el precio de la gasolina no era tan alto como en los años recientes ni había tanto interés por la protección del medio ambiente; en estos momentos no se han abierto las puertas para una libre comercialización de estos vehículos, lo que los hacen muy costosos y de difícil alcance por el momento. Sin embargo, muy posiblemente en poco tiempo exista oferta de vehículos eléctricos importados; en marzo de 2011 se anunció que Renault y Endesa, a través de Codensa, impulsarán la implantación de los vehículos eléctricos en Colombia.

A través de los tiempos, el hombre ha requerido evolucionar a raíz del consumo de energía, a medida que aumenta la tecnología y la necesidad de mejorar su calidad de vida, utilizando nuevas técnicas y recursos que contribuyan con la generación de energías, Para ello, los seres humanos han implementado el uso del petróleo el cual es un compuesto químico formado por hidrocarburos, es la formación de hidrogeno y pequeñas porciones de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, el cual es formado de forma natural en la profundidad de la tierra.

La estructura del suelo en el cual se encuentra el petróleo debe cumplir una serie de condiciones que permitan la formación del mismo, provienen de zonas profundas de la tierra o mar, donde se acumularon restos de organismos vivos y o especies vegetales que junto con grandes rocas formaron depósitos sedimentarios

---

Ley 788 del 2002. IDÁRRAGA, Obed. Disposición final de los desechos producidos por la Industria Textil en Bogotá. Colegio Mayor de Cundinamarca. Facultad de Administración de Empresas y Economía. Bogotá. 2014.

<sup>31</sup> RAHIMI Eichi, ZENG H., CHOW M. Estudio sobre la Electrificación de Transporte en un Marco de Ambiente Inteligente. Informática Industrial. IEEE. Buenos Aires. 2011.

generadores de crudo, en condiciones de presión y temperatura ideales para la formación de hidrocarburos con pequeñas cantidades de otros elementos; La composición elemental del petróleo está comprendida en (84 – 87) % de carbón, (11-14)% de hidrogeno, (0 – 2)% de azufre y 0,2% de nitrógeno.

La producción de petróleo a nivel mundial surgió en el año 1859 por Edwin L. Drake quien perforo el primer pozo con el propósito de extraer el petróleo para la generación de kerosina para la iluminación, Por lo general, el petróleo tal y como se extrae de los pozos no sirve como energético ya que requiere un proceso para su uso, pues el crudo en sí está compuesto de hidrocarburos de más de cinco átomos de carbono, es decir, hidrocarburos líquidos. Por lo tanto, para poder aprovecharlo como energético es necesario separarlo en diferentes fracciones que constituyen los diferentes combustibles como la gasolina, turbosina, diésel, gasóleo ligero y gasóleo pesado.

Para la separación del petróleo y la formación de los principales productos que sirven para la generación de la energía, se implementa el proceso de separación en las refinerías petroleras para ello, primero se calienta el crudo a 400°C para evaporizarlo y enviarlos a las torres de destilación, subiendo el vapor por las torres enfriándose y condensándose en distintas fracciones cada una de las cuales posee una temperatura específica de licuefacción.

De acuerdo al tipo de crudo que se esté procesando, la primera fracción es la que contiene los hidrocarburos que constituyen los aceites lubricantes y las parafinas, y los residuos son los que tienen los asfaltos y el combustóleo pesado.

Además, en este mismo siglo otro de los grandes desarrollos fue el diseño del motor de combustión interna en el año de 1876 por el ingeniero Nicolaus A. Otto. Éste diseño se hizo famoso en todo el mundo como máquina para el accionamiento de vehículos, trenes, barcos y aviones; a la vez sirvió como punto de referencia al ingeniero Rudolf Diésel para desarrollar entre los años de 1893 y 1897 el diseño y construcción del primer motor del mundo que quemaba aceite vegetal (Aceite de palma) en ambientes de trabajo; es hasta mediados y a finales del siglo XIX que se empleaban muchas fuentes de energías renovables.

