

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS



ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LA BIOMASA EN LA
PLANEACIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO

PRESENTA:
MARIANA KARINA HERNÁNDEZ ESCALANTE

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

DIRECTORA DE TESIS
DRA. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO MÁRQUEZ FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, MAYO 2017



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: Dr. Álvarez Icaza Longoria Luis A.
Secretario: Dra. Castro González Alejandra
Vocal: Dra. Martín del Campo Márquez Cecilia
1 er. Suplente: Dr. François Lacouture Juan Luis
2 do. Suplente: Dr. Álvarez Watkins Pablo

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, UNAM

TUTOR DE TESIS:

DRA. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO MÁRQUEZ

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora, la Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez, por su ayuda a lo largo del desarrollo de la tesis, sus consejos y todo el apoyo brindado, por permitirme obtener experiencia en la planeación energética y vincularme en el medio con el proyecto SIMISE.

De igual forma agradezco a todos los profesores de la Maestría en Energía, por impartir su conocimiento. A Conacyt por brindarme el apoyo económico estos años y permitirme obtener un posgrado de calidad.

Por otro lado, quiero agradecer a mis padres y hermana, Araceli, Mario y Margarita, por apoyarme en mi crecimiento personal y profesional, por escucharme siempre a pesar de estar lejos, y darme siempre los mejores consejos. También a toda mi familia, por estar siempre pendiente de mi bienestar.

A mis hermanitas Andy, Bere, Gaby, Alicia, por estar ahí cuando lo necesito y alentarme a salir siempre adelante.

A Richie, Diego, Ángel, Marquito por ser unos excelentes compañeros de trabajo, aclararme siempre las dudas que me surgían y por volverse unos excelentes amigos.

Finalmente, a Ulises por ser una parte muy importante en esta etapa de cambios, por ser él quien me recordó que yo tengo la fuerza para salir adelante sin importar los obstáculos que puedan existir. Por compartir nuevas experiencias, apoyarme en todo momento y por saber que cuento contigo mi gran amigo.

INDICE

Lista de Figuras	5
Lista de tablas.....	7
Lista de abreviaturas.....	8
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Objetivo General.....	14
Objetivos específicos.....	14
1 CAPÍTULO 1: PERSPECTIVA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA BIOMASA A NIVEL MUNDIAL	15
1.1 LAS ENERGÍAS LIMPIAS Y RENOVABLES.....	15
1.2 PERPECTIVAS DE LA BIOMASA EN EL MUNDO	21
1.2.1 ¿Qué es la biomasa?.....	21
1.2.2 Historia de la biomasa	22
1.2.3 La biomasa actual a nivel mundial.....	23
1.2.4 Costos de suministro de biomasa.....	28
1.2.5 Ventajas y desventajas de utilizar la biomasa	30
2 CAPÍTULO 2: El Sector Energético y la situación actual de la Biomasa en México ..	31
2.1 EL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO	31
2.1.1 Sector Hidrocarburos	33
2.1.2 Sector Eléctrico.....	33
2.2 TENDENCIAS CLAVE DE LA ENERGÍA EN MÉXICO.....	34
2.2.1 Demanda de energía primaria.....	34
2.2.2 Demanda por sectores	35
2.2.3 Sector Electricidad.....	36
2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA BIOMASA EN MÉXICO.....	38
2.3.1 Uso actual.....	38
2.3.2 Potencial de Biomasa	39
2.3.3 Potenciales de generación de energía eléctrica.....	41
2.4 IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA BIOMASA	44
3 CAPÍTULO 3: Descripción del modelo utilizado para la planeación energética.....	46
3.1 METODOLOGÍA DE LA PLANEACIÓN ENERGÉTICA.....	46
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SIMISE SIMPLEX-UNAM.....	48

3.2.1	Datos requeridos	49
3.2.2	Descripción de la metodología del modelo SIMISE SIMPLEX.....	50
3.2.3	Manejo del programa SIMISE-SIMPLEX.....	51
4	CAPÍTULO 4: Desarrollo de planes de expansión eléctrica para diferentes escenarios	56
4.1	PROPUESTA DE SUPUESTOS GENERALES	56
4.1.1	Demanda.....	58
4.1.2	Adiciones y Retiros Fijos	58
4.1.3	Metas de energía limpia	60
4.1.4	Costos de combustible	61
4.2	ESCENARIOS.....	62
4.2.1	Adiciones de capacidad.....	63
4.2.2	Generación de electricidad	65
4.2.3	Costos anuales de generación de electricidad	67
4.2.4	Costos anuales de inversión.....	69
4.2.5	Porcentaje de energía limpia y convencional.....	71
4.2.6	Emisiones	72
5	CAPÍTULO 5: Alternativas y propuestas	74
5.1	ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS PARA INTRODUCIR LA BIOENERGÍA EN MÉXICO.....	74
5.2	LA BIOENERGÍA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL GAS NATURAL	75
5.2.1	Planteamiento del problema y metodología	79
	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	89
	Bibliografía.....	92
	Anexo A: Resultados de potenciales por regiones de control.....	95

Lista de Figuras

Figura 1.1. Esquema de tipos de energías limpias.....	16
Figura 1.2. Participación de las energías renovables en la oferta total de energía 2013..	19
Figura 1.3 Clasificaciones de la biomasa.	21
Figura 1.4 Generación de electricidad a nivel mundial de Biomasa y desechos.....	23
Figura 1.5 Comparación de Capacidad de Generación Neta con Biomasa, 2014.	25
Figura 1.6 Producción Global de etanol por países y regiones 2013.....	27
Figura 1.7 Producción Global de Biodiesel por países y regiones 2006-2013.....	27
Figura 1.8 Participación de la biomasa en el consumo final total de energía por sectores.	28
Figura 2.1 Producción de crudo, exportaciones y el balance de energía en México, 2010- 2015.	32
Figura 2.2 Estructura de producción de energía primaria en porcentaje.	35
Figura 2.3 Demanda de energía por combustible en diferentes sectores.....	35
Figura 2.4 Mapas del Potencial de biomasa en México por Estados por tipo de materia prima.	40
Figura 2.5 Potencial de Bioenergía Probado por Región GWh/a.	42
Figura 2.6 Potencial de Bioenergía Probado + Posible por Región GWh/a.....	43
Figura 3.1 Análisis para la planeación energética.	47
Figura 3.2 Programa SIMISE SIMPLEX optimizador.....	52
Figura 3.3 SIMISE SIMPLEX, apartado restricciones en el optimizador.....	53
Figura 3.4 Parámetros de Solver en SIMISE SIMPLEX.	54
Figura 3.5 Mensaje de los resultados en Solver.....	54
Figura 3.6 Resultados del optimizador.	55
Figura 4.1 Demanda anual de electricidad 2015-2050	58
Figura 4.2 Metas de energía limpia 2015-2050.....	60
Figura 4.3 Costos variables de generación por concepto de combustible para diferentes tecnologías	61
Figura 4.4 Comparación de costos de combustible nivelado.....	62
Figura 4.5 Adiciones de Capacidad en diferentes escenarios.....	64
Figura 4.6 Adiciones de Capacidad de la bioenergía en diferentes escenarios.....	65
Figura 4.7 Generación anual de electricidad en diferentes escenarios.	66
Figura 4.8 Generación anual de electricidad de la bioenergía en diferentes escenarios. .	67
Figura 4.9 Costos anuales de generación de electricidad en diferentes escenarios.....	68

Figura 4.10 Costos anuales de generación de electricidad para la bioenergía en diferentes escenarios.	69
Figura 4.11 Costo anual de inversión en diferentes escenarios.	70
Figura 4.12 Costo anual de inversión de la bioenergía en diferentes escenarios.	71
Figura 4.13 Porcentaje de participación de energía limpia y convencional en diferentes escenarios.	72
Figura 4.14 Cantidad de emisiones anuales (millones toneladas de CO ₂) en diferentes escenarios.	73
Figura 5.1 Consumo, producción e importación del Gas Natural.....	76
Figura 5.2 Potencial energético de la Biomasa tala sustentable dividida por regiones.	77
Figura 5.3 Potencial energético de la Biomasa Residuos Agro-forestales dividida por regiones.....	78
Figura 5.4 Potencial energético de la Biomasa RU dividida por regiones.....	79
Figura 5.5 Diferencia entre potencial térmico y potencial aprovechable.	83
Figura 5.6 Generación eléctrica promedio región noroeste de biomasa (MWh/a).	84
Figura 5.7 Ahorro en dólares de generar energía con biomasa.	85
Figura 5.8 Cantidad de bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN.	87
Figura A.1 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN,.....	95
región BC.....	95
Figura A.2 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región BCS.....	96
Figura A.3 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Norte.	96
Figura A.4 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Noroeste.....	97
Figura A.5 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Occidental.	97
Región Central.....	98
Figura A.6 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Central.	98
Figura A.7 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Oriental.	98
Figura A.8 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Peninsular.	99

Lista de tablas

Tabla 1.1. Indicadores de energías renovables 2015.....	20
Tabla 1.2 Crecimiento de demanda de biomasa periodo 2010-2030.	24
Tabla 1.3 Análisis de costos y rangos por tipo de biomasa.	29
Tabla 2.1 Capacidad Instalada y Generación de energía eléctrica.....	37
Tabla 2.2 Capacidad y Generación eléctrica del Biogás y Bagazo.....	39
Tabla 3.1 Datos requeridos para SIMISE SIMPLEX.	49
Tabla 4.1 Datos de entrada tecnología Bioenergía genérica.....	57
Tabla 4.2 Adiciones fijas en capacidad (MW).....	59
Tabla 4.3 Retiros fijos en capacidad (MW).....	59
Tabla 5.1 Equivalencia entre el GN y la biomasa.....	82
Tabla 5.2 Resultados de utilizar biomasa para generación de electricidad Región noroeste.....	82
Tabla 5.3 Costo anual en dólares de generación con biomasa por concepto de combustible.	85
Tabla A.1 Biomasa para generación de electricidad región BC.....	95
Tabla A.2 Biomasa para generación de electricidad región BCS	96
Tabla A.3 Biomasa para generación de electricidad región Norte.	96
Tabla A.4 Biomasa para generación de electricidad región NorE.....	97
Tabla A.5 Biomasa para generación de electricidad región Occ.	97
Tabla A.6 Biomasa para generación de electricidad región Cen.	98
Tabla A.7 Biomasa para gen. de electricidad región Orient.....	98
Tabla A.8 Biomasa para generación de electricidad región Plar.	99

Lista de abreviaturas

\$/MBTU	Dólares por millón de BTU
a	Año/anual
ASEA	Agencia de Seguridad de Energía y Ambiente
AZEL	Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias
BC	Baja California
BCS	Baja California sur
Bio	Biomasa
bio-DME	Dimetiléter procedente de biomasa
BtL	Biomasa Líquida
Car	Carboeléctrica
Cco	Ciclo Combinado
Cen	Central
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CH4	Metano
CIn	Combustión Interna
CINAM	Colegio de Ingenieros Ambientales de México
CO2	Dióxido de Carbono
Cog	Cogeneración
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
COP 21	Conferencia de las Partes 21
COPAR	Costos y Parámetro de Referencia
DOF	Diario Oficial de la Federación
Eol	Eólica
ER	Energías renovables
F.O.	Función Objetivo
FAOSTAT	Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura
fracc	Fracción
Geo	Geotérmica
GN	Gas natural
GWh	Gigawatt hora
GWh/a	Gigawatt hora anual
Hid	Hidroeléctrica
IEA	Agencia internacional de Energía
INERE	Inventario Nacional de Energías Renovables
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
Kg/MWh	Kilogramo por megawatt hora
Kton	Kilotonelada
KWh m2	Kilowatt hora por metro cuadrado
LTE	Ley de Transición Energética
m³ bio	Metros cúbicos biomasa

m³ GN	Metros cúbicos gas natural
MBTU	Millones de btu (unida de energía inglesa)
MBTU/MWh	Millones de BTU por megawatthora
MJ/MWh	Megajoules por megawatt hora
MJt/MWh	Megajoules térmicos por megawatt hora
MMm³	Millones de metros cúbicos
Mt	Megatoneladas
MW	Megawatt
MWa	Megawatt año
MWh	Megawatt hora
Mx	México
NorE	Noreste
Nuc	Nuclear
Occ	Occidental
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
Orient	Oriental
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIASA	Promotora Industrial Azucarera SA.
PIB	Producto Interno Bruto
PIIRCE	Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de las Centrales Eléctricas
PJ	Petajoules
Plar	Peninsular
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
REN 21	Renewable Energy Policy Network
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RU	Residuos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SIMISE	Sistema de Modelación Integral del Sistema Eléctrico
Sol	Solar
SynGas	Gas de síntesis
Ter	Termoeléctrica
TJ/a	Terajoules anuales
Tur	Turbogás
TWh	Terawatt hora
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USA	Estados Unidos de América
USD	Dólares de USA
USD/GJ	Dólares por gigajoul
USD/KW	Dólares por Kilowatt
USD/MW	Dólares por megawatt
USD/MW-año	Dólares por megawatt año

Resumen

La demanda de energía tanto en el mundo como en México ha aumentado, principalmente para satisfacer las necesidades humanas en los diferentes sectores en donde se desenvuelve la actividad económica y social. De igual manera, los temas como el calentamiento global y la contaminación son prioridades para buscar alternativas con nuevas tecnologías para disminuir las emisiones de CO₂ que hay en el ambiente y principalmente que la generación sea sustentable.

Para que todo lo anterior se cumpla, es necesario realizar una planeación energética en donde se proponga una diversificación de energías renovables. La propuesta para esta tesis es introducir a la biomasa como una alternativa para cubrir esa creciente demanda y ver cómo se comporta y compite esa energía con las demás.

El objetivo principal fue realizar un análisis de la participación de la biomasa en el sector energético en México, para después puntualizar en la generación de energía eléctrica con base en biomasa. Se efectuó la optimización de la expansión de la generación eléctrica de largo plazo, de una manera simplificada, utilizando el programa SIMISE-SIMPLEX, esto caracterizando una planta genérica, que utiliza residuos urbanos como materia prima, utilizando topes de potenciales de generación eléctrica. De los escenarios propuestos y de acuerdo con los resultados en el SIMISE, si se utilizan Ru con equipos adecuados, se podría llegar a alcanzar a tener una participación máxima del 5% del total de energía eléctrica en el año 2050.

Para completar el trabajo, se realizó un análisis de los potenciales de biomasa y la cantidad de gas natural que se puede reemplazar con biogás y gas de síntesis (bio), equiparando la cantidad de gas natural con el que se obtiene con la biomasa. Todo lo anterior como un ejercicio para la región noroeste de control y de acuerdo a los resultados, se compara la cantidad que se puede sustituir en una línea de tiempo de 2017-2029, utilizando el programa indicativo propuesto por el PRODESEN. En este caso se pudo observar que en esa región se puede sustituir de un 50% a un 70% del total que se utiliza de gas natural en esa región.

Palabras clave: energía, sustentable, biomasa, planeación energética, optimización.

Abstract

The demand for energy in both the world and Mexico has increased, mainly to meet the human needs in the different sectors where it is involved. Similarly, issues such as global warming and pollution are priorities to seek alternatives with new technologies to reduce CO₂ emissions to the environment and mainly to make the generation sustainable.

To meet all the above, it is necessary to carry out an energy planning in which a diversification of renewable energies is carried out. The proposal for this thesis is to introduce biomass as an alternative to cover that demand and to see how it behaves and competes with other energy resources.

The main objective was to perform an analysis of the biomass participation in the energy sector in Mexico, with expansion in the generation of electricity with this energy source. A long-term expansion optimization, was performed in a simplified form, by using the SIMISE-SIMPLEX program, want a generic plant which uses urban waste of electrical generation potential. From the scenarios, proposed and according to the results in SIMISE, if urban waste is used with adequate equipment, it could reach to have a maximum participation of 5% of the total electric energy in the year 2050.

To complete the work, an analysis of the biomass potentials and the amount of natural gas that could be replaced with biogas and synthesis gas (bio) was made, comparing the amount of GN with the total obtained with the biomass. All of the above with an exercise for the northwest region of control and according to the results, the amount that can be substituted in a timeline of 2017-2029, using the indicative program proposed by PRODESEN, is compared. In this case it was observed that in the northwest region can substitute from 50% to 70% of the total that is used with natural gas.

Keywords: energy, sustainable, biomass, energy planning, optimization.

Introducción

Hoy día, la planeación energética exige un análisis profundo de todas las tecnologías que existen para generación de energía. Para enfocar en encontrar la mejor solución de abastecimiento de suministros energéticos de calidad, que contribuyan a un mayor bienestar en la población, desde lo económico, social y ambiental y, a la vez cubrir la demanda que se requiere en un país.

Conforme avanzan los años nos vemos en la necesidad de buscar cambios sustanciales, ya que del petróleo existe un gran debate con respecto a su participación en un futuro, puesto que su precio varía drásticamente. A pesar de ello, se vuelve indiscutible disminuir la dependencia de este energético, principalmente por la cantidad de contaminantes que se emiten.

A nivel mundial, se está buscando conciencia para tener un mundo con energía sustentable, es decir, se busca sustituir casi por completo las fuentes de energía convencionales de origen fósil. Por ello se pretende que las energías limpias causen un impacto positivo en el medio. Por primera vez en cuatro décadas, las emisiones globales de carbono asociadas al consumo de energía permanecieron estables a pesar de que la economía global es mayor. Y esto se debe a que se utiliza este tipo de energías y se ha mejorado la eficiencia energética.

Desde el tratado de la COP 21, que se realizó en París el pasado 30 de noviembre de 2015, se tuvo como objetivo principal realizar un acuerdo mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y esforzarse para que el aumento de temperatura no pase los 1.5°C, y como objetivo ambicioso llegar a un nivel cero de emisiones entre los años 2030 y 2050¹.

México, al ser un participante de este acuerdo, como país en desarrollo se comprometió a bajar sus emisiones fijándose metas a corto y mediano plazo, utilizando energías limpias que ayuden con esa misión. Una de las más importantes es la que aparece en la reciente Ley para la Transición Energética (LTE), con su plan de acción climático y en su artículo tercero transitorio, indica:

“La Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por ciento para el año 2018, del 30 por ciento para el 2021 y del 35 por ciento para el 2024.”

¹ <http://www.cop21paris.org>

Así mismo, en la siguiente COP 22 México presentó su estrategia de reducción de emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI), en la cual se propuso reducir para el año 2030 en un 22% las emisiones y en un 50% para el 2050, tomando como base su medición del año 2000².

Por estos motivos, las energías renovables en el país han tenido un auge significativo, principalmente con el objetivo de sustituir de manera parcial a las energías fósiles. Sin embargo, las proyecciones tendenciales indican que los combustibles fósiles seguirán destacando como fuente primaria; Por esa razón, es necesario comenzar a diversificar todas las tecnologías, principalmente las energías limpias y dentro de ellas, las energías renovables (ER).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede saber que no sería difícil cumplir con esas metas puesto que México cuenta con un potencial muy grande de casi todos los recursos naturales y gracias a estas leyes, se pueden eliminar las barreras que impiden el desarrollo de nuevas tecnologías³.

Con lo dicho anteriormente, la propuesta de este trabajo es introducir un tipo de ER que se ha quedado un poco olvidada, la biomasa, pero que es esencial para poder deshacerse de lo que comúnmente llamamos “residuos” y al eliminar esos desechos estamos obteniendo un beneficio, que es la generación de energía.

Se sabe que la biomasa tiene beneficios indudables y para decidir el peso óptimo que debe tener la tecnología en la mezcla de la generación de energía deben ponerse en contexto esos beneficios.

Por lo tanto, se realizó la propuesta de utilizar un proyecto genérico, establecido por la SENER, que utiliza biogás como combustible en la generación de energía eléctrica y realizar escenarios de expansión eléctrica de largo plazo, para analizar cómo puede participar este tipo de tecnología compitiendo con otras energías limpias y renovables utilizando una versión de un programa desarrollado por la UNAM llamado SIMISE-SIMPLEX.

Existe una gran variedad de tipos de biomasa que se pueden utilizar y su disponibilidad en cada región del país depende de las características naturales del lugar, pero también de las actividades de la población en cada región. Por lo anterior, se elaboró una propuesta para determinar, de acuerdo a los potenciales

² Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 17/noviembre /2016.

<http://www.gob.mx/inecc/prensa/mexico-presento-en-la-cop-22-su-estrategia-de-cambio-climatico-al-2050>

³ (SENERa). Reporte de avances de Energía Limpias 2015. México 2016, segunda edición.

que se tienen en el país, qué tipo de materia prima es la ideal para que se utilice en el país.

A partir de esa misma idea, se presenta también un ejercicio de la cantidad de biomasa que podría sustituir esta tecnología si se considera el potencial total que existe en una región determinada y si se utiliza para reemplazar al gas natural. Con ello se podría ver de acuerdo al programa indicativo del PRODESEN como la biomasa puede reemplazar el gas natural.

Objetivo General

Realizar un análisis de la participación de la biomasa en la planeación energética en México.

Objetivos específicos

1. Mostrar las condiciones actuales de la biomasa en diferentes sectores a nivel mundial y en México.
2. Desarrollar algunos escenarios de generación de electricidad, en donde se analice cómo se comporta la biomasa, considerando un proceso de optimización a partir del escenario de PRODESEN, mostrando los resultados para un periodo de tiempo de 35 años, es decir, 2015 a 2050.
3. Analizar, de acuerdo al potencial de biomasa existente en México, la cantidad que se puede reemplazar de gas natural, analizado de forma particular con un ejemplo en una región determinada y sólo con la biomasa que tiene mayor potencial.

1 CAPÍTULO 1: PERSPECTIVA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA BIOMASA A NIVEL MUNDIAL

El rápido crecimiento de la población a nivel mundial exige una demanda energética cada vez mayor, en donde se buscan alternativas para el futuro que sean competitivas y viables, pero que además cumplan con las leyes y políticas establecidas. De esta forma, el uso de las energías fósiles puede comenzar a disminuir y alcanzar una independencia energética con base en energías limpias.

A continuación, se presenta una breve descripción de cómo se encuentra la participación de las energías limpias y renovables en un escenario actual y lo que se esperaría de ellas, de igual forma se profundiza específicamente en la biomasa que corresponde a un tipo de energía renovable. Para ello se presenta de manera general su escenario actual y qué se pretende que pase con ésta en años futuros. Dentro de este capítulo se encuentran algunas definiciones básicas para complementar la información.

1.1 LAS ENERGÍAS LIMPIAS Y RENOVABLES

Existe una diferencia entre los conceptos de energías limpias y renovables, ya que en muchas ocasiones los confunden como una misma definición. Lo cierto es que son parte de un mismo conjunto, tienen algo en común, sirven para generar energía sin contaminar el ambiente, aunque parecen lo mismo, sus significados y su forma de interpretarlos es diferente.

Se les llama energías limpias a las fuentes de energías y procesos de generación cuyas emisiones o residuos no rebasan los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias⁴. De acuerdo a la Ley de Transición Energética:

La eficiencia mínima para que cualquier otra tecnología se considere de bajas emisiones de carbono conforme a estándares internacionales, o bien, para que la Secretaría de Energía y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales determinen que sean Energías Limpias, se basará en una tasa de emisiones no mayor a 100kg/MWh⁵.

⁴ (SEGOBa) Ley de la Industria Eléctrica. Capítulo 1. Diario Oficial de la Federación <http://www.ordenjuridico.go.mx/Documentos/Federal/html/wo98009.html>

⁵ (SEGOBb) Ley de Transición energética. Transitorios Décimo Sexto V, VI. Diario Oficial de la Federación http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015

Por lo tanto, las energías limpias son aquellas que cuando se usan no dañan al medio ambiente y no producen tantos residuos tóxicos o simplemente no los generan. Se clasifican atendiendo a sus características principales como son su grado o nivel de contaminación, a su obtención y utilización (ver Figura 1.1), y dentro de esta definición se encuentra el término de energías renovables (Roldan, 2013).



Fuente: elaboración propia.

Figura 1.1. Esquema de tipos de energías limpias.

