



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
BIORREFINERÍA ENFOCADA A LA PRODUCCIÓN DE
BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN EN
MÉXICO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA
NATALIA CRYSTEL CELIS PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS
DR. ALFONSO DURÁN MORENO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado

PRESIDENTE: ALEJANDRO ANAYA DURAND

VOCAL: LETICIA LOZANO RÍOS

SECRETARIO: ALFONSO DURÁN MORENO

1ER SUPLENTE: CARLOS ÁLVAREZ MACIEL

2DO SUPLENTE: OSCAR DE ANDA AGUILAR

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, UNIDAD DE PROYECTOS Y DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL, CIUDAD UNIVERSITARIA.

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Alfonso Durán Moreno

SUSTENTANTE:

Natalia Crystel Celis Pérez

“Un viaje de mil millas comienza con el primer paso”

Lao Tsé

Resumen

En México, actualmente se importa más del 40% de la gasolina y más del 30% del diésel consumido. El índice de independencia energética es apenas mayor a uno. México enfrenta declive de la producción de energéticos. La generación de residuos es cada vez mayor. Dichas problemáticas pueden ser solucionadas mediante la implementación de una biorrefinería enfocada a la generación de biocombustibles de segunda generación. La experiencia en México relacionada a las biorrefinerías es limitada aunado a que no existen lineamientos ni guías que agilicen la toma de decisiones ni una metodología que se enfoque a su formulación.

Para corroborar que se puede la situación actual de México es la adecuada para la implementación de una biorrefinería. Se realizó el análisis de la oferta y la demanda de energía en México. Se encontró que los biocombustibles y residuos generan 4.14% de la energía total comparado con el 10.20% a nivel mundial. Desde 2008 existen leyes que regulan la producción de bioenergéticos, los Planes y Estrategias Nacionales se han enfocado al impulso de las energías renovables y se han implementado incentivos así como fondos de financiamiento con el fin de fomentar el uso y el desarrollo de proyectos de energías renovables.

Las biorrefinerías son instalaciones que integran procesos de transformación de la biomasa y equipo para producir combustibles, electricidad y productos químicos. Integran materias primas, procesos, plataformas y generan productos.

El desarrollo de una biorrefinería a escala industrial necesita de una planeación y un procedimiento que funja como mejor práctica para la toma de decisiones. Mediante la identificación de estudios a realizar para un proyecto de biorrefinación, se desarrolló una guía la cual se basó en la metodología FEL para definir las actividades a realizar así como el orden de los pasos a seguir para la etapa de conceptualización (FEL II) equivalente a la etapa nivel perfil en términos de proyectos de inversión. La guía define los aspectos principales que han de evaluarse mediante criterios específicos para proyectos de biorrefinación. Cada criterio de evaluación va formulando el proyecto.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | i |
| Contenido | ii |
| Tablas | iv |
| Figuras | vi |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Problemática | 2 |
| 1.2 Justificación | 2 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2 Objetivos particulares..... | 3 |
| 2 Marco Teórico | 4 |
| 2.1 Situación internacional en materia de energía | 4 |
| 2.1.1 Oferta de energía..... | 4 |
| 2.1.2 Consumo de energía..... | 6 |
| 2.1.3 Relación entre la oferta y la demanda de energía..... | 7 |
| 2.2 Situación nacional en materia de energía | 8 |
| 2.2.1 Oferta de energía..... | 8 |
| 2.2.2 Consumo de energía..... | 10 |
| 2.2.2.1 Sector transporte..... | 12 |
| 2.2.2.2 Sector industrial..... | 13 |
| 2.2.2.3 Sector residencial, comercial y público..... | 15 |
| 2.2.2.4 Sector Agropecuario..... | 15 |
| 2.2.3 Relación entre la oferta y la demanda de energía..... | 16 |
| 2.3 Marco jurídico en materia de energías renovables | 18 |
| 2.3.1 Leyes..... | 18 |
| 2.3.2 Programas y lineamientos..... | 20 |
| 2.3.3 Organismos Gubernamentales del Sector Energético..... | 23 |
| 2.3.4 Incentivos..... | 25 |
| 2.3.5 Arancel Cero..... | 25 |
| 2.3.6 Banco de Energía..... | 27 |
| 2.3.7 Metodología de Contraprestaciones para el Pago a los Generadores de Energías Renovables..... | 28 |
| 2.3.8 Certificados de Energía Limpia..... | 28 |
| 2.3.9 Visión general del marco legal..... | 30 |
| 2.3.10 Bioenergéticos..... | 32 |
| 2.4 Concepto de biorrefinería | 34 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.5 | Contexto de biorrefinación | 39 |
| 2.5.1 | Situación Internacional | 39 |
| 2.5.2 | Situación en México..... | 46 |
| 2.6 | Proyecto | 49 |
| 2.6.1 | Proyecto de inversión | 49 |
| 2.6.2 | Proyecto de ingeniería..... | 53 |
| 3 | <i>Guía para la implementación de una Biorrefinería</i> | 62 |
| 3.1 | Introducción | 62 |
| 3.2 | Estudio de Mercado..... | 70 |
| 3.3 | Selección de materias prima | 74 |
| 3.4 | Establecimiento de la capacidad..... | 79 |
| 3.5 | Localización de la biorrefinería | 80 |
| 3.6 | Seleccionar el proceso | 85 |
| 3.7 | Licencias | 88 |
| 3.8 | Evaluación económica | 93 |
| 3.9 | Estrategia Financiera..... | 99 |
| 3.10 | Alternativas legales de operación..... | 103 |
| 3.11 | Evaluación de impacto ambiental..... | 104 |
| 3.12 | Evaluación de impacto social..... | 108 |
| 4 | <i>Conclusiones</i> | 115 |
| 5 | <i>Referencias</i> | 117 |

Tablas

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Tabla 1. | Cantidad de gasolina y diésel consumido en México en 2014. | 1 |
| Tabla 2. | Combustibles comparables en la oferta y la demanda de energía mundial. | 8 |
| Tabla 3. | Producción de energía primaria (Petajoules). | 9 |
| Tabla 4. | Producción de energía mediante energías renovables (Petajoules). | 10 |
| Tabla 5. | Consumo de energía en el sector agropecuario (Petajoules). | 16 |
| Tabla 6. | Instrumentos legales que regulan la generación de energía en materia de biocombustibles. | 19 |
| Tabla 7. | Planes y lineamientos en materia de biocombustibles. | 21 |
| Tabla 8. | Organismos gubernamentales del sector energético. | 24 |
| Tabla 9. | Materias primas, plataformas, procesos y productos de las biorrefinerías. | 37 |
| Tabla 10. | Acciones que se han realizado para la implementación y desarrollo de biorrefinerías. | 40 |
| Tabla 11. | Proyectos en construcción o construidos de biorrefinerías de segunda generación. | 44 |
| Tabla 12. | Análisis FODA para el desarrollo de biorrefinerías en México. | 48 |
| Tabla 13. | Descripción de las etapas de los proyectos de inversión. | 50 |
| Tabla 14. | Estudios principales de los proyectos de inversión. | 51 |
| Tabla 15. | Niveles de ingeniería en la elaboración de un proyecto. | 54 |
| Tabla 16. | Descripción de la metodología FEL. | 55 |
| Tabla 17. | Entregable de la etapa FEL I, FEL II, FEL III. | 56 |
| Tabla 18. | Entregables exclusivos de la etapa FEL I. | 58 |
| Tabla 19. | Entregables exclusivos de la etapa FEL II. | 59 |
| Tabla 20. | Entregables exclusivos de la etapa FEL III. | 60 |
| Tabla 21. | Lista maestra de la ingeniería conceptual de la biorrefinería. | 66 |
| Tabla 22. | Descripción de los aspectos a evaluar para la elección de la materia prima. | 75 |
| Tabla 23. | Descripción de los atributos para la elección de la materia prima. | 75 |
| Tabla 24. | Variables involucradas en la determinación de la capacidad de una biorrefinería. | 79 |
| Tabla 25. | Descripción de los aspectos a evaluar para la elección de la localización. | 80 |
| Tabla 26. | Descripción de los atributos para la elección de la localización. | 82 |
| Tabla 27. | Descripción de los atributos para la selección del proceso. | 85 |
| Tabla 28. | Descripción de los atributos para la selección del proceso. | 86 |
| Tabla 29. | Descripción de los atributos para la selección de la licencia. | 88 |
| Tabla 30. | Descripción de los atributos para la elección de la licencia. | 89 |
| Tabla 31. | Elementos de la evaluación económica de una biorrefinería. | 93 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| Tabla 32. | Indicadores para realizar la evaluación económica de la biorrefinería | 96 |
| Tabla 33. | Variables que pueden afectar el óptimo desarrollo del proyecto de biorrefinación. | 99 |
| Tabla 34. | Documentos para la identificación de fondos para proyectos relacionados a las biorrefinerías | 100 |
| Tabla 35. | Fondos disponibles para el financiamiento de proyectos de energías renovables. | 101 |
| Tabla 36. | Métodos para la identificación, predicción y evaluación de impactos ambientales | 105 |
| Tabla 37. | Formato para la presentación de la Evaluación de Impacto Social..... | 109 |
| Tabla 38. | Pasos a realizar para evaluación de impacto social..... | 110 |
| Tabla 39. | Matriz de clasificación y evaluación de impacto social. | 111 |
| Tabla 40. | Descripción de los criterios para la evaluación de los impactos sociales. | 111 |
| Tabla 41. | Escala y significado de la calificación de los impactos sociales..... | 112 |
| Tabla 42. | Descripción del resultado de la evaluación de los impactos sociales positivos identificados..... | 114 |
| Tabla 43. | Descripción del resultado de la evaluación de los impactos sociales negativos identificados. | 114 |

Figuras

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1. | Oferta de energía mundial total primaria de 1971 a 2013 por fuente de energía | 5 |
| Figura 2. | Oferta mundial de energía del 2013 por fuente de generación..... | 5 |
| Figura 3. | Consumo total final de la energía mundial de 1971 a 2013 por fuente de energía. | 6 |
| Figura 4. | Consumo mundial de energía, 2013..... | 7 |
| Figura 5. | Oferta nacional de energía, 2014 | 9 |
| Figura 6. | Consumo final total por tipo de combustible, 2014..... | 11 |
| Figura 7. | Consumo nacional de energía por sectores, 2014 | 12 |
| Figura 8. | Consumo de energía del sector transporte, 2013..... | 13 |
| Figura 9. | Consumo energético del sector industrial, 2014 | 14 |
| Figura 10. | Consumo de energía del sector residencial, comercial y público en 2014 | 15 |
| Figura 11. | Evolución de la producción y el consumo nacional de energía | 16 |
| Figura 12. | Índice de independencia energética | 17 |
| Figura 13. | Mecanismo de la energía sobrante y faltante. | 27 |
| Figura 14. | Estructura del marco legal en materia de energía..... | 31 |
| Figura 15. | Vías de transformación de los biocombustibles | 33 |
| Figura 16. | Fase I de una biorrefinería. | 34 |
| Figura 17. | Fase II de una biorrefinería. | 35 |
| Figura 18. | Fase III de una biorrefinería. | 35 |
| Figura 19. | Red de configuraciones de una biorrefinería interrelacionadas. | 38 |
| Figura 20. | Niveles de desarrollo de los proyectos de inversión. | 49 |
| Figura 21. | Etapas de la metodología FEL..... | 54 |
| Figura 22. | Evaluaciones a realizarse en un proyecto de biorrefinación | 63 |
| Figura 23. | Metodología de evaluación integral de alternativas..... | 63 |
| Figura 24. | Matriz ejemplo para la evaluación multicriterio. | 65 |
| Figura 25. | Procedimiento de formulación y evaluación de un proyecto de biorrefinación. | 67 |
| Figura 26. | Plan de trabajo de la ingeniería conceptual biorrefinería. | 69 |
| Figura 27. | Procedimiento a seguir para realizar el estudio de mercado sin tener con base a materia prima susceptible a ser transformada en biocombustibles... .. | 71 |
| Figura 28. | Procedimiento para realizar estudio de mercado con base en un producto ... previamente propuesto. | 73 |
| Figura 29. | Origen de las materias primas susceptibles a ser transformadas a biocombustibles de segunda generación. | 74 |
| Figura 30. | Matriz de evaluación para la selección de la materia prima a partir de residuos. | 77 |
| Figura 31. | Matriz de evaluación para la selección de la materia prima cultivable no comestible..... | 78 |
| Figura 32. | Matriz de evaluación para la selección de la localización..... | 84 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Figura 33. | Matriz de evaluación para la selección de la tecnología que procese la materia prima. | 87 |
| Figura 34. | Matriz de evaluación para la selección de la transferencia tecnología (licencia). | 92 |
| Figura 35. | Estado de resultado proyectado a 20 años. | 98 |
| Figura 36. | Criterios y atributos para la evaluación de impacto ambiental propuesta por Batelle-Columbus..... | 107 |

1 *Introducción*

Una biorrefinería tiene como objetivo producir sustentablemente energía, combustibles, productos orgánicos y polímeros a partir de la biomasa con la finalidad de disminuir la dependencia a los hidrocarburos.

El desarrollo de biorrefinerías en México ayudará a la autosuficiencia energética a través de la diversificación del portafolio energético. En el aspecto social, las biorrefinerías impulsarán el desarrollo económico en las zonas rurales disminuyendo la marginación social. Ambientalmente, ayudarán a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuirán a solucionar la problemática de disposición de residuos sólidos urbanos (RSU).

En México, actualmente se importa más del 40% de la gasolina y más del 30% del diésel consumido (Tabla 1). Una biorrefinería enfocada a la producción de bioetanol y de biodiésel, pueden conducir a un superávit o disminuir el déficit en la balanza comercial al disminuir las importaciones de combustible.

Tabla 1. Cantidad de gasolina y diésel consumido en México en 2014 (PJ).

| | Gasolina | | Diésel | |
|-------------------------|----------|---------|--------|---------|
| Importaciones | 711.47 | 47.39% | 273.99 | 31.79% |
| Producción bruta | 789.98 | 52.61% | 587.94 | 68.21% |
| Total | 1501.45 | 100.00% | 861.93 | 100.00% |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Actualmente existen fondos, incentivos, leyes y políticas públicas que involucran el tema de la transición energética. Este es el momento idóneo para empezar a realizar cambios en el sector energético, marcar pautas y crear guías para poder implementar un proyecto de biorrefinación en México, dado que las fuentes petroleras disminuyen y el sector de hidrocarburos día a día se debilita. México cuenta con la mayoría de los recursos necesarios para realizar la transición energética, es momento de empezar a proponer proyectos sustentables, con mayores alcances que los que se tienen actualmente.

1.1 Problemática

En México existen biorrefinerías a escala piloto pero no existen a escala comercial. La experiencia en el desarrollo de proyectos de biorrefinación es escasa además de la nula existencia de lineamientos, criterios o guías para el desarrollo de este tipo de proyectos tan importantes y necesarios en este momento en que la industria del petróleo se ha visto fuertemente debilitada y la atención a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero es prioritaria.

1.2 Justificación

Ante la inminente y necesaria transición energética en México, aunado a la nula experiencia de implementación de biorrefinerías a escala industrial, es necesario contar con guías que permitan definir los criterios técnicos, económicos, legales, ambientales y sociales para evaluar la viabilidad de un proyecto de este tipo, facilitar la toma de decisiones y agilizar la consolidación del mismo en caso de que sea viable.

El desarrollo e implementación de proyectos enfocados a producir biocombustibles de segunda generación, es una oportunidad para generar energía de manera limpia, crear un superávit en la balanza comercial, aumentar la seguridad energética, aprovechar los 22.06 millones de toneladas de residuos orgánicos que se generan en México anualmente (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012), impulsar la economía y el desarrollo en las zonas rurales así como en las grandes urbes; sin comprometer la seguridad alimenticia del país ya que los biocombustibles de segunda generación no utilizan alimentos como materia prima.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una guía para la implementación de una biorrefinería de escala comercial enfocada a la producción de biocombustibles de segunda generación en México, mediante la propuesta de procedimientos, desarrollo de formatos y selección de criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales y legales; en cada etapa de evaluación de la factibilidad del proyecto y del FEL II.

1.3.2 Objetivos particulares

- Recopilar información sobre el consumo y la producción de energía en México mediante un análisis de datos para identificar los sectores que más demandan energía.
- Proponer criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales, financieros y jurídicos necesarios para la formulación y evaluación de un proyecto de biorrefinación de segunda generación a escala industrial.
- Identificar y proponer procedimientos de realización de los estudios necesarios para la definición de la etapa de FEL II de un proyecto de biorrefinación a escala comercial nivel perfil.

2 Marco Teórico

La situación energética actual en México es preocupante ya que el consumo está llegando a ser de la misma magnitud que la producción de energía, lo que significa que la seguridad energética está en riesgo, aunado a ello se tiene la problemática ambiental respecto al cambio climático y la emisión de gases contaminantes.

El gobierno de México se ha dado a la tarea de expedir leyes y plantear acciones en los planes, programas y estrategias nacionales para solucionar dichas problemáticas. Estas acciones incluyen el uso de bioenergéticos para la diversificación de fuentes de energía.

En este capítulo se analiza la situación energética nacional e internacional, el marco jurídico en materia de bioenergéticos y se define el concepto de biorrefinería.

2.1 Situación internacional en materia de energía

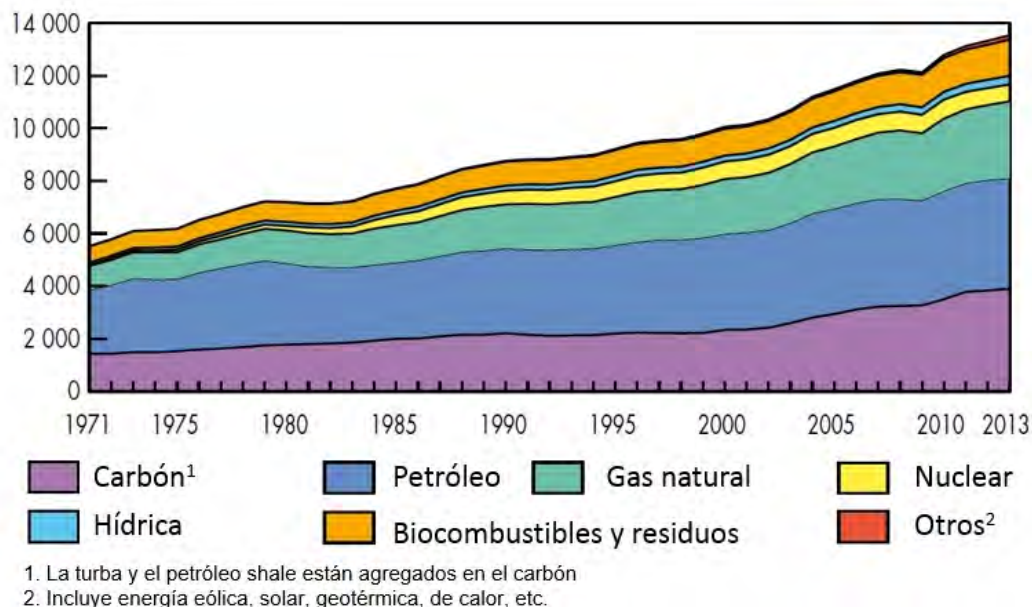
Es necesario abordar el contexto energético mundial para entender el impacto que tiene México en el mundo en materia de energía, así como para informarse acerca de las fuentes que existen y en qué proporciones son utilizadas en el contexto internacional.

2.1.1 Oferta de energía

La oferta de energía ha aumentado a más del doble en los últimos 30 años, pasando de una oferta registrada en 1973 de 6,100 toneladas de petróleo equivalente (Mtoe), hasta una de 13,541 Mtoe en 2013 (Agencia Internacional de Energía, 2015).

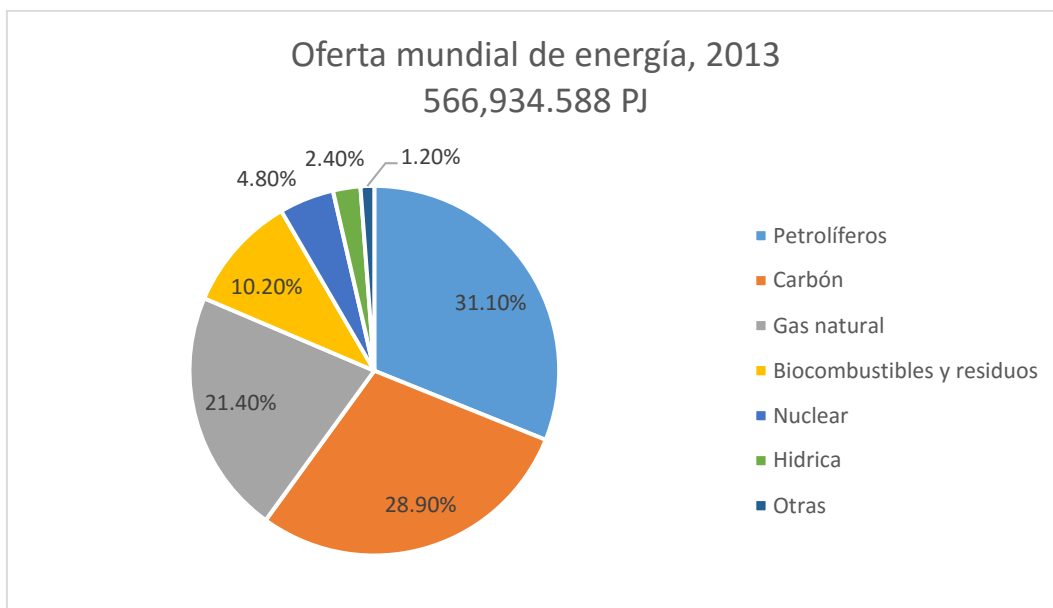
La mayor parte de la energía mundial se genera y se ha generado a través de fuentes de energía no renovables como el carbón, el petróleo, el gas natural, la energía nuclear, y sólo una minúscula parte ha sido generada mediante energías

renovables como los biocombustibles, la energía eólica, solar, geotérmica y energías limpias como aprovechamiento de calor como la cogeneración, por mencionar los principales (Figura 1).



Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2015)

Figura 1. Oferta de energía mundial total primaria de 1971 a 2013 por fuente de energía.



Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2015)

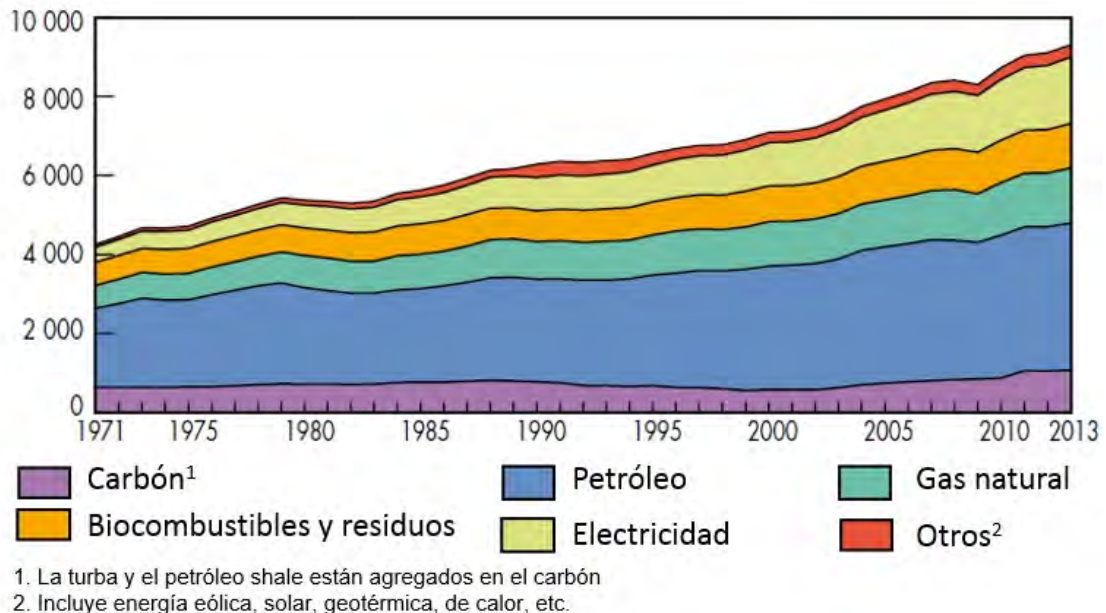
Figura 2. Oferta mundial de energía del 2013 por fuente de generación.

En 2013, a nivel internacional, se produjeron 566,934.588 PJ con las fuentes de energía presentadas en la Figura 2. Los tres combustibles que generaron mayor energía fueron los petrolíferos, el carbón y el gas natural cuyos porcentajes suman un total de 81%, por otra parte, los biocombustibles y residuos generaron el 10% del total de la energía (Figura 2).

2.1.2 Consumo de energía

El consumo de energía ha ido en aumento notablemente, en 1973 la demanda de energía era de 4,667 Mtoe, 30 años después se tiene una demanda de 9,301 Mtoe, ligeramente por debajo del doble del consumo de 1973 (Agencia Internacional de Energía, 2015).

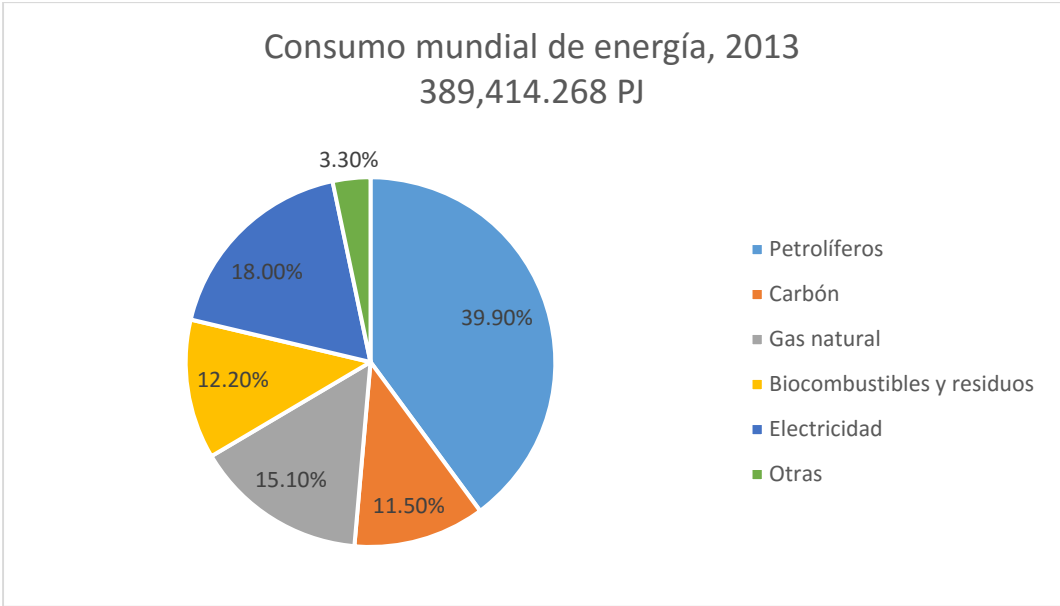
Mundialmente el petróleo ha sido el combustible que más se ha consumido a lo largo de los años y el consumo del gas natural, la electricidad y los biocombustibles han sido utilizados en una proporción similar (Figura 3).



Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2015)

Figura 3. Consumo total final de la energía mundial de 1971 a 2013 por fuente de energía.

Con los datos más recientes se puede afirmar que el petróleo es el combustible que sigue liderando el consumo mundial de energía ocupando casi el 40% del total de consumo de energía seguido de la electricidad con el 18%. Los biocombustibles por su parte ocupan el cuarto lugar de los seis combustibles más utilizados mundialmente, representando el 12.2% del consumo final mundial (Figura 4).



Fuente: (Agencia Internacional de Energía, 2015)

Figura 4. Consumo mundial de energía, 2013.

2.1.3 Relación entre la oferta y la demanda de energía

El consumo final total mundial de energía en el 2013 fue de 9,301 Mtoe y la oferta mundial total fue de 13,541 Mtoe. Esto demuestra que el consumo de energía en el 2013 se cubrió por completo, más aún, la oferta de energía fue 1.45 veces mayor que el consumo.

Tabla 2. Combustibles comparables en la oferta y la demanda de energía mundial.

| Combustible | Consumo (Mtoe) | Oferta (Mtoe) | Porcentaje de consumo |
|-----------------------------------|----------------|---------------|-----------------------|
| Petrolíferos | 3,711.10 | 4,211.25 | 88% |
| Carbón | 1,069.62 | 3,913.35 | 27% |
| Gas natural | 1,404.45 | 2,897.77 | 48% |
| Biocombustibles y residuos | 1,134.72 | 1,381.18 | 82% |
| Total de combustibles | 7,626.82 | 12,566.05 | 61% |

Fuente: Elaboración propia con información de (Agencia Internacional de Energía, 2015)

En los datos estadísticos presentados, los combustibles que tanto en la oferta como en la demanda son mencionados son los petrolíferos, el carbón, el gas natural, los biocombustibles y residuos. Se consume el 88% del total de petrolíferos producidos y el 82% del total de biocombustibles que se generan (Tabla 2).