Al momento de seleccionar un combustible debe tenerse en cuenta que los derivados del petróleo se fraccionan en las refinerías para obtener diferentes sustancias, cada una de las cuales está compuesta de diferentes moléculas de carbono, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Moléculas de carbono según el tipo de combustible**

| Fracción                | Moléculas de Carbono              |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Gas no condensable      | C, C <sub>2</sub>                 |
| Gas licuado             | C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub>   |
| Gasolina                | C <sub>5</sub> , C <sub>9</sub>   |
| Kerosene                | C <sub>10</sub> , C <sub>14</sub> |
| Gasóleo                 | C <sub>15</sub> , C <sub>25</sub> |
| Lubricantes y parafinas | C <sub>20</sub> , C <sub>35</sub> |
| Combustóleo pesado      | C <sub>25</sub> , C <sub>35</sub> |
| Asfaltos                | >C <sub>39</sub>                  |

Fuente: Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa <sup>32</sup>

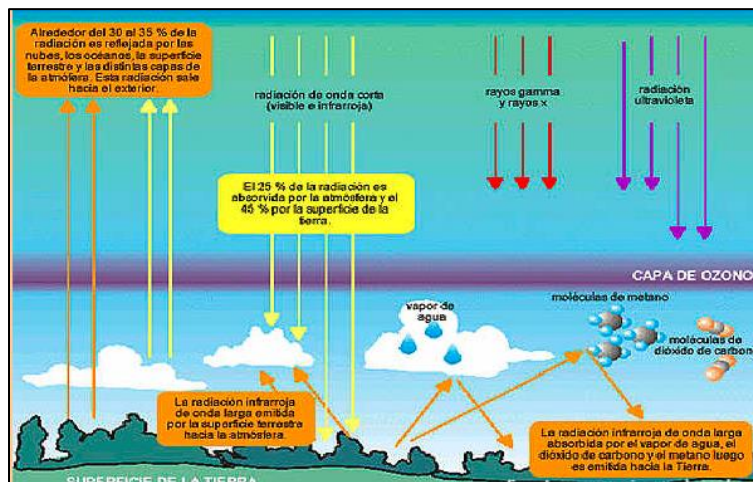
Como se mencionó inicialmente, la gasolina o el diésel es el combustible que tiene mayor demanda; debido al incremento para la obtención y sostenibilidad por el crecimiento socioeconómico, el aumento en la población mundial, han generado un alto consumo en los recursos fósiles (Petróleo, carbón, gas natural y sus derivados), a raíz de esto empezó a ser un problema por los altos niveles de contaminación por emisiones de material particulado al utilizar el petróleo como fuente de energía. Dentro de los contaminantes que existen en la atmósfera, se identifican 5 contaminantes que afectan a la salud inmediatamente desde su inhalación los cuales son el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM10). Además de éstos, se incluye al CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero.

---

<sup>32</sup> Separación del petróleo en sus fracciones. 2016. [On line]. Disponible en [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_9.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_9.html)

Uno de los problemas de mayor importancia a nivel mundial es el cambio climático que está principalmente atribuido a las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> generados principalmente por la combustión, la acumulación de gases en la atmósfera forma una capa que evita el intercambio energético entre los rayos emitidos por el sol y la tierra (entrada y salida) y eso hace que se acumule energía entre la tierra y la capa de ozono. Así, la temperatura aumenta dando como resultado un invernadero alterando los ciclos naturales, los ecosistemas, así como la química y física de los gases en la atmósfera.

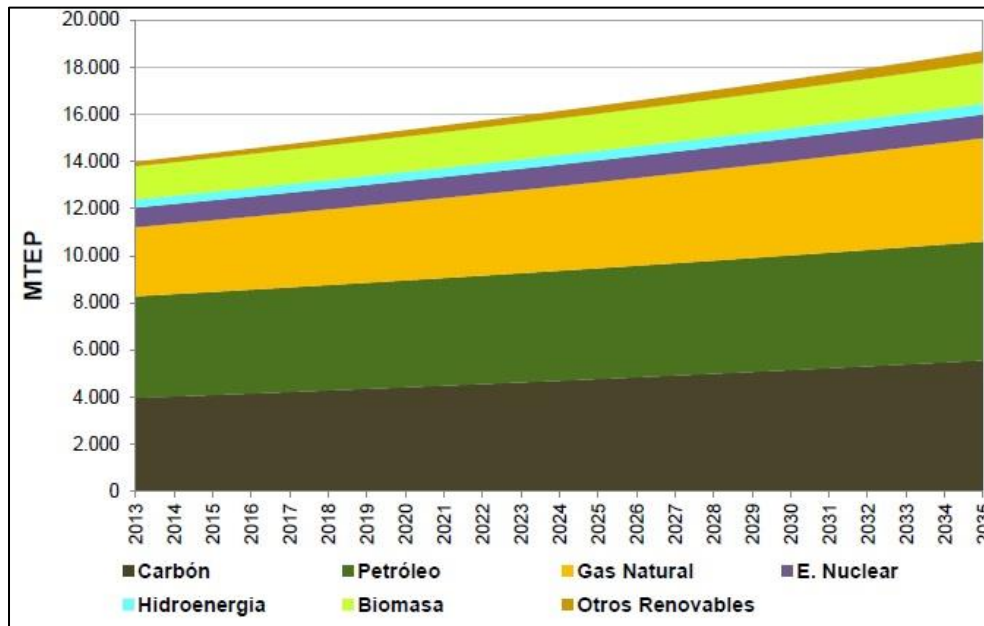
**Figura 7. Emisiones y efectos en la capa de ozono**