Dentro de estas energías limpias, la energía nuclear, la cogeneración y los frenos regenerativos, se consideran como energías no renovables o en algunos casos los han de llamar energías alternas, puesto que son diferentes a las tradicionales o a las más utilizadas.

En el caso de la energía nuclear, la producción de electricidad se realiza principalmente gracias a los reactores nucleares que hacen una reacción de fisión en cadena que produce calor; el combustible que utiliza puede ser uranio o plutonio. Sin embargo, se considera como limpia ya que se vuelve sustentable al tener un bajo índice de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, como ventaja principal puede funcionar como carga base o constante, es decir, puede garantizar el suministro de energía y no necesita el uso de combustibles fósiles, por ese motivo sus costos de generación se vuelven prácticamente constantes.

La cogeneración eficiente se ha utilizado cada vez más en la industria para autoabastecimiento en donde se puede utilizar energía térmica y eléctrica

simultáneamente y se aprovechan entre sí. En otros casos la materia prima que produce la industria puede ser utilizada para el mismo fin, la generación de calor.

Los frenos regenerativos aprovechan energía de los automóviles y transporte urbano durante el frenado. Aunque esta tecnología es reciente, ha tenido una buena aceptación, ya que por ejemplo se puede utilizar en automóviles híbridos para recargar las baterías.

Por los motivos que se describieron de forma breve anteriormente, es que esas tecnologías se clasifican como no renovables, y con los problemas que se han tenido con el cambio climático, cada día se buscan nuevas alternativas para abastecer nuestras necesidades.

Por otro lado, el término de energía renovable se puede definir como una fuente que reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el humano, que se regenera naturalmente, es decir es inagotable y se encuentra disponible de forma continua o periódica, y no liberan emisiones contaminantes⁶. Entre las principales se encuentran:

Energía solar: Es una energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. La utilización de la solar tiene un doble objetivo que es contribuir la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y ahorrar en energías no renovables. Los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de la energía solar se dividen en dos categorías: sistemas fototérmicos y sistemas fotovoltaicos. Estos últimos son los más utilizados puesto que convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica.

Energía eólica: Este tipo de energía, es la que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. Se ha utilizado desde tiempos pasados como energía mecánica para bombeo de agua y molinos, es hasta la década de 1980 cuando ésta progresa y se forman lo que hoy se conoce como parques eólicos, y dependiendo del tipo de turbina que tenga el aerogenerador, será la potencia que se genere.

Energía geotérmica: Se denomina con ese nombre por ser la energía almacenada en forma de calor por debajo de la Tierra. Donde su temperatura puede superar los 300°C y la cual es aprovechada para generar electricidad, en aplicaciones industriales o domésticas, siempre y cuando se trate de estructuras geológicas favorables, exploradas con técnicas de proceso correctas y rentable.

⁶ (SENERb). Prospectiva Energías Renovables 2016-2030 glosario.

Energía hidroeléctrica: Aprovecha la energía que genera el agua en movimiento. Entre las energías renovables la hidroeléctrica es hasta el momento de las mejores, por su posibilidad de dosificación y por obtener su explotación en momentos estratégicos ya que puede ofrecer una cobertura en horas pico.

Energía biomasa: Se obtiene de la materia orgánica, se habla a detalle en apartados posteriores.

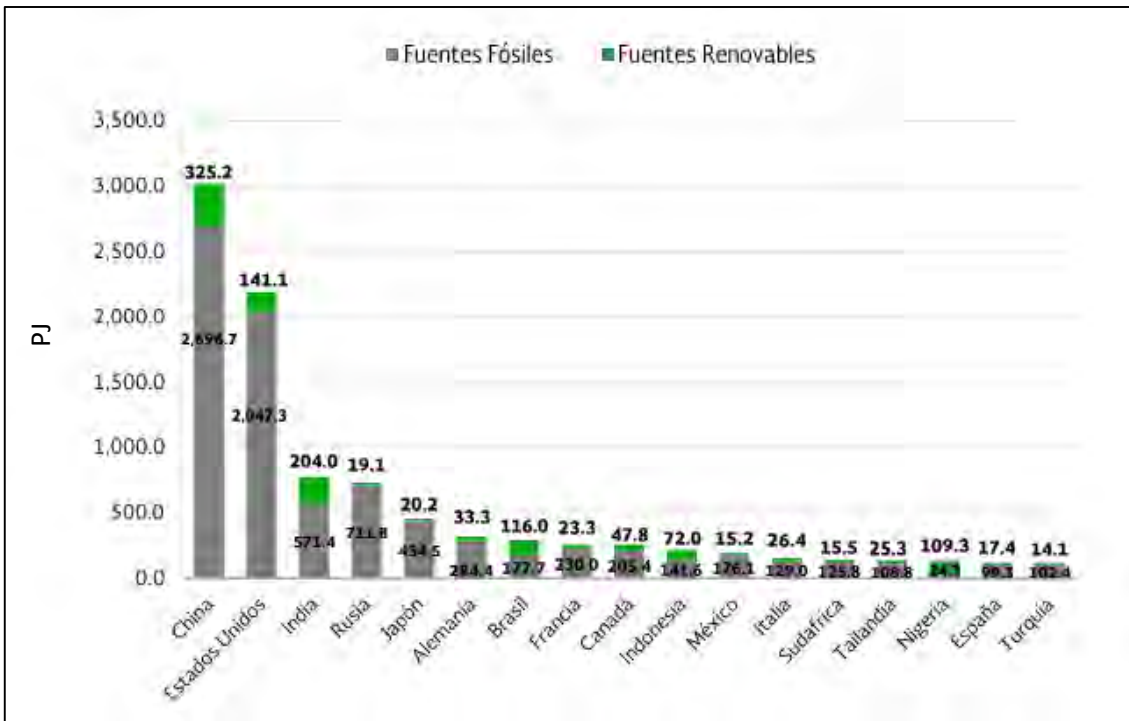
Las energías renovables se han establecido como fuentes importantes de energía. Su crecimiento ha sido acelerado en los diferentes sectores e impulsado por diversos factores, por mencionar los más importantes, tenemos el aumento de rentabilidad, cuestiones de medio ambiente, demanda creciente de energía en economías de desarrollo emergentes, acceso a energías modernizadas, financiamientos y políticas. Por otro lado, en países en desarrollo surgen mercados nuevos tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida.

Existe una demanda mundial de energía cada vez mayor, de acuerdo a datos de la Agencia Internacional de Energías Renovables, para el 2030 la demanda será el doble de la actual ([IRENA, 2014](#)) y aumentará aproximadamente 1.8% anual⁷.

Haciendo un comparativo internacional se presenta la participación de las energías renovables a partir del año 2013 en la oferta total de energía primaria en comparación con las fósiles (ver Figura 1.2).

Ahí se observa que China, USA, India, Rusia y Japón generaron la mayor cantidad de energía primaria. Esta participación depende del nivel de desarrollo del país y de las políticas energéticas. China genera más energías alternas en comparación a las otras, seguido de la India que en este caso es la que tiene un mejor equilibrio entre las fósiles alternas. En el caso de México la participación es del 7.9% aproximadamente, aunque por el potencial que tiene el país esa contribución podría ser mayor ([IEA, 2016](#)).

⁷ Proyecciones efectuadas hasta el 2030 ec. europa.eu



Fuente: Prospectiva de energías renovables 2015-2029, con datos de la *IEA Renewables Information 2015*.

Figura 1.2. Participación de las energías renovables en la oferta total de energía 2013.

Para las ER el año 2015 fue un año memorable puesto que se contó con una mayor incorporación de capacidad, como se observa en la Tabla 1.1 donde se presentan los principales indicadores de las energías renovables de los tres sectores más importantes que existen a nivel mundial y son el sector electricidad, el sector calor y el sector transporte.

El sector eléctrico experimentó su mayor incremento anual en capacidad, el cual fue significativo en todas las regiones. Se tuvo una transformación acelerada en tecnología solar y eólica, teniendo a la hidroeléctrica también como la más importante de todo el conjunto.

La generación de electricidad a partir de la geotermia y algunas fuentes de la biomasa ha sido competitiva con la energía obtenida a partir de combustibles fósiles en circunstancias favorables, es decir, con buenos recursos y marcos jurídicos seguros. La eólica y la solar también representan buenas expectativas.

Tabla 1.1. Indicadores de energías renovables 2015

Inversión		2014	2015
Inversiones nuevas en energías renovables de electricidad y combustible	Miles de millones USD	273	285.9
Electricidad			
Capacidad hidroeléctrica	GW	10.35	1064
Capacidad bioenergía	GW	101	106
Generación bioenergía (anual)	TWh	429	464
Capacidad geotérmica	GW	12.9	13.2
Capacidad solar PV	GW	177	227
Capacidad de concentración solar térmica	GW	4.3	4.8
Capacidad eólica	GW	330	433
Calor			
Capacidad de calentamiento solar de agua	GW _{Th}	409	435
Transporte			
Producción de etanol (anual)	Billones de litros	94.5	98.3
Producción biodiesel (anual)	Billones de litros	30.4	30.1

Fuente: elaboración propia (traducción). Datos obtenidos de *REN 21 Renewables 2016, Global Status Report*.

Globalmente la producción de electricidad renovable continuó siendo dominada por las grandes potencias, en donde las plantas generadoras son propiedad de empresas de servicios públicos o inversionistas. También se está notando una expansión en países en desarrollo en donde su objetivo principal es alcanzar sus metas utilizando este tipo de alternativas, producir sus propios sistemas de diversificación, así como desarrollo de tecnologías.

Por otro lado, en el sector de calefacción y enfriamiento (*Heating and cooling sector*) se incrementó la tasa anual 1% en el 2015. Las principales tecnologías demandadas para este sector, son solar y biomasa en sus tres formas, sólidas, líquidas y gaseosas; las cuales producen calor y se puede utilizar tanto para la industria como para el sector edificaciones.

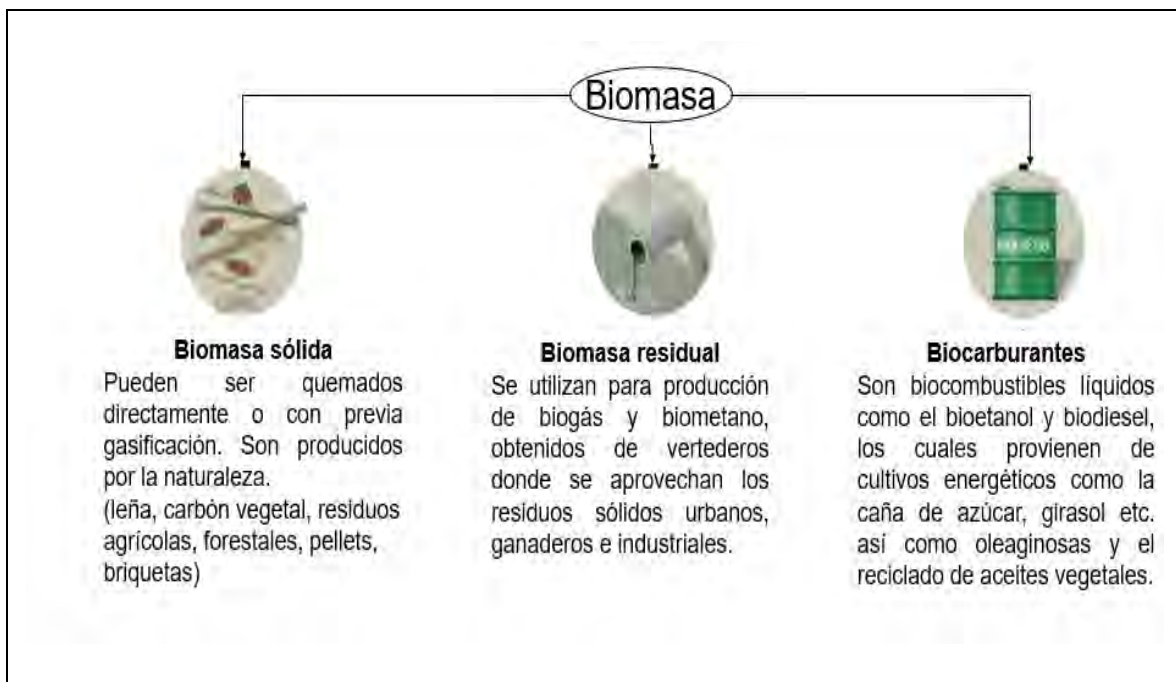
En el caso del sector transporte la biomasa destacó con biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiesel, los que representan la gran mayoría de energía renovable de la demanda global. Se tienen planes de usar los biocombustibles para que sean utilizados en la aviación en un futuro. De igual forma, el uso de los carros eléctricos se expandió a nivel mundial.

1.2 PERSPECTIVAS DE LA BIOMASA EN EL MUNDO

1.2.1 ¿Qué es la biomasa?

La biomasa es un material orgánico constitutivo de los seres vivos, excretas y restos no vivos. Los biocombustibles que produce pueden ser transformados, procesados o simplemente utilizados como son (Mäser, 2011).

Esta materia orgánica puede ser transformada e incorporada por los animales y el hombre. Todo este término de biomasa abarca un conjunto heterogéneo y variado de materia orgánica y se puede clasificar de la siguiente forma (Figura 1.3):



Fuente: Elaboración propia (Damien, 2010).

Figura 1.3 Clasificaciones de la biomasa.

Biomasa sólida: Proviene principalmente de la leña procedente de los árboles, teniendo en cuenta que no debe hacerse un aprovechamiento sin control de este tipo de energía ya que se podrían destruir sus ecosistemas. Sin embargo, es una mejor opción utilizar los residuos de las partes muertas, restos de podas y claros de esta forma podríamos evitar incendios. Dentro de esta clasificación encontramos los cultivos energéticos que pueden ser tradicionales o no alimentarios.

Biomasa residual: Se produce en explotaciones agrícolas, ganaderas, de la industria y en núcleos orgánicos llamados residuos sólidos urbanos (RSU). Donde

su principal aportación es producir energía y hasta realizar instalaciones autosuficientes aprovechando los recursos propios, en granjas, industrias papeleras, depuraciones urbanas, que generan un beneficio de evitar la degradación del medioambiente eliminando estos.

Biocombustibles: Son productos procedentes de la transformación física, química, biológica, de las fuentes de la biomasa y se utilizan como combustible. Existen tres tipos, sólidos líquidos y gaseosos, los más importantes son los líquidos donde destacan el biodiesel que se utiliza para sustituir de forma parcial el diésel de la automoción y se produce a partir de los aceites vegetales usados o naturales y el bioetanol para sustituir a la gasolina.

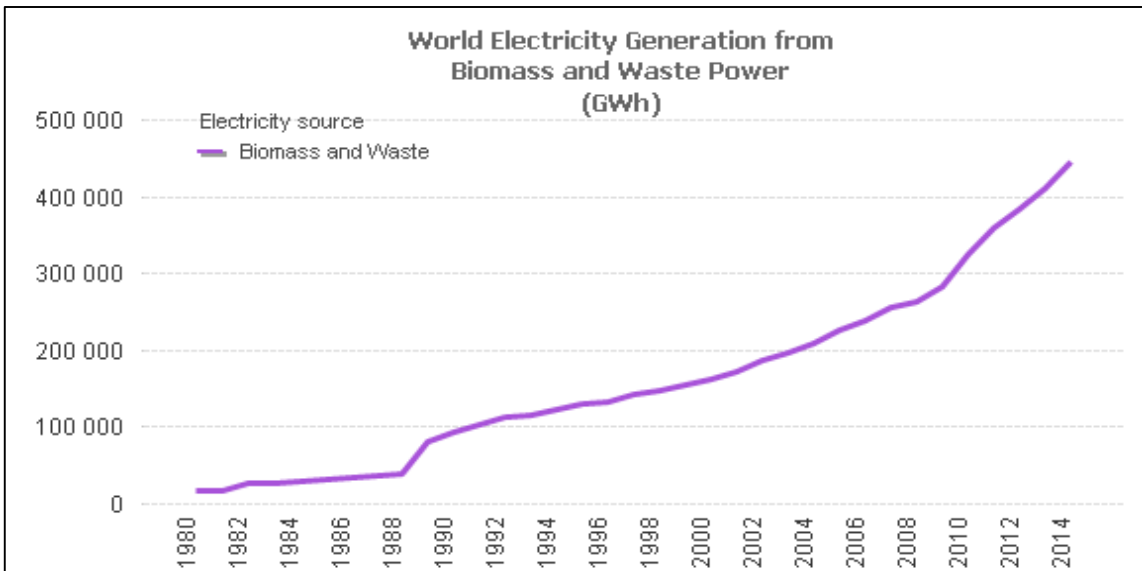
Con respecto a la producción de biocombustibles gaseosos el principal es el biogás, que está formado principalmente por metano y suele producirse de forma espontánea en presas, fondo de lagunas, lugares donde hay depósitos de materia orgánica, vertederos de basura, residuos ganaderos, etc.

1.2.2 Historia de la biomasa

La biomasa fue la primera tecnología de generación de energía en aparecer con el descubrimiento del fuego, todo eso frotando una punta de madera sobre un madero seco para la generación de calor y luz. Sin saber los principios y conocimientos científicos que hoy tenemos, el hombre usó la energía en su manifestación más rudimentaria: mediante el fuego que provoca la combustión de la madera y que ahora se le llama biomasa.

Posteriormente, esta energía también se utilizaba para cocinar, producción de cerámica y algunos metales, para alimentar máquinas de vapor etc. Así se mantuvo por siglos como un combustible principal hasta la revolución industrial, puesto que se necesitaba una mayor cantidad de energía en un espacio reducido y fue sustituido por el carbón.

Sin embargo, fue a partir del siglo XX que comenzaron a darle el uso a la biomasa para la generación de electricidad y a nivel mundial ha aumentado conforme pasan los años (Figura 1.4). La primera década se mantiene con índices muy bajos, pero se puede notar un alza en la generación de electricidad a partir de los años 90's hasta llegar a los 433,000 GWh en el año 2014.



Fuente: The Shift Project Data Portal, The World Bank⁸.

Figura 1.4 Generación de electricidad a nivel mundial de Biomasa y desechos.

La gráfica representa un promedio mundial por zonas la cual fue consultada en un portal que compila datos históricos del Banco Mundial y se utiliza con el fin de hacer proyecciones de precios, generación y capacidad.

1.2.3 La biomasa actual a nivel mundial

La producción de biomasa es favorable para el corto, mediano y largo plazos, ya que tiene un gran potencial en todos los sectores a nivel mundial. Existen grandes cantidades de materiales o residuos que pueden ser utilizados y de esta forma eliminar lo que en muchas ocasiones llamamos basura. La mayor parte de la demanda hoy día es de biomasa tradicional (por ejemplo, leña) que se utiliza para cocinar o quemar y producir calor. En los países industrializados el aprovechamiento se cifra en torno al 3-4%, mientras que en muchos países de desarrollo constituye como la principal fuente de energía (Castellanos , 2008) .

Desde el 2010, en muchos países se comenzó a adoptar el uso de la biomasa no sólo para cocinar, sino también para la generación de electricidad y algunas aplicaciones industriales. Se espera que para el 2030 la biomasa tradicional disminuya considerablemente y los usos de la biomasa de nueva generación comiencen a darse más.

⁸ Historical Electricity Generation Statistics. The shift project data portal <http://www.tsp-data-portal.org/Historical-Electricity-Generation-Statistics#tspQvChart>

Como dato, se espera que para el 2030 la generación de electricidad crezca aproximadamente un 10% combinada con el sector de calor, y casi la misma cifra corresponde para el sector transporte y los biocombustibles líquidos.

Segundo, aunque parezcan cifras pequeñas, en realidad son muy significativas, puesto que a pesar de que es una tecnología antigua, había sido muy poca su investigación y por lo tanto el avance había sido casi nulo.

En la Tabla 1.2 podemos encontrar de forma más detallada la demanda global y el crecimiento por aplicación del año 2010 al 2030, estudio realizado por la Agencia Internacional de Energías Renovables.

Se ve de manera clara, que en el sector edificaciones tradicional, se espera una tasa de crecimiento negativa, puesto que el propósito es dejar de quemar leña y exista un alza en el sector edificaciones con tecnología moderna. De igual forma se prevé que los sectores de industria manufacturera, transporte, eléctrico y de calor tengan un efecto positivo con el uso de la biomasa y crezca hasta un 10% anual hasta el 2030.

Tabla 1.2 Crecimiento de demanda de biomasa periodo 2010-2030.

	2010 (EJ/año)	2030 (EJ/año)	Crecimiento	
			(%/año)	(EJ/año)
Sector edificaciones, tradicional	27	12	-4.1	-0.8
Sector edificaciones, moderno	8	13	2.6	0.3
Sector industria manufacturera	8	21	4.9	0.7
Sector transporte, producción líquidos	5	31	9.7	1.3
Sector eléctrico y de calor	5	31	10.0	1.3
Total	53	108	3.7	2.8

Fuente: elaboración propia (traducción). Datos obtenidos de Remap 2030 IRENA 2014.

Todos los datos que se presentaron en la tabla anterior corresponden a energía primaria. Con estos datos dados, ya se podría hacer un aproximado de la cantidad de bioenergía que puede producirse y ver qué tan viable es utilizar este recurso energético, de igual forma dio pauta a que se modificaran algunas leyes y conjuntamente trabajar con su potencial por países y ver qué tipos de biomasa son óptimos para utilizarlos.

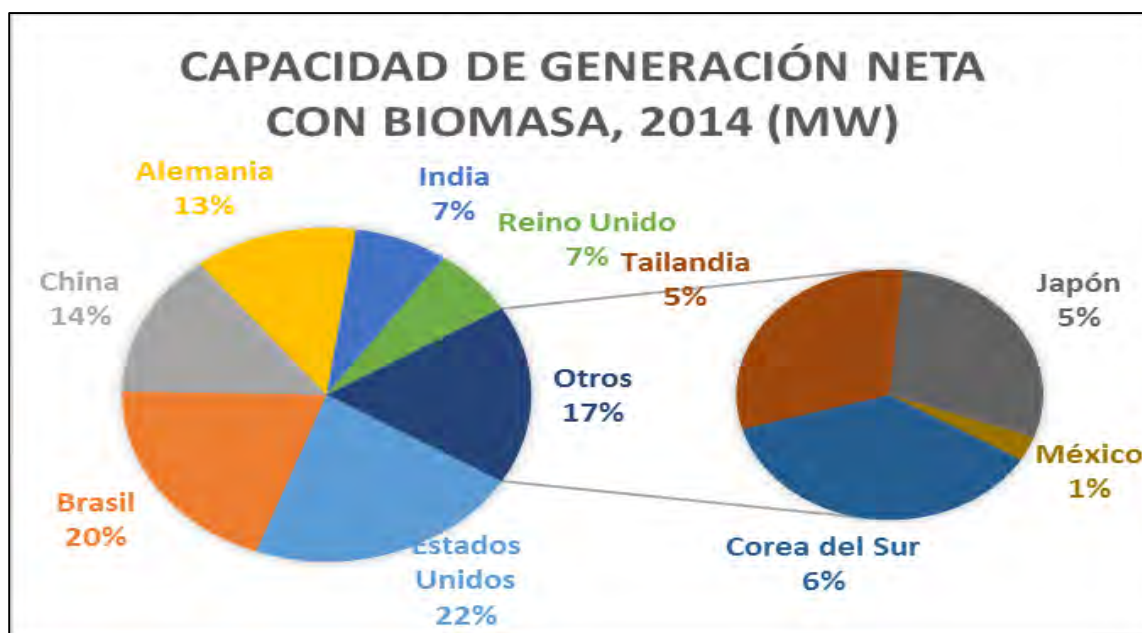
Entre las principales materias primas y tipos de biomasa se encuentran:

- Cultivos energéticos, incluidos cultivos alimenticios
- Productos forestales (leña, residuos y procesados, residuos post consumo)
- Residuos agrícolas (residuos de cosecha, residuos de alimentos)

- Estiércol animal
- Residuos sólidos urbanos

La producción de bioenergía continuó creciendo cada vez más desde el 2014 ayudando a satisfacer la creciente demanda de países, contribuyendo a alcanzar los objetivos ambientales. A pesar de que el sector se enfrentó a diversos retos, por lo bajos precios del petróleo y a la incertidumbre política presente en algunos mercados.