2.2 Situación nacional en materia de energía

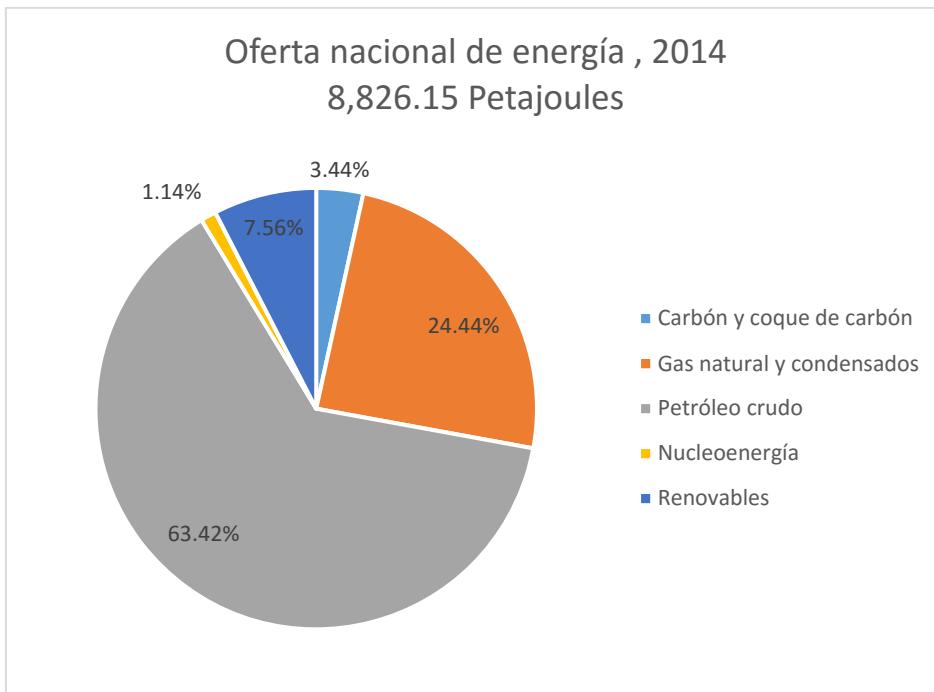
En el presente apartado se abordará la distribución del consumo de energía por sector y por combustible, así como la oferta por combustible de energía contrastando la demanda con la producción de energía para identificar las áreas de oportunidad que el sector energético de México posee.

2.2.1 Oferta de energía

La oferta nacional de energía corresponde a un valor de 8,826.15 PJ, que representa el 1.56% de la energía mundial producida. La oferta nacional de energía decreció un 2.1% con respecto al 2013 (Secretaría de Energía, 2014).

Los combustibles que son más utilizados son el petróleo crudo y el gas natural/condensados, los cuales suman 87.9%, mientras que las energías renovables representan el 7.56% (Figura 5), estas mismas tuvieron un crecimiento del 4.87% con respecto al 2013. Cabe mencionar que, del porcentaje aportado de

energías renovables, 7.56%, la biomasa y el biogás aportan el 4.1% (Secretaría de Energía, 2014).



Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 5. Oferta nacional de energía, 2014

La nucleoenergía y el petróleo crudo presentaron una variación negativa con respecto al 2013 de 17.91% y de 3.74%, respectivamente; a diferencia de las energías renovables, las cuales presentaron un aumento de la energía ofertada de 4.91% (Tabla 3).

Tabla 3. Producción de energía primaria (Petajoules).

| Energético | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | Variación porcentual |
|----------------------------------|----------|----------|--------|--------|----------------------|
| Carbón y coque de carbón | 299.88 | 303.37 | 3.32% | 3.44% | 1.16% |
| Gas natural y condensados | 2,146.81 | 2,158.00 | 23.80% | 24.45% | 0.52% |
| Petróleo crudo | 5,814.63 | 5,597.20 | 64.46% | 63.42% | -3.74% |
| Nucleoenergía | 122.60 | 100.60 | 1.36% | 1.14% | -17.94% |
| Renovables | 636.01 | 666.98 | 7.05% | 7.56% | 4.87% |
| Total | 9,019.93 | 8,826.15 | 100% | 100% | -2.15% |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Entrando en tema de energías renovables es importante tener en cuenta la cantidad de energía que cada tecnología aporta. La tecnología que mayor energía aporta a la producción nacional es la biomasa que utiliza como materia prima el bagazo de caña y la leña con 363.28 PJ y la que menos energía aporta es el biogás con 1.97 PJ. El 4.14% de la energía total es generado mediante la biomasa y el biogás, es decir, biocombustibles (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de energía mediante energías renovables (Petajoules).

| Renovables | 2013 | 2014 | Variación porcentual | Estructura porcentual |
|-----------------------|--------|--------|----------------------|-----------------------|
| Hidroenergía | 100.81 | 140.01 | 38.89% | 1.59% |
| Geoenergía | 131.32 | 129.88 | -1.09% | 1.47% |
| Solar | 7.60 | 8.73 | 15.00% | 0.10% |
| Energía Eólica | 15.06 | 23.13 | 53.57% | 0.26% |
| Biogás | 1.97 | 1.94 | -1.57% | 0.02% |
| Biomasa | 379.26 | 363.28 | -4.21% | 4.12% |
| Bagazo de caña | 123.83 | 109.16 | -11.85% | 1.24% |
| Leña | 255.42 | 254.12 | -0.51% | 2.88% |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

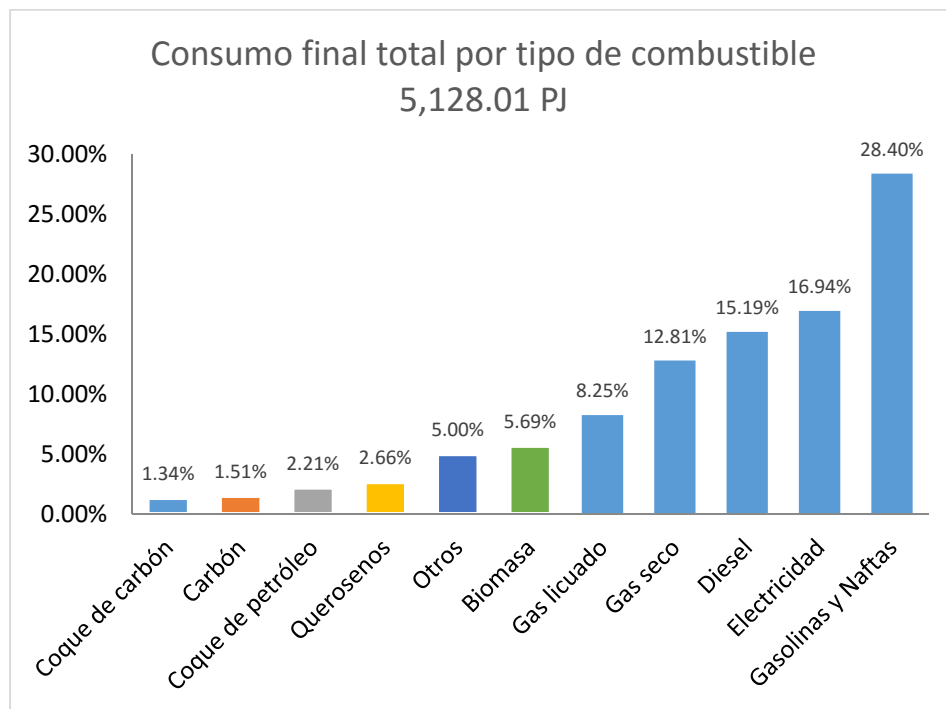
2.2.2 Consumo de energía

El consumo nacional de energía es de 8,624.26 PJ, el 1.32% del consumo de la energía mundial, este flujo comprende dos divisiones: consumo del sector energético y el consumo final total (Secretaría de Energía, 2014).

El consumo final de energía es de 5,128.01 PJ (definido como la suma del consumo no energético total y el consumo energético total), este flujo representa la energía que se destina al mercado interno o a las actividades productivas de la economía nacional (Secretaría de Energía, 2014).

Los tres combustibles más consumidos dentro del consumo de energía final son las gasolinas y naftas representando el 28.4%, la electricidad el 16.94% y el diésel

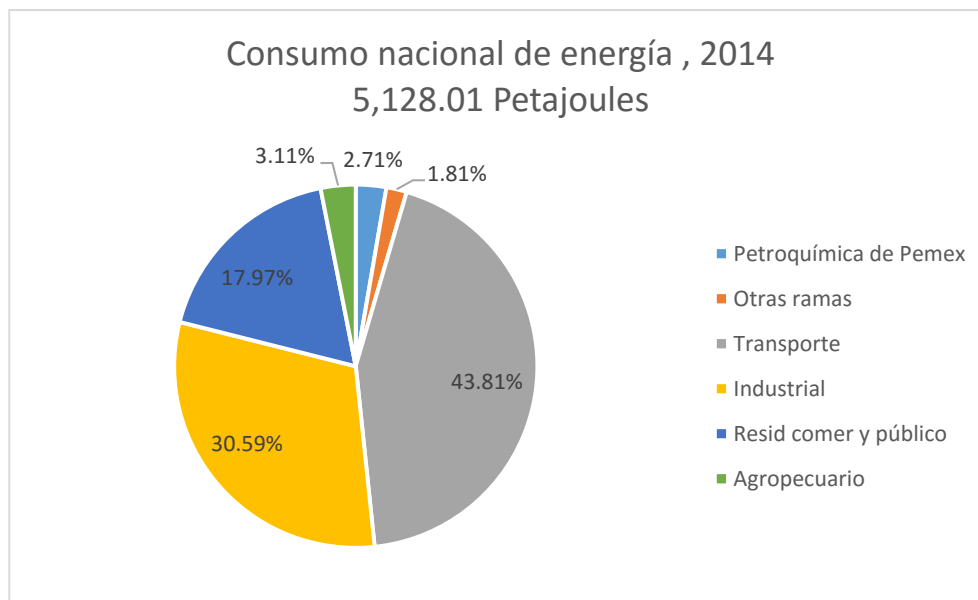
15.19%. La biomasa, por su parte, ocupa el sexto lugar de combustibles más consumidos representando el 5.69% del consumo final de energía (Figura 6).



Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 6. Consumo final total por tipo de combustible, 2014

Analizando el consumo final por sectores se tiene que el sector transporte ocupa el primer lugar en consumo de energía con un porcentaje de 43.81%, seguido del sector industrial con un 30.59% y en tercer lugar el sector residencial, comercial y público con 17.97%; en total los tres sectores representan el 92.36% de la energía total consumida (Figura 7).



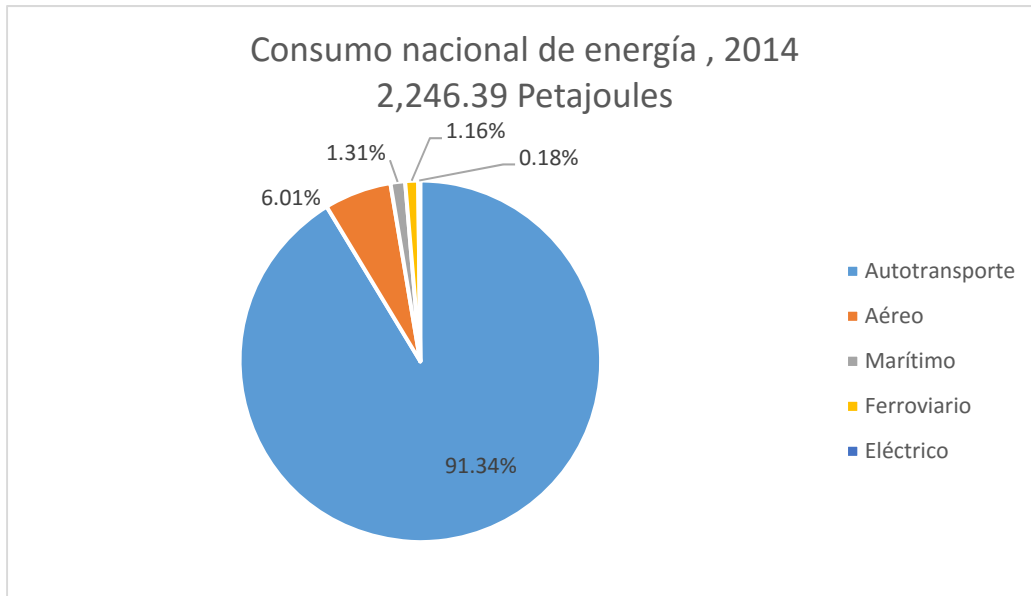
Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 7. Consumo nacional de energía por sectores, 2014

2.2.2.1 Sector transporte

El sector de transporte es el más importante al ser el que mayor consumo de energía demanda, en el 2014 totalizó 2,246.39 PJ, 0.7% menor con respecto a 2013 (Secretaría de Energía, 2014).

La mayor demanda de combustible la tiene el autotransporte representando el 91.34%, seguido del aéreo con 6.01% (Figura 8). Los combustibles que más demanda el autotransporte son la gasolina y el diésel que coinciden con los combustibles más demandados a nivel nacional. El transporte aéreo por su lado, demanda mayormente queroseno (Secretaría de Energía, 2014).



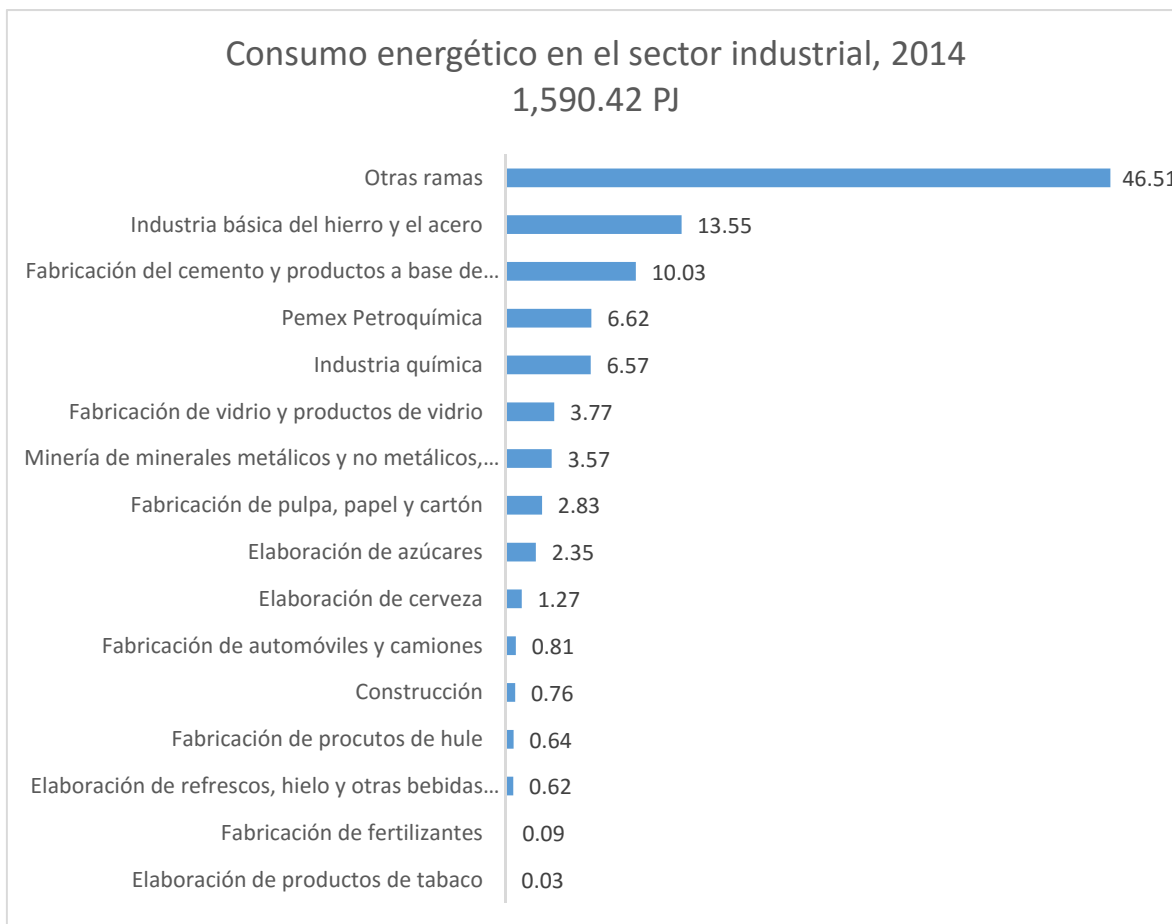
Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 8. Consumo de energía del sector transporte, 2013.

2.2.2.2 Sector industrial

El sector industrial es el segundo sector que más consume energía en el país con 1,590.42 PJ, el cual disminuyó 1.38% con respecto a 2013 (Secretaría de Energía, 2014).

Los sectores industriales más intensivos en el uso de energía son la industria básica del hierro y el acero, la fabricación del cemento y productos a base de cemento en plantas integradas, la industria petroquímica y la industria química, sumando un total de 36.77% del consumo total de energía (Figura 9).



Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

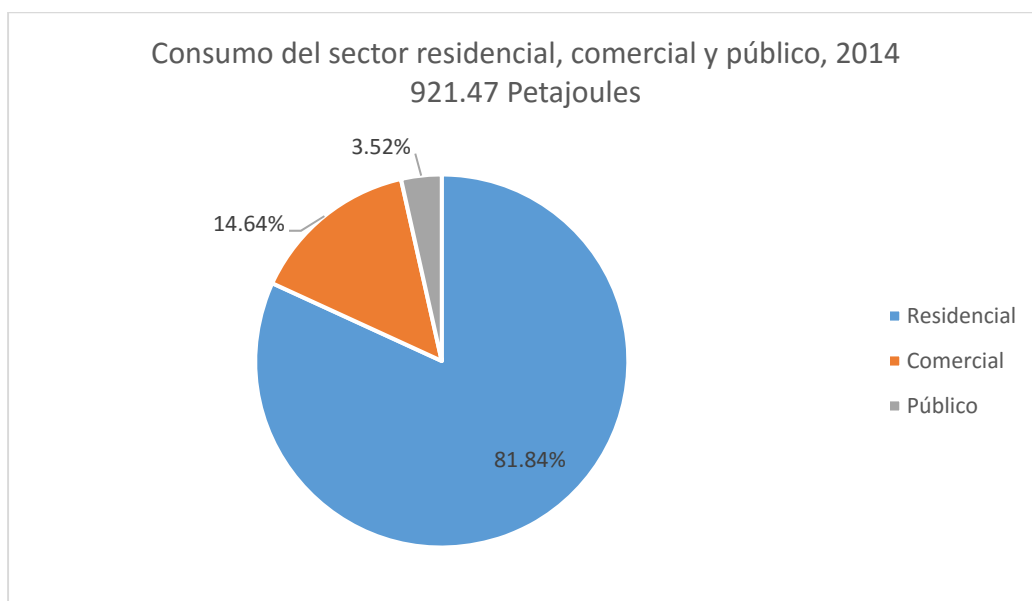
Figura 9. Consumo energético del sector industrial, 2014

El gas seco es el combustible más utilizado en la industria representando el 38.46%, seguido de la electricidad con 34.96%, los demás combustibles aportan menos del 10% de energía en la estructura porcentual (Secretaría de Energía, 2014).

2.2.2.3 Sector residencial, comercial y público

El tercer sector más intensivo en uso de energía es el sector residencial, comercial y público con 921.47 PJ. De estos tres, el sector residencial es el que demanda más energía representando el 81.84%, seguido del sector comercial con un porcentaje de 14.64 (Figura 10).

Los combustibles que más se utilizan en este sector son la electricidad y el gas licuado (Secretaría de Energía, 2014).



Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 10. Consumo de energía del sector residencial, comercial y público en 2014.

2.2.2.4 Sector Agropecuario

El sector agropecuario demandó 159.48 PJ, representando el 3.8% del consumo nacional en 2014. La demanda de este sector aumentó 0.6% respecto al 2013.

El combustible más utilizado fue el diésel representando el 73.54% del consumo total mientras que la electricidad representó el 22.65%. En 2014 se dejó de utilizar el queroseno como combustible y se disminuyó el consumo de electricidad, lo que provocó una variación porcentual positiva en el consumo de gas licuado y de diésel (Tabla 5).

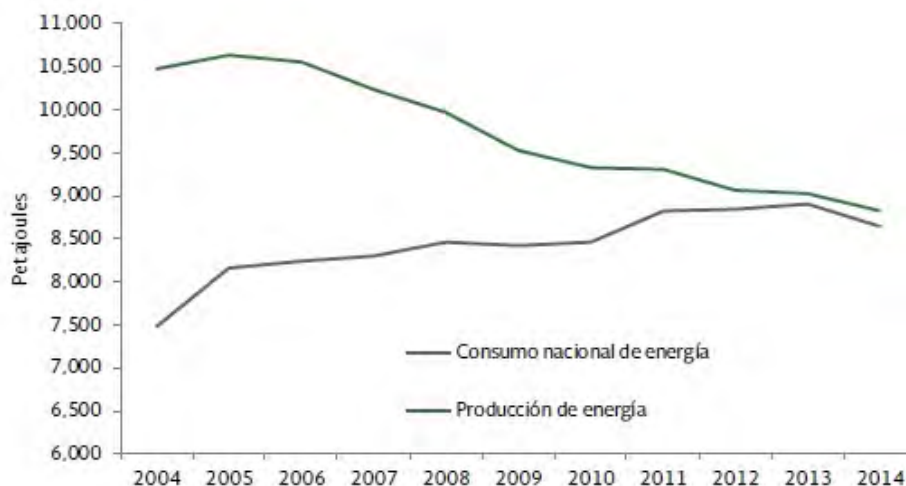
Tabla 5. Consumo de energía en el sector agropecuario (Petajoules).

| Combustible | 2013 | 2014 | Variación porcentual | Estructura porcentual |
|--------------|---------------|---------------|----------------------|-----------------------|
| Gas licuado | 6.03 | 6.08 | 1.46% | 3.81% |
| Querosenos | 0.01 | 0.00 | -84.37% | 0.00% |
| Diésel | 115.55 | 117.28 | 1.5% | 73.54% |
| Electricidad | 37.03 | 36.12 | -2.46% | 22.65% |
| Total | 158.62 | 159.48 | 0.55% | 100.00% |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

2.2.3 Relación entre la oferta y la demanda de energía

En 2005 la producción de energía comenzó a descender a una tasa promedio anual de 3.3% y el consumo continuó su incremento a una tasa de 0.4% anual por habitante (Secretaría de Energía, 2014). En 2013 el consumo estuvo cerca de igualar la producción, sin embargo, se tomaron las medidas pertinentes de eficiencia energética para disminuir la demanda de energía y se logró tener un decremento importante en el consumo energético en 2014 (Figura 11).

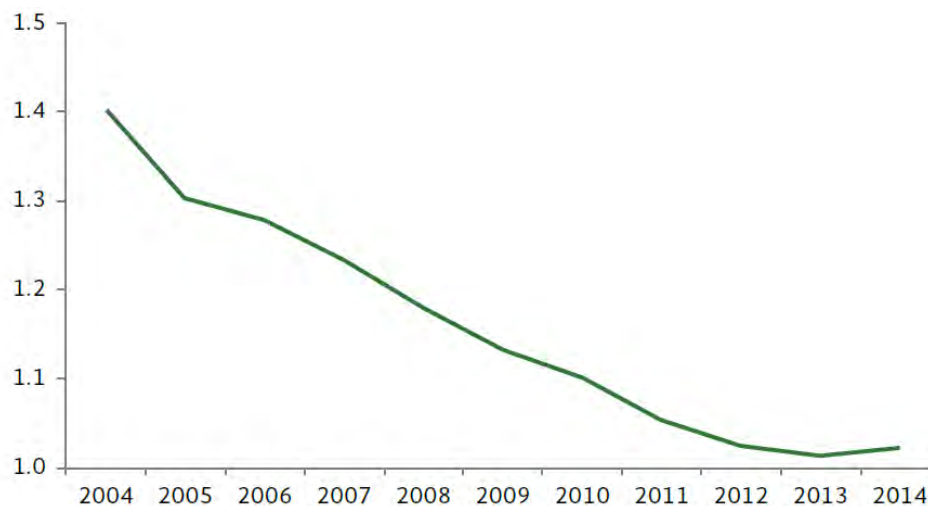


Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 11. Evolución de la producción y el consumo nacional de energía

La brecha entre el consumo y la producción de energía es representada mediante el índice de independencia energética el cual es un indicador que se utiliza a nivel internacional para medir el grado en que un país puede cubrir su consumo de

energía. A partir del 2005, dicho índice ha ido disminuyendo a través de los años hasta el 2014 que aumentó ligeramente (Figura 12).



Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Figura 12. Índice de independencia energética

El consumo final total nacional de energía en 2014 fue de 8,624.26 PJ y la producción de energía primaria fue de 8,826.15 PJ (Secretaría de Energía, 2014). Esto demuestra que el consumo de energía en 2014 se cubrió totalmente. La oferta de energía fue 2.3% mayor que el consumo. El consumo final nacional de energía es de 5,128.01 PJ, lo que representa el 59.5% de la producción nacional bruta.

Existen dos soluciones para aumentar el índice de independencia energética. La primera es implementar medidas de eficiencia energética en los sectores que más demanden energía para disminuir el consumo energético y la segunda es diversificar el portafolio energético para aumentar la producción de energía. La población de México va en aumento así que la oportunidad de implementar proyectos de generación de energía es estrictamente necesaria para que la seguridad energética no se vea debilitada.

2.3 Marco jurídico en materia de energías renovables

En este apartado se abordan las leyes, los planes y las estrategias relativas a las energías renovables que delimitan las actividades e identifican los impulsores de proyectos de energías renovables enfocados específicamente a los biocombustibles, principal producto de las biorrefinerías.

Asimismo, se identifican las instituciones gubernamentales que regulan y promueven los proyectos de biocombustibles, así como los incentivos que existen para su implementación.

2.3.1 Leyes

En los últimos años México ha adquirido compromisos frente a entidades internacionales para la mitigación del cambio climático disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero, así mismo se ha visto una disminución en la producción del petróleo, principal combustible que produce México. Lo anterior ha llevado a establecer políticas y leyes que regulan e incentivan la diversificación de fuentes de energía, así como la mitigación de gases de efecto invernadero. Recientemente se han promulgado reformas constitucionales en materia de energía que han ido perfilando las acciones y han contribuido a la elaboración de instrumentos legales para la generación y uso de energía sustentable (Tabla 6).

Tabla 6. Instrumentos legales que regulan la generación de energía en materia de biocombustibles.

| Año | Instrumento Legal | Objeto |
|------|--|---|
| 1917 | Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) | <p>El artículo 4° dicta que corresponde al Estado garantizar el derecho a un medioambiente sano.</p> <p>El artículo 25 expone que corresponde al Estado garantizar que el desarrollo nacional sea sustentable.</p> <p>El artículo 27 dicta que fomentará el uso óptimo de la tierra promoviendo un desarrollo rural integral.</p> <p>El artículo 28 expone que el Estado ejerce la función de manera exclusiva como área estratégica la electricidad.</p> |
| 2012 | Ley General de Cambio Climático (LGCC) | <p>Regula las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos negativos del cambio climático, promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.</p> <p>En esta Ley se propuso que para en el 2024 el 35% de la energía eléctrica producida provenga de tecnologías limpias.</p> |
| 2008 | Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) (Derogada) | <p>Promueve el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo.</p> |

| Año | Instrumento Legal | Objeto |
|-------------|---|--|
| 2008 | Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) (Derogada) | Regula el aprovechamiento de fuentes de energía renovables para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica. Establece la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética. |
| 2008 | Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) | Promueve y desarrolla bioenergéticos para contribuir al desarrollo sustentable y diversificar las fuentes de energía, que son condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano. Aunado a lo anterior, establece que los insumos utilizados para los bioenergéticos no deben poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria. |
| 2015 | Ley de Transición Energética (LTE) | En sustitución a la LASE y la LAERFTE, se creó la presente ley que regula el aprovechamiento sustentable de la energía y de los residuos, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos. |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Programas y lineamientos

Los programas y lineamientos son las políticas que dictan los objetivos, las estrategias y las líneas de acción que se implementan durante el periodo de gobernación del Ejecutivo Federal. A continuación, se muestran en orden cronológico los programas en materia energética enfocados a los biocombustibles (Tabla 7).

Tabla 7. Planes y lineamientos en materia de biocombustibles.

| Año | Instrumento Legal | Objeto |
|-------------|---|--|
| 2013 | Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 | Regir la programación y el presupuesto de la Administración Pública Federal. Este documento plantea 31 objetivos, 118 estrategias y 819 líneas de acción que se seguirán durante el sexenio correspondiente. El objetivo principal del presente PND es “Llevar a México a su máximo potencial”. |
| 2013 | Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 | Fomentar el crecimiento del PIB y lograr una inclusión social con elementos de integración como son la eficiencia energética y ambiental, sustentabilidad y la seguridad energética con las medidas de política de refinación; procesamiento y generación; transición energética y producción de petróleo, transporte, almacenamiento y distribución, las cuales seguirán diversas líneas de acción. |
| 2013 | Estrategia Nacional del Cambio Climático Visión 10-20-40 | Regir la política nacional en el mediano y largo plazos para la mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático y así como perfilar una economía sustentable, competitiva y de bajas emisiones de carbono. |

| Año | Instrumento Legal | Objeto |
|-------------|---|--|
| 2013 | Reforma Energética 2013 | Reducción de los precios de la electricidad, contar con un mayor abasto de energéticos a mejores precios, garantizar estándares internacionales de eficiencia, transparencia y rendición de cuentas, creación del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo, atraer inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país, reducir los riesgos financieros, geológicos y ambientales en las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas. |
| 2013 | Programa Sectorial de Energía 2013-2018 | Regir el desempeño del sector energético del país optimizando la capacidad productiva de hidrocarburos, expandir infraestructura eléctrica nacional, aumentar la oferta de combustibles y electricidad, ampliar la utilización de fuentes de energías limpias y renovables, promoviendo la eficiencia energética y la responsabilidad social y ambiental. Fortalecer el financiamiento y seguridad en las distintas industrias energéticas nacionales. |
| 2013 | Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2013-2027 | Propone un mecanismo que impulsa políticas, programas, acciones y proyectos para aprovechar un mejor aprovechamiento y un mayor uso de las fuentes renovables de energía con la finalidad de promover la sostenibilidad y la eficiencia energética y así lograr una mayor independencia de fuentes fósiles de energía. |

| Año | Instrumento Legal | Objeto |
|------|--|--|
| 2014 | Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018 | Promueve la participación social estableciendo metas para la introducción de las energías renovables en México para la generación de energía eléctrica además de definir objetivos específicos para la obtención de beneficios de las energías renovables, en el programa se establecen distintas estrategias y acciones para lograr los objetivos planteados. |
| 2014 | Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018 | Dirigir el aprovechamiento sustentable de la energía, es decir, hacer uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética. |
| 2014 | Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios 2014-2018 | Integrar un conjunto de recomendaciones de política pública que impulsen la transición hacia tecnologías y combustibles más limpios en México, a partir de consultas con expertos nacionales e internacionales. |

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Organismos Gubernamentales del Sector Energético

Es importante identificar los organismos gubernamentales que regulan las acciones que se realizan en materia de energía para saber dónde y a quién pedir el apoyo necesario para implementar una biorrefinería en México (Tabla 8).