A pesar de esta situación, en la Figura 8 se presenta la proyección del consumo mundial de energía primaria para los próximos 20 años, en la cual se puede observar la tendencia creciente de esta demanda.



**Figura 8. Proyección del consumo mundial de energía primaria**



Fuente: World Energy Outlook<sup>33</sup>

Como se muestra en la Figura 8, la demanda de carbón aumenta cerca de 1.650 Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo MTEP, equivalente al 42,4% en el período 2013 a 2035, con un crecimiento medio anual de 1,6%, al pasar de 3.900 a 5.560 MTEP. El gas natural es la fuente de mayor tasa de crecimiento dentro de este tipo de energéticos, con 1,94% y un aumento de 52,7% al pasar de 2.880 a 4.400 MTEP al final del horizonte de estudio. En cambio, el petróleo es el energético fósil que registra la menor tasa de crecimiento con 0.74% promedio año, perdiendo tres puntos porcentuales con respecto a 2012, al alcanzar una participación relativa de 27% en 2035 y cediendo el primer lugar al carbón.<sup>34</sup>

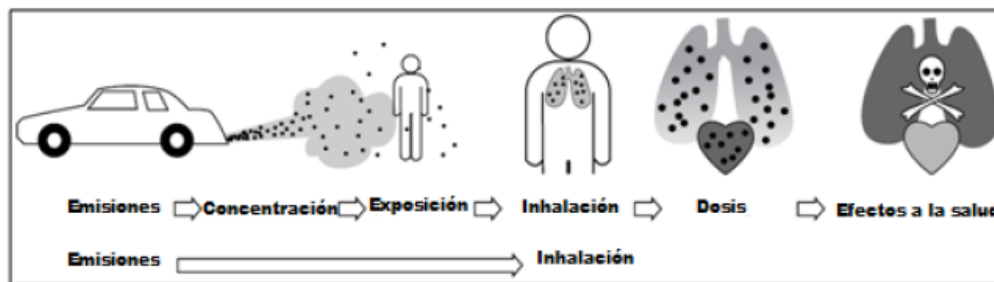
Hoy en día en Colombia, se encuentra en un crecimiento amplio en el transporte público, en el cual cuenta con sistemas de transporte tales como en Bogotá (SITP, Transmilenio); barranquilla (transmetro); Bucaramanga (metrolinea); Cali (Mio); Cartagena (SITMC); Medellín (Metroplus); Pereira (Megabus); los cuales son

<sup>33</sup> Work Energy Outlook. Washington. 2012. E.I.A.

<sup>34</sup> Work Energy Outlook. Óp. Cit.

causales del 74% la contaminación del aire el cual es uno de los problemas más serios en el país además porque afecta directamente al aire, en su mayoría en las ciudades en desarrollo, es uno de los factores que impactan altamente esta contaminación, estos riesgos aún no han recibido la mayor atención o no se han llegado a implementar acciones que contribuyan a la disminución de la contaminación ambiental, los efectos son causados por la concentración del contaminantes en altas cantidades concentración del contaminante (masa por tiempo), fracción inhalada (masa inhalada por masa emitida) y toxicidad (impacto a la salud por masa inhalada).<sup>35</sup>

**Figura 9 Relación entre contaminación del aire y efectos de las emisiones en la salud**



Fuente: Marshall & Nazaroff<sup>35</sup>

Debido a la gran problemática que está expuesta anteriormente, se quiere contribuir con la disminución de estas emisiones que impactan el aire y el medio ambiente, para ello se piensa utilizar el aceite de pongamia, como biocombustible. El uso de los aceites vegetales como combustible no es poco común para el mundo; Rudolph diésel ya utilizaba aceite de maní en los motores inventados por él, en los años 1930, Sin embargo, la utilización de esos aceites para los motores diseñados tuvo demasiados problemas con el uso de estos en su mayoría en los motores diésel de inyección directa, y el bajo precio del petróleo obligo a utilizar este último.