La capacidad de generación neta a partir de biomasa en 2014 fue de 93,871 MW, en la Figura 1.5 se muestra una comparación en porcentaje del total dicho anteriormente, donde un 22% de ese monto se concentró en Estados Unidos, 20% Brasil, 14% China, 13% Alemania. Mientras que en México apenas si se alcanza redondeado un 1% sin embargo, la cifra concreta fue sólo un 0.4%.



Fuente: elaboración propia, datos obtenidos IRENA 2014.

Figura 1.5 Comparación de Capacidad de Generación Neta con Biomasa, 2014.

En algunos países todavía la quema de leña (biomasa tradicional) es importante para satisfacer energía. Hoy día hay usos de biomasa moderna en *boilers* y hornos eficientes, aunque la proporción de usos modernos es baja, en comparación con los usos tradicionales en los países en desarrollo.

La mayor parte de la biomasa utilizada es la sólida, como madera, astillas, residuos de aserraderos e incluso en zonas rurales, la paja y los residuos agrícolas también se utilizan.

En países desarrollados se utilizan pellets es decir biomasa compacta, en Europa representó el 60% de la demanda mundial, equivalente a 10 Megatoneladas de biomasa sólida y de acuerdo a la demanda de calefacción con biomasa en Europa sólo se prevé que duplique a 20Mt en 2020. Por lo tanto, en sus planes ya tienen pensado en la exportación y que puede llegar a 16-32Mt para el 2020. El mismo caso lo tiene China que tiene una demanda aproximadamente de 10 Mt por año para 2030⁹.

La biomasa también se puede transformar en biocombustible, que es utilizada en combinación con el diésel para el transporte, el etanol se puede utilizar para el mismo propósito. Solamente en el sector transporte aumentó sustancialmente de 417PJ en el año 2000 a 2,410PJ en 2010 de biocombustibles.

El consumo de etanol fue de 272PJ en el 2000 a 1,426 en 2010 con una tasa de crecimiento anual del 18% y el biodiesel fue de 18PJ en el 2000 a 616PJ en el 2010 aumentando un 42% por año¹⁰.

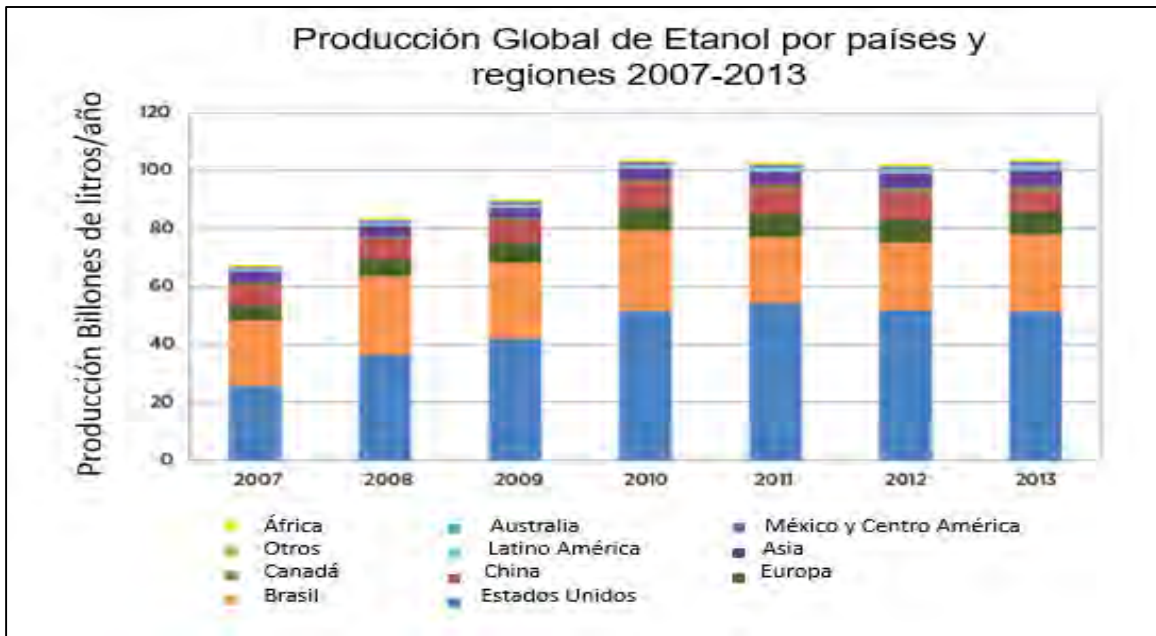
En la Figura 1.6 se presenta una producción de etanol en donde destacan como mayores productores Estados Unidos aproximadamente con el 60% del total y Brasil con un cuarto del total, seguido por China y Europa. En México la producción es casi nula ya que la combinan con Centro América. La producción de este biocombustible es a partir de bagazo de caña y maíz principalmente.

Por otro lado, como se ve en la Figura 1.7, de manera global en la elaboración de Biocombustibles, Europa es uno de los mayores creadores con alrededor de 327PJ en el 2011 con un 5% menos que el año anterior. Sin embargo, sigue siendo el mayor productor de biocombustibles. Como segundo fabricante se encuentra Estados Unidos, pero en comparación con estos grandes productores del biodiesel los demás países como Argentina, Malasia y Singapur su producción es insignificante.

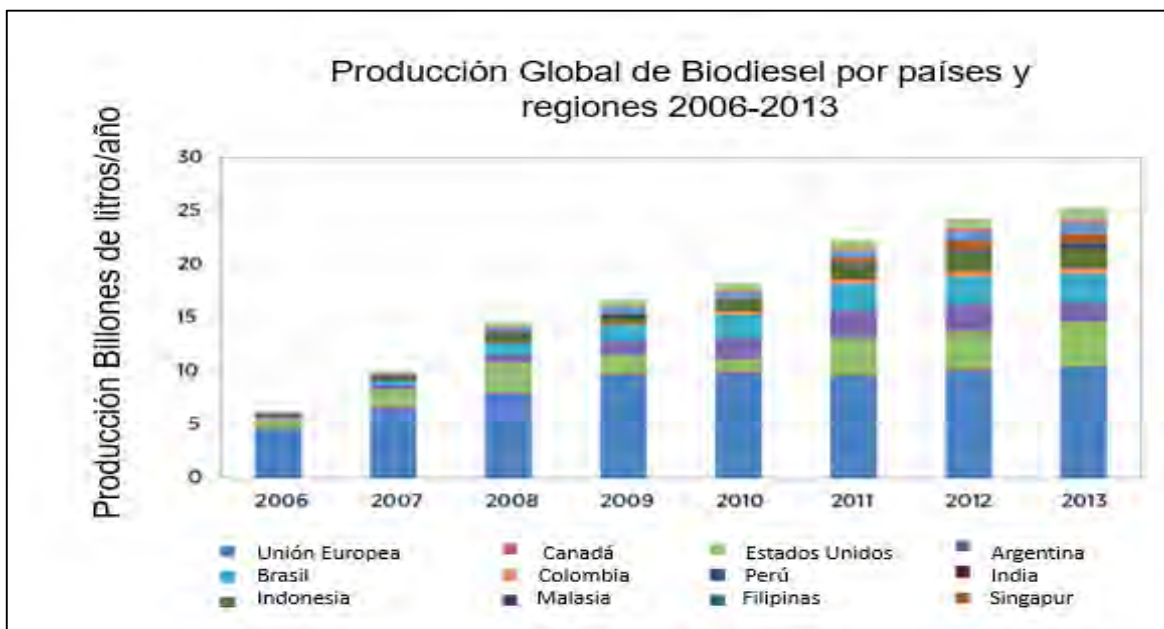
La producción de biodiesel todavía fue primaria, es decir de aceites de canola, maíz, sebo, palma, jatropha, etc. El biodiesel avanzado se puede producir a partir de materias primas incluidas la madera y residuos en combinación de gasificación y biomasa a líquida llamado este método BtL.

⁹ Wood markets 2013, Wood pellet market Outlook, <http://www.woodmarkets.com/wp-content/C2%ADuploads/2014/02/WMM-Feb13.pdf>.

¹⁰ IRENA Remap 2014. Global Bioenergy, Supply and Demand Projections 2030.



Fuente: INERA Remap 2030 con traducción propia.
Figura 1.6 Producción Global de etanol por países y regiones 2013.

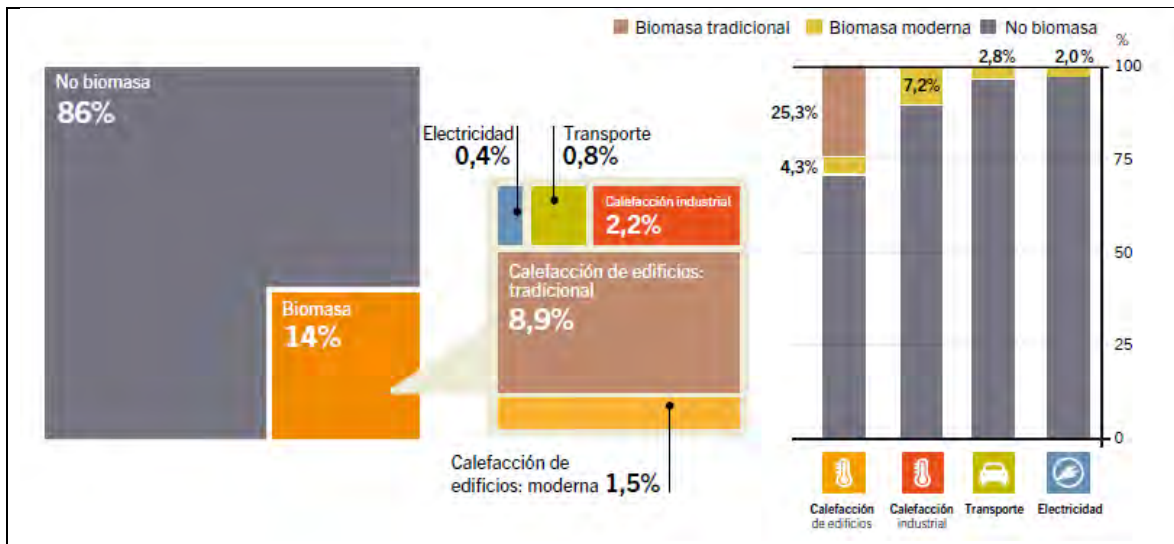


Fuente: INERA Remap 2030 con traducción propia, datos obtenidos de F.O.Lichts
Figura 1.7 Producción Global de Biodiesel por países y regiones 2006-2013.

Otro posible método es el tratamiento hidro para refinar aceites no comestibles e incluso grasa animal y aceites usados de cocina. Por último, el licor negro que tiene un gran potencial tanto para motores diésel y de gasolina que es dimeti- éter a partir

de biomasa DME, teniendo sólo una planta de bio-DME en el mundo que se ejecuta con la gasificación del licor negro y se encuentra en Suecia con una capacidad de 15Kton por año¹¹.

Con estos incrementos en la bioenergía, la participación de la biomasa en el consumo total final de energía por sectores a nivel mundial fue de 14% de biomasa, donde su mayoría se utilizó para calefacción en edificios con un 8.9% y sólo el 0.4% para electricidad y en donde se ve un aumento en el uso de biomasa moderna (ver figura 1.8).



Fuente: REN 21.

Figura 1.8 Participación de la biomasa en el consumo final total de energía por sectores.

1.2.4 Costos de suministro de biomasa

El precio de la biomasa es determinado por tres factores¹²:

- El factor de la oferta: técnicamente el volumen de suministro de la biomasa se puede conseguir con los costos asociados.
- El factor de la demanda: demanda energética, demanda de suelo asociado con la producción alimenticia/producción de cultivos energéticos/y otros usos. El precio compite con los costos de combustibles fósiles y el precio de comida.
- El factor de política: impuestos, incentivos.

¹¹ IRENA Remap 2014. Global Bioenergy, Supply and Demand Projections 2030.

¹² IRENA Remap 2030. Global Bioenergy, Supply and Demand Projections 2030. Biomass supply cost. 2014

La Tabla 1.3 muestra el costo por tipo de biomasa estimado, en donde se considera desde su producción, recolección y transporte para llegar a un costo total. En este caso compara un estudio realizado en FAO, de donde se obtienen los precios de bioenergía de cultivos, restos de tala, madera, leña.

Tabla 1.3 Análisis de costos y rangos por tipo de biomasa.

	Producción (USD/GJ)	Recolección (USD/GJ)	Transporte para procesar (USD/GJ)	Transporte y uso (USD/GJ)	Costo total (USD/GJ)	Costo en la literatura (USD/GJ)
Bioenergía de cultivos		2-78		2	4-80	6-60
Residuos de cosecha	1.1	1.1	0.01-1.3		4.2-5.5	3-8
Residuos procesados	0	0			2-3.3	
Biogás	0	0			2-3.3	0-4
Leña		8-35			10-37	2-22
Restos de tala		3-18			5-20	1-11
Residuos de madera		3-18			5-20	1-11

Fuente: elaboración propia Traducción. Datos obtenidos de IRENA 2014.

Con los datos anteriores se puede realizar un supuesto para calcular un costo de combustible nivelado para cada uno de los tipos de biomasa, cabe destacar que ese valor puede variar dependiendo de las especificaciones de la planta; no obstante, se puede realizar un estimado diseñando una planta genérica.

En este caso, se toma como ejemplo una planta que trabaja con biogás de una capacidad de 54MW, una eficiencia del 50% y tiene un régimen térmico supuesto de 7157 MJ/MWh considerando que es similar a un ciclo combinado pequeño. Ya se conoce que el precio de combustible puede variar de los 2-3.3 US/GJ o como se establece de forma teórica de 0-4 USD/GJ.

Con los datos calculados, se puede aproximar que por cada MWh que produzca la planta se necesitan de 14.3-28.6 USD (ver Tabla 1.4)

Tabla 1.4 Estimado del costo de combustible nivelado utilizando Biogás.

Tipo de combustible	Costo Total Estimado IRENA USD/GJ	Costo combustible nivelado USD/MWh	Costo Total En literatura USD/GJ	Costo combustible nivelado USD/MWh
Biogás	2	14.3	0	0
	3.3	23.61	4	28.6

Fuente: Elaboración propia

1.2.5 Ventajas y desventajas de utilizar la biomasa

Como toda tecnología que se maneja para fines energéticos, la biomasa también se tiene que analizar para saber qué tan viable es utilizarla, no sólo por el potencial energético disponible, sino también su impacto medioambiental y los costos. En forma muy resumida, la biomasa puede tener las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Disminución de las emisiones de CO₂: Si el aprovechamiento principal de la biomasa procede de una combustión, el resultado de la misma es agua y CO₂ gas causante del efecto invernadero, pero se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Por lo tanto, no se supone un incremento y la cantidad de emisiones se considera nula o cero.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni partículas sólidas (en el caso de biomasa avanzada).
- Cuando se utilizan despojos de otras actividades como biomasa, se está contribuyendo al reciclaje y a la disminución de residuos. Canalizando los excedentes agrícolas, urbanos y ganaderos a un fin energético.
- Puede agregar una mejora económica en el medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

Desventajas:

- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.
- Dada la diversidad de tipos de biomasa, no se puede caracterizar como una sola.
- Actualmente tiene un mayor costo de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Dependiendo del tipo de materia prima que se utilice, puede existir la posibilidad de que sea de baja densidad energética puesto que ocupa mucho volumen y puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- Producción con variación estacional.
- Rendimiento energético menor de los combustibles derivados de la biomasa como los biocombustibles líquidos, en relación a los combustibles fósiles.

2 CAPÍTULO 2: El Sector Energético y la situación actual de la Biomasa en México

En este capítulo se habla de la situación actual post-Reforma de los sectores energéticos en México, que ha abierto un horizonte de oportunidades de crecimiento y generado nuevas necesidades en el mercado que deben ser cubiertas por empresas privadas o del Estado. El reto principal es una renovación total y un funcionamiento eficiente en estos sectores.

De igual forma, se hablará de los sectores de consumo y cómo se puede encontrar la biomasa en cada uno de ellos, es decir el tipo de materia prima que tiene un mayor potencial; así como de forma general cómo es la participación de la biomasa en la actualidad.

2.1 EL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO

Como definición, el sector energético de una nación se refiere principalmente al sector de actividades primarias, secundarias y terciarias destinadas a la transportación producción, innovación, manejo y venta de todos los productos energéticos del país (Valdivia , 2014).

El sector energético en México se enfrenta a uno de los retos más importantes de las últimas décadas, después de un largo periodo donde el sistema energético ha sido dominado por el petróleo y a pesar de que se ha visto gradualmente perdido en dirección e impulso, se busca modernizar y diversificar la economía del país por medio de su renovación y un funcionamiento más eficiente, todo eso plasmado en el nuevo marco legal de la Reforma Energética (IEA, 2016).

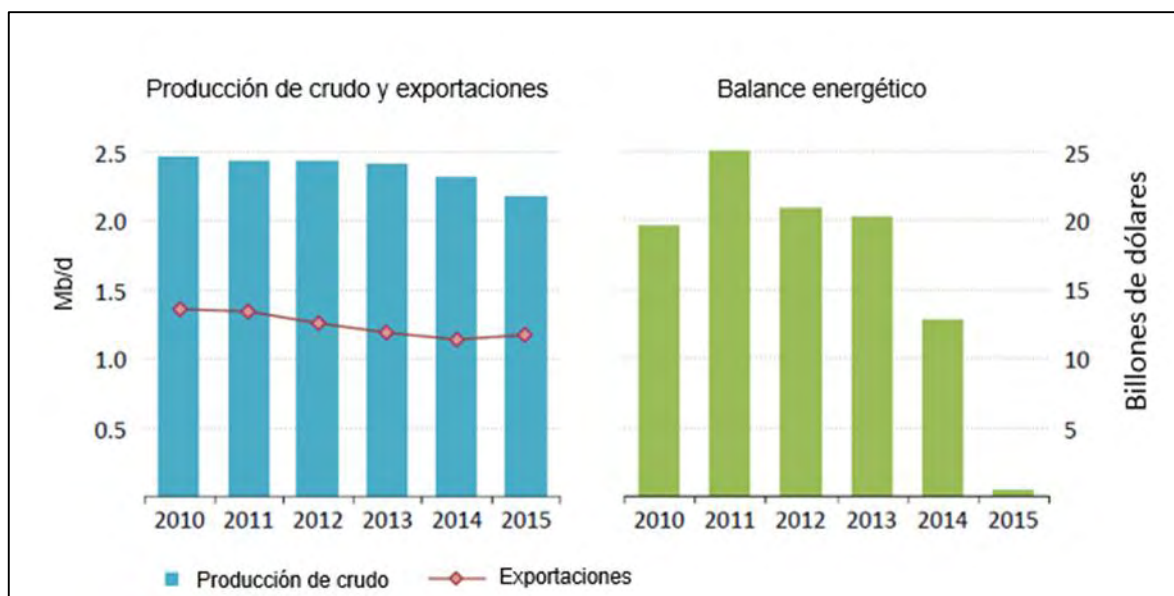
Dentro de las principales transformaciones está el que la industria eléctrica comenzó a operar por medio de un mercado de energía en donde participan empresas públicas y privadas en igualdad de condiciones, con el fin de ofrecer electricidad a un precio competitivo para los sectores de consumo más importantes (SENERc, 2016). Esto tiene la finalidad de procurar un sector energético sostenible, eficiente y productivo y al mismo tiempo alentar el crecimiento de las fuentes de con bajas emisiones de carbono.

Dentro del sector energético se encuentran dos grandes sectores (Sector Eléctrico y Sector Hidrocarburos) que son parte de la fuente principal de ingresos federales, representando aproximadamente el 3% del PIB nacional. A través de las empresas productivas del Estado, PEMEX Y CFE, las cuales se encargan de la exploración,

extracción y transformación de hidrocarburos, del gas, de la producción, transmisión y distribución de electricidad (Ortega, 2014).

El petróleo y la electricidad han tenido un papel clave en el desarrollo del país desde la década de los treinta, cuando comenzó el petróleo a ser una fuente importante, llegando a ser uno de los grandes productores a nivel mundial y gracias a esto la economía creció considerablemente. Actualmente, con datos oficiales se cuenta con aproximadamente 25 mil millones barriles en reserva¹³. Teniendo zonas que todavía no son exploradas correctamente o no se tiene la tecnología adecuada.

Sin embargo, en los últimos años existieron bajas en producción de petróleo, descontrolándose la balanza comercial de energía como se ve en la Figura 2.1, esto debido a los cambios en el precio del hidrocarburo, teniendo un cambio abrupto en el 2015, en comparación con años anteriores.



Fuente: IEA.

Figura 2.1 Producción de crudo, exportaciones y el balance de energía en México, 2010-2015.

Lo anterior da a entender que los indicadores clave de la energía en el país se han estado moviendo en la dirección equivocada. Por ese motivo, es que se necesita realizar un cambio en la estructura y se espera que los cambios en la reforma, sean un preámbulo a lo que se desea.

¹³ Las reservas de Hidrocarburos de México 1 enero 2015
http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Reservas%20de%20hidrocarburos%20evaluaciones/150101_rh_00_vcr.pdf

2.1.1 Sector Hidrocarburos

Como se dijo anteriormente, este sector es el más importante en cuestión de ingresos para el país y también se vio involucrado con la nueva reforma y eso le causó cambios en su estructura.

A grandes rasgos y para no explicar lo complicado y la polémica que causaron estos cambios, después de que se reformaron los artículos 25, 27, 28 en materia energética se hizo una transición de tal manera que con esta nueva reforma pueden llevar a cabo las actividades de exploración, extracción del petróleo y demás hidrocarburos mediante asignaciones a empresas productivas del Estado a través de contratos con estas o con particulares. También se establece que el procesamiento y refinación del petróleo, el procesamiento del gas natural, el transporte, su almacenamiento y distribución pueden llevarse a cabo por personas físicas o morales mediante permisos¹⁴.

Toda esta situación y la complejidad del sector hizo necesaria la creación de un nuevo organismo, la ASEA, Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente, como un órgano administrativo, especializado y descentralizado de la SEMARNAT, dedicada a los requerimientos ambientales del sector hidrocarburos.

La ASEA tiene la responsabilidad de otorgar los permisos y licencias que sean necesarios, de igual forma puede diseñar, implementar, regular y supervisar la seguridad industrial y la protección al medio ambiente de los proyectos de este sector (*FORBES, 2015*).

2.1.2 Sector Eléctrico

Al igual que en el sector hidrocarburos, también ocurrieron muchos cambios en su organización, los cuales también generaron discusión y polémica, pero el contenido de este trabajo se haría muy extenso si entramos en detalles más específicos, por ese motivo sólo se hablará de lo que es relevante para este trabajo.

Las energías alternas también se vieron envueltas en el efecto de esta nueva Reforma Energética, que ha tenido una evolución histórica hasta su última modificación oficial, y con la recién aprobación de la Ley de Transición Energética se podrá armonizar la definición de energías limpias en el contexto de la Ley de la Industria Eléctrica, así como otros ordenamientos legales, incluida la Ley General

¹⁴Antecedentes sobre la Reforma Energética. ASEA, Agencia de Seguridad Energía y Ambiente. <http://www.asea.gob.mx>

para el Cambio Climático. Por lo tanto, los beneficios que se generaron en relación a las energías alternas son¹⁵:

- Certificados de energías limpias, donde se permite que las energías renovables y tecnologías limpias, compitan entre sí para cumplir las metas al menor costo.
- La exclusión de barreras que inhiben el crecimiento de las energías renovables, donde con ayuda de un operador imparcial se determinen los requerimientos de expansión e interconexión de la red nacional de transmisión del sistema eléctrico.
- Facilitar la comercialización de energías renovables mediante la creación de un mercado eléctrico.
- Crea mecanismos para la interconexión sin demoras ni sobrecostos de la generación distribuida.
- Establece mecanismos que permiten financiar nuevos proyectos de innovación en todas las energías alternas.
- Crea un marco normativo para consultas y evaluaciones de impacto social.