Tabla 8. Organismos gubernamentales del sector energético

| Organismo | Objeto |
|--|---|
| <p>Secretaría de Energía (SENER)</p> | <p>Dirige la política energética del país y todo lo relacionado a la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica como servicio público, ejerciendo los derechos de la nación sobre los recursos no renovables.</p> |
| <p>Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)</p> | <p>Aprovecha sustentablemente los recursos del país, el crecimiento sostenido y equilibrado de las regiones, la generación de empleos atractivos que propicien el arraigo en el medio rural y el fortalecimiento de la productividad promoviendo los procesos de agregación de valor y la producción de energéticos, por mencionar algunos aspectos.</p> |
| <p>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)</p> | <p>Asegura la óptima protección, conservación y aprovechamiento de recursos naturales del país permitiendo alcanzar el desarrollo sustentable. Entre sus aspectos prioritarios están: La prevención y control de contaminación y el combate al cambio climático.</p> |
| <p>Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)</p> | <p>Promueve la eficiencia energética y funge como órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.</p> |
| <p>Comisión Reguladora de Energía (CRE)</p> | <p>Regula de manera transparente, imparcial y eficiente las actividades de la industria energética que son de su competencia, con el fin de generar certidumbre que aliente la inversión productiva, fomente una sana competencia, propicie una adecuada cobertura y atienda la confiabilidad, calidad y seguridad en el suministro y la prestación de los servicios a precios competitivos, en beneficio de la sociedad.</p> |

| Organismo | Objeto |
|--|---|
| Comisión Federal de Electricidad (CFE) | Dirige el sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica sin fines de lucro realizando dicha tarea a un costo mínimo con el mayor rendimiento, en otras palabras, eficiente. |
| Centro Nacional de Control de la Energía (CENACE) | Realiza transacciones de los productos de electricidad mediante el control operativo del Sistema Eléctrico Nacional, opera el mercado eléctrico mayorista, y se encarga del acceso a la Red Nacional de Transmisión y las redes generales de distribución |

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Incentivos

Para promover la implementación de proyectos de energías renovables y de eficiencia energética, parte de los impulsores son los incentivos que se han propuesto. Las biorrefinerías que tienen como producto los biocombustibles, pueden utilizar los incentivos fiscales y económicos disponibles en caso de ser implementadas, a continuación se describirán los vigentes al 2015.

2.3.5 Arancel Cero

El 6 de julio de 2007 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la fracción arancelaria 9806.00.02 que establece lineamientos para otorgar el permiso de importar equipo anticontaminante y sus partes a una determinada tarifa.

El arancel cero es un incentivo que promueve los procesos productivos y de consumo sustentable, la Ley de Impuestos Generales de Importación y de Exportación (LIGIE) permite la importación exenta del pago de arancel para equipos anticontaminantes con un permiso previo cuando las empresas se ajusten a los lineamientos que establecen las Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y de Economía.

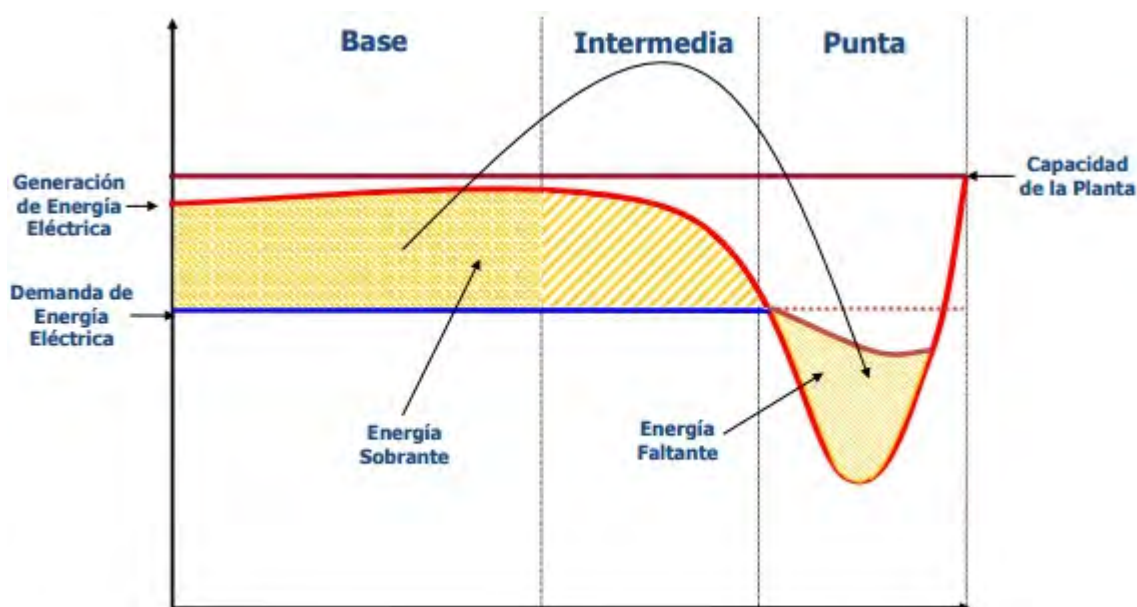
El presente instrumento significa un ahorro de entre 15% y 20% (Instituto Nacional de Ecología), para el importador y con él se pretende favorecer en el corto plazo la disponibilidad de los equipos citados en el artículo 3 de la fracción arancelaria 9806.00.02 (Diario Oficial de la Federación, 2007):

- Aire: Equipos para control de emisiones de gases o vapores, para la reducción o el control de emisiones de contaminantes del aire, para el control de emisiones de partículas (polvos, humos y neblinas), para la reducción y/o control de emisiones vehiculares y ahorro de energía en el transporte de carga y pasajeros, equipos de muestreo, monitoreo y registro de emisiones en fuentes fijas o móviles y de concentraciones de contaminantes en el aire, equipos que permitan optimizar el consumo eficiente de energía con los sistemas de instrumentación asociados y equipos para recuperar, reciclar, regenerar sustancias que agotan la capa de ozono
- Agua: Equipos de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. Equipos de eliminación de microorganismos en aguas residuales, equipos de tratamiento de lodos residuales en procesos industriales o urbanos, equipo de muestreo y análisis utilizados en procesos de tratamiento de aguas y efluentes y equipos de proceso con menor consumo de agua o menor generación de descarga de agua residual
- Suelo: Equipos de separación y tratamiento de residuos sólidos, de separación y tratamiento de residuos sólidos con sustancias químicas susceptibles de separarse, equipos para tratamiento térmico, químico o mecánico de residuos peligrosos, biológico-infecciosos, equipos de muestreo y análisis de contaminantes en suelos, equipos de recuperación, regeneración y tratamiento de aceites gastados y equipos que reduzcan la generación de residuos

2.3.6 Banco de Energía

El mecanismo de banco de energía tiene su fundamento en el Contrato de interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente el cual se publicó en el Diario de la Federación el 28 de abril de 2010.

La CRE expidió el contrato anterior que tiene como objeto realizar la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional y la central donde se encuentra la fuente de generación de energía eléctrica regulando los actos jurídicos que se desemboquen de su aplicación.



Fuente: (Comisión Reguladora de Energía, 2010)

Figura 13. Mecanismo de la energía sobrante y faltante.

El “Banco de Energía” es un mecanismo que soluciona la intermitencia de las fuentes de energías renovables y cogeneración, el mecanismo consiste en almacenar la energía asociada a la potencia sobrante que se genera cuando la potencia entregada por la fuente de energía en el punto de interconexión es mayor que la potencia de compromiso del Permisionario. Esto con el fin de utilizarse cuando la generación propia sea insuficiente para cubrir la potencia de compromiso (Figura 13). Si el Permisionario no informa al Suministrador que desea vender su energía sobrante, el Suministrador dará por entendido que el

Permisionario ha decidido acumular su energía. En caso de que al final de un periodo de 12 meses de almacenamiento el Permisionario cuente con Energía sobrante, ésta será pagada por el Suministrador, el Permisionario podrá dejar una cantidad acordada de no más de 5% de la energía generada en dicho periodo (Diario Oficial de la Federación, 2010).

2.3.7 Metodología de Contraprestaciones para el Pago a los Generadores de Energías Renovables

En 2012, la CRE expidió una Metodología que determina los precios máximos y mínimos que el suministrador (CFE) pagará al Permisionario de una Central Renovable mediante contratos que se derivan de un proceso de licitación.

La Metodología permite establecer utilidades razonables a los generadores de electricidad por medio de fuentes de energías renovables, estableciendo el marco regulatorio que de manera efectiva y transparente ofrezca certidumbre a los interesados en generar energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables (Secretaría de Economía, 2013).

Las remuneraciones recibidas serán una herramienta importante para incentivar la inversión de proyectos que deseen generar electricidad utilizando fuentes de energía menos contaminantes como son las renovables.

2.3.8 Certificados de Energía Limpia

Los CEL fueron incluidos en la reforma energética en el 2013 y se encuentran mencionados en la Ley de Industria Energética. La SENER establece los criterios y requisitos para la adquisición de CEL y la CRE se encarga de otorgar y validar la titularidad de los CEL (Diario Oficial de la Federación, 2014).

Los Certificados de Energías Limpas son títulos emitidos por la CRE que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías

Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga (Diario Oficial de la Federación, 2014).

Este incentivo ha sido utilizado en diversas partes del mundo logrando aumentar el número de instalaciones que generan electricidad a través de fuentes de energías limpias, un ejemplo de ello es Gran Bretaña que logró incrementar la capacidad instalada de tecnologías renovables pasando de 3%, en 2002, a 13% en 2013 (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2015).

Para realizar una inversión en tecnologías limpias a través de los CELs se debe:

1. Establecer una obligación para generar un porcentaje mínimo de energía eléctrica proveniente de fuentes limpias para todos los suministradores del sistema eléctrico nacional.
2. Otorgar un certificado por cada Megawatt hora (la unidad más utilizada en los mercados de CELs en el mundo) a aquellos generadores de energía limpia que cumplan ciertos requisitos. De esta forma dichos generadores puedan obtener fondos adicionales por la venta de dicha energía (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2015).

Los suministradores de energía a la red nacional tendrán tres opciones:

1. Adecuar su producción para producir al menos el porcentaje de energía limpia que se establezca cada año.
2. Comprar certificados para cubrir dicha obligación en el caso de que no puedan configurar sus plantas.
3. Pagar una multa entre 6 y 50 salarios mínimos (aún no se especifican todas las multas) en caso de que no se lleven a cabo ninguna de las dos acciones anteriores. El dinero que se obtenga de las multas se destinará a un fondo de electrificación que repartirá estos recursos entre los generadores de energía limpia o acreedores de certificados (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2015).

2.3.9 Visión general del marco legal

Los límites e impulsores para implementar un proyecto de biorrefinación ya están establecidos y un beneficio adicional de ello es que se ofrece una mayor certidumbre a los inversionistas.

Una vez establecido el marco legal, lo siguiente es solicitar apoyo financiero a las instituciones pertinentes para implementar proyectos de biorrefinación con bases técnicas y económicas bien fundamentadas.

El sector energético no descuidará la generación de energía a través de combustibles fósiles ya que México ha sido productor a lo largo de la historia, tiene el know-how y los recursos, aunque cada vez más limitados, para seguir explotando yacimientos de crudo y gas. Sin embargo, ya se han tomado medidas para ir disminuyendo la dependencia de los hidrocarburos debido a la decadencia de los mismos y la volatilidad de sus precios. Actualmente se está llegando a un punto donde las tecnologías limpias están siendo igual o más rentables que la explotación del crudo.

El marco legal en materia de energías renovables se conforma de leyes que delimitan acciones y estipulan lineamientos a cumplir y planes a desarrollar, los planes y programas establecen objetivos y proponen estrategias que siguen distintas líneas de acción para alcanzarlos (Figura 14)



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Estructura del marco legal en materia de energía

Así como existen fondos para la mitigación de gases de efecto invernadero también existen incentivos para proyectos que ayuden a contrarrestar los efectos del cambio climático. Estos incentivos son importantes para promover la inversión en tecnologías renovables y energías limpias. En diversas partes del mundo se han implementado incentivos similares a los expuestos en este capítulo, estos han sido determinantes para la implementación de dichos proyectos en otros países. Aplicados correctamente México se puede lograr un desarrollo importante en materia de implementación de proyectos de obtención de energías limpias para lograr el objetivo de generar el 35% de la electricidad a través de ellas. Es necesario notar que el objetivo mencionado dice energías limpias y no energías renovables, lo anterior es porque existen energías consideradas limpias sin ser renovables como son la industria nucleoelectrica, la cogeneración y las hidroeléctricas.

Las tecnologías limpias, aunque ayudan a la protección del ambiente mediante la eficiencia de sus procesos no tienen el mismo impacto positivo que se tiene con las renovables, aunado a que no ofrecen una seguridad energética real porque dependen de recursos no renovables. Sin embargo, es un avance que da pauta a la implementación de tecnologías más complejas y de impacto positivo mayor como son las renovables.

El gobierno mexicano ya ha puesto las regulaciones, las instituciones e incentivos para que se desarrollen proyectos de energías renovables, el compromiso de realizar proyectos para que México alcance su máximo potencial también recae ahora en los diferentes sectores productivos y sociales.

2.3.10 Bioenergéticos

Los biocombustibles o bioenergéticos son combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades, agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos, por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente en los términos de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (Cámara de Diputados, 2016).

Los biocombustibles se clasifican en combustibles de primera, segunda y tercera generación.

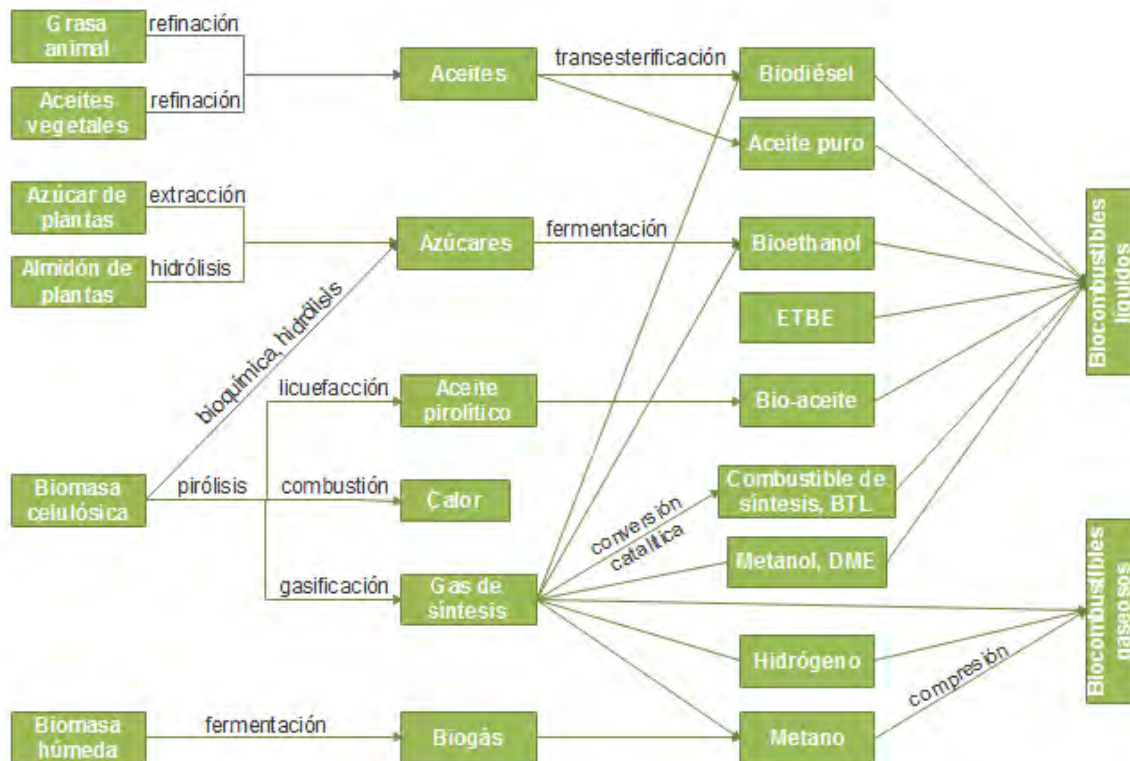
Los de primera generación son llamados biocombustibles convencionales. Éstos son generados a partir de azúcares, almidón o aceites vegetales. Los bioenergéticos derivados de productos como los mencionados anteriormente entran en la categoría de biocombustibles de primera generación (Biofuel, 2016).

Los biocombustibles de segunda generación son llamados normalmente “biocombustibles avanzados”. Estos son producidos por materia prima sostenible. La sostenibilidad de cualquier materia prima depende de su disponibilidad, su impacto en emisiones de gases de efecto invernadero, su impacto en uso de suelo y el grado de competencia con la oferta de alimentos. Los productos alimenticios pueden ser considerados biocombustibles de segunda generación siempre y cuando estos no sean utilizados para consumo (Biofuel, 2016).

Los biocombustibles de tercera generación son, en general, bioenergéticos derivados de algas. A estos biocombustibles se le da su clasificación separada debido a su mecanismo de producción y al potencial que tienen para mitigar los

inconvenientes de los biocombustibles de primera y segunda generación (Biofuel, 2016).

En la Figura 15 se plasman los diferentes biocombustibles que pueden ser transformados a través de distintas vías a partir de diversas materias primas. La investigación y el desarrollo de nuevos biocombustibles continuarán con el fin de encontrar vías de transformación económicamente viables.



Fuente: (Rutz & Janssen, 2007)

Figura 15. Vías de transformación de los biocombustibles

En 2014 el 23.4% de la población de México careció de acceso apropiado a la alimentación (CONEVAL, 2016), debido a ello, los biocombustibles de primera generación no son la opción más viable para implementar en México. Con respecto a los biocombustibles de tercera generación se han realizado estudios económicos para evaluar la viabilidad de los mismos. La mayoría concluyen que los bioenergéticos producidos a partir de algas no pueden competir con los

combustibles fósiles a pesar del alza de los precios del petróleo en la década pasada (Bajpai, Zappi, Dufreche, Subramaniam, & Prokop, 2013).

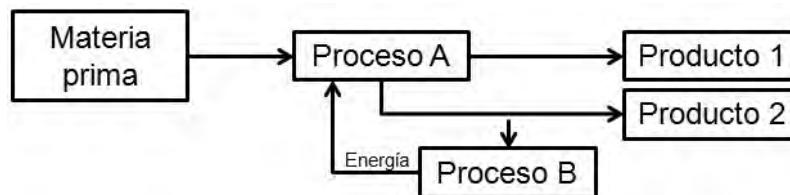
Los biocombustibles de segunda generación son la opción más viable para ser implementada en México debido a que éstos no compiten con los alimentos y a la existencia de tecnología económicamente viable para generarlos

2.4 Concepto de biorrefinería

Las biorrefinerías son instalaciones que integran procesos de transformación de la biomasa y equipo para producir combustibles, electricidad y productos químicos (Maity, 2014). El concepto de biorrefinería ha sido desarrollado como analogía de las refinerías de petróleo (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014).

Las biorrefinerías se clasifican en tres tipos de acuerdo a sus tecnologías de conversión y a su desarrollo definido por el grado de complejidad y flexibilidad (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014)

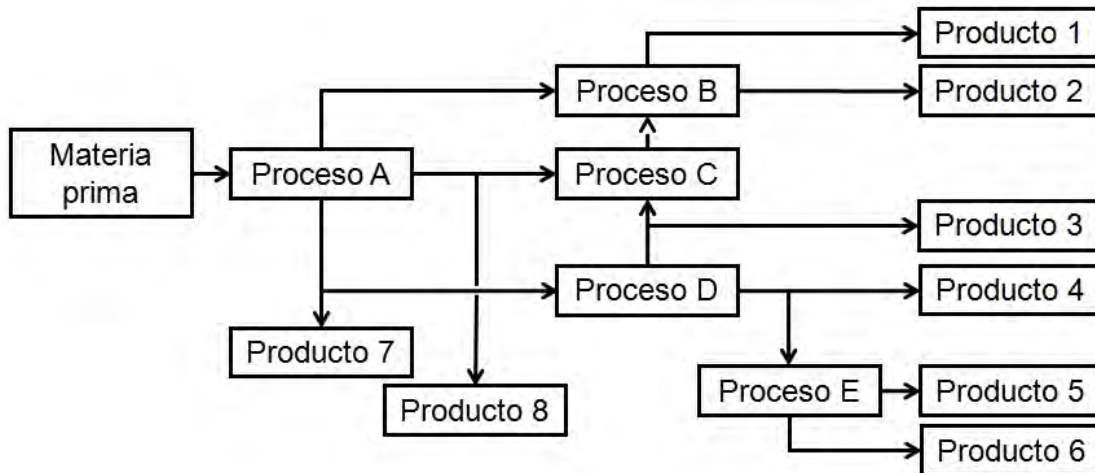
La primera fase transforma una única materia prima, utiliza procesos con poca flexibilidad y con tecnología de molienda en seco. Se obtienen productos y coproductos determinados en cantidades fijas (Figura 16).



Fuente: (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014)

Figura 16. Fase I de una biorrefinería.

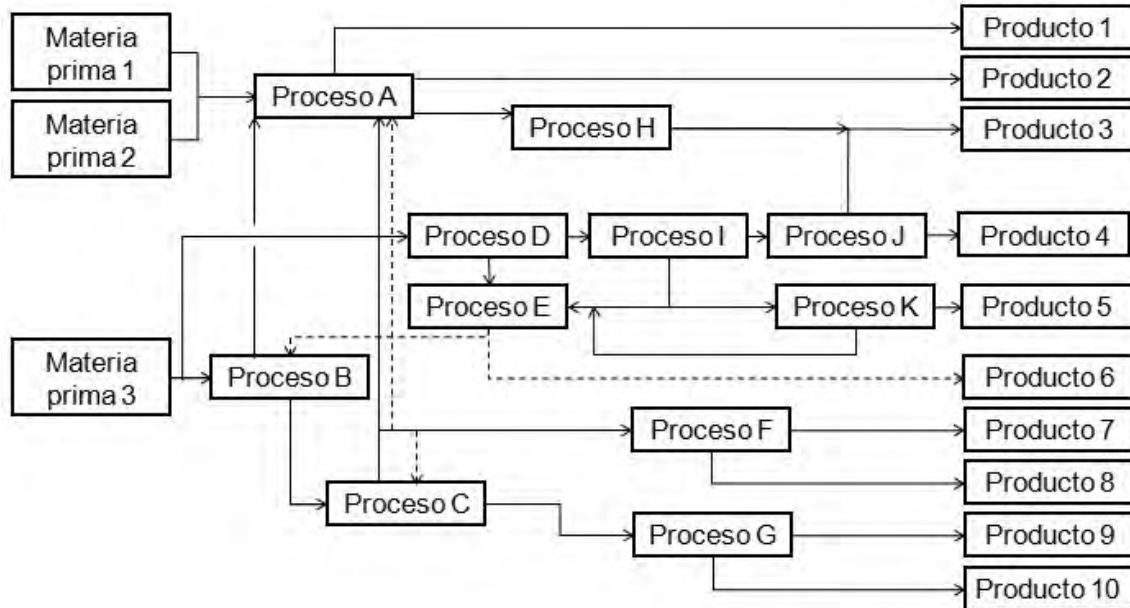
La segunda fase, al igual que la primera, procesa una sola materia prima, sus múltiples procesos son flexibles, utiliza tecnología de molienda húmeda y existe diversificación en los productos obtenidos los cuales pueden producirse de acuerdo a la demanda y precio del mercado (Figura 17).



Fuente: (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014)

Figura 17. Fase II de una biorrefinería.

La tercera fase es la más avanzada ya que transforma y mezcla diversas materias primas a través de múltiples procesos altamente integrados y flexibles que producen una cantidad vasta de materiales y combustibles (Figura 18).



Fuente: (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014)

Figura 18. Fase III de una biorrefinería.

El concepto de biorrefinería agrupa cuatro elementos principales que la caracterizan: la materia prima, las tecnologías de proceso, las plataformas y los productos (Tabla 9). Una biorrefinería agrupa al menos un elemento de cada característica (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014).

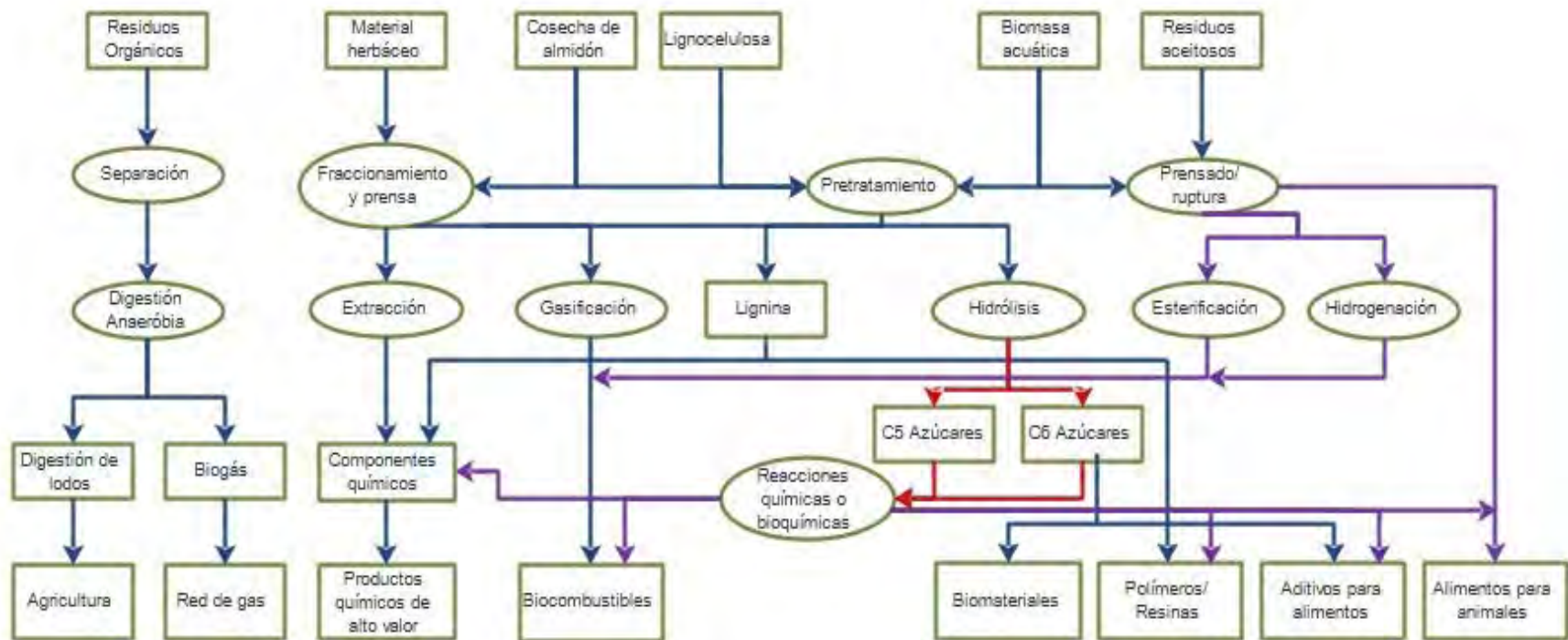
La Figura 19 muestra las materias primas que son utilizadas, estas son tratadas mediante distintos procesos mecánicos como la separación, el fraccionamiento, el prensado, por mencionar algunos ejemplos; para posteriormente transformarlas mediante procesos termoquímicos, químicos o bioquímicos en distintos productos. Se puede ver que las materias primas pueden ser convertidas en casi cualquier plataforma en uno o más pasos y se pueden obtener los mismos productos a través de distintos procesos (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014).

La ventaja de la biorrefinación es que, a través de los procesos integrados, la eficiencia y la flexibilidad de sus procesos que dan como resultados productos de alto valor agregado y energía, pueden suprimir las barreras económicas y hacer que la producción de los biocombustibles sea rentable (Bateni & Karimi, 2015).

Tabla 9. Materias primas, plataformas, procesos y productos de las biorrefinerías.

| Plataformas | Productos | Materias Primas | Procesos |
|--|---|---|--|
| I. Azúcares C5 II. Azúcares C6 III. Aceites IV. Biogás V. Syngas VI. Hidrógeno VII. Lixiviados VIII. Líquido de pirolisis IX. Lignina X. Electricidad y calor | I. Energéticos I.1) Biodiesel I.2) Bioetanol I.3) Biometano I.4) Combustibles sintéticos I.5) Electricidad y calor II. Materiales II.1) Alimentos II.2) Alimentos para animales II.3) Fertilizantes II.4) Glicerina II.5) Biomateriales II.6) Productos químicos II.7) Polímeros y resinas II.8) Biohidrógeno | I. Cultivos dedicados I.1) Aceites I.2) Azúcar I.3) Almidón I.4) Lignocelulosa I.5) Herbáceo I.6) Marino II. Residuos II.1) Lignocelulosa II.2) Aceitosos II.3) Orgánicos y otros | I. Termoquímicos I.1) Combustión I.2) Gasificación I.3) Hidrotérmico I.4) Pirólisis I.5) Supercrítico II. Bioquímico II.1) Fermentación II.2) Digestión anaerobia II.3) Conversión aerobia II.4) Procesos enzimáticos III. Químico III.1) Procesos catalíticos III.2) Proceso de reducir a pulpa III.3) Esterificación III.4) Hidrogenación III.5) Hidrólisis III.6) Biometanización III.7) Reformador con vapor III.8) Electrólisis de agua III.) Desplazamiento de gas de agua IV. Mecánico Extracción Separación de fibras Fraccionamiento mecánico Prensado/ruptura Pretratamiento Separación |

Fuente: (Cherubini, y otros, 2009)



Fuente: (Martínez H., Sadhukhan, & Siew Ng., 2014)

Figura 19. Red de configuraciones de una biorrefinería interrelacionadas.