A lo largo de los años, aumentaron las investigaciones y los desarrollos realizados para utilizar aceites a cambio del diésel, a raíz de esto nació el biodiesel, ya que

<sup>35</sup> MARSHAL J y NAZAROFF W. Environmental Engineering Science, New York. 2006. John Wiley & Sons.

este es un aceite vegetal modificado se puede describir como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión, con unas propiedades muy parecidas a las del diésel convencional.

Este producto se utiliza actualmente en más de 25 países de todo el mundo. El biodiesel es el biocarburante de mayor implantación en el viejo continente, con un porcentaje cercano al 80% del total de la producción, según Eurobserv'eR. De hecho, la Unión Europea es la principal región productora de este producto, que cuenta ya con 11 países de gran producción. En el año 2007 la producción mundial de biodiesel se incrementó en un 29,6%. De la cantidad total producida (47,4 millones de toneladas), 39,5 corresponden a la producción de bioetanol, en la que Estados Unidos se encuentra a la cabeza con 19,5 millones de toneladas, seguido de Brasil con 14,9 millones, la Unión Europea con 1,8 millones y China con 1,27 millones. La producción total de biodiesel registrada en 2007 fue de 7,9 millones de toneladas, situándose como principal productor Alemania con 2 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos con 1,2 millones, Francia con 1,15 millones e Italia con 550.000 toneladas.

Colombia diariamente tiene un alto consumo aproximado de 90 mil barriles de diésel o a.c.p.m por tal razón, el gobierno expidió la Resolución 1289 de 2005, en la cual se establecieron los requisitos técnicos y ambientales del biocombustible para uso en motores diésel y sus mezclas con diésel de origen fósil, con el fin de disminuir los impactos ambientales que son ocasionados por cuya base fundamental fueron las normas técnicas y los estándares mundiales fijados en la materia a nivel mundial. En dicha Resolución se estableció que a partir del 1º de enero del año 2008 en las principales ciudades del país se debería distribuir mezclas de 5% de biocombustible para uso en motores diésel (biodiesel) como un 95% de diésel de origen fósil. Los

resultados obtenidos mediante esa política, han hecho que Colombia sea en la actualidad el segundo productor de biodiesel en Latinoamérica.<sup>36</sup>

## 6. METODOLOGÍA

El desarrollo de los cuatro objetivos previstos para el análisis de la viabilidad de la producción de biodiesel en Colombia a partir de la pongamia, exige el empleo de la metodología cualitativa, pues esta permite profundizar en la comprensión de las cualidades que caracterizan el problema objeto de la investigación.<sup>37</sup>

Cada uno de esos objetivos requiere diferentes fuentes y procedimientos, tal como se describe en la Tabla 2.

**Tabla 2. Fuentes y procedimientos para el desarrollo de los objetivos**

| Objetivo   | Fuentes  | Procedimientos  |
|--|--|---|
| Identificar ventajas y desventajas de la producción de biodiesel a partir de pongamia a nivel mundial                      | Se consultarán publicaciones internacionales a través de las cuales se haya analizado la producción e este combustible | Se analizarán los aspectos social, económico, técnico y legislativo involucrados en la producción de biodiesel a partir de pongamia |
| Identificar el grado de madurez de la tecnología requerida para la producción industrial de biodiesel a partir de pongamia | En primer lugar, se estudiará la tecnología utilizada para el proceso productivo de biodiesel a partir de pongamia     | Se estudiarán publicaciones que describan los diferentes procesos productivos requeridos, así como los equipos necesarios           |
|  | En segundo lugar, se buscarán otros procesos industriales que empleen  | Se consultará el grado de evolución de esas tecnologías a nivel nacional  |

<sup>36</sup> BOTERO M., PÉREZ L., ALZATE, C. Efecto del cambio en el uso de la tierra devenido del cultivo de palma aceitera para la producción de biodiesel en Colombia. 2014. Ingeniería y universidad, 18(1), 91-102.