2.2 TENDENCIAS CLAVE DE LA ENERGÍA EN MÉXICO

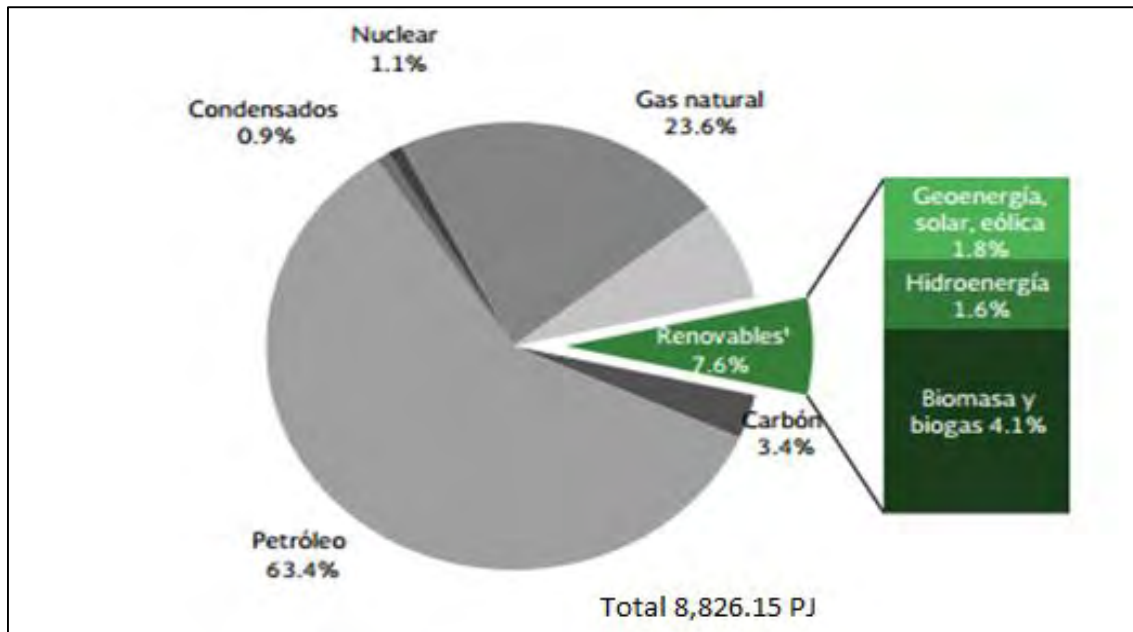
2.2.1 Demanda de energía primaria

De acuerdo con datos de la SENER, el consumo de energía primaria en México alcanzó los 8,528.867 PJ en México¹⁶ aumentando casi un 25% desde el año 2000, el cual coincide con la expansión de la economía.

En donde la principal fuente de energía es el petróleo con un 63.4%, seguido del gas natural (23.6%) que ha sido utilizado principalmente para la industria, generación de electricidad y uso doméstico. Por otro lado, **las energías renovables tuvieron una participación buena, siendo el 7.6% del total**. Donde comienzan a destacar la energía de la biomasa utilizada en los hogares y del biogás (4.1%), así como la participación de las tecnologías solar, eólica y geotérmica teniendo una participación del 1.8% (Figura 2.2).

¹⁵ (SENERd) Marco regulatorio y de políticas en energías renovables, Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029.

¹⁶ (SENERe) Sistema de información energética. Consumo nacional de energía.
<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvequa=IE0C01>

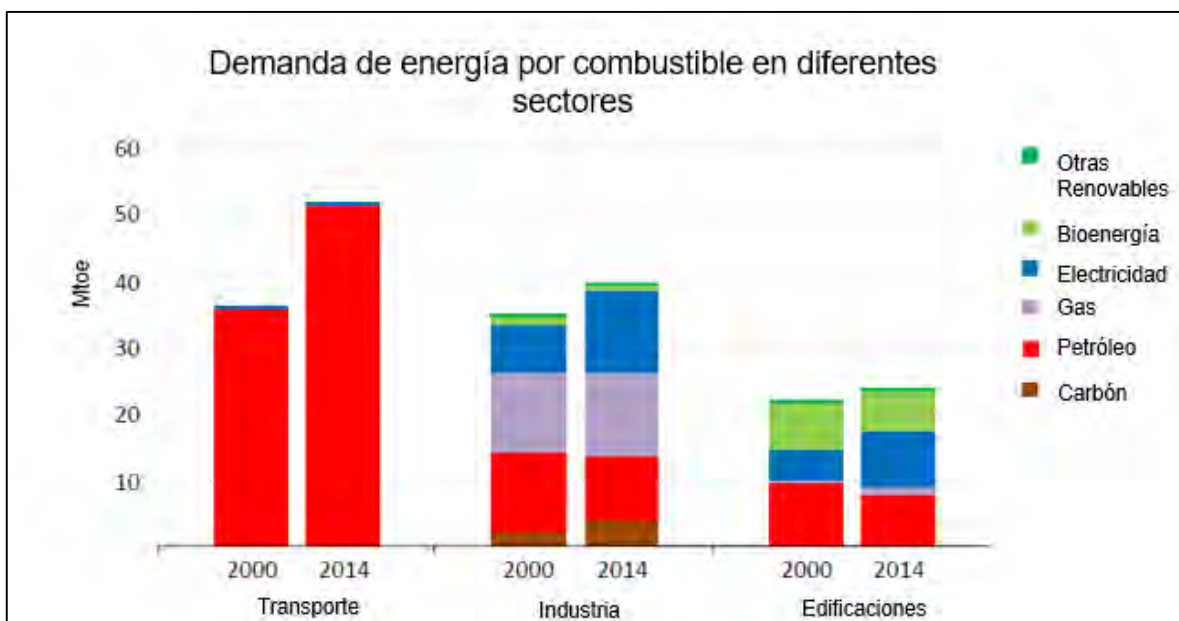


Fuente: Balance nacional de energía 2014 (SENERf, 2015).

Figura 2.2 Estructura de producción de energía primaria en porcentaje.

2.2.2 Demanda por sectores

Como se puede observar en la Figura 2.3 La demanda por sectores en México se divide principalmente en el sector, industrial, transporte y edificaciones.



Fuente: IEA.

Figura 2.3 Demanda de energía por combustible en diferentes sectores.

La demanda de energía para el transporte representó más del 40% del consumo total final en 2014. Este sector es el mayor consumidor de energía, aumentando su demanda rápidamente a una tasa de crecimiento anual del 2.6%, puesto que la cantidad de vehículos ha crecido de forma tal que en el 2014 se alcanzó una cantidad de 25 millones, trayendo consigo problemas de congestión de tráfico y contaminación.

En catorce años la demanda en el sector industrial ha crecido aproximadamente un 14%, mientras que la contribución al PIB creció un 17% durante el mismo ciclo. Esto significa que la intensidad energética industrial medida por el consumo total de energía industrial se ha mantenido casi lineal durante el periodo¹⁷.

Esto se debe al equilibrio que se dio entre las principales industrias con su disminución energética contrarrestada por el aumento de intensidad en otros lugares, teniendo una buena diversificación de todos los tipos de industria en el país. Observando también un aumento en el uso de electricidad principalmente por la industria automotriz, una cantidad pequeña de bioenergía utilizada para la generación de calor, principalmente quema de leña, madera, bagazo, etc. (SENERc, 2016).

En el sector edificaciones, que corresponde principalmente a lo que sucede en los hogares, el crecimiento ha sido moderado puesto que al 2014 sólo aumentó un 10%. Esto se debe a que hay un aumento de eficiencia en aparatos electrodomésticos y de uso personal. No obstante, el consumo de electricidad en este sector solo corresponde a una cuarta parte de la medida de la OCDE¹⁸. De igual forma la biomasa sólida es un importante combustible residencial, así como el uso de gas natural.

2.2.3 Sector Electricidad

La demanda de electricidad se ha duplicado en los últimos 20 años, puesto que todos los sectores de consumo han crecido de forma rápida, ahora más del 90% de la población tiene acceso a la electricidad. Entre los sectores de uso final, la industria representa más de la mitad (56%) del consumo (IEA, 2016).

En el lado de la oferta, la generación está dominada por el gas natural y las crecientes preocupaciones sobre la contaminación y cambio climático han llevado




¹⁷ México Energy Outlook 2016. Capítulo 1- Energy in México Today. IEA.

¹⁸ <https://data.oecd.org/mexico.htm#profile-energy>

*Otras limpias: Nuclear, Cogeneración eficiente, Frenos regenerativos.

a promover la diversificación en la mezcla de energía. Para el año 2015, México generó el 20.34% de su energía eléctrica con fuentes limpias, aumentando su capacidad un 6.63% y llegando a una capacidad de generación de 19,265MW lo que representa el 28.31% de la capacidad total (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Capacidad Instalada y Generación de energía eléctrica.

Tipos de Energía Año 2015	Capacidad Instalada para la Generación de Energía Eléctrica (MW)	Generación de Energía Eléctrica (GWh)
 Fósiles	48,778.39 MW 71.69%	246,600.66 GWh 79.66%
 Renovables	17,140.48 MW 25.19%	47,548.81 GWh 15.36%
 Otras Limpias*	2,125.16 MW 3.12%	15,403.32 GWh 4.98%

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de Informe de Energías Renovables 2015.

Actualmente, la mayor parte de los combustibles no fósiles proviene de la energía hidroeléctrica, seguida de la nuclear y el viento, el cual ha crecido rápidamente desplazando a la geotérmica que era una de las energías principales como fuentes no hidráulicas. Es probable que las demás tecnologías de energía renovable experimenten una rápida expansión a medida que la Reforma abra oportunidades de inversión, y de esta forma, se cumpla con los compromisos climáticos de México y los objetivos de energía limpias. De los cuales se espera que la energía solar participe de manera importante, ya que el potencial en México principalmente al norte y sur del país se basa en una irradiación diaria promedio de alrededor de 5,5 KW/h por metro cuadrado¹⁹.

A pesar de que su participación no se espera tan constante como algunas otras tecnologías, se sabe que la biomasa para producir bioenergía también podría tener una oportunidad dentro de la mezcla de generación de electricidad, lo cual se presenta más adelante.

¹⁹ (SENERg). Prospectiva de energías renovables 2012-2026, www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA BIOMASA EN MÉXICO

Como se vio en el capítulo anterior, la biomasa a nivel mundial tiene una mayor investigación y participación en diversos sectores, una vez asumiendo esto, se presentará lo que se tiene en la actualidad en México.

La biomasa en México comenzó a tener una investigación profunda desde hace más de 5 años, en donde investigadores de diversas instituciones desarrollaron, por diversos métodos, la obtención de biocombustible de primera generación (aceites de semillas de girasol, palma, etc.) hasta tener estudios de biogás, diseño de micro a macro plantas productoras de biodiesel/biogás. Incluso hasta darle uso a los aceites vegetales usados, estudios novedosos como el licor negro entre muchas otras cosas.

Sin embargo, a pesar de que los estudios confirmaron que era una posibilidad viable, se encontraban en una etapa preliminar que impedía poder llevarlo a lo industrial, y además se tenían muchas barreras que impedían que los estudios salieran del aula y se convirtieran en algo más, a pesar de tener un buen potencial.



2.3.1 Uso actual

Dentro del porcentaje de las energías renovables está la bioenergía (Tabla 2.2), donde aparece el biogás, éste no tiene una participación significativa pues sólo el 12% es producido por este medio, éste se obtiene de lodos de aguas residuales, desechos agropecuarios (bovina y porcina), RSU y residuos industriales.

En el caso del bagazo de caña, la energía se obtiene por combustión directa y es utilizado en los ingenios azucareros, principalmente para autoabastecimiento, únicamente se aprovecha un 3.4% de su potencial total y sólo una fracción muy pequeña es usada para el mercado de generación eléctrica.

Se tienen solamente 67 centrales de energía de biomasa de productores privados con una capacidad instalada de 750.98MW.

Tabla 2.2 Capacidad y Generación eléctrica del Biogás y Bagazo

Tipos de Energía Año 2015	Capacidad Instalada para la Generación de Energía Eléctrica (MW)	Generación de Energía Eléctrica (GWh)
 Biogás	80.80 MW 0.12%	203.57 GWh 0.07%
 Bagazo	670.18 MW 0.98%	1,187.26 GWh 0.38%

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de Informe de Energías Renovables 2015.

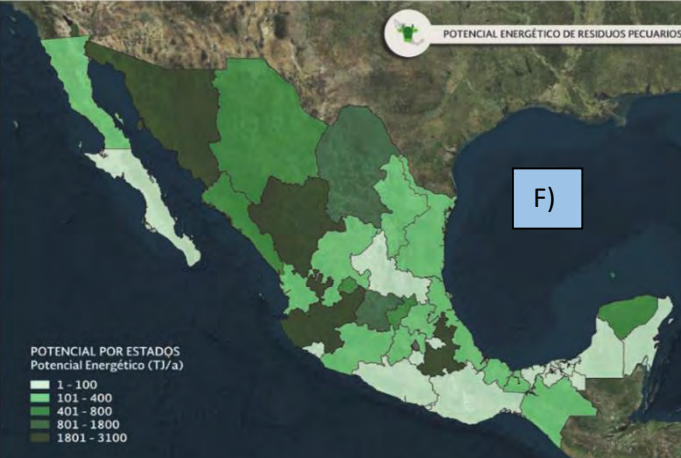
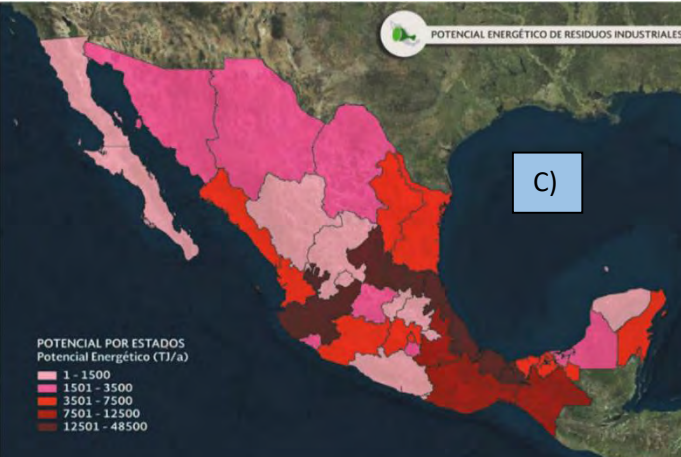
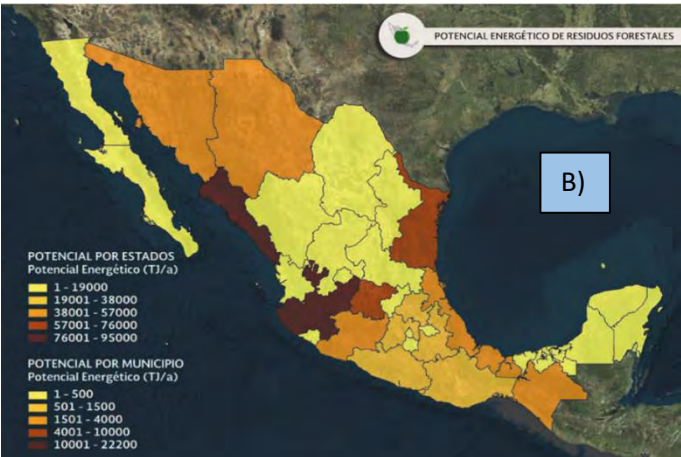
2.3.2 Potencial de Biomasa

El objetivo principal de esta sección, es revisar el potencial con el que se cuenta en México, principalmente para la generación de electricidad, pero también la cantidad de biomasa que existe de acuerdo al Inventario Nacional de Energías Renovables. En estos mapas se puede mostrar que el país cuenta con grandes ventajas geográficas, el potencial por materia prima es abundante, se expande por todo el país con lo cual es un indicio favorable para poder adentrarse más a los estudios de la bioenergía.

De acuerdo al Atlas de Biomasa, que se puede consultar de forma interactiva en la página de INERE, de acuerdo al tipo de materia prima que se utilice y los cuales se presentan de forma prioritaria en la Figura 2.4 en cada uno de ellos, hay partes más oscuras, esto quiere decir que ahí el potencial es mayor a las demás y las cuales se describirán brevemente.

A) Potencial de Bosques de tala sustentable: siendo éste, el que tiene un mayor potencial por estados, el cual puede tener hasta 160,000TJ/a.

B) Potencial energético de residuos forestales: se encuentra como el segundo con mayor potencial en nuestro país, en donde se incluyen los residuos que se generan durante la cosecha de los principales cultivos en México alcanzando un potencial hasta de 95,000 TJ/a, dependiendo del estado en donde se localice.



Fuente: INERE Inventario Nacional de Energías renovables 2016.
Figura 2.4 Mapas del Potencial de biomasa en México por Estados por tipo de materia prima.

C) Potencial energético de residuos industriales: en donde se puede notar que los estados que tienen un mayor potencial son el estado de Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí, con un potencial máximo de 48,500 TJ/a.

D) Potencial energético de residuos urbanos: el máximo que se puede esperar es de 8,100 TJ/a, es muy notorio que en el centro del país se tenga un potencial grande, puesto que la población es elevada y se tiene mucha biomasa procedente de las actividades urbanas cotidianas como son, influentes de agua residuales, etc. De las cuales la producción de biogás sería una buena opción para utilizar esos desechos.

E) Potencial energético de cultivos especializados: proviene de biomasa agrícola de cultivos especializados, que son aquellos que se utilizan para la producción de los biocombustibles líquidos bioetanol y biodiesel. A pesar de que en México la producción de dichos biocombustibles es incipiente, sí hay cosecha de los cultivos que se emplean para su producción. Así que, para poder cuantificar un potencial en el país es necesario considerar la hipótesis de que el 100% de dichos cultivos podría enfocarse para la producción de los biocombustibles.

F) Potencial energético de residuos pecuarios: Por último, pero no menos importante se presenta el potencial de residuos pecuarios, el cual tiene una menor potencial con 3,100TJ/a, los cuales contemplan las unidades ganaderas bovinas, porcinas y avícolas.

Se debe considerar que los potenciales que se muestran en esos mapas corresponden únicamente a la energía térmica primaria, por lo tanto si se requieren realizar cálculos de conversiones eléctricas se deben tomar en cuenta las pérdidas por eficiencias de equipos²⁰.

2.3.3 Potenciales de generación de energía eléctrica

La biomasa en México para la generación de energía eléctrica sólo representa menos del **2%** del total de la demanda de energía, según datos oficiales del PRODESEN 2016.

De acuerdo a esto, se realiza un estimado de potenciales a partir de datos representativos del año 2015, obtenidos del Inventario Nacional en Energías Renovables, de datos obtenidos de proyectos que están aprobados y otros posibles

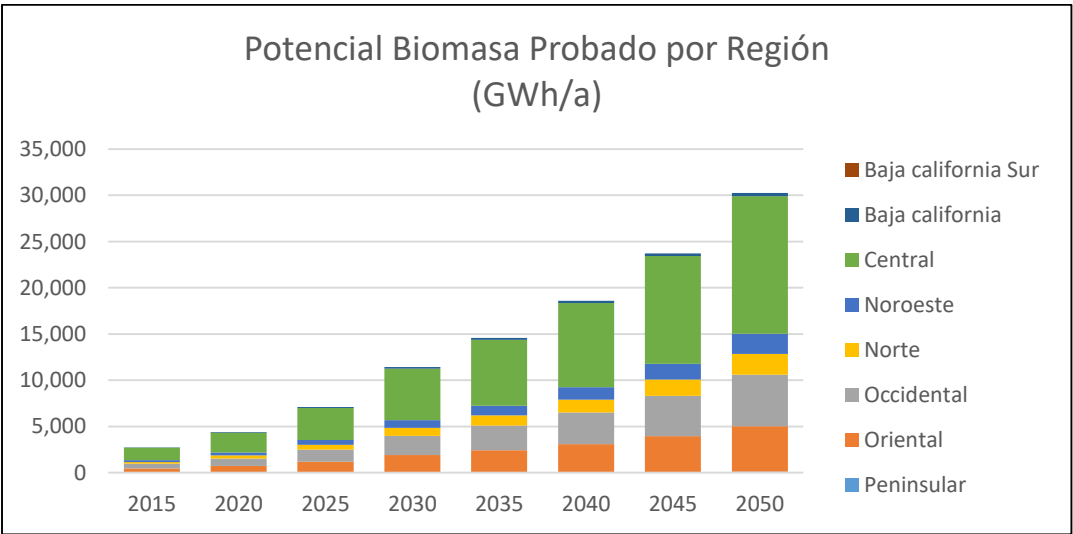
²⁰ Metodología Atlas Nacional Biomasa. Inventario Nacional de Energías Renovables.
https://dgel.energia.gob.mx/documentos/metodologia_biomasa.pdf

suponiendo un factor de planta de 74% y los cuales en su mayoría se producen a partir de RU. Estos datos fueron seleccionados para generar un estimado de la cantidad de potencial que se puede tener en el periodo de tiempo 2015-2050 distribuido en las 9 regiones de control del CENACE, de acuerdo al sitio donde se van a instalar.

Teniendo dos posibles escenarios, el primero con un potencial de energía anual que está probado (Figura 2.5) con una cantidad actual de 2,912 GWh/a al cual se le aplica una tasa de crecimiento anual del 10% hasta el 2030 siendo un supuesto de crecimiento constante, después de ese periodo se considera un 5% hasta el 2050 suponiendo que la bioenergía se mantiene firme y ya no aumentan tanto los potenciales, además serían pocas plantas las que se necesitarían agregar.

En el año 2030 se alcanzaría un potencial de energía anual de 12,163 GWh/a considerando que en su mayoría se agregaron plantas de biogás y de combustión de residuos de cosecha y/o residuos de cultivos, si se considera que para ese año existe una demanda total de 423,623GWh el porcentaje de la bioenergía que participa sería apenas del 2.8% del total.

En el caso del 2050 se alcanza un potencial de 32,273 GWh/a y de acuerdo a las proyecciones de demanda total para ese año se espera que la demanda sea de 689,903GWh y el porcentaje de participación sería del 4.67%.



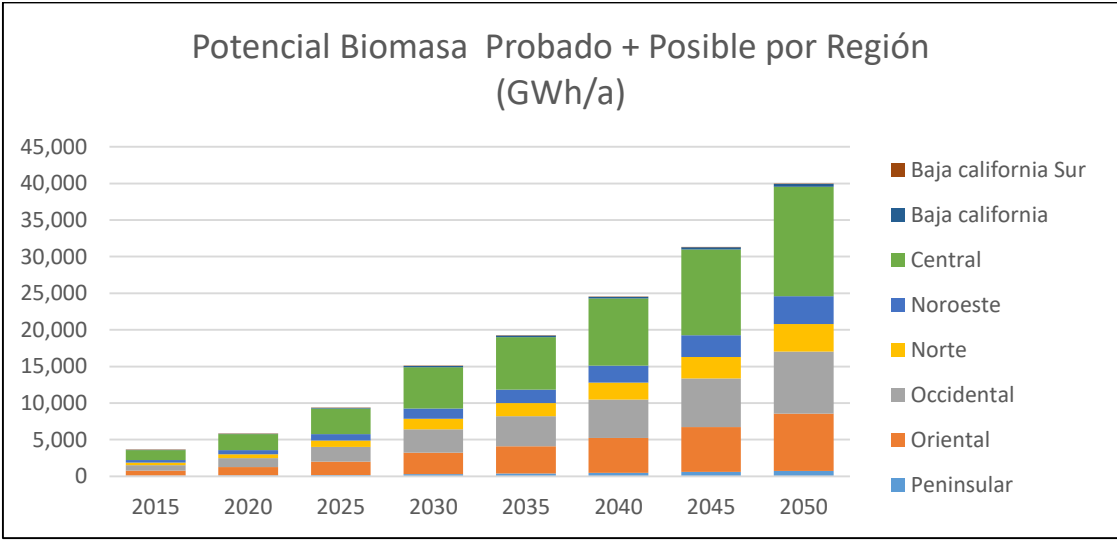
Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos de: INERE sólo para el año 2015.