2.5 Contexto de biorrefinación

La situación actual de las biorrefinerías es de utilidad para saber qué han hecho los países que poseen entre sus fuentes de energía, las biorrefinerías. Qué medidas han tomado y a qué retos se enfrentan. Por otra parte conocer el contexto actual en México sirve para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de implementar una biorrefinería en México.

2.5.1 Situación Internacional

Internacionalmente, se ha procurado el fomento a las energías renovables debido a la problemática del cambio climático. Dicha preocupación por el ambiente motivó a la implementación del Protocolo de Kioto para fungir como instrumento jurídico para alcanzar la meta de disminuir 5% las emisiones de gases de efecto invernadero en 1990, en el periodo comprendido entre 2008 y 2012. En la Tabla 10 se encuentra lo que cada país ha implementado en materia de bioenergía.

Tabla 10. Acciones que se han realizado para la implementación y desarrollo de biorrefinerías.

| País | Descripción |
|-----------------------|---|
| Estados Unidos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Contempla estrategia nacional para el desarrollo de una industria basada en la biomasa. ➤ Avances producto de Departamento de Energía y de Agricultura. ➤ Implementación del programa <i>Sustainable</i> ➤ <i>Fuels and Chemicals Act</i> y <i>Biomass Research and Development Act (2000)</i>, fomenta la cooperación industrial y académica generando bioproductos mediante biorrefinerías. ➤ <i>Energy Policy act</i> se encarga de las áreas técnicas de desarrollo de la producción y de recolección avanzada de materias primas (2005). ➤ El Ministerio de Energía y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable se encargan de la investigación y desarrollo de transformación de biomasa. ➤ El Departamento de Energía, instituciones privadas estadounidenses y europeas financian proyecto de seis biorrefinerías escala piloto para la producción de bioetanol. |

| País | Descripción |
|----------------------|---|
| Unión Europea | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se implementó el Programa de Investigación Estratégica a través de la Plataforma Tecnológica Europea de Química Sostenible. Estableciendo el aumento de productos químicos sostenibles provenientes de la biomasa. ➤ Se aprobó Biorefinery Euroview para monitorear y evaluar las actividades de desarrollo tecnológico de las biorrefinerías. ➤ Se aprobó el proyecto BIOPOL que evalúa el estatus técnico, social, ambiental, político y de implementación de los resultados de investigación de las biorrefinerías. Este proyecto engloba a 8 universidades e institutos de investigación de diversos países. ➤ Se realizan conferencias internacionales para dar a conocer nuevos avances tecnológicos de biorrefinerías. ➤ Empresas privadas realizan eventos para compartir conocimiento de procesos de separación y conversión así como los productos potenciales de biorrefinerías. ➤ Se realizan conferencias internacionales para conocer fondos de financiamiento, temas de bioeconomía, sostenibilidad. ➤ La Unión Europea enfoca esfuerzos en la participación integral de los sectores gubernamental, industrial y académico. |

| País | Descripción |
|----------------------|---|
| Latinoamérica | <ul style="list-style-type: none"> ➤ No existe estrategia nacional que considere la producción de bioenergéticos, comparable con la Unión Europea y Estados Unidos. ➤ La legislación en materia de bioenergía es muy reciente a excepción de Brasil, Honduras, Guatemala, las legislaciones son del siglo XXI. ➤ Ninguna legislación introduce el concepto de biorrefinería. ➤ El país con la plataforma tecnológica más favorable para el establecimiento de biorrefinerías es Brasil por su experiencia en plantas de producción de etanol de primera generación. ➤ Brasil tiene ventaja competitiva debido a su experiencia, disponibilidad de tierra, clima y mano de obra. ➤ Chile ha organizado congresos internacionales sobre biorrefinerías. Estos son enfocados a los avances tecnológicos, contexto internacional e implicaciones de política. |
| Canadá | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Incluye en su estrategia nacional la incorporación de biorrefinerías enfocadas a la industria forestal. ➤ Se creó la Red de Innovación en Biomasa Canadiense para facilitar la interacción entre el gobierno, las universidades y las empresas para impulsar el desarrollo de bioproductos y bioprocesos. ➤ Se ha desarrollado investigación de identificación de productos clave para proyección industrial: biodiesel, metanol, ➤ etanol, etilenglicol, ácido láctico, ácido levulínico, ácido succínico, metano, gas de síntesis e hidrógeno. |

| País | Descripción |
|--------------|---|
| Asia | <ul style="list-style-type: none"> ➤ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology impulsado por Japón. ➤ Conformado por Japón, Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia, Brunei, Vietnam, Laos y Myanmar. ➤ Association of South-East Asian Nations dispone de enormes reservas de biomasa, tecnología y un sistema productivo de bajos costos. ➤ Japón dispone de tecnología punta y propiedad intelectual para explotarla. ➤ Su objetivo es aumentar número de biorrefinerías para crear nuevas industrias y nuevos mercados. |
| China | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cuenta con un programa de financiamiento gubernamental para investigación y desarrollo de tecnología en áreas prioritarias. En el 2006 la bioenergía se convirtió área prioritaria. |

Fuente: (Sacramento-Rivero, Romero, Cortés-Rodríguez, Pech, & Blanco-Rosete, 2010)

En la Tabla 11 se enlistan algunos proyectos en construcción o ya construidos de biorrefinerías de segunda generación en el mundo que acoplan la producción de coproductos a la de biocombustibles. Alemania, España, Holanda y Reino Unido tienen más de un proyecto en marcha.

Tabla 11. Proyectos en construcción o construidos de biorrefinerías de segunda generación.

| País | Proyecto | Descripción |
|-----------------|---|---|
| Alemania | CLIB 2021 | Programa dirigido a establecer la biotecnología en la industria y la academia, a través de planes de negocio innovadores que fomenten la vinculación entre ambos sectores (€40 millones para 2007-2008). |
| | Otro consorcio | Se construye una biorrefinería verde para obtener proteínas, ácido láctico, alimento animal y biogás a partir de 30 mil ton/año de una mezcla de pasto y alfalfa. |
| | Biowert | Biorrefinería verde en Brensbach, Alemania que procesa desperdicios de pasto y residuos municipales de jardinería y produce componentes proteínicos para forraje y fertilizante natural |
| Austria | Consorcio industrial | Se construye una biorrefinería verde para procesar 5 ton/h de pasto y producir ácido láctico, aminoácidos, fibras y biogás. |
| Brasil | Planta nueva | En 2011 arrancar a una planta de fermentación deshidratación de etanol y producción de otros químicos a partir de 200 mil ton/año de azúcar de caña. Se planea procesar 350 mil ton/año en el largo plazo. |
| Canadá | Canadian Agriculture Bioproducts Innovation Network | Proyecto altamente participativo (universidades, compañías privadas, organizaciones de investigación privadas y públicas y dependencias gubernamentales) dirigido a promover el desarrollo y comercialización de bioenergía, bioquímicos y biofarmacéutica (US\$145 millones de 2006 a 2011). |
| España | Biorrefinería Multifuncional | La empresa GCE Bioenergy planea la construcción en 2011 de una biorrefinería a de remolacha para producción de bioetanol, pienso y electricidad, con un plan de expansión para producir en el mismo complejo biobutanol, butadieno, aldeos, así como otros productos químicos diversos. |
| | BFS, Bio Fuel Systems | Empresa basada en Alicante, posee las patentes de un proceso de producción de biopetróleo. Según sus declaraciones a partir de fitoplancton producirán hidrocarburos de tal manera que podrán obtener la misma gama de productos que se produce del petróleo fósil. Desde 2007 se encuentran en fase de investigación y desarrollo. |
| | Abengoa Bioenergy | Actualmente tiene en construcción instalaciones para producir etanol y lignina a partir de 70 ton/día de paja de trigo, maíz y heno. Otro de sus proyectos a escala piloto en construcción consiste en procesar 1 ton/día de residuos agrícolas mediante hidrólisis enzimática. |

| País | Proyecto | Descripción |
|--------------------|---------------------------|---|
| Francia | BIOHUB | Consortio industrial para el desarrollo de químicos basados en materias primas agrícolas en biorrefinerías (€ 98 millones en 7 años para I+D, € 730 millones de la industria a partir de 2010). |
| Holanda | Greenmills, Amsterdam: | Su materia prima son aceites vegetales usados para producir biodiesel |
| | BioMCN | Aprovecha glicerina residual de plantas de biodiesel, principalmente proveniente de Singapur y también genera metanol a partir de gas de síntesis |
| | Nedalco | Produce bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos, la mayoría de cosechas de trigo (de importación) y paja/heno de actividades agrícolas locales. |
| Islandia | Escala piloto | Planta de demostración escala piloto para procesar 20 mil ton/año de lignocelulosa, proveniente de diversas fuentes. El producto principal es etanol y tiene como coproductos lignina, proteínas y fertilizante. |
| Japón | Osaka Eco Town | Planta demostrativa de producción de bioetanol, gas de síntesis y aceite pirolítico mediante hidrólisis con agua subcrítica de materiales lignocelulósicos. |
| Reino Unido | British Sugar | Procesa remolacha y genera como producto principal betaína (para acuacultivos), y como coproductos bioetanol, CO ₂ , energía térmica y carbonato de calcio, que se destinan al cultivo de tomate, así como pellets de proteína para alimento animal. |
| | Cargill/Cerestar | Localizada en Manchester, es una biorrefinería de aprovechamiento integral de cosechas, que fábrica derivados de almidón a partir de trigo, así como un amplio rango de polioles excipientes naturales. |
| Suecia | Chemrec y Domsjö Fabriker | Dos biorrefinerías forestales, utilizando 70% de madera local como materia prima para producir diversos productos como electricidad, lignosulfonatos para alimento animal y bio-fertilizantes. También procesan aceite residual de procesos de cocción. |

Fuente: (Sacramento-Rivero, Romero, Cortés-Rodríguez, Pech, & Blanco-Rosete, 2010)

En el mundo existen diversos ejemplos de biorrefinerías de escala comercial, que llevan bastante tiempo produciendo diversos biomateriales, entre ellos, biocombustibles de segunda generación.

El caso más avanzado de biorrefinación es el de la planta Borregaard en Noruega. Lleva cerca de 40 años de experiencia en el mercado de biomateriales. Esta

biorrefinería tiene 4 principales líneas de productos (celulosa, etanol, lignina y vanilina) obtenidas a partir de madera (Rødsrud, Lersch, & Sjøde, 2012).

El reto más grande con el que tienen que lidiar es la variable demanda del mercado. La demanda del mercado es dinámica, lo que significa que una línea de producto puede ser la más rentable y en otros periodos puede ser la línea de producto menos rentable, para unos productos la rentabilidad desaparecerá completamente, para otros se volverá cíclica y la de otros aumentará continuamente por periodos (Rødsrud, Lersch, & Sjøde, 2012).

Esto quiere decir que Borregaard se adapta a la necesidad del mercado y distribuye el riesgo de la demanda de producto mediante la diversificación de sus productos. Es por ello que el Director de Desarrollo de Negocios, Gudbrand Rødsrud, mencionó en el taller de Innovasjon Norge, que es difícil lograr la rentabilidad de una biorrefinería sin un enfoque integrado donde se produzcan productos a granel, como es el caso de los biocombustibles, y productos químicos de alta gama.

Otros aspectos que hacen de Borregaard un caso exitoso son que invierte una parte significativa de sus ingresos en innovación y se mide regularmente la tasa de innovación. Los empleados tienen un buen entendimiento del modelo de negocio y las necesidades del cliente.

En resumen se puede decir que la rentabilidad de una biorrefinería radica en la capacidad para adaptarse a los cambios del mercado, en invertir en innovación para adaptarse a las tendencias, que se tengan presente las necesidades del cliente y que los tomadores de decisiones entiendan en su totalidad el modelo de negocio.

2.5.2 Situación en México

En México se han aprobado iniciativas de leyes como ya se mencionó anteriormente en el Marco Jurídico del presente trabajo. Se han implementado

incentivos para las energías renovables. Se ha creado leyes específicas para bioenergéticos como es el caso de la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (LBDP), sin embargo, esta ley se focaliza en las áreas rurales y no se tiene una ley que abarque residuos sólidos urbanos. Además de no abordar el concepto de biorrefinería.

En el área de investigación se identificaron 31 proyectos registrados en 2008 (Sacramento-Rivero, Romero, Cortés-Rodríguez, Pech, & Blanco-Rosete, 2010). El apoyo federal se centra principalmente en la investigación aplicada a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). No se ha identificado ningún apoyo de empresas ni ningún organismo que se encargue de la vinculación entre los sectores político, empresarial y académico como en otros países se tiene.

En el área de investigación México es muy productivo, tiene experiencia y conocimiento técnico para implementar una biorrefinería. Lo que sigue frenando la implementación de las biorrefinerías es la falta de recursos económicos. Este problema se puede solucionar con la vinculación de empresas, sin embargo no se tienen incentivos fiscales ni económicos específicos para biocombustibles, aunque sí existen incentivos para generar energía mediante energías alternas. Es necesario crear incentivos específicos para el impulso de biorrefinerías.

En la Tabla 12 se realiza un análisis FODA. Este análisis permitirá exponer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para desarrollar una biorrefinería en México. Es necesario aprovechar las fortalezas y oportunidades para impulsar el desarrollo de biorrefinerías. Para las amenazas se debe crear un plan de acción para su mitigación y para las debilidades crear un plan de acción para convertirlas en fortalezas.

Tabla 12. Análisis FODA para el desarrollo de biorrefinerías en México.

| Debilidades | Fortalezas |
|---|--|
| No se cuenta con una estrategia nacional que contemple el desarrollo de biorrefinerías, y las existentes para biocombustibles no son del todo útiles para dicho desarrollo. | Un alto porcentaje del gasto nacional de I+D es ejercido por Instituciones de Educación Superior, en relación con los países de la OCDE. |
| La inversión federal en ciencia y tecnología ha ido disminuyendo en los últimos 10 años y es menor que lo establecido en la correspondiente Ley. | Buen nivel de producción individual de investigadores mexicanos y de buena calidad. |
| Pobre vinculación academia-industria, principalmente por barreras culturales y jurídicas en ambas partes. | Experiencia en planeación y estudios de factibilidad que incorporan criterios de sostenibilidad |
| Pocas industrias nacionales con tamaño crítico para liderar el desarrollo de grandes infraestructuras productivas. | Se han iniciado proyectos masivos de producción de biocombustibles de segunda y tercera generación (base para biorrefinerías) con inversión pública y privada. |
| Altos índices de corrupción. | Disponibilidad de un marco regulatorio para el uso y explotación de biocombustibles |
| El gasto nacional en CyT ha ido disminuyendo en los últimos 10 años. | Gran biodiversidad y disponibilidad de biomasa distribuida a lo largo del país. |
| | Importante capacidad instalada para generación de electricidad a partir de biomasa en relación a las metas a 2012. |
| Amenazas | Oportunidades |
| Atrasarse en el desarrollo de biorrefinerías e iniciar una dependencia en Estados Unidos similar a la que existe en materia de refinación de petróleo. | Se tienen las experiencias de otros países para aprender de sus errores y éxitos al incursionar en la industria de los biocombustibles. |
| Volubilidad de las directivas, estrategias y fondos de apoyo con los cambios en las administraciones federal y estatal. | Capacidad instalada con excesos en ingenios azucareros que pueden utilizarse como instalaciones de prueba de las primeras biorrefinerías. |
| Posible opinión pública negativa ante los biocombustibles por falta de información y campañas de desprestigio. | Se tiene la infraestructura para realizar la investigación aplicada que requiere el desarrollo de biorrefinerías. |
| La sobreutilización de subsidios nacionales e internacionales para posicionar a las bioenergéticos. | El procesamiento de biomasa se hará más rentable, debido al avance de la tecnología y el aumento en el precio del petróleo. |

Fuente: (Sacramento-Rivero, Romero, Cortés-Rodríguez, Pech, & Blanco-Rosete, 2010)

2.6 Proyecto

Un proyecto puede ser definido de distintas maneras según el contexto del que se esté hablando. Una biorrefinería es un proyecto de ingeniería y también es un proyecto de inversión. En este apartado se describen ambas definiciones de proyecto y la teoría de cada una para adaptar las buenas prácticas

2.6.1 Proyecto de inversión

Un proyecto de inversión es una propuesta técnica-económica para resolver una necesidad o solucionar un problema utilizando un conjunto de recursos disponibles tales como recursos humanos, recursos materiales, recursos tecnológicos, recursos financieros; basados en una serie de estudios que permiten saber si es viable, es decir, si se pueden realizar y dar ganancias. La adquisición y modificación de activos tangibles también se consideran proyectos de inversión.

Todo proyecto de inversión contiene las siguientes características:

- Son inversiones a largo plazo (mayores a un año)
- Son irreversibles
- Las inversiones implican grandes montos
- Agregan valor a la empresa
- Exigen estudios multidisciplinarios
- Ofrecen ventajas competitivas
 - Posicionamiento del mercado
 - Liderazgo en algún sector

En un proyecto de inversión existen cuatro etapas de planeación para desarrollar una idea que conducirá a generar ingresos (Figura 20). La calidad y la cantidad de información con la que se hacen los estudios mencionados en la Tabla 13, determinan el nivel del proyecto.



Fuente Elaboración propia

Figura 20. Niveles de desarrollo de los proyectos de inversión.

Tabla 13. Descripción de las etapas de los proyectos de inversión.

| Etapas | Objetivo | Descripción |
|------------------------|--|--|
| Idea | Surge de una necesidad que se necesita cubrir o del excedente de recursos. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar el proyecto potencial ➤ Identificar las opciones que se tienen ➤ Realizar un análisis FODA ➤ Desarrollar un plan de trabajo y un plan de inversión para la siguiente etapa |
| Perfil | Antecedentes que permitan formar juicios respecto a la conveniencia de realizar el proyecto. Se puede construir a partir de fuentes secundarias de información. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar estudio de mercado ➤ Realizar análisis técnico ➤ Descartar opciones no viables ➤ Determinar viabilidad potencial de las opciones ➤ Realizar análisis de riesgo ➤ Realizar análisis económico con indicadores ➤ Identificar decisiones a realizar en la próxima etapa ➤ Desarrollar un plan de trabajo y un plan de inversión para la siguiente etapa |
| Prefactibilidad | Se analizan a detalle los aspectos en la fase de perfil. Se requiere información detallada, de fuentes de información primarias. Abarca el estudio de mercado, técnico, administrativo y financiero. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar una evaluación técnica con mayor cantidad y calidad de los datos, si es posible realizar simulación ➤ Realizar análisis de riesgo con variables específicas de la alternativa ➤ Realizar evaluación económica con más detalle, es decir, que los costos, gastos e inversión del proyecto sean más precisos, que contenga análisis de sensibilidad y simulación Montecarlo ➤ Seleccionar una sola alternativa en particular ➤ Realizar estudio administrativo ➤ Revisión técnica de externos ➤ Desarrollo del plan de trabajo y del plan de inversión de la siguiente etapa. |

| Etapa | Objetivo | Descripción |
|---------------------|---|--|
| Factibilidad | Se profundiza el análisis de las variables que inciden en el proyecto. Se minimiza la variación esperada de sus costos y beneficios. Es primordial la participación de especialistas. Disponer de información confiable y fuentes de información primarias. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinar la factibilidad del proyecto ➤ Detallar la alternativa seleccionada en el estudio de prefactibilidad ➤ Realizar plan de trabajo ➤ Realizar un análisis económico detallado tomando en cuenta variables supuestas, estrategia financiera sólida, análisis de sensibilidad y simulación Montecarlo detallada |

Fuente: Elaboración propia con base en (Hernández Álvarez, 2015).

En los proyectos de inversión se deben de realizar diversos estudios con el fin de identificar los aspectos principales y evaluar su viabilidad (Tabla 14). Estos documentos darán forma al proyecto de inversión determinando sus características.

Tabla 14. Estudios principales de los proyectos de inversión.

| Estudios | Objetivo | Descripción |
|----------------|---|--|
| Mercado | Busca analizar la demanda (target), oferta (competencia) y proveedores, ante un producto o servicio | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Competencia: Distribución del mercado, marcas, sustitutos. ➤ Demanda: Cantidad a vender por producto por región/ estacionalidad. ➤ Consumidor: Mercado meta, región. ➤ Producto: Características del producto. ➤ Precio: Cantidad que el consumidor está dispuesto a pagar. ➤ Promoción/ publicidad: Forma de dar a conocer e introducir el producto. |

| Estudios | Objetivo | Descripción |
|-----------------------|---|--|
| Técnico | Determina cómo producir o generar los productos que el mercado demanda, es decir, la viabilidad técnica de la fabricación de los productos o servicios | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Materia Prima: Insumos, calidad proveedores. ➤ Localización de la planta: servicios, clima, costos, cercanía de mercados, situación del país. ➤ Maquinaria: Equipo necesario, servicios, vida útil, cantidad, tecnología, refacciones, mantenimiento, tendencias, depreciación, amortización. ➤ Mano de obra: Personal capacitado. ➤ Tamaño de la planta: Distribución de la planta. ➤ Procesos de producción: En línea, célula, por proceso, por proyecto, por lote. |
| Administrativo | Establece el mecanismo administrativo estructural con el cual debe operar la empresa u organización. Establece el funcionamiento organizacional, así como la constitución jurídica de la empresa. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructuración de organización: Vertical, proyecto, matricial, funciones. ➤ Manual de procedimientos: Estandarizar tiempos, procesos, todo para aumentar la eficiencia de la empresa o proyecto. ➤ Funciones y responsabilidades: Descripción de puestos, manual de organización. ➤ Organización: Organigrama, responsabilidades, autoridad, nivel de comunicación. ➤ Sueldos y salarios del personal. ➤ Constitución legal. |
| Financiero | Evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante la proyección de estados de resultados recabando información de los estudios de mercado, técnico y administrativo. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estados de resultados proyectados ➤ Flujos de efectivo ➤ Tasa de descuento ➤ Métodos de valuación financiera del proyecto ➤ Riesgo del proyecto |

Fuente: Elaboración propia con base en (Hernández Álvarez, 2015)

En la elaboración de un proyecto de inversión se puede proponer más estudios de acuerdo al proyecto. Cada proyecto de inversión tiene sus propias prioridades y distintos criterios a tomar en cuenta para su realización.

2.6.2 Proyecto de ingeniería

Un proyecto es un esfuerzo temporal que tiene la cualidad de ser único, de tener alcances definidos y utilizar diversos recursos con la finalidad de crear un producto, servicio o resultado (Project Management Institute, 2016).

La planeación del proyecto es determinante para la exitosa formulación y ejecución de cualquier proyecto y con mayor razón en proyectos nuevos en el mercado tales como las biorrefinerías. Existe una metodología llamada FEL (Front-End-Loading). la cual facilita y agiliza la planeación de proyectos de ingeniería. Dicha metodología busca definir adecuadamente los proyectos para que su costo sea menor, su operación sea mejor y su tiempo de ejecución sea más rápido que si no se utilizara alguna metodología. Diversas instituciones alrededor del mundo emplean la metodología FEL por su popularidad, experiencia y grado de eficiencia. El FEL enseña a sus miembros clave, como administradores o líderes de proyectos, a organizar, planear y ejecutar el plan de acción que se utiliza para llevar a cabo cualquier proyecto.

La metodología consta de tres etapas que determinan el desarrollo y especificación del proyecto y tienen que ver con la clasificación de la precisión y calidad del estimado de costo de inversión de un proyecto, en función a la cantidad y calidad de información utilizada. Posterior a las tres etapas de la metodología FEL sigue la etapa de ejecución y seguimiento del proyecto la cual se encarga de la instalación de la planta (Figura 21).



Fuente: (Petróleos Mexicanos, 2012).

Figura 21. Etapas de la metodología FEL.

En las etapas de la metodología se involucran distintos niveles de ingeniería, estos definen el grado de profundidad de los entregables. Este sistema es muy utilizado en la industria química para clasificar las etapas del proyecto (Tabla 15).

Tabla 15. Niveles de ingeniería en la elaboración de un proyecto

| Nivel | Descripción |
|------------------------------------|---|
| Ingeniería Conceptual | Es usada para desarrollar optimizaciones de alternativas y para congelar los conceptos que serán llevados a la Ingeniería Básica. No es un entregable. |
| Ingeniería Básica | Consiste en los diseños de los arreglos generales que son preparados con base en los conceptos de diseño seleccionados durante la fase de ingeniería conceptual. Las especificaciones son preparadas para la cotización de equipos y definir los requerimientos de construcción. |
| Ingeniería Básica Extendida | Consiste en la definición de la totalidad de los equipos de proceso y de servicios auxiliares, realizando los análisis correspondientes tales como balances de materia y energía, memorias de cálculo y análisis hidráulicos para los sistemas de proceso y servicios auxiliares, así como de válvulas e instrumentos de control y accesorios. |
| Ingeniería de Detalle | Diseño final que incluye los planos de detalle finales para construcción, los cuales son preparados con base en los diagramas de los arreglos generales terminados durante la fase de ingeniería básica. Las especificaciones de detalle son preparadas para la compra de equipos y para definir totalmente los requerimientos de construcción. |
| Ingeniería Complementaria | Es la Ingeniería que desarrolla el contratista para complementar la Ingeniería de detalle, y depende de la procura de equipo y materiales que adquiera dentro de su alcance. Incluye los libros técnicos y planos As Built. |

Fuente: (Petróleos Mexicanos, 2012)

En cada etapa del proyecto deberán elaborarse distintos documentos donde se definirán sus características. En la Tabla 16 se realiza el listado general de lo que deberá contener cada etapa.

Tabla 16. Descripción de la metodología FEL.

| Etapa | Objetivo | Descripción |
|-----------------------------------|---|---|
| Visualización (FEL I) | Establecer las características principales del proyecto, asegurar la congruencia estratégica, evaluar la viabilidad técnica, económica, ambiental y jurídica de las oportunidades de inversión. | <ul style="list-style-type: none"> • Caso de Negocio • Estimación de costo de inversión clase V • Alcance preliminar del proyecto • Definición del equipo de proyecto • Bases de usuario • Estrategia tecnológica e identificación de tecnologías aplicables • Bases de evaluación de tecnologías • Diseño de la matriz de evaluación de sitios potenciales • Análisis de riesgos (costo y programa) • Programa preliminar de ejecución • Plan, programa y recursos para FEL II |
| Conceptualización (FEL II) | Seleccionar la opción tecnológica y desarrollar los elementos que permitan realizar la declaración del Alcance Definitivo. | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación, selección y adquisición de tecnologías • Contrato del paquete tecnológico • Selección de sitio y estudios preliminares • Bases de diseño para ingeniería básica • Actualización del caso de negocio • Estimado de costo de inversión clase IV ó III • Actualización de la alineación con la estrategia institucional • Declaración del alcance definitivo • Actualización del equipo de proyecto • Bases de diseño para ingeniería FEED • Ingeniería básica • Análisis de riesgos (costo, programa, calidad y alcance) • Permisos • Plan de ejecución • Programa de ejecución • Plan, programa y recursos para FEL III |

| Etapa | Objetivo | Descripción |
|--------------------------------|---|---|
| Definición (FEL III) | Determinar las líneas base de alcance, tiempo y costo, establecer los requisitos técnicos y de calidad, así como las estrategias definitivas de desarrollo del proyecto, compromisos de la ejecución y completar su definición. | <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Conceptual • Actualización del caso de negocio • Estimado de costo de inversión clase III ó II • Actualización de la alineación con la estrategia institucional • Actualización del equipo de proyecto • Análisis de riesgos (evaluación de actividades del programa) • Permisos • Bases de licitación • Plan de ejecución detallado • Programa de ejecución detallado • Ingeniería Básica / Ing. Básica Extendida |
| Ejecución y seguimiento | Desarrollar las actividades establecidas en la declaración del alcance del proyecto en un ambiente controlado y con base en las estrategias y elementos técnicos desarrollados durante las tres etapas FEL. | <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de detalle • Procura • Comisionamiento • Construcción • Arranque |

Fuente: Elaboración propia con base en (Anaya Durand, Barragán Acevedo, & Vergara Vega, 2013)

Definir los entregables de cada etapa y llevar el control y porcentaje de avance de los mismos agilizará la formulación y evaluación de un proyecto de inversión que conlleve tecnología. El entregable más importante que definirá las decisiones del proceso de formulación y evaluación es el caso de negocio. Es por ello que siempre deberá estar presente en cada etapa del proyecto. En la Tabla 17 se describe lo que contiene dicho documento.

Tabla 17. Entregable de la etapa FEL I, FEL II, FEL III.

| Entregable Caso de Negocio | |
|----------------------------|------------------------------------|
| 1 | Caso de negocio |
| 1.1 | Resumen ejecutivo |
| | 1.1.1 Descripción del proyecto |
| | 1.1.2 Problemática |
| | 1.1.3 Justificación |
| | 1.1.4 Características del proyecto |
| | 1.1.5 Monto de inversión |

| Entregable Caso de Negocio | |
|-----------------------------------|---|
| | 1.1.6 Indicadores de rentabilidad |
| | 1.1.7 Riesgos |
| 1.2 | Situación actual |
| | 1.2.1 Estudio de mercado (oferta y demanda actual e histórica) |
| | 1.2.2 Alternativas para el proyecto y sus características principales |
| 1.3 | Descripción del proyecto |
| | 1.3.1 Objetivo |
| | 1.3.2 Programa de actividades |
| | 1.3.3 Localización |
| | 1.3.4 Capacidad, factor de operación, calidad de productos, generación de subproductos y efluentes |
| | 1.3.5 Resumen de las evaluaciones técnica, legal, ambiental y social |
| | 1.3.6 Costo total del proyecto en las etapas de ejecución y operación, así como los montos anuales de egresos |
| | 1.3.7 Fuentes de financiamiento y fechas estimadas de dichos ingresos |
| | 1.3.8 Supuestos técnicos y económicos utilizados para evaluar el proyecto |
| | 1.3.9 Licencias, alianzas, outsourcing |
| 1.4 | Situación con proyecto |
| | 1.4.1 Impacto sobre el mercado |
| | 1.4.2 Impacto sobre costos y beneficios respecto a la situación sin proyecto |
| 1.5 | Evaluación económico- financiera del proyecto |
| | 1.5.1 Estado de Resultados Proyecto |
| | 1.5.2 Cálculo de indicadores de rentabilidad |
| | 1.5.3 Análisis de factibilidad financiera |
| 1.6 | Análisis de sensibilidad y riesgos |
| | 1.6.1 Análisis de sensibilidad sobre variables relevantes |
| | 1.6.2 Riesgos asociados a la ejecución del proyecto |
| 1.7 | Conclusiones |

Fuente: Elaboración propia con base en (Anaya Durand, Barragán Acevedo, & Vergara Vega, 2013)

En la Tabla 18, la Tabla 19 y la Tabla 20 se muestran los entregables propios de las etapas FEL I, FEL II, FEL III, respectivamente. La diferencia principal de los documentos de cada etapa del proyecto es su grado de definición, estrechamente ligada a la cantidad y calidad de información disponible.