<sup>37</sup> HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. Metodología de la Investigación. Bogotá. 2010. Editorial McGraw Hill.

| Objetivo  | Fuentes  | Procedimientos  |
|---|--|---|
|   | equipos y tecnologías similares  |   |
| Identificar el impacto ambiental generado por la producción de biodiesel a partir de pongamia desde el cultivo hasta la comercialización del biodiesel. | Se consultarán estudios sobre aspectos botánicos y agrícolas que se hayan publicado sobre el cultivo de pongamia | En primer lugar, se estudiarán las implicaciones ambientales del cultivo, así como los cuidados en aspectos como plagas, condiciones climáticas, exigencias del terreno, y demás aspectos que puedan afectar el resultado de esa fase del proceso |
|   | Se consultarán publicaciones sobre la fase de refinación del biodiesel a partir de pongamia                      | Se analizará el ciclo de vida del proceso productivo de biodiesel a partir de pongamia para identificar las entradas y salidas que genera   |
| Elaborar un artículo científico que recoja los hallazgos del presente trabajo.  | Trabajo con los objetivos desarrollados  | Se resumirá el trabajo desarrollado bajo la estructura de un artículo académico   |

Fuente: elaboración propia

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 3 se presenta la secuencia de las actividades necesarias para desarrollar la metodología planteada en el numeral anterior.

**Tabla 3. Cronograma**

| Actividades  | Semanas |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
|--|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
|  | 1       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| Análisis de los aspectos social, económico, técnico y legislativo involucrados en la |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |

| Actividades  | Semanas |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| producción de biodiesel a partir de pongamia   |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Estudio de publicaciones que describan los diferentes procesos productivos requeridos, así como los equipos necesarios   |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Consulta del grado de evolución de las tecnologías necesarias, a nivel nacional  |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Estudio de las implicaciones ambientales del cultivo y de los cuidados en aspectos como plagas, condiciones climáticas, exigencias del terreno, y demás aspectos que puedan afectar el resultado de esa fase del proceso |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Análisis del ciclo de vida del proceso productivo de biodiesel a partir de pongamia para identificar las entradas y salidas que genera   |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Resumen del trabajo desarrollado bajo la estructura de un artículo académico   |         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Fuente: elaboración propia

## 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

**Tabla 4. Costos de personal**

| Nombre         | Función dentro del proyecto | Dedicación (horas) | Valor unitario \$/hora | Total        |
|----------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
|                | Investigador                | 250                | \$20,000               | \$ 5,000,000 |
| Total personal |                             |                    |                        | \$ 5,000,000 |

**Tabla 5. Otros gastos**

| Materiales y servicios | Descripción del gasto | Valores     | Total      |
|------------------------|-----------------------|-------------|------------|
| Fotocopias             | Documentos y textos   | \$ 250,000  | \$ 250,000 |
| Impresiones            | Guías y proyecto      | \$ 100,000  | \$ 100,000 |
| Apoyo virtual          | Internet              | \$ 180,000  | \$ 180,000 |
| Transportes            | Pasajes               | \$ 90,000   | \$ 90,000  |
|                        |                       | Subtotal    | \$ 620,000 |
|                        |                       | Imprevistos | \$ 62,000  |

|                     |                    |              |
|---------------------|--------------------|--------------|
|                     | Total otros gastos | \$ 682,000   |
|                     | Personal           | \$ 5,000,000 |
| Total de los gastos |                    | \$ 5,682,000 |

Los costos asociados a la realización de este proyecto serán cubiertos en su totalidad por el autor.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO Diego, DÍAZ Nidia. Formulación del departamento de investigación y desarrollo para Oleaginosas Las Brisas S.A. Universidad industrial de Santander. Programa de Alta Gerencia. Bucaramanga. 2014.

Banco Mundial. La estrategia de negocios del grupo del banco mundial relativa al transporte para 2008-0212. New York. 2008. Banco Mundial.

BOTERO M., PÉREZ L., ALZATE, C. Efecto del cambio en el uso de la tierra devenido del cultivo de palma aceitera para la producción de biodiesel en Colombia. 2014. Ingeniería y universidad, 18(1), 91-102.

Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad: La oferta de transporte en Bogotá. Bogotá. 2013. Cámara de Comercio de Bogotá.

Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de movilidad: La oferta de transporte en Bogotá. Bogotá. 2014. Cámara de Comercio de Bogotá

CIFUENTES, Luis. Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana. Diseño de Metodologías de Compensación de Emisiones para Chatarrización de Fuentes Móviles. Santiago, Chile. 2009. p.24

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Decreto 3422. Por el cual se reglamentan los sistemas de transporte públicos de conformidad con la ley 1151 de 2007. 9, septiembre, 2009.

- Deaton, A. El Gran Escape. Salud, bienestar y los orígenes de la inequidad. Madrid. 2015. Fondo de Cultura Económica de España.
- El Tiempo. Redacción vida hoy. de agosto de 2010. Óp. Cit.
- El Mundo. Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta  
Extraído de  
<http://www.elmundo.es/salud/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>
- FALASCA, S. y BERNABÉ, M. El reemplado del cultivo de jatropha curcas en Argentina por Pongamia Pinnata. Río de Janeiro. 2012. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.
- FRIANCO, M. Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Barcelona. 2013.
- GÓMEZ, S., GÓMEZ, L. y MORANTES, M. Incidencia de la calidad del aire en la anatomía de hojas de Pittosporum undulatum Vent. y Sambucus nigra L en Bogotá. 2015. Boletín Semillas Ambientales.
- GOPAL, K. y KARUPPARAJ, R. Effect of pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of DI compression ignition engine. Ain Shams Engineering Journal. 2014. pp. 297-305.
- GORDILLO, J. Development and Implementation of a Hybrid Photovoltaic System for Enegy Back-up, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2009.
- GUALTEROS, J. Estudio prospectivo de la cadena productiva del Biodiesel a partir de palma africana en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2013.
- GUILLEN F. ¿Puede España Liderar el desarrollo del sector de vehículos eléctricos? Guía del vehículo eléctrico. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid 2009. p.39.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. Metodología de la Investigación. Bogotá. 2010. Editorial McGraw Hill.



- IDÁRRAGA, Obed. Disposición final de los desechos producidos por la Industria Textil en Bogotá. Colegio Mayor de Cundinamarca. Facultad de Administración de Empresas y Economía. Bogotá. 2014.
- LÓPEZ, Carlos. Historia del auto eléctrico. Club de autos eléctricos de Chile. 2 de agosto de 2010. [En línea]. Documento electrónico. Consultado en marzo 10 de 2015. Disponible en [http://www.autos eléctricos.cl/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=60](http://www.autos-eléctricos.cl/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=60)
- MARSHAL J y NAZAROFF W. Environmental Engineering Science, New York. 2006. John Wiley & Sons.
- Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2013. Washington. 2013. Naciones Unidas.
- PRASAD, Sytaram. Study of performance and emissions of C.I. Engine with pongamia based biodiesel. Thapar University, Patiala. Punjab, India. 2016.
- PRIETO, Maria. Un coche híbrido de 1917. [En línea]. Disponible en Internet. Consultado en marzo 12 de 2015. <http://bloclly.com/motor-giga/un-coche-hibrido-de-1917/gmx-niv119-con661.htm>
- Proexport. Sector Automotor Colombiano. Invierta en Colombia. Bogotá. 2014. Proexport.
- PUIG, D. La introducción de la Salud en la COP 20: el reloj no se detiene en el camino a París. Revista Cubana de Salud Pública. 2016. V 42 N1. pp. 176-177.
- RAHIMI E, ZENG H. y CHOW M. Estudio sobre la Electrificación de Transporte en un Marco de Ambiente Inteligente. Informática Industrial. IEEE. Buenos Aires. 2011.

RIKA Victoria, ENCISO Manuel, VERA Mirtha. Influencia del tamaño de maceta y la composición de sustrato sobre la calidad de *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. Investig. Agrar. 2015. V 17 N1. pp.65-71.

SÁNCHEZ, Martha Elena. Evolución de los Biocombustibles en Colombia y su incidencia sobre el precio de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Economía. Bogotá. 2015.

SERRANO, Marta. Estudio de la influencia de las materias primas en la producción y propiedades de biodiesel como combustible. Universidad Complutense de Madrid. Tesis doctoral. 2016.

Separación del petróleo en sus fracciones. 2016. [On line]. Disponible en [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_9.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_9.html)

Work Energy Outlook. Washington. 2012. E.I.A.