Figura 2.5 Potencial de Bioenergía Probado por Región GWh/a.

Para el segundo escenario y teniendo la misma metodología con respecto a las **tasas de descuento** utilizadas en el escenario anterior (Figura 2.6), se le agrega un pequeño potencial posible de 373 GWh/a sólo de plantas que utilizan biogás como combustible dando un total para el 2015 de 3,802 GWh/a.

En el año 2030, en comparación con el escenario anterior aumenta a una cantidad de 15,878 GWh/a, que corresponde a un porcentaje de participación del 3.7%. Para el 2050 una cantidad de 42,130 GWh/a, que correspondería a un porcentaje del 6.1%, el cual sería muy bueno para esas fechas, teniendo en cuenta que la tecnología puede avanzar conforme el paso del tiempo y esas proyecciones tengan variación.

En este escenario, se puede observar que, en Baja California Sur se agrega una pequeña cantidad de bioenergía que no aparecía en el caso anterior, diversificando más el potencial en todas las regiones.



Fuente: elaboración propia. Datos Obtenidos de: INERE para el año 2015.

Figura 2.6 Potencial de Bioenergía Probado + Posible por Región GWh/a.

En los dos escenarios presentados anteriormente, se puede observar que en la región central es donde se espera que el potencial sea mayor, esto se debe a que hay más recurso en esa región para la generación de biogás, en su caso se esperarían entonces conversiones de energía utilizando residuos urbanos.

En el caso de la región occidental, se conoce que es donde están registradas más plantas de ingenios azucareros que ocupan el bagazo de caña para cogeneración

y el potencial crece más puesto que se agregan plantas también de producción de biogás, siendo este tipo de combustible el que se esperaría que se utilizara más.

Se ve un aumento en la región peninsular, ahí hay mucho potencial en la tala sustentable, lo cual quiere decir que se puede aprovechar para que por medio de pellets se realice la generación de biogás por medio de biodigestores y se produzca electricidad.

En las otras regiones faltantes por mencionar, también se espera un crecimiento notorio, de acuerdo a los porcentajes que se dieron de acuerdo a la demanda, las cuales son buenas a comparación con lo que participa la bioenergía actualmente.

2.4 IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA BIOMASA

Como se mostró anteriormente, la Biomasa en México participa de una manera mínima en el país, donde no se considera muy importante. Sin embargo, se tiene un potencial grande con diversos tipos de materias primas que se pueden utilizar para generación de energía. Entonces, aprovechando que estamos en una época en donde la energía sostenible tiene un impacto económico y ambiental favorables, tiene por ende consecuencias sociales significativas.

En México se han tenido muchos estudios y proyectos dedicados a la bioenergía, sin embargo, se han tenido muchas limitaciones en cuestiones regulatorias e incentivos de desarrollo, lo cual nos lleva a que no se puedan desarrollar estas oportunidades a gran escala.

Por ese motivo existen diversos beneficios por lo cual utilizar las diferentes formas de la biomasa para generar energía son buenas:






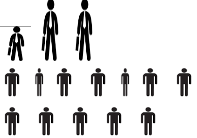
- Generación de empleos: principalmente para las zonas rurales, donde una planta de bioenergía puede abastecer electricidad a una región pequeña.
- Mitigación de CO₂
- Seguridad energética
- Cuidado de bosques reduciendo los incendios en el caso de aprovechamiento de residuos forestales

La instalación de una planta de biomasa dependerá de diversos factores, uno de los principales es el lugar de instalación, el tipo de biomasa que se tenga disponible, el proceso que se lleve a cabo para su conversión (biológico o termoquímico) y a partir de eso, poder determinar y comparar con otras tecnologías.

Como ejemplo se presenta una planta generadora de electricidad que utiliza biomasa, la cual la están diseñando en la UNAM y de acuerdo a sus especificaciones se realizan estudios económicos, sociales y ambientales.

Con sus resultados, se realizan comparaciones con otros tipos de energía como las energías solar y eólica, obtenido lo siguiente (Tabla 2.3):

Tabla 2.3 Comparación planta de biomasa con las tecnologías solar y eólica.

<u>Tecnología</u>	<u>Económico</u> Costo por W instalado	<u>Social</u> Empleos permanentes MW	<u>Ambiental</u> Mitigación GEI por MW	<u>Adicional</u> Otros
Solar 	\$2Usd \$8Usd	 1 profesional 1 básico	835 Ton CO ₂	Generación distribuida
Eólica 	\$2.5Usd \$6.7Usd	 1 profesional 1 básico	1,193Ton CO ₂	Intermitencia
Biomasa 	\$3.8Usd \$4.5Usd	 3 profesional 27 básico	3,182Ton CO ₂ 7,054Ton CO ₂	No intermitencia Generación distribuida Mejoramiento de suelos

Fuente y Datos obtenidos de: Centro demostrativo de Biomasa Green to Energy-UNAM.

La tecnología solar y eólica varían en cuestión de precios, dependiendo del tipo de celda solar o aerogenerador, y es por ello que el precio de combustible tiene cambios significativos.

El precio de la biomasa proviene tanto de la compilación de los pellets que se pueden elaborar de diversos residuos forestales sólidos, hasta lo que cuesta el proceso en producir el gas. En el tema ambiental, cabe destacar que dependiendo del tipo de biomasa son las emisiones que va a generar, en este caso se vuelve favorable puesto que una planta de ese tipo, es capaz de mitigar hasta 7,054 toneladas de CO₂ por MW²¹, en comparación con las otras tecnologías tienen la capacidad de mitigar menos.

²¹ G2E. Green 2 energy. <http://www.g2e.mx/tec.html>

3 CAPÍTULO 3: Descripción del modelo utilizado para la planeación energética

En este capítulo se presenta la metodología de la planeación energética y cómo se aplica al programa de optimización de la expansión eléctrica que desarrollaron en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se muestra de manera breve las bases matemáticas del programa, los datos que se requieren para que funcione y la forma de manejarlo. Cabe mencionar que en la planeación energética la mayoría de las decisiones, criterios y restricciones que se les da a las tecnologías es por parte del analista, operadores, etc. y requiere de información robusta, la mayoría de estos datos fueron tomados de forma exógena y a partir de ellos comienza el análisis.

3.1 METODOLOGÍA DE LA PLANEACIÓN ENERGÉTICA

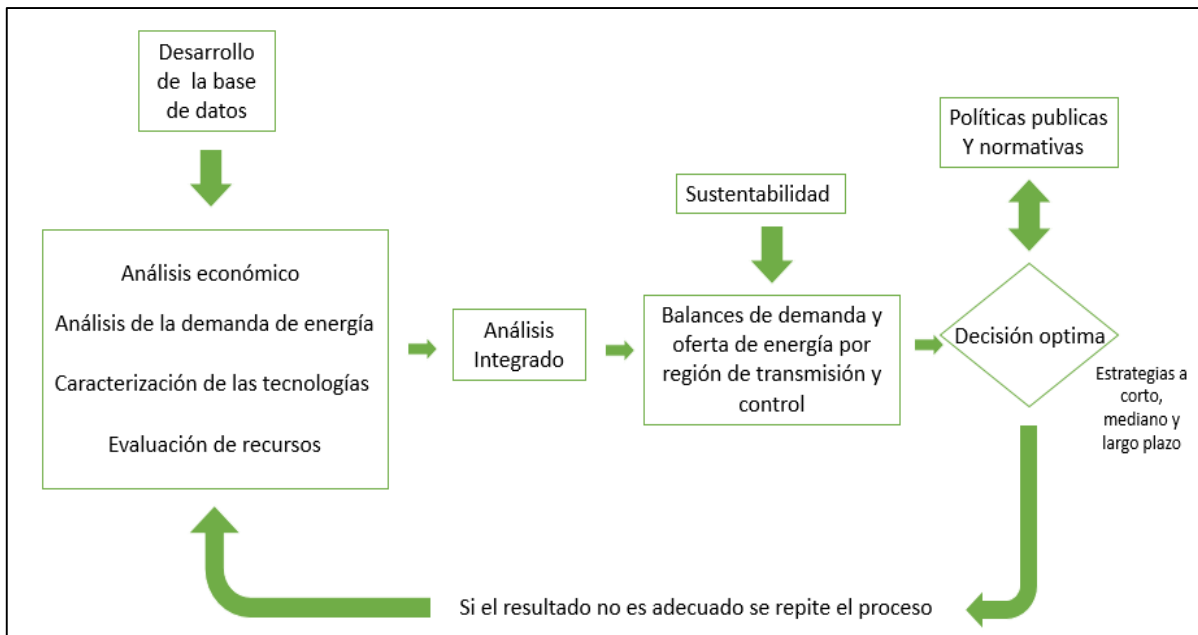
La planeación energética se ha convertido en un elemento esencial para México puesto que los cambios que están ocurriendo necesitan de un minucioso estudio, en donde se realiza una previsión de las necesidades energéticas futuras y las decisiones que se tienen que llevar a cabo para asegurar que se cumpla con lo demandado.

Como definición, la planeación energética de un país consiste en estimar a corto, mediano y largo plazo la demanda de energía y establecer cómo se va a satisfacer. Se tiene como objetivo principal disponer de un sistema competitivo, sostenible y sustentable, buscando la mejor combinación entre la parte económica, política y social.

Por lo tanto, se entiende que dentro de la planificación existe una metodología en donde se realizan diversos ejercicios de proyección a futuro, realizando variaciones para ver el comportamiento de cada una de las tecnologías a considerar. Se pueden aplicar de acuerdo al sector que se quiera analizar, el periodo de tiempo y criterios que se deseen agregar.

La complejidad técnica al realizar una planeación energética y más cuando se tiene en mente la modelación por medio de proyecciones, es la incertidumbre, y al impacto de los datos que se utilizan en el programa que va a ejecutar las optimizaciones. Esos datos tienen que ir actualizándose conforme pasan los años. Sin embargo, la planeación da una tendencia de proyección a largo plazo y muestra el panorama hacia donde se quiere ir.

En la siguiente Figura 3.1 se describe la metodología para el análisis de la planeación energética:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.1 Análisis para la planeación energética.

Como se observó en el esquema anterior, para que una planeación energética cumpla con su objetivo principal se debe tener una base de datos sólida en donde se haga un análisis exhaustivo de la demanda de energía que se tiene que satisfacer, realizar la caracterización apropiada de las diversas tecnologías, a el impacto ambiental que causaría tener ese tipo de tecnología en el sistema y un análisis económico, para que así todos los datos converjan a un balance óptimo de oferta-demanda por regiones tanto de transmisión como de control y para diferentes años de estudio.

Toda esta información se sustenta a partir de toma de decisiones, para que pueda elegir el mejor o los mejores planes de expansión energética; evaluando las implicaciones de los diferentes escenarios, las políticas, así como el impacto social y ambiental que puedan tener.

Si el resultado no es satisfactorio se vuelve a empezar cambiando los parámetros que sean necesarios. Por lo tanto, la veracidad de los resultados está en función de los modelos que se utilicen y los datos que se dispongan, tienen que ser coherentes con lo que se desea realizar.

Por lo tanto, se realizará una planeación para el sector eléctrico con el mismo fin de satisfacer la demanda, en este caso sólo se considera el criterio de mínimo costo, introduciendo la participación de la bioenergía en México con producción de biogás y observar cómo sería el comportamiento si esta tecnología se tomara en cuenta. Aunque cabe mencionar que en documentos oficiales no la consideran viable, puesto que no se tiene una cultura adecuada y no se conocen los beneficios reales del mismo.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SIMISE SIMPLEX-UNAM

El módulo de optimización del Sistema de Modelación Integral del Sector Energético o mejor llamado SIMISE, es un programa realizado en Excel, elaborado por la Universidad Nacional Autónoma de México por medio de un convenio con la SENER, que sirve para encontrar, a partir de un escenario dado, posibles configuraciones y estrategias futuras de costos mínimos de la infraestructura e intercambios energéticos necesarios para satisfacer las necesidades energéticas del país de forma integral y global.

Es decir, realiza la planeación energética optimizando las mejores opciones para cubrir la demanda en diferentes escenarios basándose principalmente en el mínimo costo y dependiendo de las restricciones o cumplimiento de metas, el programa converge a la mejor expectativa.

Este programa está diseñado por medio de Solver, una herramienta de análisis que se encuentra dentro del programa Excel, el cual permite calcular el valor de una celda que depende de diversos factores o variables, donde a la vez existe una serie de restricciones que deben cumplirse y a partir de una función lineal se encuentra el máximo o el mínimo, obteniendo valores óptimos. En esta celda se colocó la ecuación de la función objetivo que se describe más adelante.

Dentro de este programa se encuentra una recopilación de datos, en su mayoría obtenidos de documentos oficiales como el PRODESEN 2016, COPAR2015, etc. Sin embargo, existe también un trabajo arduo en: estimaciones aproximadas de costos de combustibles por tipos de tecnologías, proyecciones de demanda de energía y picos máximos de potencia, así como costos y parámetros de todas las tecnologías de generación que existen en México.

En esta versión del SIMISE basada en el método SIMPLEX se tienen agregadas en un solo nodo todas las regiones del país y se representan las diferentes tecnologías

de generación eléctrica existentes en México. El periodo de optimización es quinquenal desde el 2015 hasta el 2050.

3.2.1 Datos requeridos

Este programa se encuentra organizado con diferentes pestañas en Excel, donde se inserta la información por medio de tablas dinámicas para su fácil lectura, las cuales son actualizadas y/o modificadas según las restricciones del usuario, el periodo de estudio y los casos a analizar; entre las principales secciones se encuentra (figura 3.1):

Tabla 3.1 Datos requeridos para SIMISE SIMPLEX.

Pestaña	Datos Requeridos
Datos de entrada constantes	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología • Capacidad del año base [MW] • Energía del año base [MWa] • Costos de infraestructura [USD/MW] • Usos propios de cada planta [MW] • Vida útil de cada planta [años]
Adiciones y Retiros fijos	<ul style="list-style-type: none"> • De capacidad [MW] • De energía [MWa]
Costos variables de transformación	<ul style="list-style-type: none"> • Discretizados para el periodo de estudio por tecnología [Millones de USD]
Factores de planta	<ul style="list-style-type: none"> • Discretizados para el periodo de estudio por tecnología
Demanda	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda anual del periodo de estudio [MWa]
Picos Máximos	<ul style="list-style-type: none"> • Picos de demanda por año del periodo de estudio [MWa]

Fuente: Sistema de Modelación Integral del Sector Energético. Anexo X. Optimizador SIMISE SIMPLEX

Nota: los costos de infraestructura que se encuentran en UDS/MW se refieren costos después de construcción, es decir, que ya fueron considerados todos los impuestos y amortizaciones.

3.2.2 Descripción de la metodología del modelo SIMISE SIMPLEX

El modelo se conforma de un sistema de ecuaciones lineales simultáneas las cuales al resolverse entregan como resultado la minimización de la función objetivo (F.O.) creando un plan de expansión energético al mínimo costo cumpliendo con todas las restricciones dadas y las metas que se deseen establecer.

Los componentes de la F.O corresponden a la sumatoria del costo total del sistema por tecnología, como se muestra a continuación:

$$F.O. = \sum_{i=1}^n C_i(x_i) \quad i = \text{tecnología} \dots (3.1)$$

$$C_i(x_i) = CI_i(x_i) + CV_i(x_i) \dots (3.2)$$

$$CI_i(x_i) = Cinfai(x_i) + Cinfai2_i(x_i) \dots (3.3)$$

$$CV_i(x_i) = CV1_i(x_i) + CV2_i(x_i) \dots (3.4)$$

Donde:

F.O. = *Función Objetivo*

$C_i(x_i)$ = *Costo total del sistema por año*

$CI_i(x_i)$ = *Costo total de infraestructura por año*

$Cinfai(x_i)$ = *Costos de inversión*

$Cinfai2_i(x_i)$ = *Costos de O&M fijos*

$CV_i(x_i)$ = *Costos totales variables por año*

$CV1_i(x_i)$ = *Costos de O&M variables*

$CV2_i(x_i)$ = *Costos de combustible*

Estos costos, se calculan a partir de las capacidades, los factores de planta, los usos propios y se crean ecuaciones las cuales se ponen en términos de energía, creando diversos coeficientes hasta llegar a una F.O. resolviendo un sistema de ecuaciones lineales.

De igual forma para crear las restricciones que son parte importante para la optimización se expresan de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n x_i - Da(per) \leq 0.001; \text{cumplimiento de la demanda con } 0.001\% \text{ de error}$$

$$Da(per) = mD(per) + \sum_{i=1}^n RF(per) - \sum_{i=1}^n - \text{Demanda} \dots (3.5)$$

Donde:

x_i = Potencia instalada por tecnología al año

$Da(per)$ = Demanda ajustada del periodo $AF(per)$

$mD(per)$ = Demanda máxima total del periodo

$RF(per)$ = Retiros fijos del periodo

$AF(per)$ = Adiciones fijas del periodo

$$\sum_{i=1}^{14} x_i - Da(per) \geq 0; \text{Demanda positiva}$$

Las restricciones tienen el objetivo de obtener una demanda positiva y cubrir la demanda máxima, picos de energía, los topes de energía por tipo de tecnología, etc. Agregándolos manualmente por medio del Solver.

Por lo tanto, este optimizador arroja como resultados, planes de expansión energética cumpliendo con todas las restricciones que el usuario le imponga. Una vez que el programa termina de realizar las corridas, es capaz de mostrar los siguientes gráficos.

- Adiciones y expansión de capacidad en MW
- Generación anual y acumulada por año en MWa y GWh
- Costo de generación de electricidad en Millones de USD
- Costo de inversión anual en Millones de USD
- Emisiones en Millones de toneladas de CO₂ equivalente

3.2.3 Manejo del programa SIMISE-SIMPLEX

El programa se encuentra desarrollado en Excel, con diferentes pestañas en donde se recopila toda información que se mencionó anteriormente.

Entre esas pestañas se encuentra la parte del optimizador presentada de forma quinquenal, si es requerido se puede hacer anual y por consecuencia se necesita realizar un optimizador por año.

Cabe recalcar que el programa es muy sensible a los datos que el usuario proporcione y dependiendo de estos será la veracidad del estudio, no sólo para el optimizador, sino también para el caso de los datos de entrada constante.

Como se muestra en la Figura 3.2, en cada pestaña del optimizador se debe tener la información compilada de todas las tecnologías, las cuales están ligadas a tablas

dinámicas, de igual forma la función objetivo que nos muestra el costo total del sistema en ese año, las inversiones que se adicionan al año y las restricciones que se utilizaron, las cuales se cambiaron dependiendo del escenario realizado.

Tecnología	Capacidad Inicial	Energía Inicial	Coeficiente	Energía (Var)	Costo	Capacidad	Capacidad F	Em
Hid	12429	3060.64125	432,709.29	0	0	0	12429	
Cog	2920	2044	329,226.96	292.330993	96243244	574.6	3494.6	
Tur	7206.77	1655.899643	548,425.31	0	0	0	7206.77	
Cco	24639	17951.59138	361,766.16	3478.944673	1.259E+09	5639.375	30278.37522	
Eol	6329	1896.6013	417,598.29	0	0	0	6329	
Sol	7487.75	1496.05245	522,864.33	0	0	0	7487.75	
Ter	5302.3	500.00689	2,089,351.72	0	0	0	5302.3	
Car	5708	2185.0224	556,764.92	0	0	0	5708	
Cin	1423.82	269.10198	1,978,074.10	0	0	0	1423.82	
Bio	204.8	69.45792	394,897.65	0	0	0	204.8	
Nuc	1698	1425.5559	509,410.12	0	0	0	1698	
Geo	786	516.6378	578,006.21	0	0	0	786	
LFI	720	344.52	523,548.23	0	0	0	720	
Mul	1573	375.6324	736,448.35	0	0	0	1573	
Total	78427.44	33791.92121		3771.275666	1.355E+09		84641.41522	
Pico	52015.98131							
Demanda		37563.19687						
Faltante	26411.45869	3771.275666						

Fuente: UNAM
Figura 3.2 Programa SIMISE SIMPLEX optimizador.

Analizando el apartado de las restricciones (Figura 3.3), para este estudio se trabajó con topes de capacidad y otros de energía dependiendo de la tecnología, picos de demanda máxima, topes de emisiones, etc. Todos esos datos fueron investigados de manera previa y aprobados por el equipo desarrollador de SIMISE.

Por lo tanto, con ayuda de la tabla dinámica donde se compila la información de todas las tecnologías se ligan los datos que aparecen del lado izquierdo y con ayuda de los condicionales (>,<=) se unen a las restricciones propuestos que van cambiando dependiendo del año que se estudie. Y a un costado para facilitar la corrida y observar si existe alguna discrepancia, se colocó una columna que indicará verdadero en color azul, cuando se cumpla una restricción, y falso en color rosa cuando no se cumpla.

En el caso de las tecnologías que están vacías se debe a que no son lo suficientemente viables para que el programa las elija y no es necesario colocar una restricción, a menos que sea necesario.

A	B	C	D	E	F	G
Función Objetivo (Costo de sistema)	Restricciones					
\$	1,354,807,701.91					
	3,060.64	<=	3,994.14	Tope Hidro Energía	VERDADERO	
	3,494.60	<=	3,494.60	Tope capacidad total Cogeneración	VERDADERO	
Margen Min	1,655.90	<=		Tope Turbogas		
0.1	21,431.54	<=	37563.19687	Tope a Cco del total	VERDADERO	
	1,896.80	<=	3,200.00	Tope Eolo energía	VERDADERO	
Tope Cco	1,496.05	<=	1,500.00	Tope de solar	VERDADERO	
1	500.01	<=		Tope termoeléctrica		
	2,185.02	<=		Tope Carboeléctrica		
	269.10	<=		Tope Comustión interna		
	69.46	<=	229.00	Tope Bioenergía	VERDADERO	
	-	<=	1,500.00	Tope de capacidad adicionada NUCLEAR	VERDADERO	
	516.64	<=	684.93	Tope Geotérmica	VERDADERO	
	344.52	<=		Tope LFI		
	375.63	<=		Tope Mul		
	3,771.27567	>=	3,771.2757	No permite quitar energía	VERDADERO	
	84,641.41522	>=	57,217.5794	Cubre el pico de demanda máxima	VERDADERO	
	10,801.47761	>=	10,630.3847	Cubre la meta de energía limpia	VERDADERO	
	37,563.19687	=	37,563.1969	Cubre la demanda	VERDADERO	
	16779737.94	<=	16000000	Tope de Emisiones	FALSO	
	RESTRICCIONES QUINQUENALES					
← ▶ ... Topes FP3 Optimizador 2020 Optimizador 2025 Optimizador 2030 Optimizador 2035 Optimizador 2040 Optimizador 2045						

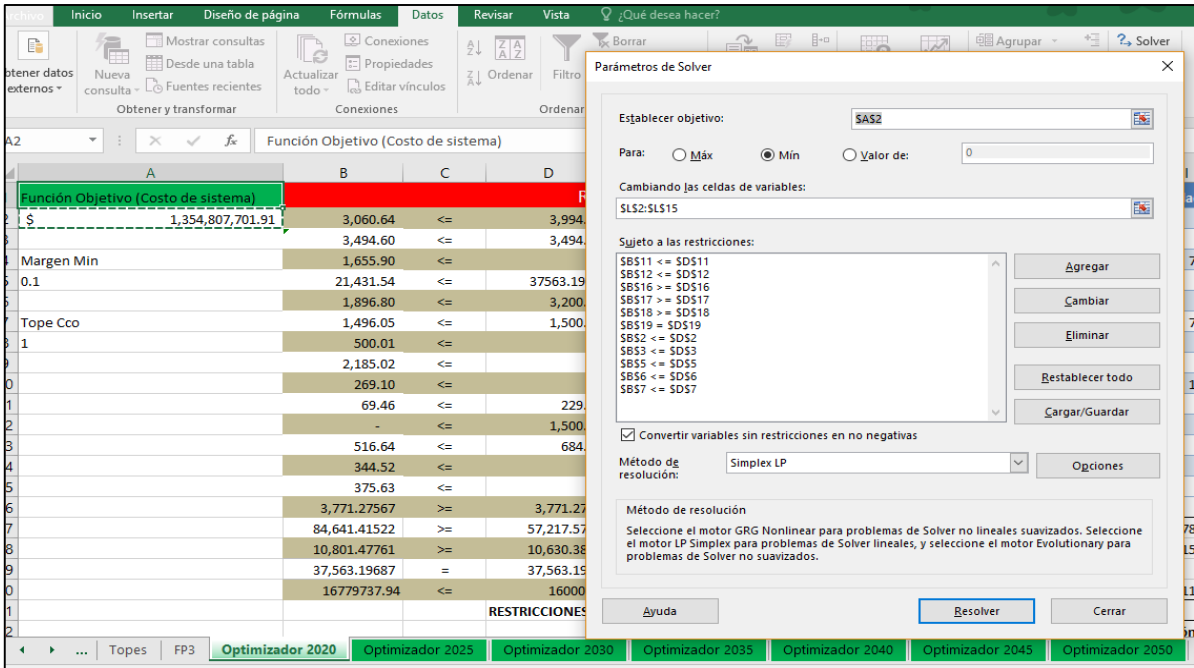
Fuente: UNAM

Figura 3.3 SIMISE SIMPLEX, apartado restricciones en el optimizador.