Tabla 18. Entregables exclusivos de la etapa FEL I.

| ENTREGABLE FEL I | |
|-------------------------|--|
| 1 | Estimado de inversión |
| | Estimado de costo, clase V (+50%/-30%) |
| 2 | Alineación con Planes Nacionales y/o Instituciones Financieras |
| 3 | Alcance preliminar |
| 3.1 | Objetivos preeliminares del proyecto |
| | 3.1.1 Objetivo de los productos de la biorrefinería |
| | 3.1.2 Objetivos de negocio |
| 3.2 | Descripción del proyecto |
| 3.3 | Establecer criterios técnicos, legales, ambientales, sociales y económicos |
| 3.4 | Restricciones políticas, macroeconómicas, técnicas, legales, sociales, ambientales |
| 3.5 | Duración estimada del proyecto |
| 3.6 | Riesgos identificados |
| 4 | Definición del equipo del proyecto |
| 4.1 | Definir e integrar a los participantes del proyecto para la etapa FEL I <ul style="list-style-type: none"> • Patrocinador del proyecto • Líder Operativo • Director del proyecto • Miembros del equipo de proyecto |
| 4.2 | Establecer las responsabilidades y actividades de los participantes del proyecto |
| 4.3 | Aprobación del equipo de proyecto |
| 5 | Sitios potenciales para el proyecto |
| 5.1 | Criterios de evaluación de sitios |
| 5.2 | Evaluación de los criterios de evaluación de sitios |
| 6 | Generación de opciones técnicas y de proceso del proyecto |
| 6.1 | Opciones tecnológicas |
| 6.2 | Lista de opciones tecnológicas y de proceso |
| 6.3 | Solicitud de información descriptiva de tecnologías a licenciadores |
| 6.4 | Criterios para elegir al tecnólogo |
| 6.5 | Evaluación de los tecnólogos |
| 7 | Análisis de riesgos |
| 7.1 | Identificación de riesgos o su actualización |
| 7.2 | Evaluación de riesgos antes de su mitigación |
| 7.3 | Plan de acción para mitigación de riesgos |
| 7.4 | Evaluación de riesgos después de ejecutar el plan de mitigación |
| 8 | Factibilidad legal y normativa |
| 9 | Plan preliminar de ejecución |
| 9.1 | Estrategia preliminar de ejecución |
| 9.2 | Plan preliminar de recursos para la ejecución |
| 10 | Programa preliminar de ejecución |
| 11 | Bases de usuario |

| ENTREGABLE FEL I | |
|------------------|--|
| 11.1 | Información general |
| 11.2 | Datos del sitio |
| 11.3 | Proceso |
| 11.4 | Balance de materia |
| 11.5 | Balance de energía |
| 11.6 | Seguridad y protección ambiental |
| 11.7 | Normatividad aplicable |
| 12 | Plan, programa , recursos para FEL II |
| 12.1 | Alcance de los trabajos de FEL II |
| 12.2 | Plan de trabajo de etapa FEL II |
| 12.3 | Responsabilidades y actividades del equipo de proyecto |
| 12.4 | Recursos requeridos para el desarrollo de FEL II |

Fuente: Elaboración propia con base en (Anaya Durand, Barragán Acevedo, & Vergara Vega, 2013)

Tabla 19. Entregables exclusivos de la etapa FEL II

| FEL II | |
|------------|---|
| 1 | Estimado de costo de inversión |
| | Estimado de costo, clase IV (+35%/-20%) |
| 2 | Actualización de la alineación con la estrategia |
| 3 | Actualización del alcance y definición del alcance de la ingeniería básica |
| 4 | Actualización del equipo de proyecto |
| 4.1 | Actualizar el equipo de proyecto, integrar a los miembros nuevos |
| 4.2 | Actualización de responsabilidades y actividades de los participantes del proyecto |
| 4.3 | Aprobación del equipo de proyecto |
| 5 | Evaluación del sitio señalado (Selección de sitio de proyecto) |
| 5.1 | Realizar matriz para evaluación de sitios |
| 5.2 | Estudios de sitio |
| 5.4 | Selección de sitio |
| 6 | Selección, evaluación y gestión de tecnología |
| 6.1 | Evaluación y selección de tecnología |
| | 6.1.1 Realizar matriz para evaluación de tecnología |
| | 6.1.2 Revisión de los tecnólogos con base en los criterios y atributos de la matriz de evaluación |
| | 6.1.4 Realizar lista de tecnólogos a considerar para la evaluación |
| | 6.1.5 Análisis de propuestas y resultados de la evaluación técnica |
| | 6.1.6 Resultados de la evaluación económica |
| | 6.1.7 Resolución de selección de la tecnología y tecnólogo |
| 6.2 | Planeación de la negociación de la tecnología |
| 7 | Análisis de riesgos |
| 7.1 | Actualización de riesgos |

| FEL II | |
|-----------|--|
| 7.2 | Evaluación de riesgos antes de su mitigación |
| 7.3 | Plan de acción para mitigación de riesgos |
| 7.4 | Evaluación de riesgos después de ejecutar el plan de mitigación |
| 8 | Ingeniería conceptual |
| 8.1 | Ingeniería conceptual de proceso |
| 8.2 | Ingeniería conceptual de instrumentación y control |
| 8.3 | Ingeniería conceptual mecánica |
| 8.4 | Ingeniería conceptual civil |
| 8.5 | Ingeniería conceptual de seguridad industrial y protección ambiental |
| 9 | Permisos |
| 10 | Programa de ejecución |
| | Actualización de programa de ejecución |
| 11 | Plan, Programa y recursos para FEL III |
| 12.1 | Alcance de los trabajos de FEL III |
| 12.2 | Plan de trabajo FEL III |
| 12.3 | Responsabilidades y actividades del equipo de proyecto |
| 12.4 | Recursos requeridos para la etapa FEL III |

Fuente: (Petróleos Mexicanos, 2012)

Tabla 20. Entregables exclusivos de la etapa FEL III.

| FEL III | |
|----------|--|
| 1 | Estimado de costo de inversión |
| | Estimado de costo, clase III +25%/-15% ó Clase II +15%/-10% |
| 2 | Actualización de la alineación con la estrategia |
| 3 | Determinación del alcance definitivo |
| 4 | Actualización del equipo de proyecto |
| 4.1 | Actualizar el equipo de proyecto, integrar a los miembros nuevos |
| 4.2 | Actualización de responsabilidades y actividades de los participantes del proyecto |
| 4.3 | Aprobación del equipo de proyecto |
| 5 | Análisis de riesgos |
| 5.1 | Actualizar los riesgos |
| 5.1 | Evaluación de riesgos antes de su mitigación |
| 5.3 | Plan de acción para mitigación de riesgos |
| 5.4 | Evaluación de riesgos después de ejecutar el plan de mitigación |
| 6 | Bases de diseño |
| 6.1 | Bases de diseño del proyecto |
| | 6.1.1 Generalidades |
| | 6.1.2 Bases de diseño de proceso, civil, mecánico, eléctrico, control, entre otras |
| | 6.1.3 Normas y especificaciones técnicas aplicables al proyecto |
| 6.2 | Bases de diseño para ampliación o modificación de instalaciones existentes |

| FEL III | |
|------------|--|
| 6.2.1 | Generalidades |
| 6.2.2 | Bases de diseño de proceso, civil, mecánico, eléctrico, control, entre otras |
| 6.2.3 | Normas y especificaciones técnicas aplicables al proyecto |
| 7 | Desarrollo de ingeniería básica y básica extendida |
| 7.1 | Ingeniería básica |
| 7.1.1 | Estudios requeridos |
| 7.1.2 | Ingeniería de proceso |
| 7.1.3 | Ingeniería de instrumentación y control |
| 7.1.4 | Ingeniería eléctrica |
| 7.1.5 | Ingeniería mecánica |
| 7.1.6 | Ingeniería de tuberías |
| 7.1.7 | Ingeniería de seguridad industrial y protección ambiental |
| 7.1.8 | Ingeniería de otras instalaciones relacionadas con el proyecto |
| 7.2 | Ingeniería básica extendida |
| 7.2.1 | Estudios requeridos |
| 7.2.2 | Ingeniería de proceso |
| 7.2.3 | Ingeniería de instrumentación y control |
| 7.2.4 | Ingeniería de telecomunicaciones |
| 7.2.5 | Ingeniería eléctrica |
| 7.2.6 | Ingeniería mecánica |
| 7.2.7 | Ingeniería de tuberías |
| 7.2.8 | Ingeniería de seguridad industrial y protección ambiental |
| 7.2.9 | Ingeniería del sistema de control de corrosión |
| 7.2.10 | Arquitectura |
| 7.2.11 | Ingeniería civil |
| 7.2.12 | Maqueta tridimensional |
| 8 | Permisos |
| 9 | Plan y programa de ejecución |

Fuente: (Petróleos Mexicanos, 2012)

3 Guía para la implementación de una Biorrefinería

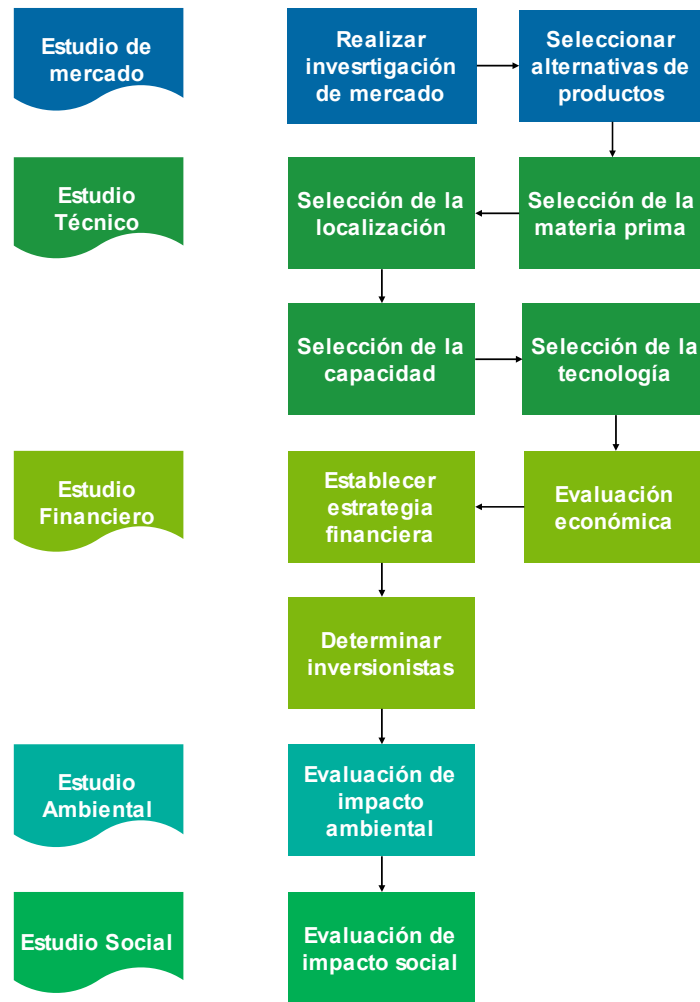
Existen diversas metodologías y guías para el desarrollo de proyectos de ingeniería en general. Sin embargo, los proyectos de biorrefinación tienen características propias que deben ser atendidas para su adecuada planeación y su exitosa ejecución. A continuación se desarrolla una guía para la elaboración de gran parte de la etapa FEL II de una biorrefinería con criterios clave para la formulación y evaluación de un proyecto de inversión nivel perfil.

3.1 Introducción

La realización de la ingeniería conceptual y la formulación de un proyecto de inversión deben ser llevadas a cabo simultáneamente. En la Figura 22 se muestran las actividades a realizar para ir definiendo el proyecto y concluir si es viable o no.

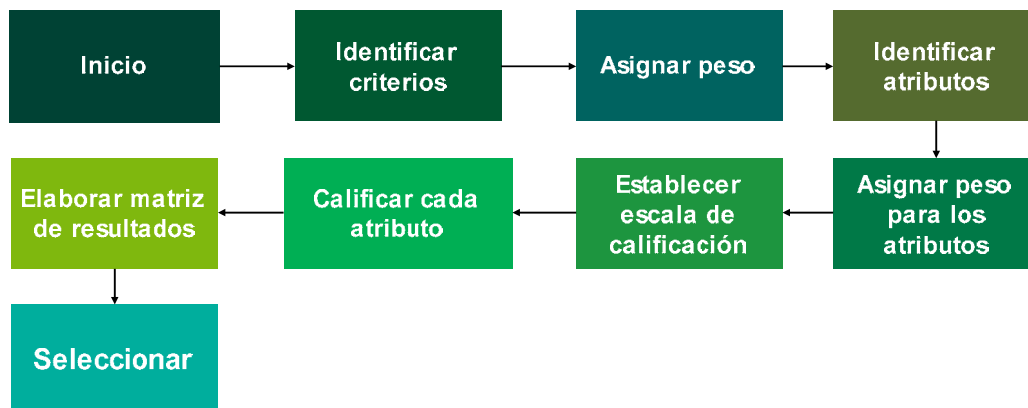
Para la selección de la materia prima, tecnología, capacidad y localización de la biorrefinería es necesario utilizar un método de decisión. El método más utilizado en el área de proyectos de ingeniería de la UNAM, la evaluación matricial (Figura 23).

Este consiste en la asignación de pesos a cada criterio y atributo, con ello se procede a calificar cada atributo según la escala planteada, se puede programar una hoja de Excel o bien existen diversos *software* especializados para las evaluaciones multicriterio, algunos de ellos son PROMETHEE TRI, ELECTRE TRI, PROMSORT, UTADIS y PAIRCLASS (Batista de Oliveira, Hazin Alencar, & Cabral Seixas Costa, 2016). Lo más importante en la utilización de estas metodologías es la asignación adecuada de los pesos de ponderación, para ello es necesario que especialistas y personas con experiencia participen en cada evaluación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Evaluaciones a realizarse en un proyecto de biorrefinación



Fuente: (Moreno Lamonte, y otros, 1998)

Figura 23. Metodología de evaluación integral de alternativas.

En la Figura 24 se muestra un ejemplo de una matriz donde se colocarán los criterios a los cuales se les asignará un peso determinado de tal modo que la

suma de las ponderaciones sea 100%. Estos criterios contendrán atributos a los cuales también se les asignará un determinado peso de tal manera que la suma de los pesos de los atributos de un criterio sume 100%. Cada atributo será calificado del 1 al 5 según la escala que se muestra en la misma figura.

La calificación final deberá tener un valor igual o menor a 1000 puntos. La opción más viable será la que mayor puntaje tenga. A mayor puntaje mayor viabilidad según los criterios y atributos colocados en la matriz.

| Criterios y Atributos | Peso | Ptos Max | Alternativa 1 | | Alternativa 2 | | Alternativa 3 | | Alternativa 4 | | Alternativa 5 | |
|-----------------------|------|-------------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
| | | | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje |
| Criterio 1 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 1 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 2 | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Criterio 2 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 1 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 2 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 3 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 4 | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Criterio 3 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 1 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 2 | | | | | | | | | | | | |
| Aspecto 3 | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | | | | | | | |

Escala de Calificación de Atributos

| Descripción | Calificación |
|--|--------------|
| Atributo no disponible | 0 |
| Calificación mínima / Atributo muy pobre | 1 |
| Calificación mínima -media/ Atributo pobre | 2 |
| Calificación media / Atributo promedio | 3 |
| Calificación media-máxima / Atributo bueno | 4 |
| Calificación máxima / Atributo muy bueno | 5 |

Asignación de la ponderación de aspectos a evaluar

| Aspecto | Puntaje |
|--------------|-------------|
| Criterio 1 | |
| Criterio 2 | |
| Criterio 3 | |
| Total | 100% |

PONDERACION DE ATRIBUTOS 1-100

CALIFICACIÓN DE ATRIBUTOS 1-5

Fuente: (Moreno Lamonte, y otros, 1998)

Figura 24. Matriz ejemplo para la evaluación multicriterio.

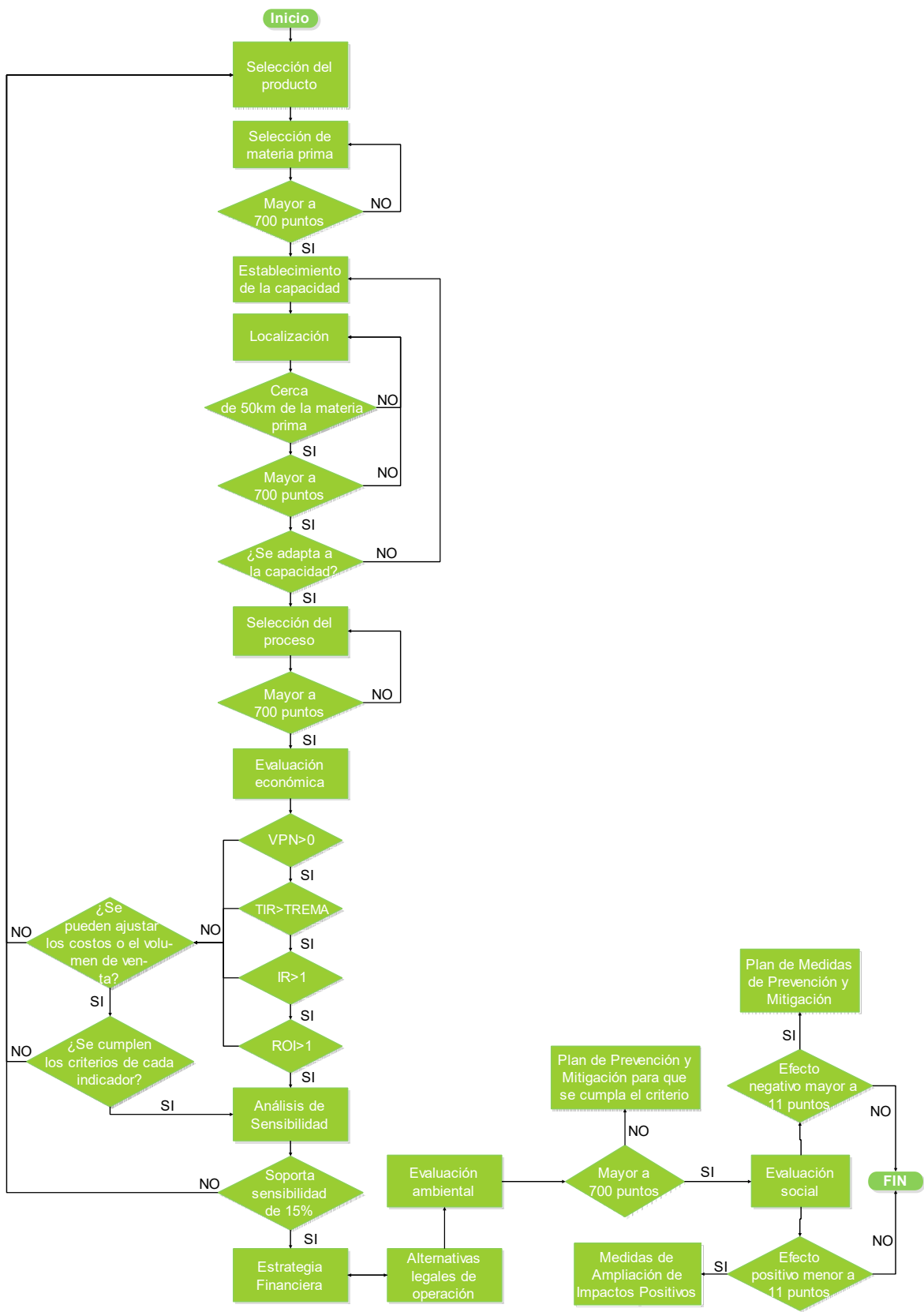
En la Figura 25 se muestra el procedimiento a seguir para evaluar y formular el proyecto de biorrefinación. El procedimiento toma en cuenta una evaluación del tipo matricial. Con base en ese método, el puntaje mínimo a obtener para que proceda la alternativa es de 700 puntos. La evaluación económica, a diferencia del método matricial, utiliza criterios específicos que toma como base un estado financiero proyectado. Posteriormente se realizará la estrategia financiera, es decir, se tendrá que elegir el fondo que más convenga, esta decisión afectará al modelo legal de operación. La estrategia financiera va íntimamente ligada a la estrategia de financiamiento. Una vez definida la parte técnica, económica y financiera del proyecto es necesario realizar los estudios de evaluación de impacto ambiental y social, los cuales son indispensables para este tipo de proyecto.

En la Tabla 21 se muestran los entregables para esta etapa del proyecto y en la Figura 26 se muestra el plan de trabajo que se deberá seguir para desarrollar la etapa FEL II. El plan de trabajo tiene marcadas actividades técnicas como la definición de la ingeniería conceptual, la cual no se abarca en la presente guía.

Tabla 21. Lista maestra de la ingeniería conceptual de la biorrefinería

| Entregables |
|--|
| ➤ Estudio de Mercado |
| ➤ Actualización de la alineación con la estrategia |
| ➤ Actualización del alcance |
| ➤ Actualización del equipo de proyecto |
| ➤ Evaluación del sitio señalado (Selección de sitio de proyecto) |
| ➤ Evaluación y selección de tecnología |
| ➤ Evaluación de Impacto Ambiental |
| ➤ Evaluación de Impacto Social |
| ➤ Ingeniería conceptual |
| ➤ Permisos |
| ➤ Plan de ejecución |
| ➤ Programa de ejecución |
| ➤ Actualización del Caso de negocio (ACB) |
| ➤ Estimado de costo de inversión |
| ➤ Plan, Programa y recursos para FEL III |

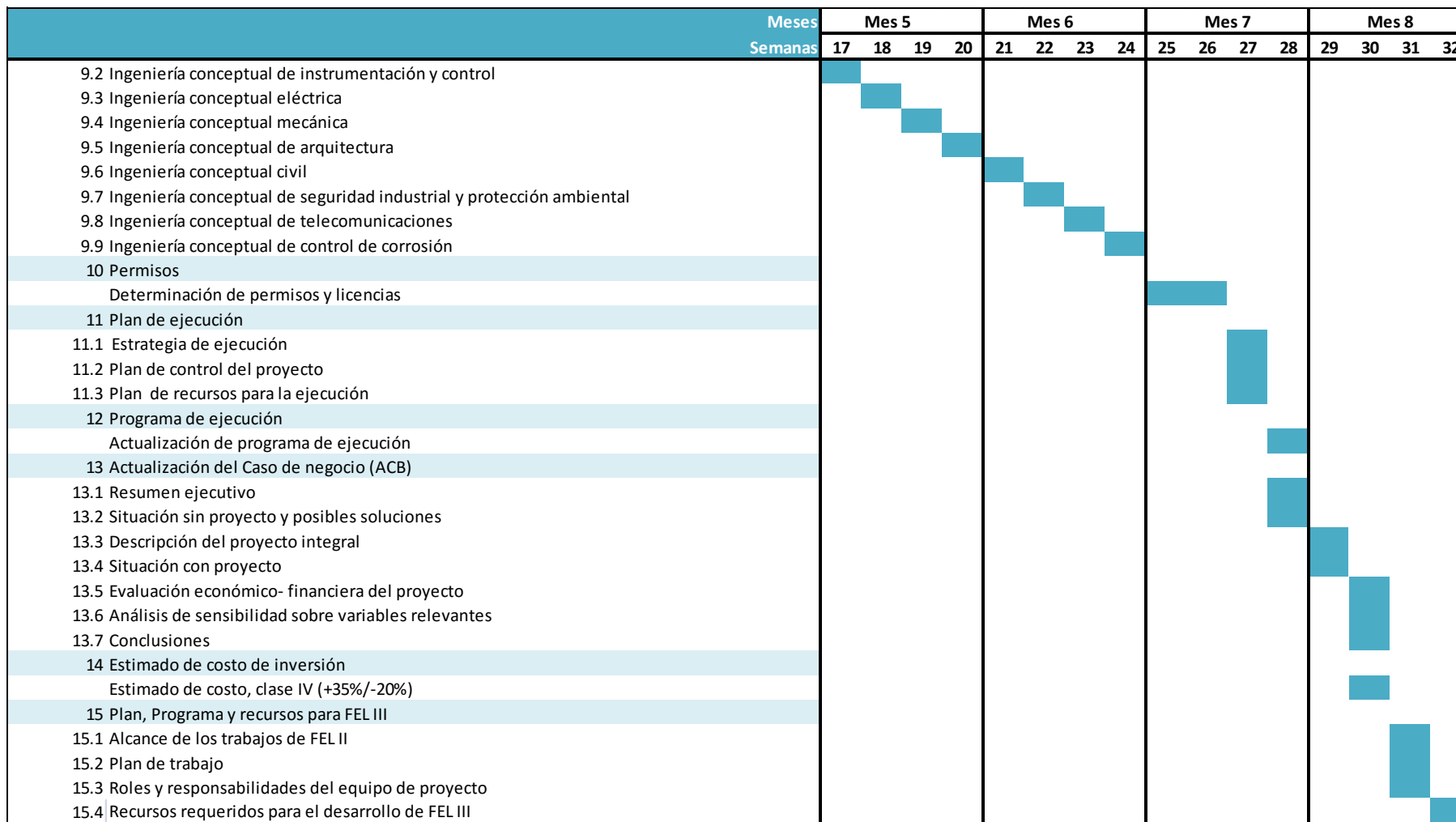
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25. Procedimiento de formulación y evaluación de un proyecto de biorrefinación.

| Meses Semanas | Mes 1 | | | | Mes 2 | | | | Mes 3 | | | | Mes 4 | | | |
|--|-------------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|----|----|----|-------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 Estudio de mercado | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Evaluación de la selección del producto | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 Identificar consumidores, productores y competencia de ventas | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 Identificar canales de distribución | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 Determinar rango de precios | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 Actualización de la alineación con la estrategia | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alineación de proyectos con Planes Nacionales | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 Actualización del alcance | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Declaración del alcance para el desarrollo de la ingeniería básica | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 Actualización del equipo de proyecto | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 Organigrama para la etapa FEL II | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 Actualizar el equipo, ratificar e integrar a los miembros del equipo de proyecto | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 Actualización de roles y responsabilidades de los participantes del proyecto. | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.4 Actualización de programa de integración de los recursos humanos | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.5 Actualización de la matriz de responsabilidades | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.6 Aprobación del equipo de proyecto | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 Evaluación del sitio señalado (Selección de sitio de proyecto) | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 Análisis de matriz para evaluación de sitios | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 Estudios de sitio | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 Derechos de vía y afectaciones (adquisiciones de terreno) | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 Selección de sitio | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 Evaluación y selección de tecnología | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 Evaluación y selección de tecnología | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 Gestión previa a la negociación de la tecnología | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 Evaluación de Impacto Ambiental | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 Establecer línea base | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 Determinación y evaluación de impactos ambientales | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 Evaluación de Impacto Social | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 Establecer línea base | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 Determinación y evaluación de impactos sociales | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 Ingeniería conceptual | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.1 Ingeniería conceptual de proceso | [Gantt bar] | | | | | | | | | | | | | | | |



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Plan de trabajo de la ingeniería conceptual biorrefinería.