Una vez que todos los datos estén completos, se puede hacer la corrida utilizando el Solver el cual debemos buscar dependiendo de la versión de Excel que se tenga (Figura 3.4).

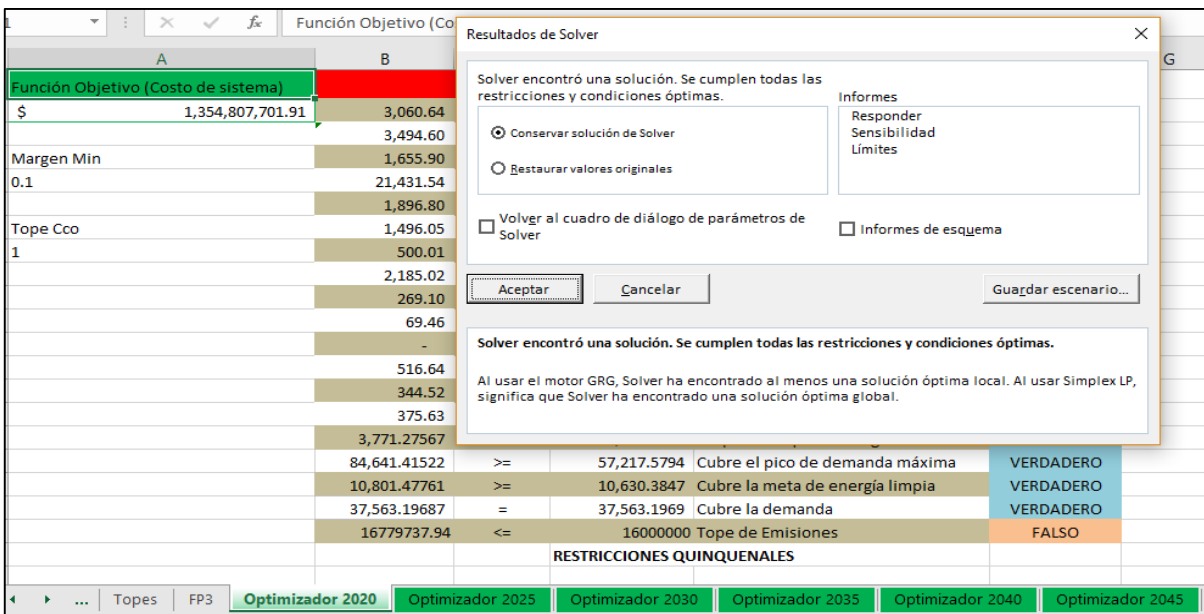
Y se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Se establece la función objetivo dependiendo de la celda en donde se desea que aparezca.
- ✓ Se selecciona “min” puesto que el programa necesita establecer que sea el mínimo costo del sistema.
- ✓ Las celdas variables corresponden a la energía variable, columna que se encuentra dentro de la tabla dinámica con todas las tecnologías.
- ✓ Se agregan las restricciones que se necesiten dependiendo del año de estudio o caso de optimización.
- ✓ Se selecciona el método Simplex LP y se da clic en resolver.



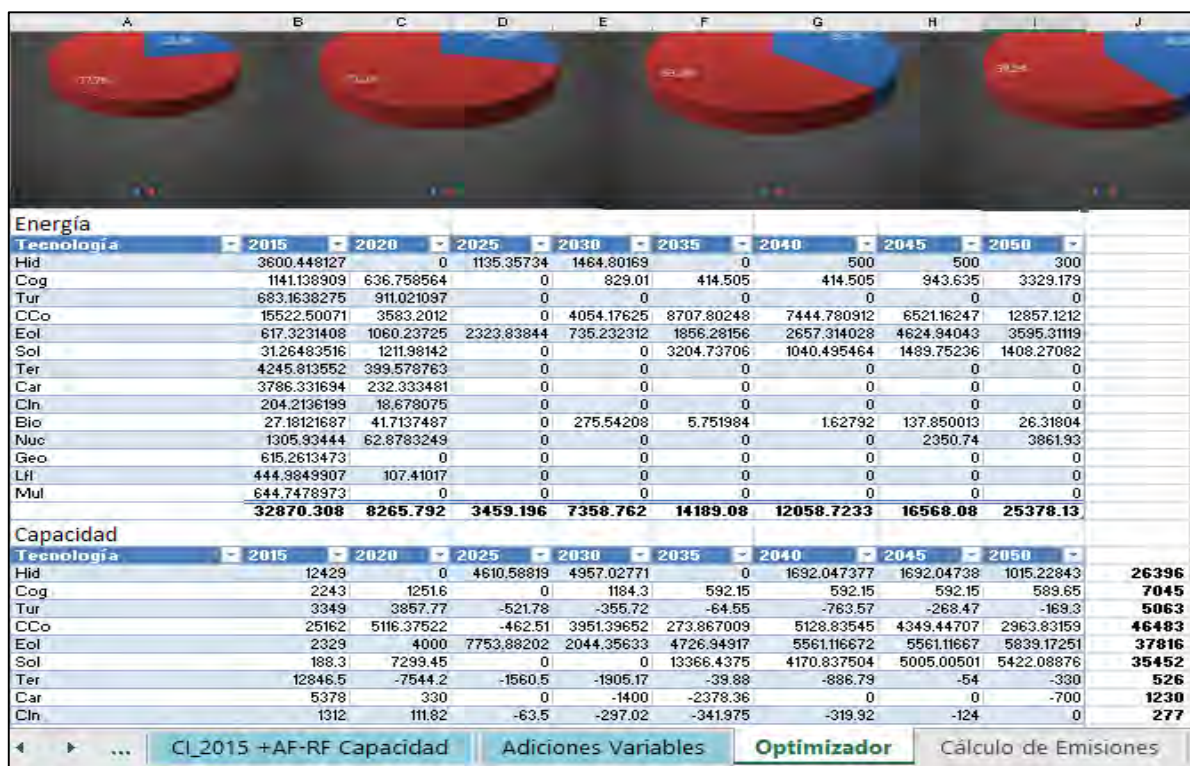
Fuente: UNAM
Figura 3.4 Parámetros de Solver en SIMISE SIMPLEX.

Después de ese procedimiento y si todos los datos convergen correctamente el resultado esperado es el de la Figura 3.5, y esta guía se debe realizar para todos los años de estudio, ya que tiene que arrastrar los resultados del año anterior para volver a optimizar el problema.



Fuente: UNAM
Figura 3.5 Mensaje de los resultados en Solver.

Para poder encontrar todos los resultados juntos sin necesidad de extraerlos de cada año, el equipo que construyó el programa agregó una nueva pestaña en donde se encuentran todos los resultados y se pueden apreciar algunos gráficos que realiza automáticamente (Figura 3.6). En el capítulo siguiente se mostrarán los resultados detallados.



Fuente: UNAM

Figura 3.6 Resultados del optimizador.

4 CAPÍTULO 4: Desarrollo de planes de expansión eléctrica para diferentes escenarios

En este capítulo se presentan los resultados de los diferentes planes de expansión eléctrica en diferentes escenarios. Se parte de un escenario principal y sobre éste se comienzan a realizar cambios con el objetivo de observar cómo se comporta la bioenergía con respecto de las diferentes tecnologías y en su caso, si es viable introducirla al sector eléctrico de forma más precisa.

Las variables analizadas que son clave para el comportamiento de una planeación, son las adiciones de capacidad, la cantidad de generación de electricidad, los costos anuales de inversión y de la electricidad generada, la cantidad de energía producida con energía limpia y convencional, por último, el total de emisiones emitidas por tipo de tecnología y el total del parque de generación. Se muestran los resultados para una expansión de largo plazo del 2015 hasta el 2050, aplicando la optimización cada cinco años.

4.1 PROPUESTA DE SUPUESTOS GENERALES

Como se presentó en el capítulo anterior, para la elaboración de un plan de expansión se necesita una serie de datos robustos para que puedan ser utilizados en el optimizador. Por lo cual, en su mayoría se hizo una recopilación del PRODESEN 2016, COPAR 2015, IEA 2015, y supuestos propios para los datos requeridos.

Se obtuvieron cantidades de capacidad de todas las centrales por regiones, agrupadas por tecnología y se consideraron como un conjunto de oferta uninodal, es decir que no se distinguen diferentes regiones de demanda. Se tomaron en cuenta 14 tecnologías diferentes.

Para el caso de la bioenergía, se utilizó una planta genérica como se ve en la (Tabla 9), basándose en nuevos proyectos que la SENER tiene planeado establecer para este tipo de energía. El proyecto utilizado será el CBIO OTR 01²² (Central biomasa, que entra en categoría otros) que produce biogás utilizando RU y estableciendo la suposición de que, si el programa lo elige como una opción imitará e instalará plantas del mismo tipo. Destacando que la tecnología biomasa tiene una

²² (SENERh). Proyectos probados del PIIRCE 2016.

clasificación muy extensa y no es posible caracterizar ni cuantificar todos los tipos de biomasa en una sola.

Este ejercicio será modificado para diferentes escenarios. Teniendo los siguientes datos (Tabla 4.1):

Tabla 4.1 Datos de entrada tecnología Bioenergía genérica.

Central		Bioenergía Genérica
Capacidad bruta (MW)		53.7
Capacidad neta (MW)		52.3
Eficiencia neta (MW)		50
Régimen térmico neto (MJt/MWh)		7157
Vida útil (años)		30
Factor de planta (fracc)		0.35
Usos propios (fracc)		0.031
Costo unitario de inv. Dir. (USD/kW)		0
Costo unitario de inv. D+I. (USD/kW)		1523.5
Programa de inversiones (años, fracc)	-1	0.8
	-2	0.2
	-3	--
	-4	--
	-5	--
	-6	--
	-7	--
	-8	--
	Total	1
Meses de construcción (meses)		27
Factor de valor presente a inicio de operación (fracc)		1.048
Costo O&M fijo* (USD/MW-año)		2460
Costo O&M variable (USD/MWh)		4.43
Costo O&M total (USD/MWh)		5.23
Costo de agua (USD/Mwh)		0
Tipo de Combustible		Biogás
PC (MJt/unidad)		1993
Precio (USD/unidad)		5.6
Unidad		m ³

*Se refiere a Capacidad bruta.

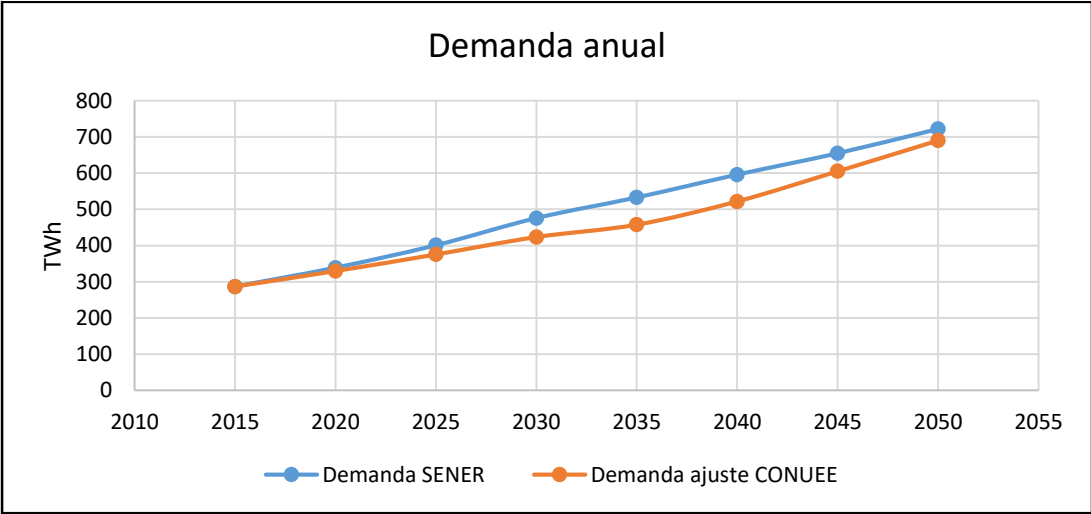
Fuente: Base de datos PIIRCE 2016-2030 (SENERh, 2016)

Estos datos son esenciales para el optimizador y se tienen que suministrar para cada tipo de tecnología. Con estos datos se pueden obtener los costos nivelados, a distintas tasas de descuento y un costo de combustible como se explicó en capítulos anteriores.

4.1.1 Demanda

La demanda utilizada para la optimización de la expansión, fue tomada de la proyección empleada en el PRODESEN 2016 hasta el año 2030, posterior a esa fecha se considera un crecimiento tendencial.

A esa demanda se le aplicó un factor sobre consumos de uso final de energía eléctrica, de acuerdo a un estudio realizado por la CONUEE donde hicieron proyecciones de cómo cambiarían los consumos respecto a cada uno de los sectores por efecto de eficiencia y se aplicaron a las generaciones que deben producirse (Figura 4.1).



Fuente: elaboración propia. Datos Obtenidos: PRODESEN 2016, Consumo eléctrico con acciones de EE-estrategia 2016.

Figura 4.1 Demanda anual de electricidad 2015-2050

4.1.2 Adiciones y Retiros Fijos

Las adiciones fijas en capacidad, para este caso, se consideran hasta el año 2020 puesto que para este estudio se deja libremente al programa que agregue la capacidad de cada tecnología que se considere óptima de acuerdo a todos los

criterios y restricciones dados. Agregando un total de 3634.3 MW en el año 2015 y 18612.45MW en el 2020, de todas las tecnologías disponibles (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Adiciones fijas en capacidad (MW).

Tecnología	2015	2020	2021-2050
Hid	0	0	0
Cog	807	677	0
Tur	50	4466	0
Cco	2079	169	0
Eol	293	4000	0
Sol	132.3	7299.45	0
Ter	0	1209	0
Car	0	330	0
Cln	0	120	0
Bio	0	124	0
Nuc	220	78	0
Geo	53	0	0
Lfl	0	140	0
Mul	0	0	0
Total	3634.3	18612.45	0

Fuente: SIMISE SIMPLEX UNAM Datos: PRODESEN, (SENERh, 2016)

Para el caso de los retiros fijos, sí se tomaron en cuenta los estimados hasta el 2050 y se puede observar que el plan de retiros en su mayoría considera las tecnologías de origen fósil (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Retiros fijos en capacidad (MW).

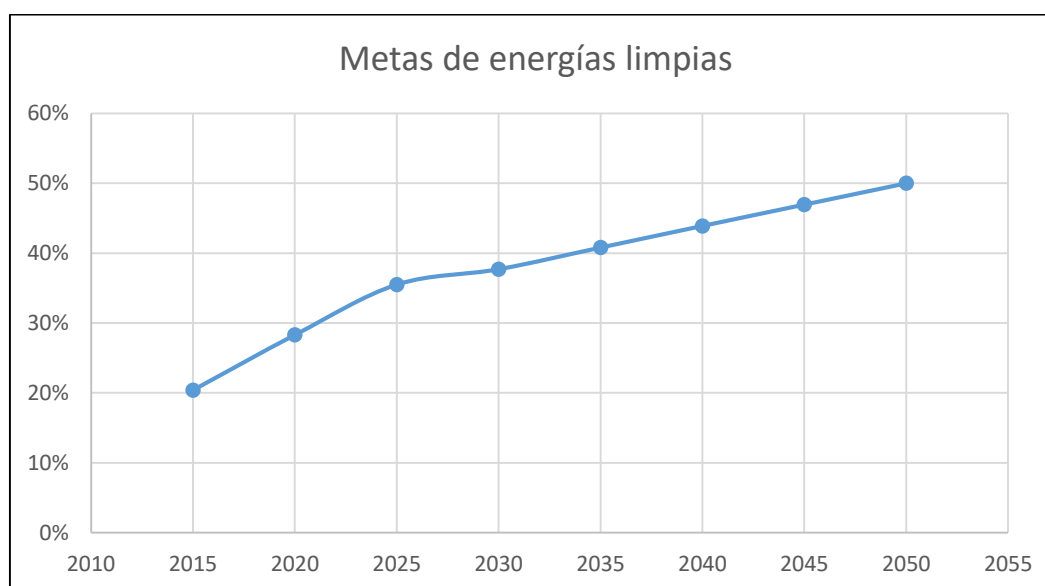
Tecnología	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hid	0	0	0	0	0	0	0	0
Cog	0	0	0	0	0	0	755.9	4166.32
Tur	241	608.23	521.78	355.72	64.55	763.57	268.47	169.3
Cco	226	692	462.51	1612.75	11677.14	5088.74	4600.51	14681.9
Eol	0	0	0	0	434.55	1827.7	7298.8	4157.8
Sol	0	0	0	0	0	168.9	1208.51	451.58
Ter	112.5	8753.2	1560.5	1905.17	39.88	886.76	54	330
Car	0	0	0	1400	2378.36	0	0	700
Cln	0	8.18	63.5	297.02	341.975	319.92	124	0
Bio	0	0	0	0	16.96	4.8	76.22	77.6
Nuc	0	0	0	0	0	0	0	0
Geo	20	60	0	0	523.4	210	0	53
Lfl	0	0	0	580	0	0	0	0
Mul	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	599.5	10121.61	2608.29	6150.66	15476.815	9270.42	14368.41	24787.5

Fuente: SIMISE SIMPLEX UNAM Datos: PRODESEN, (SENERh, 2016).

Como se pudo observar en las tablas anteriores, la bioenergía en documentos oficiales no tiene una participación muy importante, tanto en adiciones fijas como en retiros, la mayoría de los datos corresponden a una combinación de biogás y bagazo de caña. Sin embargo, el propósito es ver cómo podría introducirse esta tecnología al modificar ciertas variables importantes.

4.1.3 Metas de energía limpia

Considerando lo establecido en la Ley de Transición Energética, referente a las metas de energía limpia en generación de electricidad, las cuales establecían principalmente que en el 2025 se cumpla con el 35% y en el 2050 el 50%. Ese mismo documento provee información de otras metas específicas en años posteriores las cuales fueron utilizadas para realizar un ajuste de interpolación entre ellas y así fueran aumentado de forma gradual (Figura 4.2).



Fuente: Elaboración propia. Datos Obtenidos: SIMISE SIMPLEX

Figura 4.2 Metas de energía limpia 2015-2050.

Donde la generación limpia toma en cuenta las siguientes tecnologías²³:

- Generación con base en combustibles fósiles que posea tecnología de captura y secuestro de carbono.
- Hidro
- Nuclear
- Cualquier fuente de energía renovable (entre ellas la bioenergía)

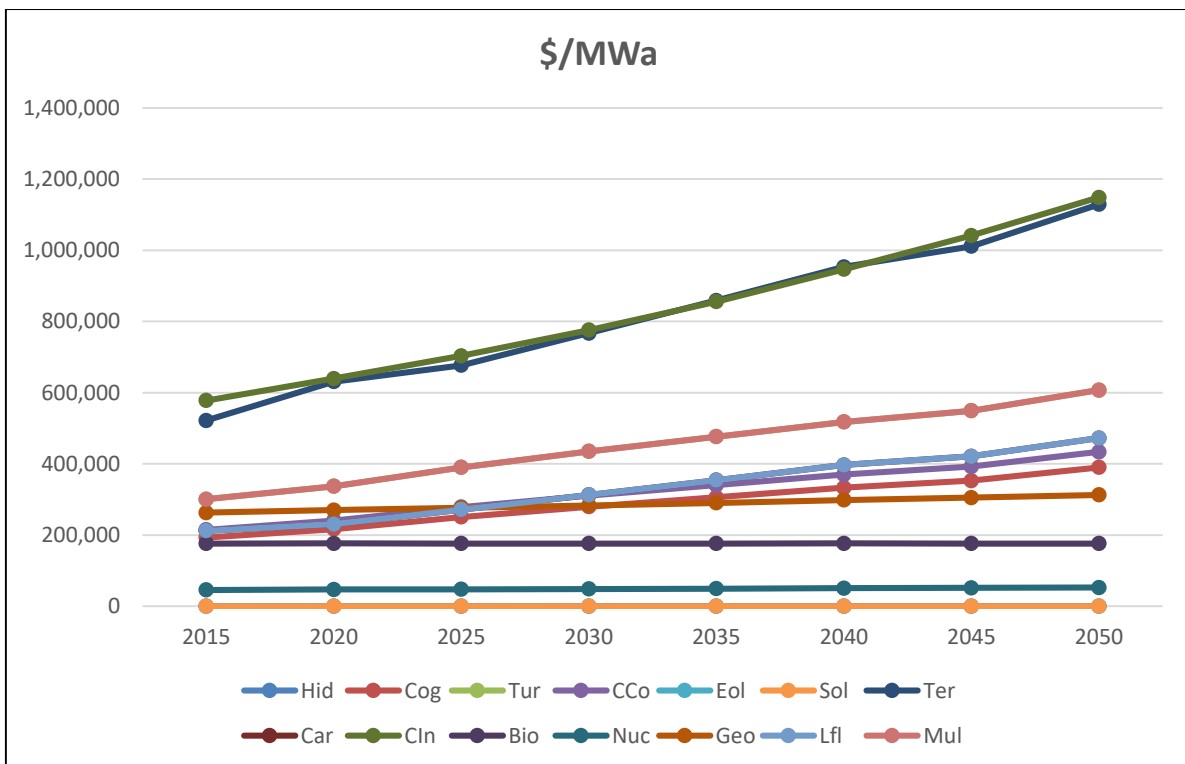
²³ Ley de transición energética publicado en el DOF el 24 de diciembre de 2015.

- Cogeneración eficiente (considerando el bagazo de caña)

4.1.4 Costos de combustible

Los precios de combustible de las diferentes tecnologías es un dato esencial para la realización de proyecciones, ya que es una de las variables más sensibles para la toma de decisión del programa. Puesto que se basa principalmente en la selección de tecnologías por costos totales. Por lo tanto, si el costo de combustible de una tecnología es demasiado alto, comparado con las demás, el optimizador no la elegiría como primera opción, a menos que con una restricción se le obligue a introducirse.

Los precios de combustible se utilizan de forma anualizada y nivelados para cada tipo de tecnología se observan en la Figura 4.3. Nótese que la unidad de medida es dinero por unidad de energía, el dinero en dólares y la energía en MWaño, esta una unidad de energía es igual a 8760 MWh.

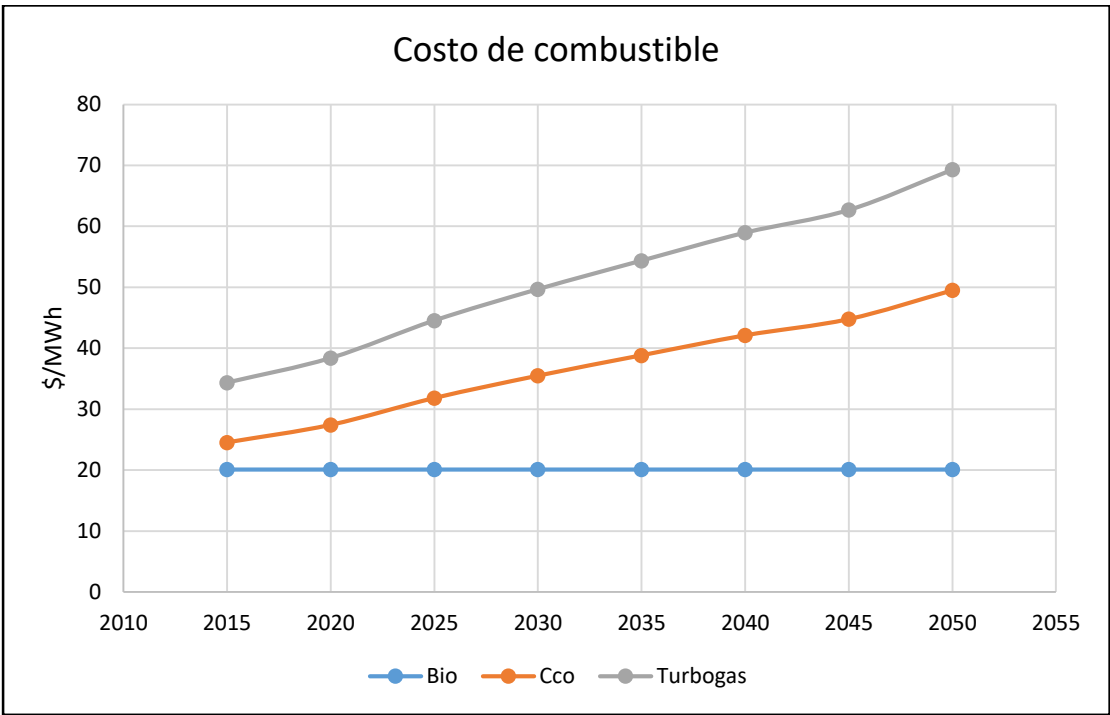


Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos de: SIMISE SIMPLEX.

Figura 4.3 Costos variables de generación por concepto de combustible para diferentes tecnologías.

En los costos mostrados en la imagen anterior se puede observar que la termoeléctrica y combustión interna son las que tienen los precios más elevados, mientras que la hidroeléctrica, solar y eólica sus precios son 0\$/MWh consideradas las más económicas de todas las tecnologías.

Para el caso de la bioenergía, utilizando biogás donde su costo nivelado está por debajo de los 30\$/MWh, por debajo del ciclo combinado o turbogás que utilizan gas natural (Figura 4.4). La ventaja que tiene uno sobre otro, es que para generar biogás se pueden utilizar diferentes tipos de materias primas que benefician al medio ambiente.



Fuente: Elaboración propia Datos obtenidos de: SIMISE SIMPLEX

Figura 4.4 Comparación de costos de combustible nivelado

4.2 ESCENARIOS

A continuación, se presentan los resultados de los cuatro tipos de escenarios realizados con el SIMISE-SIMPLEX, en donde se da a conocer el impacto que tendría la biomasa como bioenergía con respecto a las demás tecnologías en el sistema de generación, para el periodo 2015-2050.

Para este trabajo, se propone la utilización de la biomasa para la producción de biogás y con este combustible la generación de bioenergía.

Los escenarios incluyen:

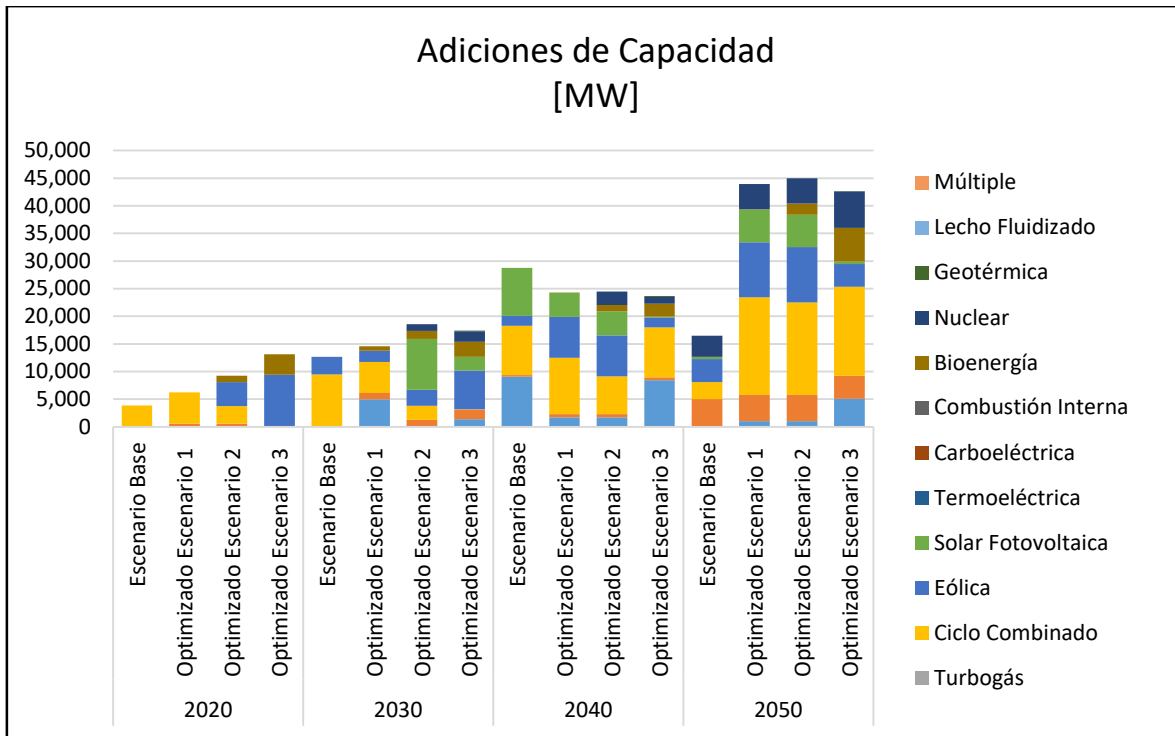
- Escenario Base: Proyección actual con datos obtenidos del PRODESEN 2016.
- Escenario 1: Datos obtenidos del PRODESEN 2016, con precios de combustible del biogás (calculado en la Tabla 1.4) constante para todo el periodo 2015-2050. Utilizando un factor de planta de 35% a partir del 2020. Utilizando Topes de energía establecidos por INERE 2015.
- Escenario 2: Datos obtenidos del PRODESEN 2016, con precios de combustible del biogás constante para todo el periodo 2015-2050. Utilizando un factor de planta de 35% a partir del 2020. Utilizando Topes de energía establecidos por INERE 2015. Incluyendo Topes de reducción de emisiones de CO₂.
- Escenario 3: Datos obtenidos del PRODESEN 2016, con precios de combustible del biogás. Utilizando un factor de planta de 35% a partir del 2020. Utilizando Topes de capacidad que no rebasen el tope “posible” establecido por la INERE. Suponiendo que el precio del gas natural tiene un aumento en sus costos del 50%.

Todos los escenarios presentados contemplan un supuesto, acercándose lo más posible a una realidad futura. Sin embargo, conforme se vayan realizando actualizaciones en las tecnologías para años posteriores, esos escenarios deben cambiar.

4.2.1 Adiciones de capacidad

Las adiciones de capacidad endógenas, tal como su nombre lo indica, son aquellas adiciones variables de tecnologías que el programa elige como opciones económicas, tomando en cuenta las adiciones que ya están establecidas o fijas. En el gráfico, el escenario que tiene una mejor diversificación es el escenario 3, con una mejor adición de tecnologías; en donde, la energía nuclear, solar, eólica, muestran un incremento en su participación (Figura 4.5).

Ahora, si se analiza la biomasa por separado (Figura 4.6), en el escenario base la bioenergía no se toma en cuenta, puesto que el programa no lo elegiría como una opción viable debido a que los costos tomados del PRODESEN son muy elevados. Para el caso del escenario 1, en donde se asume un precio de biogás adecuado, el programa agrega menos de 1,000 MW en el 2030 y posteriormente ya no lo elige como una opción viable.

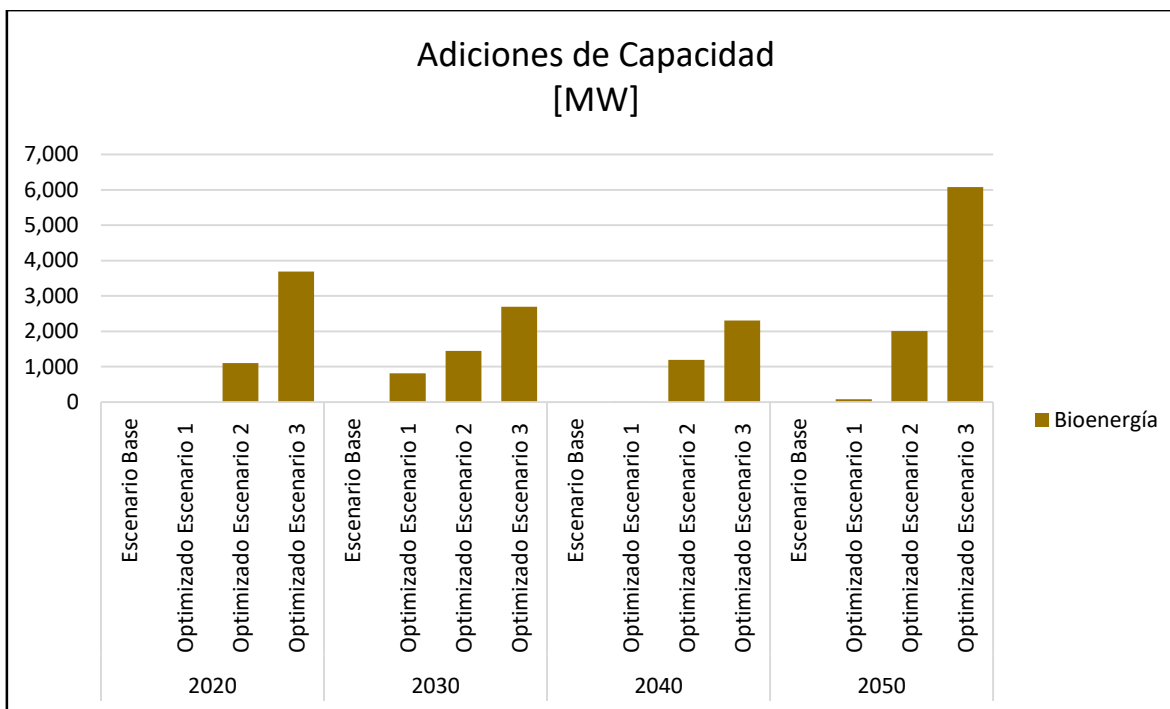


Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.5 Adiciones de Capacidad en diferentes escenarios.

Esto se debe a dos situaciones: si el programa elige adicionar una cantidad de bioenergía en cierto año, ésta puede disminuir por los retiros fijos que se establecieron de acuerdo al tiempo de operación de la planta. Y la segunda se debe a que los costos de infraestructura son elevados y hay otras opciones que el programa elegiría como más económicas, antes que la bioenergía.

En los escenarios 2 y 3 la bioenergía aumenta de forma gradual, conforme avanza el periodo de tiempo ya que al programa se le introduce otra variable de decisión que es un tope de emisiones, y un aumento al precio del gas natural para el escenario 3. Entonces el optimizador busca un costo mínimo teniendo en cuenta los topes como restricciones y las modificaciones de precios de gas en los datos. Entonces, el programa elige agregar una cantidad de bioenergía como parte del mix de tecnologías que participan dentro de la expansión eléctrica.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

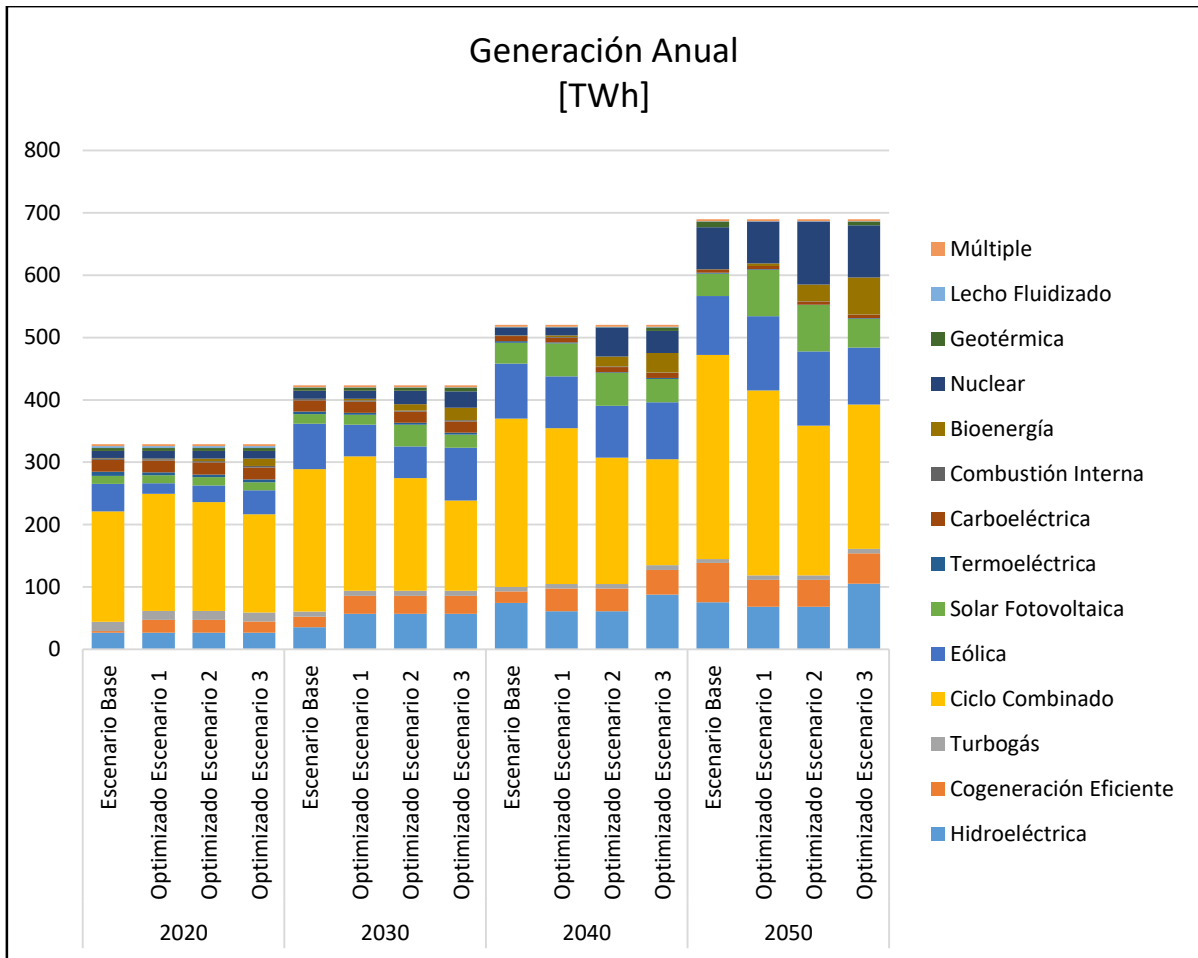
Figura 4.6 Adiciones de Capacidad de la bioenergía en diferentes escenarios.

4.2.2 Generación de electricidad

La generación de electricidad se presenta de forma anual, en la Figura 4.7 se observan las variantes que existen de acuerdo a los diferentes tipos de escenarios y cómo su diversificación va cambiando de acuerdo a las variables que se inserten en el programa.

Obviamente todos los escenarios cumplen con la restricción principal que es la demanda de energía anual. En los escenarios 2 y 3 se observan una notoria participación de renovables, en donde la biomasa destaca desde el 2030. Por otra parte, se puede observar que el ciclo combinado seguirá siendo una tecnología muy importante para el país; siempre y cuando los precios del mismo no aumenten de forma exponencial y exista la disponibilidad de gas suficiente para operar las plantas.

En esa misma imagen, se puede notar que las hidroeléctricas podrían alcanzar sus potenciales máximos y si se dejara al programa elegir sin topes de potenciales, la hidro se elevaría demasiado, lo mismo ocurriría con la eólica. Por ese motivo su participación tuvo que ser limitada.

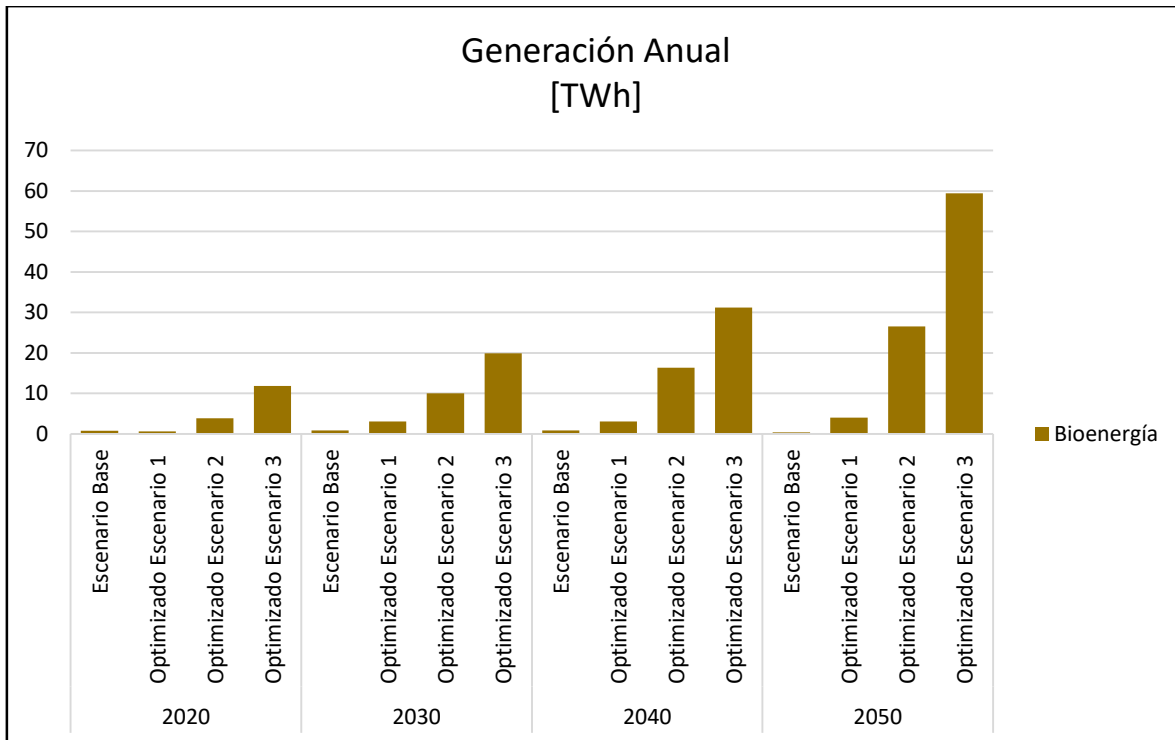


Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.7 Generación anual de electricidad en diferentes escenarios.

Ahora, mostrando de forma específica la participación de la bioenergía (Figura 4.8), en el escenario base sería incoherente instalar plantas de este tipo, si van a operar con factores de planta muy bajos y costos elevados ya que utilizando sólo datos del PRODESEN predice una generación menor de 1TWh para esta tecnología.

Por otro lado, si se toman en cuenta las consideraciones de los distintos escenarios la bioenergía podría alcanzar los topes máximos de potencial que se tienen establecidos, considerando que sólo se produzca biogás con biomasa de tala sustentable y residual.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.8 Generación anual de electricidad de la bioenergía en diferentes escenarios.

4.2.3 Costos anuales de generación de electricidad

En la Figura 4.9, podemos observar los costos anuales de generación de electricidad de todos los escenarios y tecnologías que se agregaron en el simulador. Se ve una notoria disminución de los costos anuales en los escenarios 1, 2 y 3 con respecto al escenario base. Recordando que el escenario base está considerado con datos del PRODESEN y los demás son cambios realizados para el estudio.

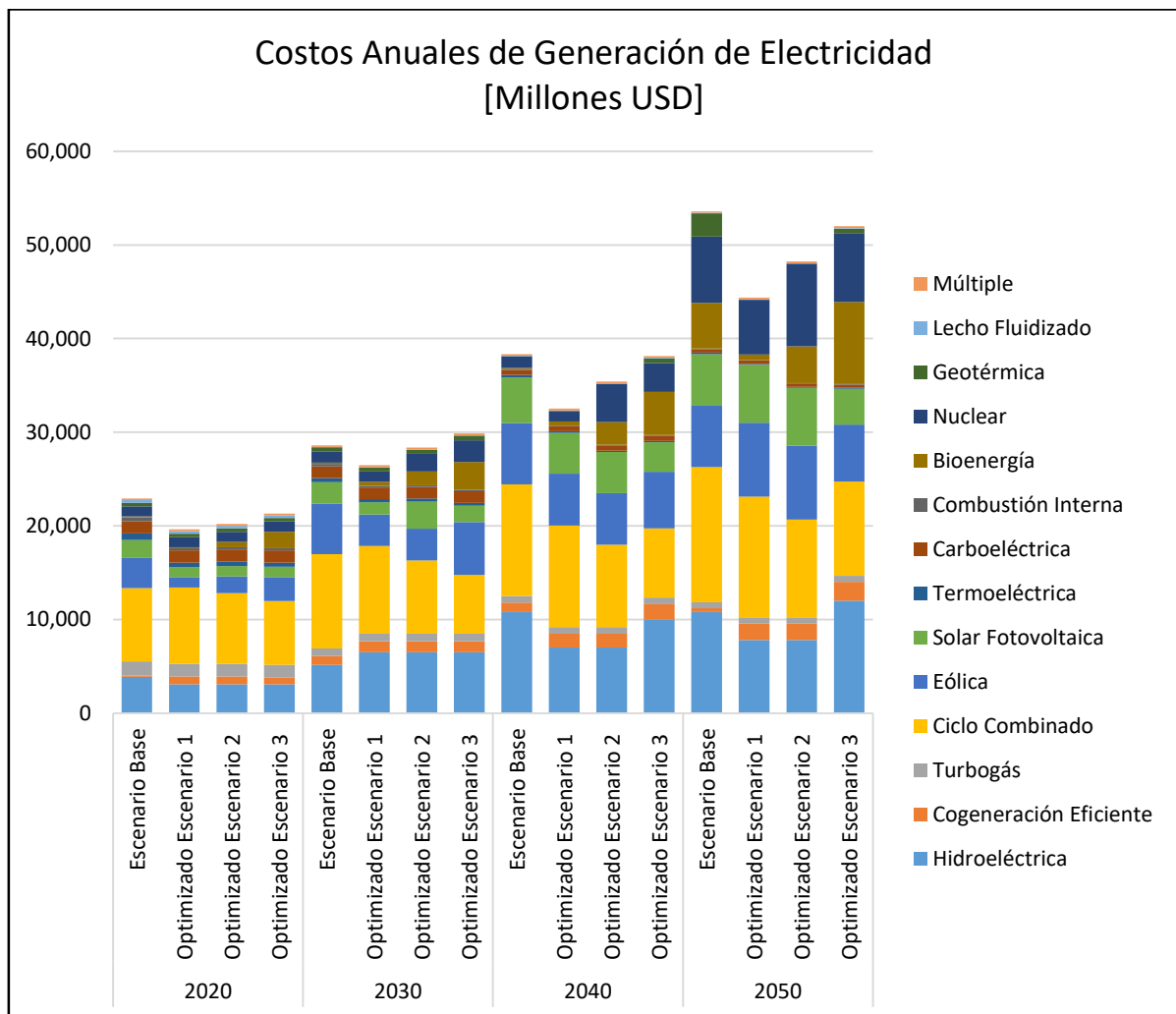
Esto se debe a que el optimizador es sensible a cambios y como se mencionó anteriormente uno de sus principales criterios para optimizar es el costo de generación anual. Por ese motivo, al disminuir el precio de la bioenergía, el programa optimiza y elige la configuración que considera más económica y en conjunto con las restricciones, mejora la diversificación.