3.2 Estudio de Mercado

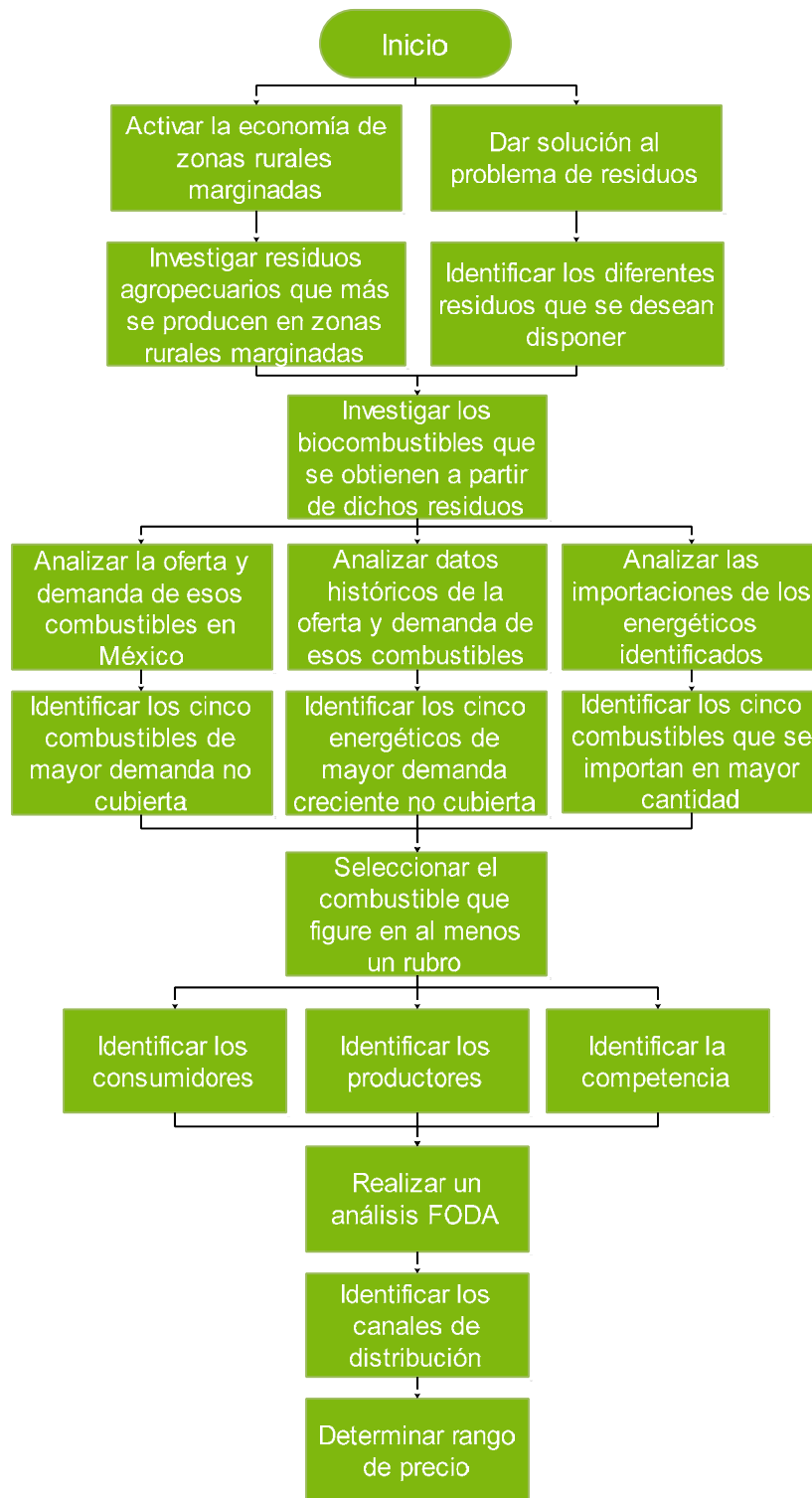
El estudio de mercado es un análisis que se realiza para identificar la respuesta o impacto en el mercado (demanda, oferta) ante un producto o servicio, conocer los canales de distribución existentes y analizar el rango de precios.

En el sector energético los datos y el análisis de la oferta y la demanda de energía, así como la mayor parte de los datos que se requieren para realizar el estudio de mercado se muestran en el Balance Nacional de Energía que la Secretaría de Energía publica año con año.

El estudio de mercado es un documento muy importante para el inicio del proyecto porque identificará la oportunidad que existe de invertir en un biocombustible en específico o se podrán identificar los posibles biocombustibles a producir para conseguir el objetivo propuesto. Este documento proporcionará la información necesaria para establecer las posibles ubicaciones de la biorrefinería, se identificarán los canales de distribución, los posibles consumidores y la competencia. Todo lo anterior es estrictamente necesario para determinar si la idea del proyecto de producir un determinado biocombustible tiene posibilidades de prosperar.

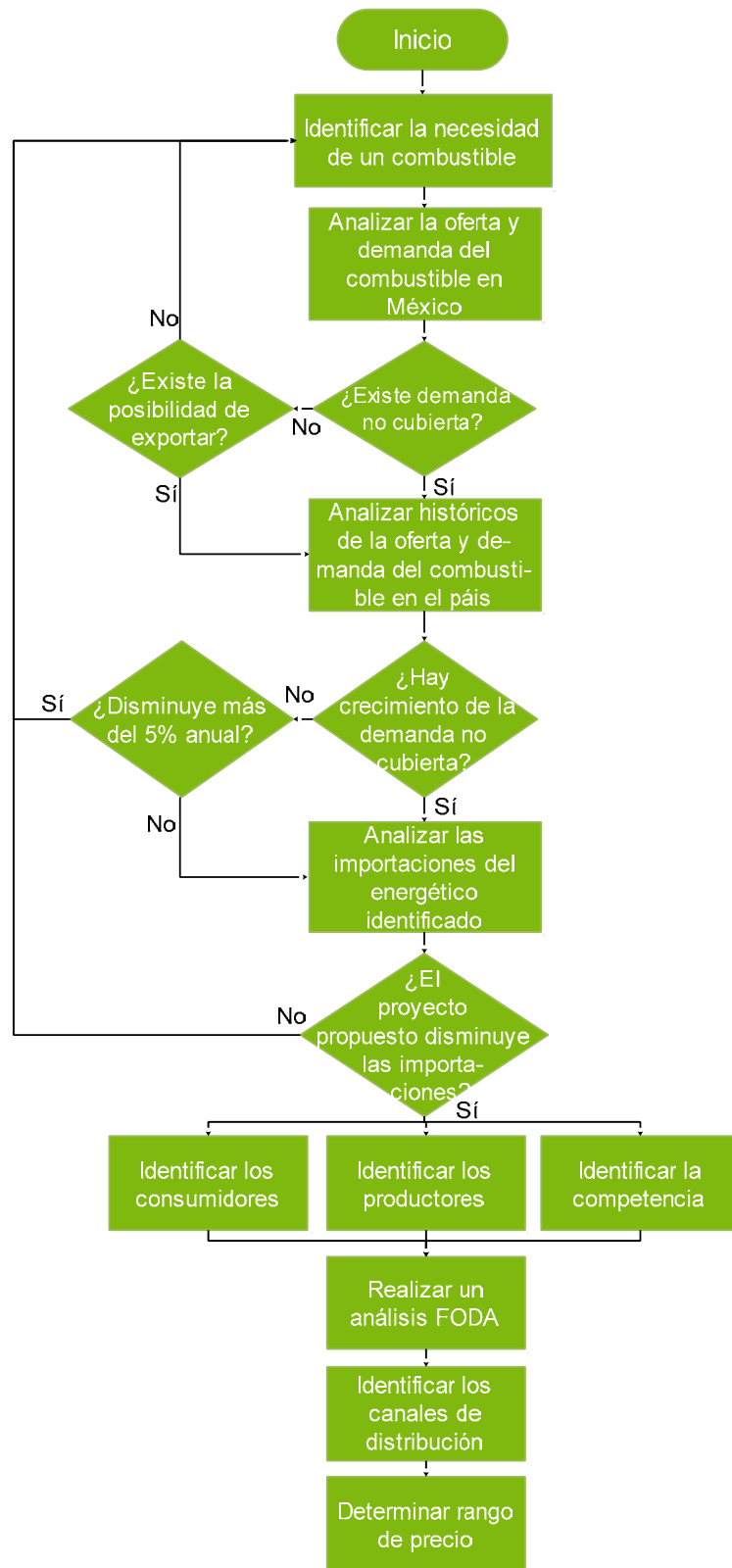
En la Figura 27 y la Figura 28 se muestra el procedimiento general a seguir para realizar el estudio de mercado. La diferencia principal de cada esquema es que en la Figura 27 se plantean los principales impulsores de la creación de una biorrefinería y con base en ellos, se analizan datos de la oferta y la demanda para determinar el biocombustible que tiene buen potencial para ser comercializado. A diferencia de la Figura 28, que desde un principio se plantea el biocombustible que se quiere producir y el estudio de mercado será el instrumento que evaluará si el biocombustible tiene la oportunidad o no de introducirse en el mercado exitosamente.

Se puede tener identificada la necesidad de un biocombustible y el estudio de mercado ayudará a determinar si el combustible que se desea producir tiene oportunidad de prosperar con base en un análisis de la oferta y demanda.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Procedimiento a seguir para realizar el estudio de mercado con base en materia prima susceptible de ser transformada en biocombustibles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Procedimiento para realizar estudio de mercado con base en un producto previamente propuesto.

3.3 Selección de materias prima

La mayoría de combustibles pueden ser elaborados a partir de biomasa proveniente de las áreas metropolitanas, resolviendo el problema de disposición de residuos industriales y residuos sólidos municipales, o de biomasa proveniente de zonas rurales activando así su economía (Figura 29).

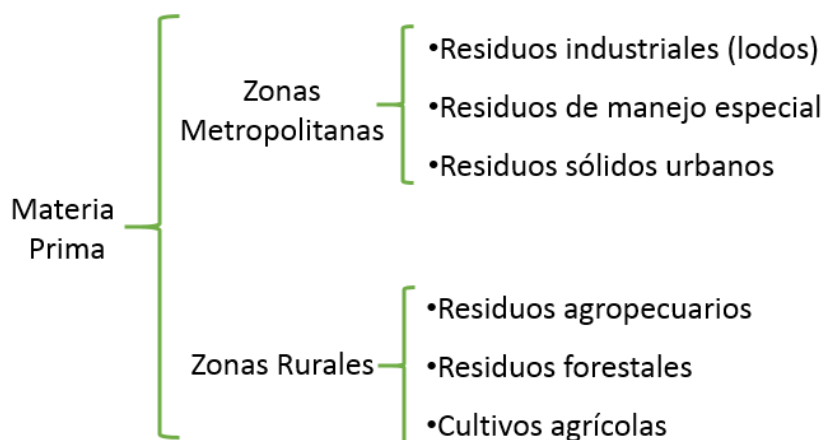


Figura 29. Origen de las materias primas susceptibles a ser transformadas a biocombustibles de segunda generación.

Fuente: Elaboración propia

Las alternativas deben de ser evaluadas, sin embargo, existe una diferencia en cuanto al origen de la materia prima. Por lo anterior, es necesario realizar dos matrices, una para evaluar la materia prima no cultivable, es decir, residual y la otra para la materia prima cultivable.

Los aspectos que se evaluarán para las materias primas de las zonas metropolitanas serán los técnicos, económicos y aspectos importantes. Para las materias primas cultivables se le agregará un aspecto titulado evaluación de la disponibilidad de materias primas debido a que hay más variables que la afectan directamente (Tabla 22).

Tabla 22. Descripción de los aspectos a evaluar para la elección de la materia prima.

| Criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|------------------|---|---|----------------------|---|
| Técnico | Evalúa el potencial energético según sus características intrínsecas y disponibilidad. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Etapa de la tecnología ➤ Contenido energético ➤ Disponibilidad de materia prima ➤ Áreas cultivables ➤ Baja sensibilidad del clima ➤ Rendimiento por hectárea ➤ Estacionalidad | ≥60% | ➤ En este aspecto se toman en cuenta criterios para la materia prima cultivable |
| Plausible | Evalúa atributos clave de la materia prima que afectan de manera indirecta al proyecto. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Logística para su recolección ➤ Beneficios regionales ➤ Impacto ambiental positivo | 40%-20% | |

Fuente: Elaboración propia

Es preciso definir los atributos a evaluar para la selección de materia prima con la finalidad de proporcionar un mayor entendimiento de lo que se evaluará (Tabla 23).

Tabla 23. Descripción de los atributos para la elección de la materia prima.

| Atributo | Descripción |
|--------------------------------------|--|
| Etapa de la tecnología | Madurez de la tecnología para la producción del biocombustible. |
| Pretratamiento | Facilidad del proceso de pretratamiento en caso de haberlo. |
| Disponibilidad | Existencia de materias primas en México para la producción a escala comercial. |
| Contenido energético | Energía por cada kilogramo de materia prima transformada en biocombustible. |
| Logística para su recolección | El grado de implementación de los canales de recolección de la materia prima. |
| Impacto ambiental positivo | Consecuencias ambientales ocasionadas por el proyecto, por ejemplo, emisiones de GEI en la producción y del uso del biocombustible, efluentes de su proceso, residuos peligrosos o de difícil tratamiento. |
| Beneficios regionales | Impacto positivo en las posibles ubicaciones de la biorrefinería. |

| Atributo | Descripción |
|-----------------------------------|---|
| Área cultivable | Área disponible donde se cultive adecuadamente la materia prima. |
| Sensibilidad baja al clima | Resistencia del cultivo a las condiciones climáticas irregulares. |
| Rendimiento por hectárea | Peso de materia prima obtenida por hectárea. |
| Estacionalidad | Cantidad de tiempo que estarán disponibles las materias primas. |

Fuente: Elaboración propia

En las Figura 30 y Figura 31 se muestran los esquemas de matriz a modo de ilustrar la organización que deberá tener cada una según el tipo de residuo que se desee evaluar.

| Criterios y Atributos | Peso | Ptos Max | Materia Prima 1 | | Materia Prima 2 | | Materia Prima 3 | | Materia Prima 4 | | Materia Prima 5 | |
|---|------|-------------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| | | | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje |
| Evaluación técnica | | | | | | | | | | | | |
| Etapa de la tecnología | | | | | | | | | | | | |
| Pretratamiento | | | | | | | | | | | | |
| Disponibilidad | | | | | | | | | | | | |
| Contenido energético | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de Aspectos Estratégico Prácticos | | | | | | | | | | | | |
| Logística para recolección | | | | | | | | | | | | |
| Impacto ambiental positivo | | | | | | | | | | | | |
| Beneficios regionales | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | | | | | | | |

Escala de Calificación de Atributos

| Descripción | Calificación |
|--|--------------|
| Atributo no disponible | 0 |
| Calificación mínima / Atributo muy pobre | 1 |
| Calificación mínima -media/ Atributo pobre | 2 |
| Calificación media / Atributo promedio | 3 |
| Calificación media-máxima / Atributo bueno | 4 |
| Calificación máxima / Atributo muy bueno | 5 |

Asignación de la ponderación de aspectos a evaluar

| Aspecto | Puntaje |
|--|---------|
| Evaluación técnica | |
| Evaluación de Aspectos Estratégico Prácticos | |
| Total | 100% |

PONDERACION DE ATRIBUTOS 1-100

CALIFICACIÓN DE ATRIBUTOS 1-5

Fuente: Elaboración propia con base en (del Río Soto, y otros, 1998)

Figura 30. Matriz de evaluación para la selección de la materia prima a partir de residuos.

| Criterios y Atributos | Peso | Ptos Max | Materia Prima 1 | | Materia Prima 2 | | Materia Prima 3 | | Materia Prima 4 | | Materia Prima 5 | |
|---|------|-------------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| | | | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje |
| Evaluación técnica | | | | | | | | | | | | |
| Etapa de la tecnología | | | | | | | | | | | | |
| Contenido energético | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de la disponibilidad | | | | | | | | | | | | |
| Área cultivable | | | | | | | | | | | | |
| Sensibilidad baja al clima | | | | | | | | | | | | |
| Rendimiento por hectárea | | | | | | | | | | | | |
| Estacionalidad | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de Aspectos Estratégico Prácticos | | | | | | | | | | | | |
| Logística para recolección | | | | | | | | | | | | |
| Beneficios regionales | | | | | | | | | | | | |
| Impacto ambiental favorable | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | | | | | | | |

Escala de Calificación de Atributos

| Descripción | Calificación |
|--|--------------|
| Atributo no disponible | 0 |
| Calificación mínima / Atributo muy pobre | 1 |
| Calificación mínima -media/ Atributo pobre | 2 |
| Calificación media / Atributo promedio | 3 |
| Calificación media-máxima / Atributo bueno | 4 |
| Calificación máxima / Atributo muy bueno | 5 |

Asignación de la ponderación de aspectos a evaluar

| Aspecto | Puntaje |
|--|---------|
| Evaluación técnica | |
| Evaluación de la disponibilidad | |
| Evaluación de Aspectos Estratégico Prácticos | |
| Total | 100% |

PONDERACION DE ATRIBUTOS 1-100

CALIFICACIÓN DE ATRIBUTOS 1-5

Fuente: Elaboración propia con base en (del Río Soto, y otros, 1998)

Figura 31. Matriz de evaluación para la selección de la materia prima cultivable no comestible.

3.4 Establecimiento de la capacidad

La capacidad de una planta química es la cantidad de materia prima a transformar en un determinado periodo de tiempo.

Aparentemente establecer la capacidad de una biorrefinería no es un tema que se resalte en los libros de ingeniería de proyectos, sin embargo, es importante porque la capacidad es función de diversos factores tales como la demanda del biocombustible, el punto de equilibrio, la localización de la planta que tiene que ver con la disponibilidad de la materia prima y el área del terreno. Los criterios que deben ser tomados en cuenta para determinar la capacidad de la biorrefinería se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Variables involucradas en la determinación de la capacidad de una biorrefinería.

| Criterios | Descripción |
|----------------------------|---|
| Demanda | La cantidad de biocombustible máximo a producir será delimitada por la demanda no cubierta obtenida del estudio de mercado donde se analizó la relación oferta-demanda y se investigó la cantidad de importaciones. |
| Punto de equilibrio | La cantidad mínima a producir de biocombustible para que el proyecto sea económicamente rentable está dada por el punto de equilibrio el cual se calcula determinando el precio del biocombustible, estableciendo los costos fijos y costos variables. Más adelante será descrito con mayor detalle. |
| Localización | La cantidad de materia prima disponible en el lugar donde se localizará la biorrefinería así como el área que ocupará el terreno, determinarán conjuntamente la cantidad máxima de biocombustible a producir. Es importante mencionar que se puede establecer primeramente la localización de la biorrefinería y con base en ello ajustar la capacidad. |

Fuente: Elaboración propia

3.5 Localización de la biorrefinería

La localización de la planta es un aspecto sumamente importante debido a que el no elegir una ubicación económicamente favorable puede repercutir en costos innecesarios y en tiempo mal aprovechado. Aunado a lo anterior, la localización está estrechamente relacionada la capacidad de la planta ya que la disponibilidad de la materia prima y el área donde se ubicará la biorrefinería son aspectos de la localización que afectan directamente la capacidad. En la Tabla 25 se describen los criterios mínimos a tomar en cuenta para seleccionar la localización de la biorrefinería.

Tabla 25. Descripción de los aspectos a evaluar para la elección de la localización.

| Criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|------------------|--|---|----------------------|---|
| Logística | Evaluación del suministro y distribución de las materias primas y los productos. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de materia prima actual ➤ Disponibilidad de materia prima a futuro ➤ Disponibilidad de transporte ➤ Disponibilidad de carreteras ➤ Cercanía de la materia prima ➤ Cercanía a mercados consumidores ➤ Normatividad para el uso de materia prima | ≥25% | Este criterio tiene un peso importante debido a que los mayores costos son consecuencia de errores en la logística. |

| criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|----------------------------|---|---|----------------------|--|
| Operación de planta | Evaluación de los servicios disponibles para que el proceso se lleve a cabo de manera adecuada. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de electricidad ➤ Costo de energía eléctrica ➤ Calidad de agua ➤ Disponibilidad de agua ➤ Costo de agua ➤ Disponibilidad de carreteras ➤ Alumbrado público ➤ Alcantarillado ➤ Normatividad relativa al proceso | ≥25% | Este criterio es de un peso elevado debido a que afecta directamente a que el proceso se lleve a cabo. |
| Sitio | Evaluación integral de las características del sitio. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Costo del terreno ➤ Mecánica de suelos ➤ Accesibilidad ➤ Espacio para expansión ➤ Clima ➤ Historia de catástrofes naturales ➤ Normatividad relativa al sitio | ≥20% | Este criterio es importante porque puede afectar a la construcción de la planta. |
| Comunidad | Evaluación de las características económicas y sociales de la comunidad | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de mano de obra ➤ Servicios públicos ➤ Costo de vida ➤ Impacto social ➤ Normatividad relativa a la comunidad | ≥15% | NA |
| Seguridad | Evaluación de los servicios de seguridad disponibles. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Servicios de seguridad pública ➤ Facilidades médicas ➤ Normatividad relativa a la seguridad | ≥15% | NA |

Fuente: Elaboración propia.

Para entender en su totalidad a lo que se refiere cada uno de los aspectos, se describen en la Tabla 26 y en la Figura 32.

Tabla 26. Descripción de los atributos para la elección de la localización.

| Atributo | Descripción |
|--|--|
| Disponibilidad de materia prima actual | Cantidad de materia prima susceptible de ser utilizada en un plazo de 5 años. |
| Disponibilidad de materia prima a futuro | Cantidad de materia prima susceptible de ser utilizada en un plazo mayor a 5 años. |
| Cercanía de la materia prima | Distancia de la materia prima no mayor a 50 km de la planta. |
| Cercanía a mercados consumidores | Distancia de los consumidores o compradores no mayor a 65 km de la biorrefinería. |
| Disponibilidad de transporte | Cantidad de transportes para movilizar la materia prima a la planta. |
| Disponibilidad de carreteras | Carreteras que faciliten la transportación de las materias primas. |
| Normatividad para el uso de materia prima | Restricciones e incentivos respecto al uso de materia prima en dicha zona. |
| Disponibilidad de electricidad | Cantidad de energía eléctrica suficiente para operar la biorrefinería. Investigar en CFE si la zona cuenta con suministro de electricidad. |
| Costos de energía eléctrica | Costo por KWh de electricidad en dicha zona. |
| Calidad de agua | Temperatura, pH, dureza, contenido biológico y de minerales óptimo para la operación de la biorrefinería. |
| Disponibilidad de agua | Cantidad de agua suficiente para los procesos de la biorrefinería. Investigar en el municipio correspondiente la cantidad de agua que es suministrada. |
| Costo de agua | Costo de m ³ de agua en la localidad. |
| Alumbrado público | Sistema de electricidad en vía pública. |
| Alcantarillado | Sistema de tuberías y construcción utilizado para transportar aguas residuales, pluviales e industriales. |
| Normatividad relativa al proceso | Restricciones respecto a los efluentes y emisiones resultantes del proceso de biorrefinación. |
| Costo del terreno | Costo del terreno de la longitud especificada. |
| Mecánica de suelos | Características del suelo como densidad, humedad, porosidad, índice de huecos, grado de saturación. |
| Accesibilidad | Facilidad de acceso a la zona donde se encuentra la planta. Cuerpos de agua, montañas o cerros que obstruyan la zona. |
| Espacio para expansión | Disponibilidad de espacio en caso de requerir un aumento en la capacidad de la biorrefinería. |

| Atributo | Descripción |
|--|---|
| Clima | Temperatura, humedad del ambiente, velocidad del viento, frecuencia de precipitación adecuada para la operación de la planta y el buen rendimiento de los operadores. |
| Historia de desastres naturales | Acontecimientos previos de terremotos, huracanes, sequías e inundaciones. |
| Normatividad relativa al sitio | Restricciones e incentivos con respecto a la construcción de la biorrefinería y a la construcción e implementación de otros servicios públicos. |
| Disponibilidad de mano de obra | Cantidad de personas disponibles para trabajar en las construcciones de la planta. Considerar la tasa de desempleo de cada zona. |
| Servicios de luz, agua y gas para la vivienda | Sistemas instalados de luz, agua y gas disponibles para las viviendas. |
| Costo de vida | El precio de los servicios y los consumibles en cada zona. Éstos pueden ser consultados en el índice de precios al consumidor. |
| Impacto social | Impacto social positivo de acuerdo con las políticas públicas aplicables tales como el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional de Energía, entre otros. |
| Normatividad relativa a la comunidad | Restricciones e incentivos con respecto a la población y viviendas cercanas. |
| Servicios de seguridad pública | Cercanía de servicios contra incendio y policiacos. |
| Facilidades médicas | Cercanía de médicos y hospitales. |
| Normatividad relativa a la seguridad | Restricciones e incentivos con respecto a la seguridad de la población y el impacto ambiental |

Fuente: Elaboración propia.

| Criterios y atributos | Peso (%) | Máx Ptos | Localización 1 | | Localización 2 | |
|---|----------|-------------|----------------|---------|----------------|---------|
| | | | Calif | Puntaje | Calif | Puntaje |
| Logística | | | | | | |
| Disponibilidad de materia prima actual | | | | | | |
| Disponibilidad de materia prima a futuro | | | | | | |
| Cercanía de la materia prima | | | | | | |
| Cercanía a mercados consumidores | | | | | | |
| Normatividad para el uso de materia prima | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | |
| Operación de planta | | | | | | |
| Disponibilidad de electricidad | | | | | | |
| Costos de energía eléctrica | | | | | | |
| Calidad de agua | | | | | | |
| Disponibilidad de agua | | | | | | |
| Costo de agua | | | | | | |
| Disponibilidad de transporte | | | | | | |
| Disponibilidad de carreteras | | | | | | |
| Alumbrado público | | | | | | |
| Alcantarillado | | | | | | |
| Normatividad relativa al proceso | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | |
| Sitio | | | | | | |
| Costo del terreno | | | | | | |
| Mecánica de suelos | | | | | | |
| Accesibilidad | | | | | | |
| Espacio para expansión | | | | | | |
| Clima | | | | | | |
| Historia de catástrofes naturales | | | | | | |
| Normatividad relativa al sitio | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | |
| Comunidad | | | | | | |
| Disponibilidad de mano de obra | | | | | | |
| Servicios públicos | | | | | | |
| Costo de vida | | | | | | |
| Impacto social | | | | | | |
| Normatividad relativa a la comunidad | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | |
| Seguridad | | | | | | |
| Servicios de seguridad pública | | | | | | |
| Facilidades médicas | | | | | | |
| Normatividad relativa a la seguridad | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | |

| Escala de Calificación de Atributos | |
|--|--------------|
| Descripción | Calificación |
| Atributo no disponible | 0 |
| Calificación mínima / Atributo muy pobre | 1 |
| Calificación mínima -media/ Atributo pobre | 2 |
| Calificación media / Atributo promedio | 3 |
| Calificación media-máxima / Atributo bueno | 4 |
| Calificación máxima / Atributo muy bueno | 5 |

| Asignación de la ponderación de aspectos a evaluar | |
|--|---------|
| Aspecto | Puntaje |
| Logística de materia prima | |
| Servicios para operar la planta | |
| Características del sitio | |
| Factores de la comunidad | |
| Seguridad | |
| Total | 100% |

PONDERACION DE ATRIBUTOS 1-100
CALIFICACIÓN DE ATRIBUTOS 1-5

Figura 32. Matriz de evaluación para la selección de la localización. Fuente: Elaboración propia con base en (del Río Soto, y otros, 1998)

3.6 Seleccionar el proceso

La selección del proceso de la biorrefinería determinará gran parte de la viabilidad técnica del proyecto, debido a que establece características como la calidad de los productos, la inversión que se realizará, la mano de obra necesaria, por mencionar algunas.

Es necesario identificar aspectos y atributos del proceso para identificar el que mejor se adapte a las necesidades del proyecto. En la Tabla 27 se muestran los criterios mínimos a revisar para la elección del proceso.

Tabla 27. Descripción de los atributos para la selección del proceso.

| Criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|------------------------------|--|---|----------------------|---|
| Técnico | Evalúa qué tan viable y eficiente es el proceso | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad de la tecnología ➤ Rendimiento ➤ Susceptibilidad a modernización ➤ Sensibilidad de la escala ➤ Pretratamiento ➤ Insumos ➤ Servicios auxiliares ➤ Condiciones de operación ➤ Características especiales del producto ➤ Operación ➤ Flexibilidad del volumen de producción | ≥35% | N/A |
| Económico | Evalúa de manera general, la inversión y los costos variables del proceso | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Inversión estimada ➤ Costos variables estimados | ≥35% | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Es recomendable que este aspecto tenga un mayor peso que el técnico |
| Estratégico Prácticos | Evalúa atributos que afectan de manera indirecta la realización del proyecto con respecto al proceso | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Disminución de GEI ➤ Tratados de libre comercio ➤ Subproductos | 15%-25% | N/A |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 28 se muestra la interpretación de cada uno de los atributos que deberán ser evaluados como mínimo. En la Figura 33 se muestra la matriz de evaluación de la selección del proceso.

Tabla 28. Descripción de los atributos para la selección del proceso.

| Atributo | Descripción |
|--|--|
| Disponibilidad de la tecnología | La madurez de la tecnología a escala comercial para producir el biocombustible deseado con base al proceso elegido. |
| Rendimiento | El porcentaje de conversión de la materia prima en el producto elegido. |
| Susceptibilidad a modernización | La sensibilidad de la tecnología a ser cambiada o parcialmente modificada para una actualización. |
| Sensibilidad de la escala | Adaptabilidad de las características de escala piloto a escala comercial. |
| Pretratamiento | Facilidad del proceso que involucra algún cambio físico, químico o biológico previo a la reacción de transformación de la materia prima. |
| Insumos | Cantidad de catalizador, aditivos, por decir algunos ejemplos, que utiliza el proceso. |
| Servicios auxiliares | Cantidad de servicio de agua, electricidad y vapor requiere el proceso. |
| Condiciones de operación | Condiciones cercanas a la presión y temperaturas ambiente. |
| Servicios auxiliares | Cantidad de agua, vapor, electricidad, entre otros. |
| Proceso de purificación | Calidad del producto alcanzada por la tecnología. |
| Emisiones de GEI | Disminución de emisiones de GEI. |
| Inversión estimada | Costo de inversión de la tecnología. |
| Costos variables estimados | Costo de servicios e insumos que utiliza la tecnología tales como catalizadores, agua, electricidad, vapor, por mencionar algunos. |
| Tratados de libre comercio | Acuerdos jurídicos que existen entre los países que suministran los equipos para la tecnología. |
| Subproductos | Valor agregado obtenido de los subproductos. |
| Operación | Facilidad de operación de la tecnología. |
| Flexibilidad del volumen | Cantidad de producción que puede entregar el proceso. |

Fuente: Elaboración propia

| Criterios y Atributos | Peso | Ptos Max | Proceso 1 | | Proceso 2 | | Proceso 3 | | Proceso 4 | | Proceso 5 | |
|---|------|-------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje |
| Evaluación técnica de proceso | | | | | | | | | | | | |
| Disponibilidad de la tecnología | | | | | | | | | | | | |
| Rendimiento | | | | | | | | | | | | |
| Susceptibilidad a modernización | | | | | | | | | | | | |
| Sensibilidad de la escala | | | | | | | | | | | | |
| Pretratamiento | | | | | | | | | | | | |
| Servicios auxiliares | | | | | | | | | | | | |
| Insumos | | | | | | | | | | | | |
| Condiciones de operación | | | | | | | | | | | | |
| Operación | | | | | | | | | | | | |
| Características especiales de productos | | | | | | | | | | | | |
| Flexibilidad de volumen | | | | | | | | | | | | |
| Disminución GEI | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Evaluación Económico Financiera | | | | | | | | | | | | |
| Inversión estimada | | | | | | | | | | | | |
| Costos variables estimados | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de Aspectos Estratégico Prácticos | | | | | | | | | | | | |
| Tratados de libre comercio | | | | | | | | | | | | |
| Subproductos | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en (del Río Soto, y otros, 1998)

Figura 33. Matriz de evaluación para la selección de la tecnología que procese la materia prima.

3.7 Licencias

La licencia es un contrato de transferencia tecnológica mediante el cual el titular otorga a un tercero el derecho de explotar alguna invención patentada durante un periodo de tiempo bajo determinadas condiciones a cambio de un beneficio (royalty), que regularmente es un porcentaje sobre la utilidad bruta.

En el caso de las biorrefinerías se podría optar por adquirir una licencia para producir el biocombustible deseado con la materia prima elegida en vez de realizar la ingeniería con una firma de ingeniería. En la Tabla 29 se muestran los criterios a tomar en cuenta para la elección de adquisición de una licencia.

Tabla 29. Descripción de los atributos para la selección de la licencia.

| Criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|--|--|--|----------------------|--|
| Experiencia técnica-administrativa del licenciador | Evalúa la experiencia de implementar y gestionar la tecnología | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Obligaciones ➤ Derechos ➤ Restricciones ➤ Derechos de patente ➤ Formas de pago ➤ Exclusividad ➤ Temporalidad | ≥25 | Este criterio es muy importante porque definirá la rentabilidad y las oportunidades de la producción. |
| Garantía de la información técnica | Evalúa la disponibilidad de la información para que la tecnología se implemente y opere de manera adecuada | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo, nivel y calidad ➤ Fechas de entrega | ≤20 | Este criterio es importante para que funcione adecuadamente la biorrefinería. |
| Alcance de los servicios técnicos profesionales adicionales | Evalúa los servicios técnicos mínimos que deben ser ofrecidos por el licenciador | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad del personal ➤ Ingeniería de detalle ➤ Construcción ➤ Comportamiento de la biorrefinería | ≥20 | Los servicios mínimos ofrecidos por el licenciador definirán el éxito de la operación de la biorrefinería. |

| Criterio | Objeto de medición | Atributos | Rango de ponderación | Notas |
|---|--|---|----------------------|---|
| Garantía de funcionamiento del proceso | Evalúa la eficiencia del funcionamiento del proceso | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad de la planta ➤ Materia prima ➤ Servicios auxiliares ➤ Insumos ➤ Productos ➤ Efluentes ➤ Periodo de operación ➤ Acceso a nuevos desarrollos | ≥20 | Este criterio es importante debido a que garantiza el funcionamiento adecuado de la biorrefinería y puede ser reclamado en caso contrario |
| Servicios profesionales adicionales | Evalúa los servicios adicionales que el licenciador ofrece | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Supervisión ➤ Capacitación del personal ➤ Soportes ➤ Certificaciones | ≤15 | Los servicios adicionales pueden facilitar el funcionamiento de la biorrefinería. |

Fuente: Elaboración propia con base en (Anaya Durand, Barragán Acevedo, & Vergara Vega, 2013)

En la Tabla 30 se muestra la interpretación de cada uno de los atributos que deberán ser evaluados para la adecuada elección de la licencia. En la Figura 34 se encuentra la matriz de evaluación de la elección de la licencia.

Tabla 30. Descripción de los atributos para la elección de la licencia.

| Atributo | Descripción |
|-------------------------------|---|
| Obligaciones | Capacidad y disposición del cumplimiento con las obligaciones del contrato. |
| Derechos | Grado de aceptación y satisfacción de los derechos generales estipulados en el contrato. |
| Restricciones | Grado de aceptación de las restricciones estipulados en el contrato |
| Derechos de patente | Grado de aceptación y satisfacción de los derechos propios de la patente o tecnología estipulados en el contrato. |
| Formas de pago | Conveniencia de la forma de pago ya sea un pago fijo o una tasa sobre las utilidades brutas. |
| Exclusividad | Cantidad de licenciatarios que pueden llegar a haber en la región, el país, internacionalmente. |
| Temporalidad | Conveniencia de plazo durante el cual se puede explotar la tecnología. |
| Tipo, nivel y calidad | Disponibilidad de la información de acuerdo al tipo, nivel y calidad de la misma. |
| Fechas de entrega | Tiempo de entrega de la información que asegure la adecuada operación de la tecnología. |
| Capacidad del personal | Calidad del personal que estará apoyando en la implementación de la tecnología. |

| Atributo | Descripción |
|---|---|
| Ingeniería de detalle | Responsabilidad del licenciador en la supervisión de la ingeniería de detalle. |
| Construcción | Responsabilidad del licenciador en la supervisión de la construcción |
| Comportamiento de la biorrefinería | Criterios y procedimientos para pruebas de comportamiento de la biorrefinería. |
| Capacidad de la biorrefinería | Cantidad de producto que genera la tecnología. |
| Materias primas | Cantidad de materias primas que consume la biorrefinería. |
| Servicios auxiliares | Cantidad de consumo de agua, luz, vapor, por ejemplo. |
| Insumos | Cantidad de consumo de catalizadores, levaduras, aditivos por decir algunos ejemplos. |
| Productos | Grado de pureza o composición necesaria del biocombustible. |
| Efluentes | Grado de inocuidad de los efluentes del proceso. |
| Periodo de operación | Periodo de operación continua de la biorrefinería. |
| Acceso a nuevos desarrollos | Disponibilidad de acceder a innovaciones en la tecnología. |
| Supervisión | Disponibilidad de personal que supervise la operación de la tecnología. |
| Capacitación del personal | Cantidad de cursos disponibles para la capacitación del personal. |
| Soportes | Disponibilidad de servicios de apoyo para operar la tecnología. |
| Certificaciones | Cantidad y prestigio de certificaciones de procesos y de la empresa misma. |

Fuente: Elaboración propia

| Criterios y Atributos | Peso | Ptos Max | Tecnología 1 | | Tecnología 2 | | Tecnología 3 | | Tecnología 4 | | Tecnología 5 | |
|--|------|-------------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| | | | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje | Calif. | Puntaje |
| Licencia y tecnología | | | | | | | | | | | | |
| Obligaciones | | | | | | | | | | | | |
| Derechos | | | | | | | | | | | | |
| Restricciones | | | | | | | | | | | | |
| Derechos de patente | | | | | | | | | | | | |
| Formas de pago | | | | | | | | | | | | |
| Exclusividad | | | | | | | | | | | | |
| Temporalidad | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Garantía de la información técnica | | | | | | | | | | | | |
| Tipo, nivel y calidad | | | | | | | | | | | | |
| Fechas de entrega | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Alcance de los servicios técnicos profesionales adicionales | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad del personal | | | | | | | | | | | | |
| Ingeniería de detalle | | | | | | | | | | | | |
| Construcción | | | | | | | | | | | | |
| Comportamiento de la biorrefinería | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Garantías de funcionamiento del proceso | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad de la biorrefinería | | | | | | | | | | | | |
| Materias primas | | | | | | | | | | | | |
| Servicios auxiliares | | | | | | | | | | | | |
| Insumos | | | | | | | | | | | | |
| Productos | | | | | | | | | | | | |
| Efluentes | | | | | | | | | | | | |
| Periodo de operación | | | | | | | | | | | | |
| Acceso a nuevos desarrollos | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| Servicios profesionales adicionales | | | | | | | | | | | | |
| Supervisión | | | | | | | | | | | | |
| Capacitación del personal | | | | | | | | | | | | |
| Soportes | | | | | | | | | | | | |
| Certificaciones | | | | | | | | | | | | |
| Subtotal | 100% | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 1000 | | | | | | | | | | |

Escala de Calificación de Atributos

| Descripción | Calificación |
|--|--------------|
| Atributo no disponible | 0 |
| Calificación mínima / Atributo muy pobre | 1 |
| Calificación mínima -media/ Atributo pobre | 2 |
| Calificación media / Atributo promedio | 3 |
| Calificación media-máxima / Atributo bueno | 4 |
| Calificación máxima / Atributo muy bueno | 5 |

Asignación de la ponderación de aspectos a evaluar

| Aspecto | Puntaje |
|---|---------|
| Licencia y tecnología | 100% |
| Garantía de la información técnica | |
| Alcance de los servicios técnicos profesionales adicionales | |
| Garantías de funcionamiento del proceso | |
| Información técnica | |
| Servicios profesionales adicionales | |

Fuente: Elaboración propia con base en (del Río Soto, y otros, 1998)

Figura 34. Matriz de evaluación para la selección de la transferencia tecnológica (licencia).

3.8 Evaluación económica

La evaluación económica a nivel perfil de un proyecto de inversión permite determinar su rentabilidad. Dicha evaluación requiere el cálculo de los beneficios y los costos monetarios, para ello es necesario utilizar información disponible en revistas especializadas, libros de la materia, estudios similares, estadísticas, información histórica y paramétrica, así como experiencia de otros países y gobiernos (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2013). Los costos y beneficios mínimos a tomarse en cuenta se enlistan y se explican en la Tabla 31.

Tabla 31. Elementos de la evaluación económica de una biorrefinería

| Concepto | Descripción | Notas |
|--------------------------------|--|---|
| Ventas | <p>Ingresos resultantes de la venta del biocombustible producido en un año.</p> <p>Se calcula multiplicando el precio de venta por el volumen vendido.</p> $\text{Ventas} = L_{\text{año}} \times \$_{\text{venta}}$ <p>Nota: El precio de venta deberá ser igual o mayor en un 10% al precio actual del biocombustible.</p> | <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Biogás ➤ Bioetanol ➤ Biodiesel ➤ Biohidrógeno ➤ Metano |
| Costos fijos | Erogaciones o egresos que no son afectados por el volumen de biocombustible generado. | <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mantenimiento del equipo ➤ Pago de seguros ➤ Arrendamiento de algún equipo |
| Costos variables | Erogaciones o egresos que dependen del volumen de biocombustible generado. | <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Materia prima ➤ Recolección de materia prima ➤ Insumos ➤ Electricidad para el proceso ➤ Agua para el proceso ➤ Vapor para el proceso |
| Gasto de administración | Erogaciones o egresos que son resultado del control y la dirección de la biorrefinería. | <p>Ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nómina ➤ Trámites legales ➤ Servicio de teléfono e internet ➤ Materiales de oficina ➤ Luz y agua para las oficinas |

| Concepto | Descripción | Notas |
|--|---|--|
| Gasto de ventas | Erogaciones o egresos que son resultado de la comercialización de los biocombustibles. | Ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Publicidad ➤ Distribución del producto |
| Depreciación de la planta | Disminución del valor de los bienes inmuebles de la biorrefinería. | Ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipos ➤ Bienes inmuebles que posea la empresa |
| Ingresos de incentivos | Ingresos a causa de incentivos económicos de parte del gobierno a los proyectos que contribuyan a la transición energética. | Ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Certificados de Energías Limpias (CEL's) ➤ Arancel Cero ➤ Banco de Energía ➤ Bonos de Carbono |
| Impuestos | Erogación obligatoria impuesta por el Estado. Este egreso es un porcentaje sobre la utilidad antes de impuestos. | Ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> ➤ ISR ➤ IVA ➤ IEPS |
| Flujo de Efectivo Operativo (F.E.O.) | Fondos generados por una inversión sobre la vida estimada el proyecto. | Ecuación: F.E.O.=UN+D UN: Utilidad Neta D=Depreciación |
| Flujo de Efectivo de Inversión (F.E.I.) | Erogaciones o egresos que se realizan para comprar los bienes inmuebles de la biorrefinería. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Terreno ➤ Construcciones ➤ Equipo de proceso ➤ Instalaciones |
| Flujo de Efectivo Descontado (F.E.D.) | Fondos generados por una inversión sobre la vida estimada el proyecto. | Ecuación: $F.E.D. = \frac{F.E.O.}{(1+i)^n}$ i=Tasa de interés n=año en el que se computa el interés |

Fuente: Elaboración propia con base en (Ciceri Silvenses, 2009)

Para determinar la rentabilidad de un proyecto de inversión existen indicadores económicos que son resultantes de una proyección a un determinado periodo de tiempo. Una biorrefinería tiene una vida útil extensa como ejemplo se tiene la biorrefinería Borregaard situada en Noruega y ha estado en operación por más de 40 años. Sin embargo, para fines prácticos se propone realizar una proyección de los ingresos y egresos durante 20 años. En la Figura 35 se muestra un ejemplo

sugerido para realizar el presupuesto del proyecto con base en los conceptos anteriores.

Los indicadores de rentabilidad se obtienen de los flujos de efectivo operativos y descontados resultantes. En la Tabla 32 se explica cada uno de los indicadores que debe contener la evaluación económica para determinar la viabilidad del proyecto.

Posterior a la evaluación de la viabilidad del proyecto es conveniente realizar un análisis de sensibilidad de los flujos de efectivo sobre las variables más relevantes del proyecto para asegurar su estabilidad. Este se puede realizar mediante la proyección de los estados de resultados modificando las variables para analizar la repercusión en los flujos de efectivo. En la Tabla 33 se muestran las variables propias del proyecto que lo pueden afectar así como las variables externas.

Es recomendable realizar al menos cinco escenarios, desde el escenario mayormente pesimista hasta el escenario más optimista. El escenario pesimista debe aumentar los costos más susceptibles de ser variados en un 15%. Para que el proyecto se considere viable, los flujos de efectivo no deberán ser negativos en el escenario pesimista.

Tabla 32. Indicadores para realizar la evaluación económica de la biorrefinería

| Indicador | Concepto | Criterio de selección | Ecuación |
|--|--|---|--|
| Valor Presente Neto (VPN) | La suma de los flujos de efectivo operativos descontados sobre n años. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ VPN ≤ 0 el proyecto se rechaza ➤ VPN > 0 el proyecto se acepta ➤ Mayor VPN mayor viabilidad | $VPN = \sum_{t=1}^n \frac{FEO}{(1+i)^t} - I_0$ <p>FEO=Flujo de Efectivo Operativo i=tasa de interés n=año en el que se computa la inversión t=último año de vida útil del proyecto I₀=inversión</p> |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | Tasa de descuento que hace que el valor presente de los flujos de efectivo operativos de un proyecto sea igual al monto invertido que hace que el VPN tenga un valor de 0. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ TIR < TREMA el proyecto se rechaza ➤ TIR ≥ TREMA el proyecto se acepta ➤ Mayor TIR mayor viabilidad. | $0 = \sum_{n=1}^t \frac{FEO}{(1+TIR)^n} - I_0$ <p>FEO=Flujo de Efectivo Operativo n=año en el que se computa la inversión t=último año de vida útil del proyecto I₀=inversión</p> |
| Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM) | Es la tasa de descuento a la cual el valor presente del costo del proyecto es igual al valor presente de su valor terminal. Se utiliza cuando en proyecto tiene flujos de efectivo operativos negativos y positivos. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ TIRM < TREMA el proyecto se rechaza ➤ TIRM ≥ TREMA el proyecto se acepta ➤ Mayor TIRM mayor viabilidad | $TIRM = \sqrt[n]{\frac{\sum_{n=0}^t Y_n (1+i)^{t-n}}{\sum_{n=0}^t C_n / (1+i)^n}} - 1$ <p>Y=Ingreso neto del FEO (Valores positivos) C=Costo neto del FEO (Valores negativos) n=año en el que se computa la inversión t=último año de vida útil del proyecto I₀=inversión</p> |

| Indicador | Concepto | Criterio de selección | Ecuación |
|---|---|--|---|
| Periodo de Recuperación | Tiempo que tiene que transcurrir para que la suma de los flujos de efectivo operativo sea igual a la inversión. Determina la liquidez que se tendrá. | ➤ El criterio depende del inversionista | $\sum_{n=1}^t FED_n > I_0$ <p>n=año en el que se computa la inversión t=último año de vida útil del proyecto IN=ingreso neto FED=Flujo de Efectivo Descontado I₀=inversión</p> |
| Periodo de Recuperación Descontado (PRD) | Tiempo que tiene que transcurrir para que la suma de los flujos de efectivo descontados sea igual a la inversión. Determina la liquidez que se tendrá. | ➤ El criterio depende del inversionista | $\sum_{n=1}^t FEO_n > I_0$ <p>n=año en el que se computa la inversión t=último año de vida útil del proyecto FEO=Flujo de Efectivo Operativo I₀=inversión</p> |
| Índice de Rentabilidad (IR) | El valor presente del proyecto dividido entre su inversión inicial. | ➤ IR ≤ 1 el proyecto se rechaza ➤ IR > 1 el proyecto se acepta | $IR = \frac{VPN}{I_0} \times 100$ <p>VPN=Valor Presente Neto I₀=inversión</p> |
| Retorno sobre la Inversión (ROI*) *Siglas en inglés: Return Of Investment | El valor de las utilidades antes de añadir la depreciación entre la inversión inicial. | ➤ ROI ≤ 1 el proyecto se rechaza ➤ ROI > 1 el proyecto se acepta | $ROI = \frac{UN}{I_0} \times 100$ <p>UN=Utilidad Neta I₀=inversión</p> |
| Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA) | Tasa de descuento mínima que debe tener el proyecto para que éste se considere viable. | N/A | $TREMA = f + \beta + f * \beta$ <p>f=inflación β=premio al riesgo</p> |

| Indicador | Concepto | Criterio de selección | Ecuación |
|---------------------------------|---|-----------------------|--|
| Punto de equilibrio (PE) | Este punto de equilibrio es aquella cantidad que, producida y vendida, permite recuperar exactamente los costos variables, más los costos fijos asociados a la operación. | N/A | $PE = \frac{\text{Costos Fijos}}{1 - \frac{\text{Costos Variables}}{\text{Ventas totales}}}$ |

Fuente: Elaboración propia con base en (Ciceri Silvenses, 2009)

| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ... | 20 |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|----|
| VENTAS | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS VARIABLES | | | | | | | | | | | | | |
| COSTOS FIJOS | | | | | | | | | | | | | |
| UTILIDAD BRUTA | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS DE ADMINISTRACIÓN | | | | | | | | | | | | | |
| GASTOS DE VENTAS | | | | | | | | | | | | | |
| DEPRECIACIÓN DE LA PLANTA | | | | | | | | | | | | | |
| EBIT | | | | | | | | | | | | | |
| IMPUESTOS CUOTA FIJA | | | | | | | | | | | | | |
| IMPUESTOS TASA | | | | | | | | | | | | | |
| UTILIDAD NETA | | | | | | | | | | | | | |
| DEPRECIACIÓN DE LA PLANTA | | | | | | | | | | | | | |
| F.E.O. | | | | | | | | | | | | | |
| F.E.I. | | | | | | | | | | | | | |
| F.E.D. | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en (Hernández Álvarez, 2015)

Figura 35. Estado de resultado proyectado a 20 años.

Tabla 33. Variables que pueden afectar el óptimo desarrollo del proyecto de biorrefinación.

| Variables Internas | Variables Externas |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ingresos (de la actividad principal). ➤ Otros ingresos. ➤ Gastos. ➤ Costos. ➤ Nivel de financiación. (en unidades monetarias). ➤ Nivel de inversión. (en unidades monetarias). ➤ Tasa de descuento apropiada por parte del inversionista. ➤ Tasa de ganancia para determinar el precio del producto, servicio o comercialización. ➤ Distribución de utilidades. ➤ Niveles mínimos de caja para operar. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Las tasas de interés local: DTF, TCC, TES, Acciones, y fondos fiduciarios, entre otros. ➤ Las tasas de inflación. (local y externa). ➤ La tasa de cambio. ➤ PIB. (Producto Interno Bruto). ➤ Niveles de ahorro. ➤ Niveles de inversión. (por parte del estado, particulares locales y extranjeros). ➤ Tasas de impuestos |

Fuente: (Universidad Tecnológica de Pereira, 2008)

3.9 Estrategia Financiera

Las energías renovables son la solución a problemáticas clave en el gobierno de México y el mundo. Sin embargo, el sector de las energías renovables es muy reciente y por lo tanto existe mucha incertidumbre con respecto a su desarrollo y a la entrega de rendimientos monetarios. Al existir un alto riesgo en dicho sector los inversionistas prefieren no invertir su capital.

Las instituciones públicas de México e instituciones bancarias internacionales han decidido poner a disposición fondos con bajas o nulas tasas de interés que incentiven el desarrollo de proyectos relacionados a la transición energética, mitigación de GEI, cambio climático y desarrollo social, con el objetivo de otorgar seguridad a los inversionistas compartiendo el riesgo.

Los proyectos de biorrefinación tienen la ventaja de ofrecer beneficios múltiples, es por ello que son susceptibles de obtener financiamiento de una gran variedad de fondos. En la Tabla 34 se presenta información de los documentos donde se

puede obtener información relevante de los fondos disponibles para los proyectos de biorrefinación.

Tabla 34. Documentos para la identificación de fondos para proyectos relacionados a las biorrefinerías

| Institución | Documento | Descripción |
|--|---|--|
| Secretaría de Energía | Políticas y Medidas para Facilitar el Flujo de Recursos Derivados de los Mecanismos Internacionales de Financiamiento | Describe la situación actual de México en el contexto de cambio climático, describe las políticas, medidas y mecanismos financieros nacionales, internacionales y privados para fomentar el desarrollo de proyectos de mitigación de GEI y cambio climático. |
| Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Guía de Programas de Fomento a las Energías Renovables | Se muestran las instituciones que disponen de fondos, describen sus características, ofrecen información de montos y requisitos para obtenerlos, así como también teléfonos y direcciones para solicitar más información. |

Fuente: Elaboración propia

Los fondos para las energías renovables pueden ser federales, internacionales o mixtos, la mayor parte de los fondos presentados en los documentos de la Tabla 34 no cobra intereses. Los montos de dichos fondos van desde un millón de pesos hasta 200 millones de pesos. En la Tabla 35 se muestran algunos fondos identificados para el desarrollo de proyectos de energías renovables.

Tabla 35. Fondos disponibles para el financiamiento de proyectos de energías renovables.

| Tipo de financiamiento | Organización | Nombre del fondo |
|-------------------------------|--|---|
| Federal | Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias, para el Ejercicio Fiscal 2013. ➤ Programa 3x1 para Migrantes Ejercicio Fiscal 2013. ➤ Desarrollo integral y Bienestar con Participación Comunitaria (DI). (INDESOL aporta conjuntamente con SEDESOL) |
| | Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Programa de Infraestructura Básica para la Atención de los Pueblos Indígenas (PIBAI). |
| | Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Financiamiento a proyectos de micro generación y cogeneración de energía eléctrica hasta de 500 kw. |
| | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)/ Fideicomiso de Riesgo Compartido | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fideicomiso de riesgo compartido. ➤ Proyecto de apoyo al valor agregado de agronegocios. |
| | Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía. ➤ Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS). ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Nacional Financiera (NAFIN) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Créditos para Inversión Pública Productiva a Municipios. ➤ Programa de Apoyo a Proyectos Sustentables. |
| | Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos / Fondo Nacional de Infraestructura (Banobras/Fonadin). | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fondo para el financiamiento de estudios para proyectos de infraestructura. |
| Federal/ Internacional | Secretaría de Energía (SENER) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Proyecto de electrificación rural con energías renovables. Servicios integrales de energía. |

| Tipo de financiamiento | Organización | Nombre del fondo |
|------------------------|---|---|
| | SAGARPA/ Fideicomiso Riesgo Compartido (FIRCO) | ➤ Programa Sagarpa-Banco Mundial-Firco. |
| Privado | FINTEGRA | ➤ Créditos a proyectos sustentables. |
| | Interacciones | ➤ Créditos a proyectos sustentables. |
| | Consultores en Energía | ➤ Financiamiento de Proyectos de Ahorro de Energía y Energías Renovables. |
| Internacional | Banco de América del Norte (BDAN). | ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Banco Interamericano de Desarrollo (BID) | ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Global Environment Facility (GEF). | ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Banco Europeo de Inversiones (BEI) | ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Grupo Banco Mundial/ Cooperación Financiera Internacional | ➤ Créditos para inversión pública productiva a municipios. |
| | Ministerio Alemán de Cooperación y Desarrollo Económico / Banco de Crédito para la Reconstrucción y el Desarrollo (KfW) | ➤ Financiamiento para Proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética. |

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013)

Para la selección del fondo se deben tomar en cuenta varios aspectos tales como el grado de cumplimiento de los requisitos para concursar por el fondo, el monto que se otorga, la tasa de interés aplicable, el tiempo de devolución del fondo, institución que lo otorga para futuras estrategias, posibilidad de ampliación del monto asignado. En el caso de que no se cumplan los requisitos, se debe evaluar la posibilidad de plantear una estrategia para lograr cumplirlos.

Existe la posibilidad de que el proyecto sea viable sin financiamiento, sin embargo, es recomendable conseguir financiamiento, ya que aumenta la liquidez del proyecto y disminuye el riesgo que se tiene ante la incertidumbre del sector de los biocombustibles.

La estrategia financiera, además de concursar para un fondo, incluye la selección de las alternativas de operación. En el siguiente apartado se explicará el tema.

3.10 Alternativas legales de operación

Un proyecto de biorrefinación puede ser llevado a cabo por alguna institución pública, privada o bien, se puede realizar una asociación Público-Privada. Este tipo de proyectos son de interés social y pueden tener un impacto importante positivo para solucionar problemáticas planteadas en los planes nacionales aunado a que el Estado ha sido el administrador de los recursos en materia energética desde 1938. Sin embargo, en el contexto internacional, las biorrefinerías existentes son mayoritariamente producto de inversión privada.

La Reforma Energética de 2013 marcó un cambio importante en el sector energético al permitir la comercialización de energéticos a instituciones privadas. Este importante decreto da pauta a que un proyecto de biorrefinación pueda financiarse y operarse con inversión privada.

Por lo anterior se concluye que los interesados en realizar un proyecto de biorrefinación pueden ser empresas, algún organismo público o bien, se puede realizar una Asociación Público-Privada (APP). Para determinar la alternativa legal de operación, es necesario realizar una evaluación.

La Ley de Asociaciones Público-Privadas y el Reglamento de la misma, atiende los requerimientos necesarios para que una entidad privada presente una propuesta no solicitada para realizar una asociación. La Ley también proporciona información general acerca de los concursos que el sector público puede llegar a convocar.

Para la evaluación de la viabilidad de una APP realizada por una empresa es necesario que se tome en cuenta los beneficios económicos, tales como aportaciones en efectivo y en especie que pudiera aportar el sector público, facilidad de autorizaciones, distribución de riesgo, las obligaciones posibles que se

tendrán y el grado de accesibilidad a los fondos nacionales e internacionales. Con respecto al último punto, es necesario revisar cuidadosamente los requerimientos de los fondos debido a que una APP puede ser un incentivo o una limitante para el otorgamiento de los mismos.

Es necesario hacer notar que la elección de la alternativa legal de operación es también la selección de los inversionistas involucrados en el proyecto. Por lo tanto, esta elección debe ser evaluada dentro de la estrategia financiera.

3.11 Evaluación de impacto ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta que permite identificar, predecir y evaluar los cambios en el ambiente ocasionados por la acción del hombre o de la naturaleza.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece en el artículo 28 que los interesados que deseen realizar alguna obra o actividad en la industria química deberán realizar una EIA. La LGEEPA se apoya de su Reglamento en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental (REIA) y de la Guía para la Presentación de la Manifestación Ambiental del Sector Eléctrico Modalidad: Particular.

La elaboración del estudio de impacto ambiental, en términos generales se constituye por un conjunto de etapas y tareas los cuales se enlistan a continuación:

1. Descripción del proyecto o actividad a realizar
2. Desglose del proyecto o actividad en sus partes elementales
3. Descripción del estado que caracteriza al ambiente, previo al establecimiento del proyecto
4. Elementos más significativos del ambiente
5. Ámbito de aplicación del Estudio de Impacto Ambiental
6. Identificación de impactos

7. Alternativas
8. Identificación de medidas de mitigación
9. Valoración de impactos residuales
10. Plan de vigilancia y control

La parte medular del Estudio es la identificación de impactos ambientales. Existen diversas metodologías que los identifican, evalúan y los predicen, en la Tabla 36 se presentan algunas de ellas.

Tabla 36. Métodos para la identificación, predicción y evaluación de impactos ambientales

| Clasificación | Métodos |
|--|---|
| Sistemas de Red y Gráficos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Matrices de interacciones causa-efecto (Leopold, de Cribado) ➤ CNYRPAB ➤ Bereano ➤ Sorensen ➤ Guías Metodológicas del MOPU ➤ Banco Mundial |
| Sistemas de valoración de impactos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Clasificación de Dickert ➤ Clasificación de Estevan Bolea |
| Sistemas cartográficos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Superposición de capas de información (transparentes) ➤ Mc Harg ➤ Tricart ➤ Falque |
| Métodos basados en parámetros, índices e integración de la evaluación | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Holmes ➤ Universidad de Georgia ➤ Hill-Scheckter ➤ Fisher-Davies |
| Métodos Cuantitativos | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Método del Instituto de Batelle-Columbus ➤ Método de Domingo Gómez Orea |

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002)

De los métodos anteriormente mencionados, el que mayor utilidad relativa según la Guía para la Presentación de la Manifestación Ambiental del Sector Eléctrico Modalidad: Particular, es el de Batelle-Columbus. Dicho método evalúa 78 parámetros organizados en 18 componentes ambientales, agrupados a su vez en

4 categorías (Figura 36). A cada parámetro se le asigna un valor resultado de la distribución de 1,000 unidades, el cual se asigna según su contribución al medio ambiente, quedando ponderados los distintos parámetros. Una vez obtenidos los parámetros, se trasladan los valores en unidades conmensurables, en una escala de 0 a 1, que representa el índice de calidad ambiental. Efectuando la suma ponderada de los factores, se obtiene el valor de cada componente, categoría y el valor ambiental total. Este sistema se aplica tanto al escenario de si se lleva a cabo el proyecto, como al que si no se lleva a cabo. Gracias a la transformación en unidades conmensurables y comparables, se pueden sumar y evaluar el impacto global; de las distintas alternativas de un mismo proyecto.

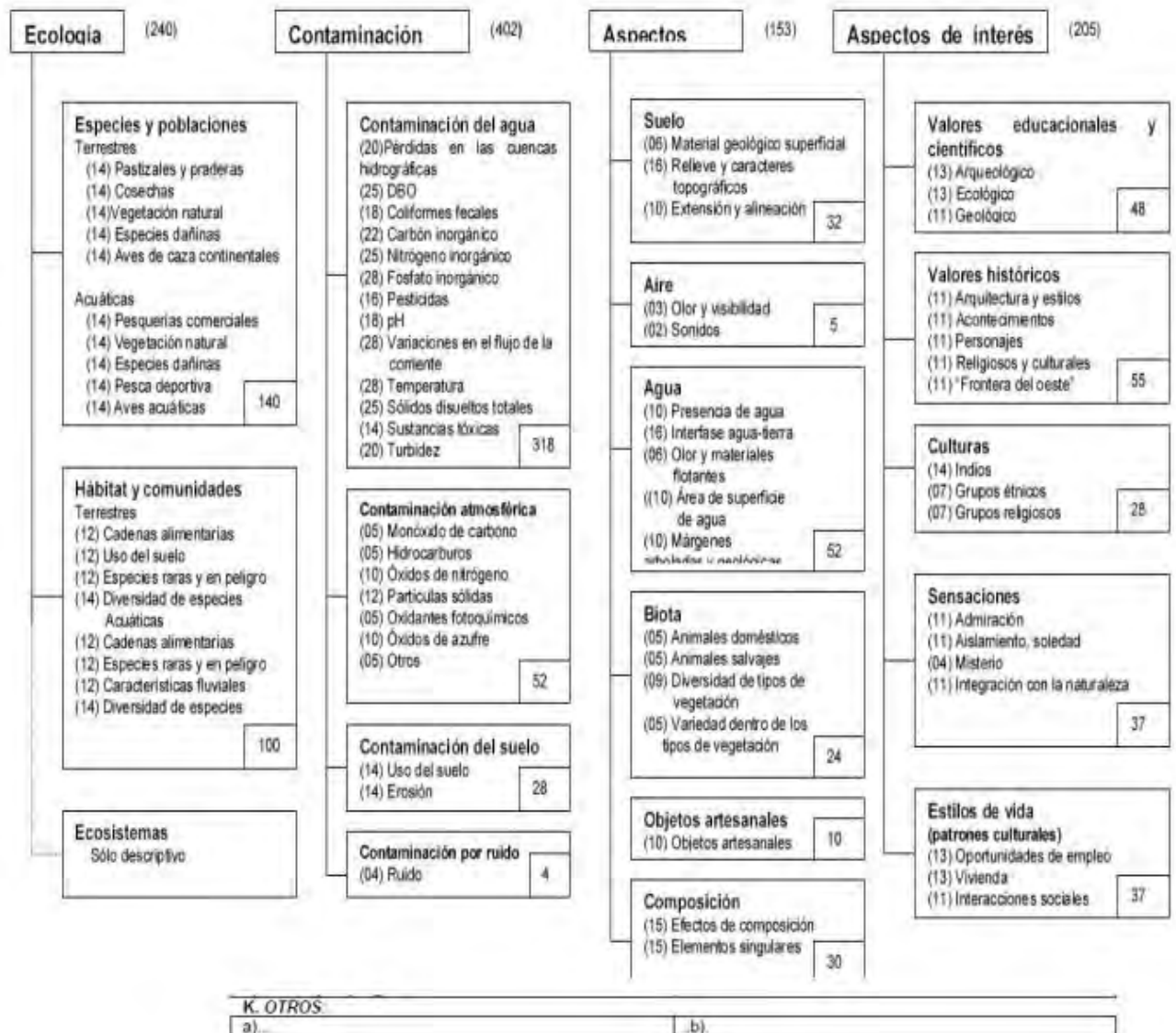


Figura 36. Criterios y atributos para la evaluación de impacto ambiental propuesta por Batelle-Columbus

3.12 Evaluación de impacto social

Es el documento que contiene la identificación de las comunidades y los pueblos ubicados en el área de influencia de un proyecto del sector energético, así como la identificación, caracterización, predicción y valoración de las consecuencias a la población que podrían derivarse del mismo y las medidas de mitigación y los planes de gestión social correspondientes.

En el caso de los interesados en obtener permisos o autorizaciones para realizar proyectos en la industria eléctrica deben presentar a la Secretaría de Energía una evaluación de impacto social de acuerdo con el artículo 120 de la Ley de la Industria Eléctrica. En el artículo 86 y 87 del Reglamento de la Ley de Industria Eléctrica la evaluación del impacto social deberá contener los siguientes aspectos:

1. Identificación de los pueblos y comunidades indígenas que se ubican en el área de influencia directa e indirecta del proyecto
2. Área de influencia directa e indirecta en los proyectos de desarrollo de la industria eléctrica
3. Identificación, caracterización, predicción, y valoración de los impactos sociales positivos y negativos que podrían derivarse del proyecto
4. Deberán incluir las medidas de prevención y mitigación
5. Planes de gestión social, propuestos por los interesados en desarrollar el proyecto de la industria eléctrica.

En la Tabla 37 se encuentra el formato para la presentación de la Evaluación de Impacto Social obtenido de las (Secretaría de Energía, 2014). Es importante notar que es necesario realizar este estudio con el grado de detalle que marcan dichas disposiciones sólo hasta que se requieran los permisos para la construcción de la biorrefinería.

Tabla 37. Formato para la presentación de la Evaluación de Impacto Social.

- I. Resumen Ejecutivo**
- II. Apartado A: Evaluación de Impacto Social**
 - a. Presentación
 - b. Información general del proyecto
 - b.1 Descripción técnica del proyecto
 - b.2 Ubicación física del proyecto
 - b.3 Plan de trabajo del proyecto
 - b.4 Trámites administrativos vinculados al proyecto
 - c. Metodología de la Evaluación de Impacto Social
 - d. Áreas de influencia del proyecto
 - d.1 Caracterización de las áreas de influencia
 - d.1.1 Área núcleo
 - d.1.2 Área de influencia directa
 - d.1.3 Área de Influencia indirecta
 - d.2 Identificación de localidades por cada área de influencia
 - e. Resultado del estudio de línea base
 - e.1 Indicadores sociodemográficos
 - e.2 Indicadores socioeconómicos
 - e.3 Indicadores socioculturales
 - f. Caracterización de pueblos y comunidades indígenas
 - g. Análisis de actores interesados
 - g.1 Identificación de actores interesados
 - g.2 Análisis de influencia de los actores interesados
 - g.3 Estrategia de interacción con los actores interesados
 - h. Impactos Sociales
 - h.1 Identificación y caracterización de impactos sociales
 - h.2 Predicción y valoración de impactos sociales
 - h.3 Análisis de la interacción de los impactos sociales con otros impactos
 - h.4 Medidas de prevención y mitigación
 - h.5 Medida de ampliación de impactos positivos
 - i. Referencias bibliográficas.
- III. Apartado B: Plan de Gestión Social**
 - a. Resumen Ejecutivo
 - b. Introducción
 - c. Implementación y monitoreo de Medidas de Mitigación y Medidas de Ampliación de Impactos Positivos
 - d. Plan de Comunicación y Vinculación con la Comunidad
 - e. Plan de Inversión Social
 - f. Plan de Salud y Seguridad
 - g. Plan de Desmantelamiento
 - h. Plan de Monitoreo

IV. Anexos

- a. Original para su cotejo y copia simple del Acta Constitutiva del Promovente
- b. Original para su cotejo y copia simple de la última Acta de Asamblea del Promovente
- c. Original para su cotejo y copia simple del documento que acredite la personalidad y facultades de quien comparece por parte del Promovente
- d. Currículum Vitae Institucional del Promovente
- e. Currículum Vitae del responsable de la elaboración de la Evaluación de Impacto Social
- f. Declaración firmada bajo protesta de decir verdad que el contenido de la Evaluación de Impacto Social se basa en datos e información fidedigna y comprobable
- g. Políticas de derechos humanos y/o de responsabilidad social empresarial del Promovente
- h. Código de conducta del Promovente
- i. Tablas, mapas y/o diagramas

Para la etapa conceptual es suficiente con evaluar el impacto social que tendrá el proyecto, así como la elaboración de un Plan de Medidas de Prevención y Mitigación y otro de las Medidas de Ampliación de Impactos Positivos.

El Plan de Medidas de Prevención y Mitigación se elaborará en caso de haber identificado algún impacto potencial negativo moderado o grave, dicho plan describirá las estrategias y acciones que se instrumentarán para evitar, prevenir, mitigar y compensar los Impactos Sociales negativos.

El Plan de Medidas de Ampliación de Impactos Positivos se elaborará en caso de haber determinado algún impacto potencial positivo ligero o moderado, dicho plan describirá las estrategias y acciones que se llevarán a cabo para incrementar los beneficios del impacto social positivo identificado.

Tabla 38. Pasos a realizar para evaluación de impacto social.

| Procedimiento | Descripción |
|---|---|
| 1. Identificación de Impactos sociales | Señalar impactos sociales positivos y negativos en las diferentes etapas del proyecto que afecten: ➤ Características de la población |

| Procedimiento | Descripción |
|---------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructuras comunitarias e institucionales ➤ Recursos políticos y sociales ➤ Cambios individuales y de la familia ➤ Recursos de la comunidad. |
| 2. Caracterización | Describir el origen de cada Impacto Social, sus características, y las Comunidades que serán impactadas por éstos. |
| 3. Predicción | Estimar la probabilidad de la ocurrencia de los cambios o consecuencias identificadas, positivas o negativas, que resulte del desarrollo de proyectos del sector energético. |
| 4. Valoración | Se calificarán las consecuencias o cambios identificados que resulten del proyecto |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

En la Tabla 39 se clasificará la consecuencia o cambio que genera el proyecto, ya sea positivo o negativo, posteriormente se procede a calificar según los criterios de la Tabla 40.

Tabla 39. Matriz de clasificación y evaluación de impacto social.

| | Cambio o Consecuencia 1 | Cambio o Consecuencia 2 | Cambio o Consecuencia 3 | Cambio o Consecuencia 4 | Cambio o Consecuencia 5 |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Clasificación | | | | | |
| Criterios | Calificación | Calificación | Calificación | Calificación | Calificación |
| Temporalidad | | | | | |
| Espacial | | | | | |
| Beneficios | | | | | |
| Probabilidad | | | | | |
| Total | | | | | |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Tabla 40. Descripción de los criterios para la evaluación de los impactos sociales.

| Criterio | Descripción |
|---------------------|---|
| Temporalidad | Define la duración de cualquier Impacto Social con el tiempo y puede extenderse desde el corto plazo al permanente, ser reversible o irreversible y su ocurrencia puede variar. |

| | |
|---------------------------|---|
| Espacial | Define la extensión espacial de cualquier Impacto Social identificado y puede extenderse desde un plano local al internacional. |
| Gravedad/Beneficio | Define el nivel de intensidad de los impactos negativos y/o del beneficio de los impactos positivos y se utiliza para evaluar la potencial Significancia Social de los impactos antes y después de la implementación de las medidas de mitigación, a fin de determinar la eficacia general de las mismas. |
| Probabilidad | Define el riesgo de que un Impacto Social determinado ocurra, el cual varía de poco probable a la ocurrencia definitiva del impacto. |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

La calificación de cada consecuencia y cambio social identificado tendrá la escala mostrada en la Tabla 41 con el fin de clasificar los impactos sociales positivos y negativos de acuerdo al resultado obtenido de la evaluación de cada impacto. Posteriormente se evaluarán mediante las escalas propuestas y se sumarán los puntos. El puntaje obtenido se clasificará de acuerdo con la Tabla 42 y la Tabla 43. Los puntajes determinarán si el impacto social identificado debe ser prevenido o mitigado. En tal caso se realizará un Plan de Medidas de Prevención y Mitigación. Para los impactos sociales positivos cuyo puntaje sea menor que 11, se realizará un Plan de las Medidas de Ampliación de Impactos Positivos. Para los Planes mencionados se deberá incluir los recursos humanos, recursos económicos; responsabilidades, plazos y tiempos estimados, e Indicadores de monitoreo y evaluación necesarios para que los planes sean implementados.

Tabla 41. Escala y significado de la calificación de los impactos sociales

| Clasificación | Tipo |
|---|-----------------|
| Beneficia derechos, creencias y valores que rigen y organizan su cosmovisión, su entorno y sus contextos socioeconómicos y culturales a la población | Positivo |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| Perjudica derechos, creencias y valores que rigen y organizan su cosmovisión, su entorno y sus contextos socioeconómicos y culturales a la población | | Negativo | |
| No genera ningún cambio en creencias y valores que rigen y organizan su cosmovisión, su entorno y sus contextos socioeconómicos y culturales a la población | | Neutro | |
| Escala de Temporalidad | | Puntuación | |
| Corto Plazo | Menor de 5 años | 1 | |
| Medio Plazo | De 5 a 20 años | 2 | |
| Largo Plazo | De 20 a 40 años | 3 | |
| Permanente | Más de 40 años | 4 | |
| Escala Espacial | | Puntuación | |
| Área Núcleo | | 1 | |
| Área de Influencia Directa | | 2 | |
| Área de Influencia Indirecta | | 3 | |
| Regional | | 4 | |
| Nacional | | 5 | |
| Internacional | | 6 | |
| * | Gravedad | Beneficio | Puntuación |
| Ligero | Impacto ligero en las Comunidades impactadas | Ligeramente benéfico para las Comunidades impactadas | 1 |
| Moderado | Impacto moderado en las Comunidades impactadas | Moderadamente benéfico para las Comunidades impactadas | 2 |
| Grave/ Benéfico | Impacto grave en las Comunidades impactadas | Benéfico para las Comunidades impactadas | 4 |
| Muy grave/ Muy benéfico | Un cambio muy grave en las Comunidades impactadas | Altamente benéfico para las Comunidades impactadas | 8 |
| Probabilidad | | Puntuación | |
| Poco probable | | 1 | |
| Probable | | 2 | |
| Muy probable | | 3 | |
| Definitivo | | 4 | |

Fuente: (Secretaría de Energía, 2014)

Tabla 42. Descripción del resultado de la evaluación de los impactos sociales positivos identificados.

| Impacto | Positivo | Descripción |
|-----------------|--------------|---|
| Baja | 4-7 | Hay un impacto social positivo. Es posible realizar un plan de ampliación de impacto positivo. |
| Moderada | 8-11 | Hay un impacto social positivo moderado. Es posible realizar un plan de ampliación de impacto positivo. |
| Alta | 12-15 | Existe un impacto social benéfico que genera un cambio favorable en las comunidades impactadas. |
| Muy Alta | 16-21 | Hay un impacto social altamente benéfico que genera un cambio sustancial positivo y puede ser fuerte impulsor del proyecto. |

Fuente: Elaboración propia con base en (Secretaría de Energía, 2014)

Tabla 43. Descripción del resultado de la evaluación de los impactos sociales negativos identificados.

| Impacto | Negativo | Descripción |
|-----------------|--------------|---|
| Baja | 4-7 | Hay un Impacto Social aceptable donde la mitigación es deseable pero no esencial. El Impacto Social es mínimo y no justifica la cancelación del proyecto, incluso en combinación con otros impactos equivalentes. |
| Moderada | 8-11 | Hay un Impacto Social que exige de Medidas de Prevención y Mitigación. El Impacto Social es mínimo y no justifica la cancelación del proyecto, pero en combinación con otros impactos puede impedir el desarrollo del proyecto. |
| Alta | 12-15 | Hay un impacto social grave que requiere inevitablemente Medidas de Mitigación o Prevención, en su defecto puede justificar la cancelación del proyecto |
| Muy Alta | 16-21 | Existe un impacto social muy grave al que no se pueden implementar Medidas de Mitigación o Prevención. Es un factor que justifica la cancelación del proyecto. |

Fuente: Elaboración propia con base en (Secretaría de Energía, 2014)

4 *Conclusiones*

Las biorrefinerías enfocadas a la producción de biocombustibles de segunda generación ya son una opción viable para activar la economía, generar riqueza, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, aprovechar los residuos generados y aumentar la seguridad energética.

Los Planes Nacionales han logrado construir un contexto jurídico que da más certidumbre para implementar una biorrefinería a escala comercial, sin embargo, falta desarrollar leyes que contemplen la figura de biorrefinería para que su establecimiento pueda llevarse a cabo con mayor probabilidad éxito.

En el contexto tecnológico, México está en la etapa de investigación y desarrollo, aún falta la vinculación de la academia con la industria para que se logre una implementación exitosa de un proyecto de biorrefinación escala comercial. Un aspecto importante es tomar en cuenta la Asociación Público-Privada que podría resultar una estrategia efectiva para lograr un proyecto de este tipo.

Actualmente existen diversos fondos de financiamiento disponibles para desarrollar proyectos de biorrefinación. Lo anterior es un gran paso para poder iniciar un proyecto, sin embargo, la falta de incentivos por parte del gobierno y la implementación de impuestos a los energéticos, frena a las empresas a invertir en proyectos de biorrefinación. El desarrollo de una biorrefinería tendrá mayor probabilidad de resultar exitosa en la medida que se dé certidumbre.

Se puede lograr establecer una biorrefinería exitosamente realizando una planeación cuidadosamente detallada y desarrollando un procedimiento que contenga las actividades a realizar para la formulación de un proyecto de biorrefinación. Es importante notar que la utilización de mejores prácticas como la metodología FEL, aumenta la probabilidad de éxito del proyecto. Es por ello que en el presente trabajo se implementó dicha metodología.

Las principales decisiones en el desarrollo de un proyecto de biorrefinación son la selección del biocombustible a producir, la selección de materia prima, la localización de la planta, la determinación de la capacidad de la biorrefinería, la

selección de la tecnología y la selección de la alternativa legal de operación. Los aspectos anteriores serán evaluados desde el punto de vista técnico, ambiental, social y económico.

La metodología que se decidió utilizar fue la ponderación de aspectos y criterios para evaluar cuantitativamente las alternativas. Dicha ponderación no es más que la jerarquización de la importancia de los mismos con el fin de obtener una calificación más certera que indique la opción más viable.

En la etapa de conceptualización (FEL II) se deben realizar los estudios que se exigen para la implementación de proyectos de energía tales como el estudio de impacto ambiental y el estudio de impacto social. Dichos estudios indican las consecuencias ambientales y sociales de implementar el proyecto, en caso de que alguna consecuencia fuera altamente grave, es probable que sea una limitación importante para la implementación de la biorrefinería.

La presente guía tiene que ser constantemente actualizada y adaptada para cada proyecto en particular. Se puede complementar agregando una sección de evaluación de riesgos, un estudio de disponibilidad de residuos en México, estudio de tendencias tecnológicas para la realización de biocombustibles, la propuesta de la logística para el suministro de materias primas así como también los canales de distribución y comercialización de biocombustibles.

La guía está diseñada para ser un apoyo en la toma de decisiones para la planeación y la evaluación de la factibilidad de una biorrefinería, aumentando la probabilidad de tomar una decisión adecuada.

5 Referencias

Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio. (1 de Marzo de 2016). *Global Climate Change*. Obtenido de Global Climate Change: <http://climate.nasa.gov/evidence/>

Agarwal, A. K. (2007). *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines*. Elsevier.

Agencia Interacional de Energía. (17 de Marzo de 2016). *Agencia Interacional de Energía*. Obtenido de De tecnologías de biocombustibles de primera generación a segunda generación: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2nd_Biofuel_Gen.pdf

Agencia Internacional de Energía. (2015). *Estadísticas clave de energía mundiales*. Paris.

Agencia Internacional de Energía. (18 de Marzo de 2016). *Estadísticas: Agencia Internacional de Energía*. Obtenido de Agencia Internacional de Energía: <https://www.iea.org/statistics/resources/balanceddefinitions/>

Anaya Durand, A., Barragán Acevedo, R., & Vergara Vega, A. (2013). *Manual de Temas Selectos de Ingeniería de Proyectos*. México: D.R.

Bajpai, P. (2015). *Management of Pulp and Paper Mills Waste*. Springer.

Bajpai, R., Zappi, M., Dufreche, S., Subramaniam, R., & Prokop, A. (2013). *Status of Algae as Vehicles for Commercial Production of Fuels and Chemicals*. Springer.

Batani, H., & Karimi, K. (2015). *Producción de biodiesel de la planta de ricino intergando la producción de etanol a través de un enfoque de biorrefinería*. Chem. Eng. Res. Des.

Batista de Oliveira, E. C., Hazin Alencar, L., & Cabral Seixas Costa, A. P. (2016). *A decision model for energy companies that sorts projects, classifies the project manager and recommends the final match between project and project manager*. PE, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco.

Biofuel. (22 de Marzo de 2016). *Factos: Biofuel*. Obtenido de Biofuel.org.uk: <http://biofuel.org.uk/biofuel-facts.html>

Business Dictionary. (16 de 06 de 2016). *Investmet Proyect: Business Dictionary*. Obtenido de <http://www.businessdictionary.com/definition/investment-project.html>

Cámara de Diputados. (17 de Marzo de 2016). *Leyes Federales Vigentes: Cámara de Diputados*. Obtenido de Honorable Cámara de Diputados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>

Cámara de Diputados. (18 de Marzo de 2016). *Leyes Federales Vigentes: Cámara de Diputados*. Obtenido de Honorable Cámara de Diputados: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5135962&fecha=19/03/2010&print=true

Cámara del Papel. (2015). *Plan de Manejo para los Residuos de Papel y Cartón en México*. México.

Cherubini, F., Jungmeier, G., Wellisch, M., Willke, T., Skiadas, I., Van Ree, R., y otros. (2009). *Toward a common classification approach for a biorefinery systems*. Graz, Austria: Biofuel Bioprod. Bior.

Chovau, S., Degrauwe, D., & Van der Bruggen, B. (2013). *Critical analysis of techno-economic estimates for the production cost of lignocellulosic bio-ethanol*. Laboratory of Applied Physical Chemistry and Environmental Technology: Department of Chemical Engineering.

Ciceri Silvenses, H. N. (2009). *Decisiones de Inversión en Plantas Químicas*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

CNNMéxico. (04 de Abril de 2016). *Expansión en alianza con CNN*. Obtenido de <http://expansion.mx/adnpolitico/2014/09/02/pena-nieto-mensaje-segundo-informe-de-gobierno>

Comisión Reguladora de Energía. (2010). *Regulación para Fuentes de Energía Renovable*. Querétaro.

CONEVAL. (s.f.). *Medición de la Pobreza: Evolución de las Dimensiones de la Pobreza 1990-2014*. Recuperado el 05 de 05 de 2016, de Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social: <http://www.coneval.org.mx/Medicion/EDP/Paginas/Evolucion-de-las-dimensiones-de-la-pobreza-1990-2014-.aspx>

CONEVAL. (20 de 06 de 2016). *Medición de la Pobreza: Evolución de las Dimensiones de la Pobreza 1990-2014*. Recuperado el 05 de 05 de 2016, de Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social: <http://www.coneval.org.mx/Medicion/EDP/Paginas/Evolucion-de-las-dimensiones-de-la-pobreza-1990-2014-.aspx>

del Río Soto, R., Leiva y Nuncio, M., Aguilar Rodríguez, E., Salazar Sotelo, D., González Ortiz, A., Fragoso Gopar, A., y otros. (1998). *Evaluación de Tecnologías en la Industria de Refinación del Petróleo*. Ciudad de México.

Diario Oficial de la Federación. (2010). *Contrato de interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente*.

Diario Oficial de la Federación. (4 de Octubre de 2007). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 29 de Enero de 2016, de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5002667&fecha=04/10/2007

Diario Oficial de la Federación. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*.

Durán Moreno, A., Garcés Rodríguez, M., Velasco, A. R., Marín Enriquez, J. C., Gutiérrez Lara, R., Moreno Gutiérrez, A., y otros. (2013). *Mexico City's Municipal Solid Waste Characteristics and Composition Analysis*. México: Rev. Int. Contam. Ambie.

Flores Alonso, C. (2006). *Definición Inicial del Proyecto (FEL), una Mejor Práctica para Incrementar el Desempeño en los Proyectos*. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Química.

GDF. (2010). *Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos del Distrito Federal*. Ciudad de México: Gobierno del Distrito. Programa.

Hernández Álvarez, M. L. (08 de 2015). *Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Mexicano para la Competitividad. (2015). *CEL's Consideraciones para promover su inversión*. Distrito Federal.

Instituto Nacional de Ecología. (s.f.). *Incentivos Fiscales, Depreciación Acelerada, Arancel Cero*. Distrito Federal, México.

J. Murphy, R., Wang, L., Templer, R., & Sharifzadeh, M. (2012). *Bioethanol production from various waste papers: Economic feasibility*. Imperial College London: Department of Life Science.

León Mejía, A. (2010). *Estudio de factibilidad técnico, económico y ambiental para la instalación de una biorrefinería en México*. . Facultad de Química, UNAM, México, Ciudad de México: Tesis de Maestría en Ingeniería.

Maity, S. K. (18 de Diciembre de 2014). *Opportunities, recent trends and challenges od integrated biorefinery: Part I*. Recuperado el 13 de Marzo de 2016, de www.elsevier.com/locate/rser

Martínez H., E., Sadhukhan, J., & Siew Ng., K. (2014). *Biorrefinerías y Procesos Químicos*. United Kindom: Wiley.

Moreno Lamonte, O., del Río Soto, R., Leiva y Nuncio, M., Aguilar Rodríguez, E., Salazar Sotelo, D., González Ortiz, A., y otros. (1998). *Evaluación de Tecnologías en la Industria de Refinación del Petróleo*. Ciudad de México: Petróleos Mexicanos e Instituto Mexicano del Petróleo.

Murphy, J. D., Thamsiroj, T., & Baxter, D. (2013). *The Biogas Handbook*. Woodhead Publishing.

Nishimura, H., Tan, L., Sun, Z.-Y., Tang, Y.-Q., Kida, K., & Morimura, S. (2015). *Efficient production of ethanol from waste paper and the biochemical methane*

potential of stillage eluted from ethanol fermentation. Sichuan University: College of Architecture and Environment.

Organización Meteorológica Mundial. (1 de Marzo de 2016). *Organización Meteorológica Mundial*. Obtenido de Organización Meteorológica Mundial: <https://www.wmo.int/media/es/node/837>

Petróleos Mexicanos. (2012). *Manual del Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos*. Ciudad de México.

Petróleos Mexicanos. (2012). *Requerimientos y Experiencias en los Proyectos de Ingeniería*. Ciudad de México.

Petróleos Mexicanos. (2012). *Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos*. México.

Project Management Institute. (09 de 06 de 2016). *About us: What is Project Management?* Obtenido de Project Management Institute Web site: <http://www.pmi.org/About-Us/About-Us-What-is-Project-Management.aspx>

Rincón, L., Jaramillo, J., & Cardona, C. (2014). *Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation*. Universidad Nacional de Colombia: Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Departamento de Ingeniería Química.

Rødsrud, G., Lersch, M., & Sjøde, A. (2012). *History and future of world's most advanced biorefinery in operation*. Borregaard Industries Ltd, Sarpsborg.

Rutz, D., & Janssen, R. (2007). *BioFuel Technology Handbook*. München: WIP Renewable Energies.

Sacramento-Rivero, J., Romero, G., Cortés-Rodríguez, E., Pech, E., & Blanco-Rosete, S. (2010). *Diagnóstico del Desarrollo de Biorrefinerías en México*. Yucatán: Revista Mexicana de Ingeniería Química: Universidad Autónoma de Yucatán. The University of Manchester.

Secretaría de Economía. (2013). *ProMéxico Energías Renovables*.

Secretaría de Energía. (2013). *Balance Nacional de Energía*. Ciudad de México.

Secretaría de Energía. (2014). *Balance Nacional de Energía*. Ciudad de México.

Secretaría de Energía. (28 de Marzo de 2016). *Bioenergéticos*. Obtenido de Análisis y Propuesta para la Introducción de Etanol Anhidro en las Gasolinas que Comercializa Pemex: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/?p=872>

Secretaría de Energía. (2014). *Disposiciones administrativas de carácter general sobre la Evaluación de Impacto Social en el sector energético*. Ciudad de México.

Secretaría de Energía. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*. Ciudad de México.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2013). *Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo beneficio de los programas y proyectos de inversión*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Guía de Programas de Fomento de Energías Renovables*. Ciudad de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Guía para la Presentación de la Manifestación Ambiental del Sector Eléctrico Modalidad: Particular*. Ciudad de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Ciudad de México.

SEDEMA. (2014). *Inventario de Residuos Sólidos CDMX-2014*. Gobierno de la Ciudad de México.

Sheinbaum-Pardo, C., Calderón-Irazoque, A., & Ramírez-Suárez, M. (2013). *Potential of biodiesel from waste cooking oil in Mexico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Ingeniería.

Sistema de Información Energética. (1 de Marzo de 2016). *Secretaría de Economía*. Obtenido de Seguimiento Precio del Petróleo Mezcla Mexicana (MME): <http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/energeticos.html>

The World Factbook. (4 de Marzo de 2016). *Central Intelligence Agency*. Obtenido de <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2241rank.html>

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (s.f.). *UNAD*. Recuperado el 04 de 08 de 2016, de Lección 3: Método Battelle-Columbus y el Método de transparencias: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201030/Contenidoline/leccin_3_mtodo_battellecolumbus_y_el_mtodo_de_transparencias.html

Universidad Tecnológica de Pereira. (2008). *Análisis de Riesgo en Proyectos de Inversión un Caso de Estudio*. Pereira.

Woon, K. S., Lo, I. M., Chiu, S. L., & Yan, D. Y. (2016). *Environmental assessment of food waste valorization in producing biogas for various types of energy use based on LCA approach*. The Hong Kong University of Science and Technology: Department of Civil and Environmental Engineering.

Zhang, Y., Dubé, M., McLean, D., & Kates, M. (2003). *Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design*. University of Ottawa: Department of Chemical Engineering.