Para este caso, el escenario 1 se vuelve el nuevo punto de referencia y por ese motivo se van realizando cambios forzando a que la bioenergía se ingrese y los

costos totales aumentan con forme se aplican restricciones o se modifican datos que aumentan con respecto a los del caso base.

En el escenario 3 donde se consideran precios altos de GN es más notorio, puesto que se le exige al optimizador una cantidad limitada de ciertas tecnologías y la diversificación aumenta. Sin embargo, comparada con el escenario base sí existe un ahorro en costos de un 6% aproximadamente porque el precio del biogás es más bajo en el escenario 3 que en el base.

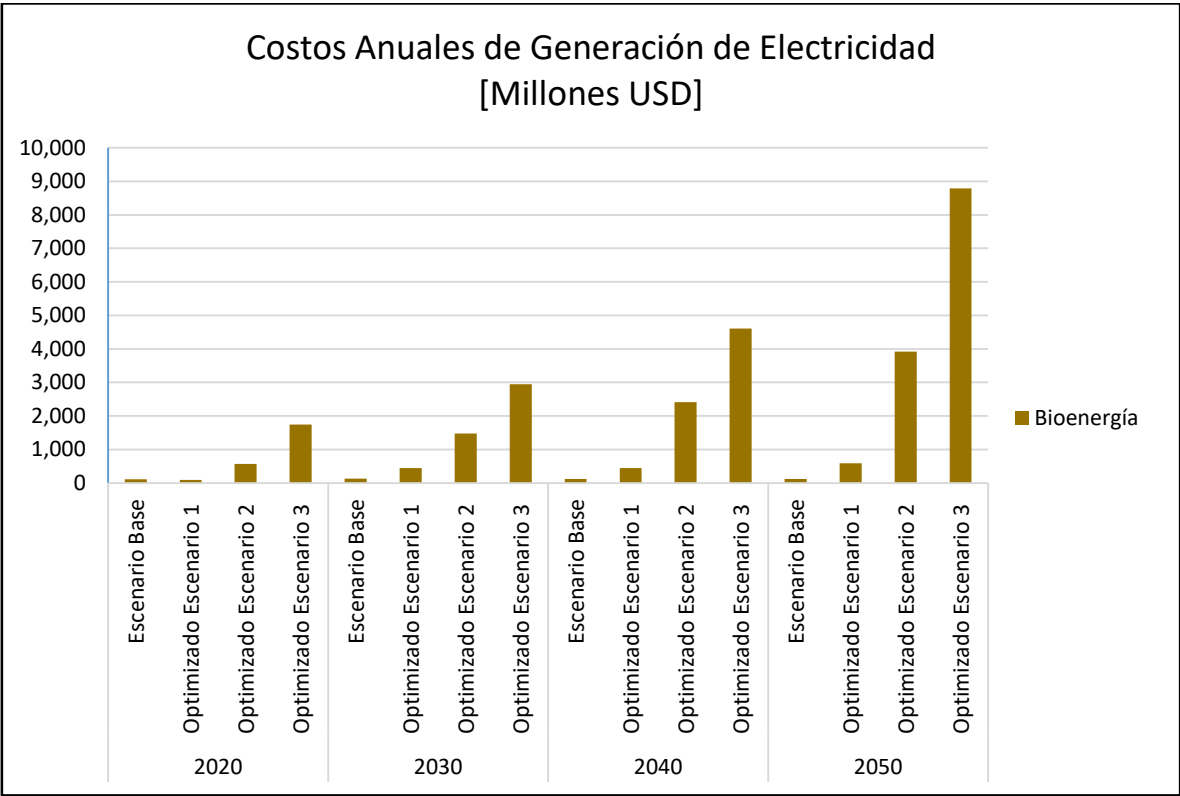
El caso 3 tiene mayores costos anuales de generación comparado con los 1 y 2, sin embargo, existe una mayor diversificación de tecnologías. Y agrega una considerable cantidad de energías limpias y renovables por arriba del 50% y por ende el costo se eleva más que los escenarios optimizados 1 y 2.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.9 Costos anuales de generación de electricidad en diferentes escenarios.

Presentando ahora los resultados que corresponden a la Bioenergía (Figura 4.10), el cambio en los costos de combustible resulta benéfico en el aspecto de que el programa lo selecciona y lo hace participar en la oferta. Resulta que la bioenergía es una tecnología factible a partir del año 2040. Teniendo en cuenta que la bioenergía los costos anuales de generación por biomasa crecen también.



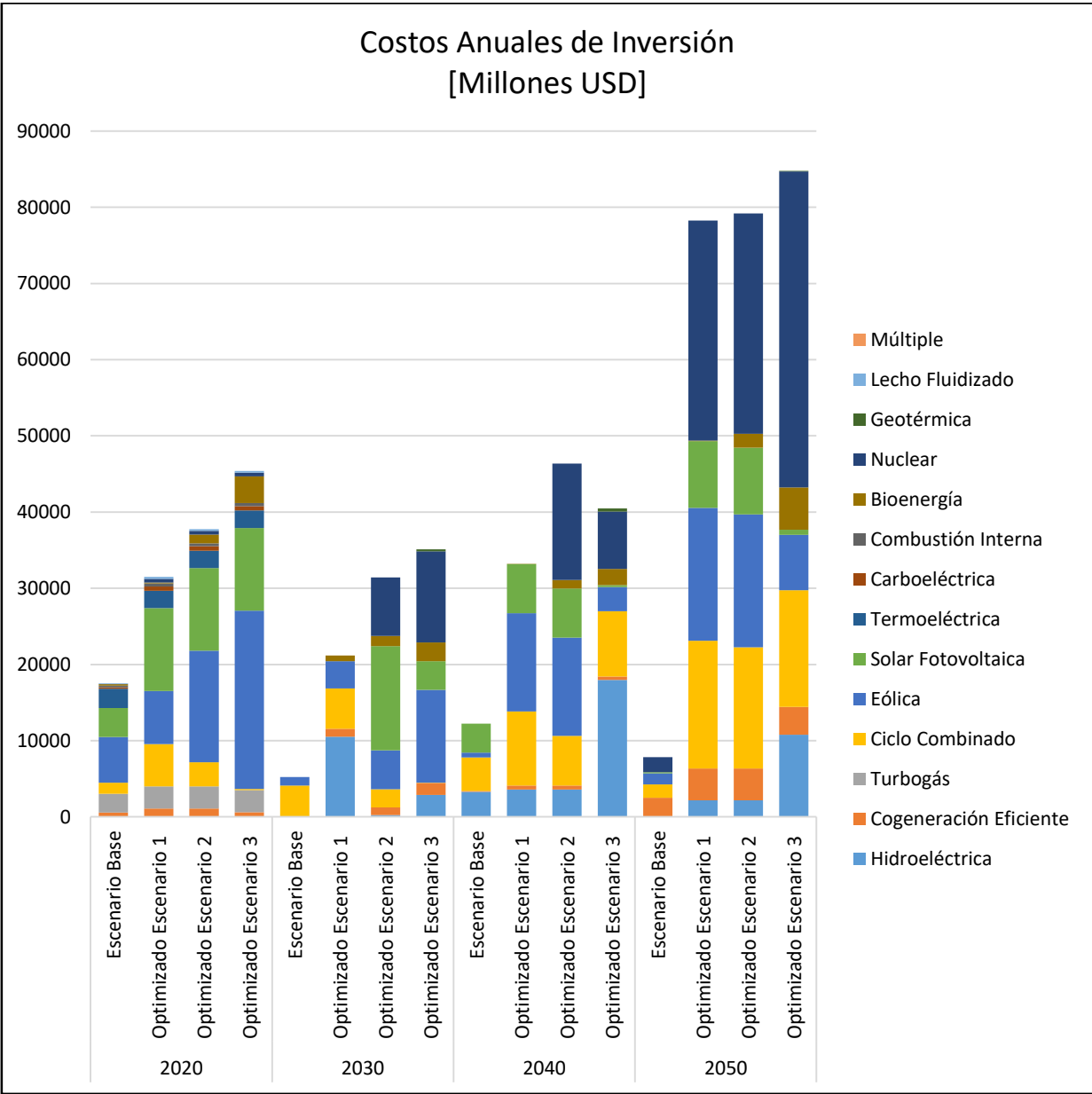
Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.10 Costos anuales de generación de electricidad para la bioenergía en diferentes escenarios.

4.2.4 Costos anuales de inversión

Los costos anuales de inversión dependen de la cantidad de capacidad que se agregue por tecnología (Figura 4.11), entonces por ese motivo existe una variación significativa entre el escenario base y los restantes, ya que los costos de inversión de las energías limpias y renovables siguen siendo elevados cuando se comparan con los de las plantas fósiles.

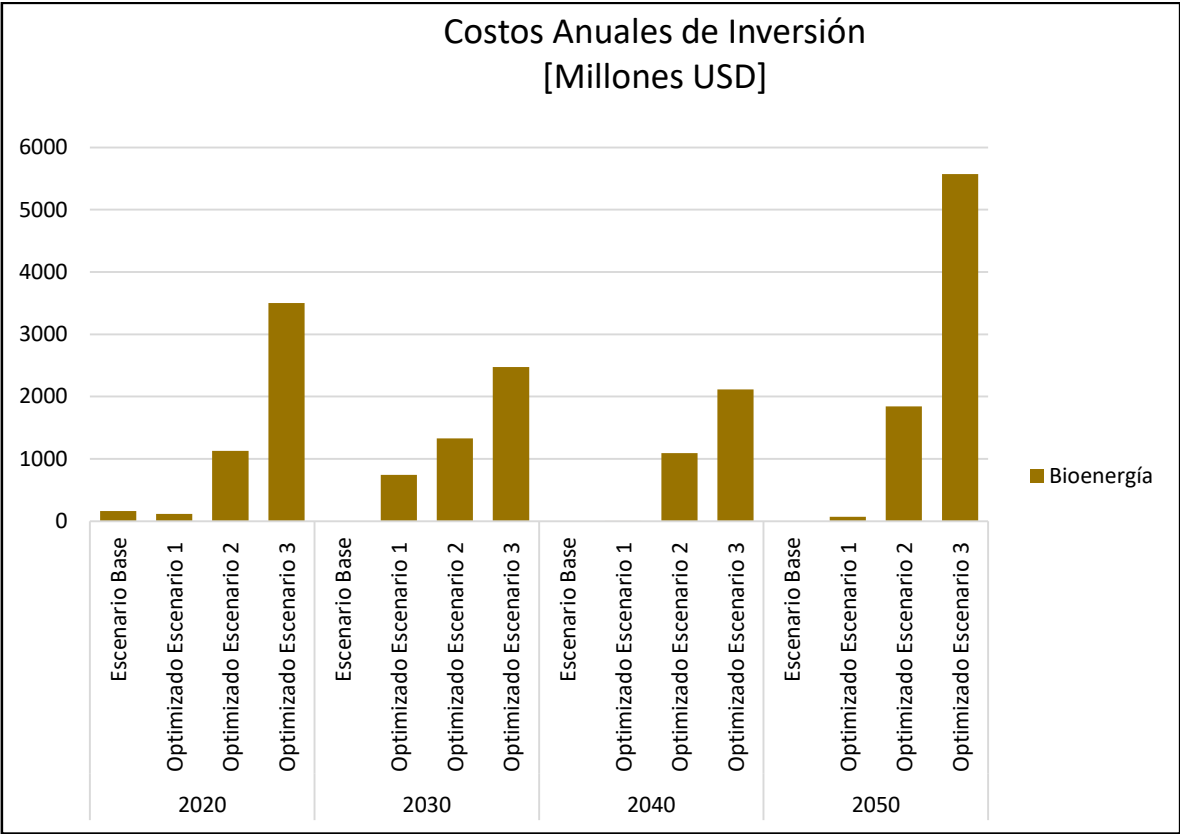
En el caso de la energía nuclear, puede ofrecer una cantidad considerable de energía constante, funcionando como carga base. Sin embargo, se necesita una inversión grande en comparación con otras tecnologías limpias, por ese motivo el programa no agrega tanta capacidad de energía nuclear, hasta el periodo de 2040-2050 ya que sin ella no se alcanzaría la cantidad de energía que se necesita para cubrir la demanda con la meta de energía limpia.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.11 Costo anual de inversión en diferentes escenarios.

Viendo más a detalle los costos anuales de inversión de la biomasa (Figura 4.12), para ser una tecnología que en nuestro país es poco utilizada para la generación de electricidad, en el escenario más optimista es donde la inversión es mayor (Caso 3). Realizando una relación con la cantidad de generación que se produce y el costo, se puede determinar qué tan viable es el proyecto.



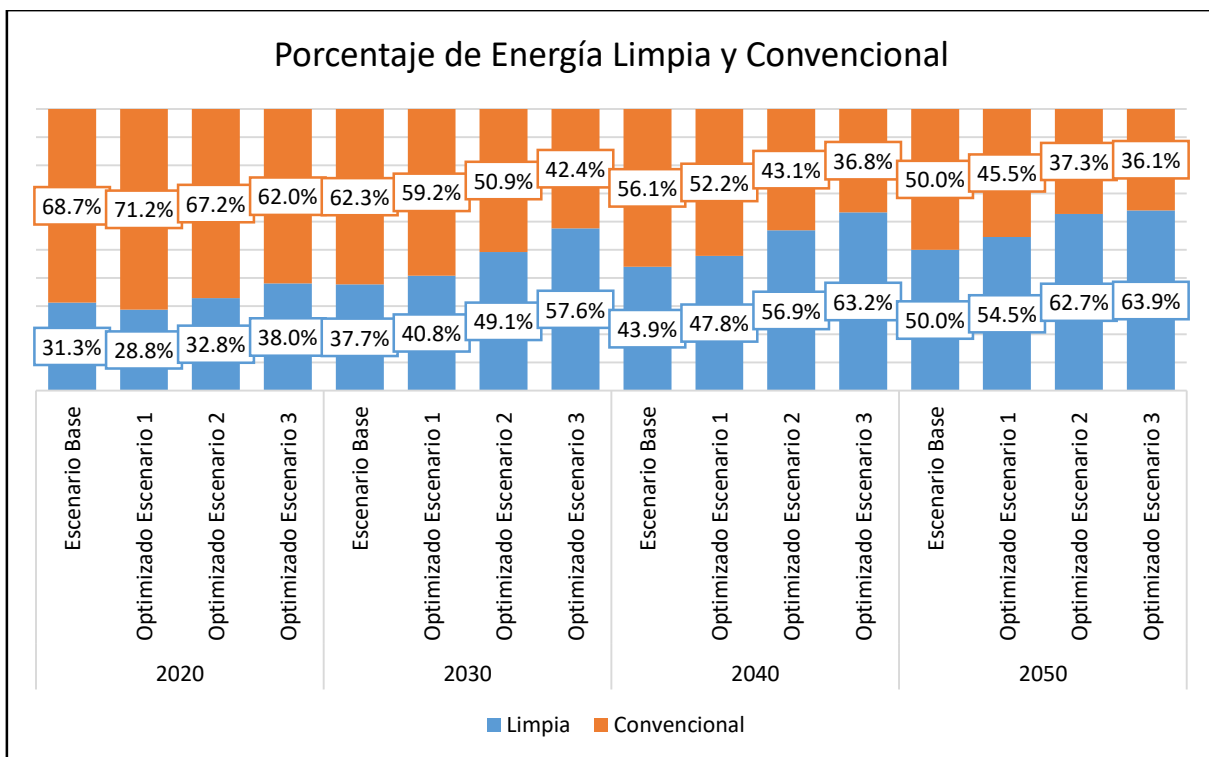
Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.12 Costo anual de inversión de la bioenergía en diferentes escenarios.

4.2.5 Porcentaje de energía limpia y convencional

Este apartado se vuelve muy importante, ya que se podría elegir un escenario óptimo, de acuerdo al cumplimiento de metas que se esperan para el país, y si se es aún más optimista, rebasar esas cantidades.

En la figura 4.13, se puede observar un cambio abrupto en comparación con el escenario base y todos los demás, llegando a la meta del 50% desde el año 2030 y si se eligiera alguna planeación de ese estilo, alcanzar hasta el 60% en energías limpias lo cual sería completamente benéfico para el medio ambiente.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

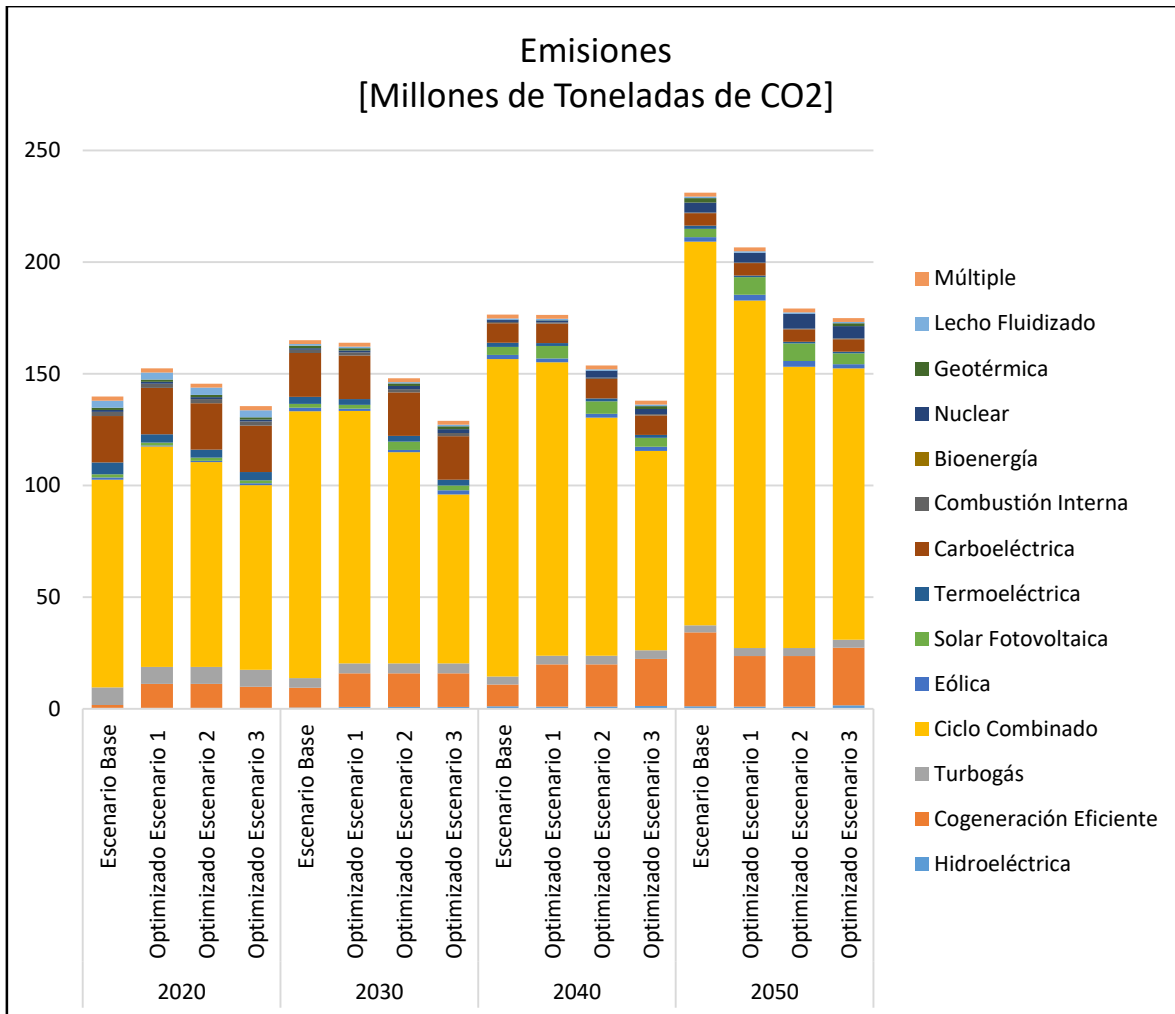
Figura 4.13 Porcentaje de participación de energía limpia y convencional en diferentes escenarios.

4.2.6 Emisiones

Como era de esperarse, si el porcentaje de energías convencionales es menor, la reducción de emisiones se ve incrementada de forma directa.

En la Figura 4.14. se observa un decremento de emisiones gracias a la significativa participación de energías limpias. Se observa una disminución de emisiones en el ciclo combinado, carboeléctrica, etc., y en comparación con el escenario base cualquiera de los otros escenarios puede ser viable puesto que la cantidad de toneladas de CO₂ es menor a lo que se tiene planeado actualmente.

Para el caso de la bioenergía, en este apartado se vuelve uno de los puntos más importantes debido a la cantidad de emisiones al ambiente que se evitan.



Fuente: SIMISE SIMPLEX Elaboración propia.

Figura 4.14 Cantidad de emisiones anuales (millones toneladas de CO₂) en diferentes escenarios.

5 CAPÍTULO 5: Alternativas y propuestas

En el este capítulo se muestran las alternativas y propuestas que se tienen para complementar el estudio realizado del comportamiento e introducción de la biomasa en el sistema energético en México, enfocado específicamente para la generación de electricidad.

Se presenta una propuesta a partir de los potenciales de biomasa, la cantidad de energía que se puede producir y el gas natural que se puede reemplazar exclusivamente en una región determinada y por tipo de biomasa. Para el ejercicio por región se eligió una comparación entre los RU puesto que fue el tipo de planta que se utilizó para hacer los escenarios en el programa SIMISE-SIMPLEX, y los residuos de tala sustentable y bosques ya que son los que tienen un mayor potencial en el país.

5.1 ALTERNATIVAS Y PROPUESTAS PARA INTRODUCIR LA BIOENERGÍA EN MÉXICO

De acuerdo a los resultados que se mostraron en el capítulo anterior, podemos tener una idea más clara de cómo podría participar la bioenergía en la generación eléctrica en México, considerando solamente la producción de electricidad exclusivamente con biogás, obtenido con un biodigestor que procesa RU para una planta de bioenergía.

Sin embargo, existen otros tipos de biomasa que también podrían aportar una cantidad de energía y para ello se necesita elegir la metodología adecuada, el sitio dónde se desea colocar y con diseño de planta dependiendo de la biomasa disponible en cada región.

Lo anterior no se puede determinar usando el optimizador SIMISE-SIMPLEX debido a que no se pueden representar las diferentes regiones. En este optimizador todo el sistema eléctrico nacional se engloba como si fuera una sola región y al trabajar con biomasa resulta complicado generalizar una planta debido a que dependiendo del tipo de biomasa que se utilice, será la calidad del combustible; entonces se necesita un estudio más profundo en donde se determinen:

- En qué regiones es conveniente colocar plantas de bioenergía, identificando cuál es el potencial que existe de cada tipo de materia prima.
- Realizar estudios muy detallados de diferentes tipos de biomasa para aprovechar el potencial de todos.

- Utilizar la versión avanzada de SIMISE con representación de la demanda y oferta por regiones y con intercambio de energía entre regiones (programa que el equipo está desarrollando).
- Analizar y elaborar un catálogo de plantas (ingenios azucareros) que puedan ser utilizadas para cogeneración.
- Dar la oportunidad de colocar digestores y gasificadores para que sus productos sean utilizados en plantas de Cco o de forma independiente en comunidades en donde no es posible acceder.
- Invertir en sistemas sociales que nos obligue a tener una mejor conciencia en el tema de reciclaje, tala indebida, manejo de ganado, etc.
- Buscar a la biomasa como alternativa para los todos los sectores de consumo y así tener un mejor aprovechamiento de la infinidad de recursos que existen.

5.2 LA BIOENERGÍA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL GAS NATURAL

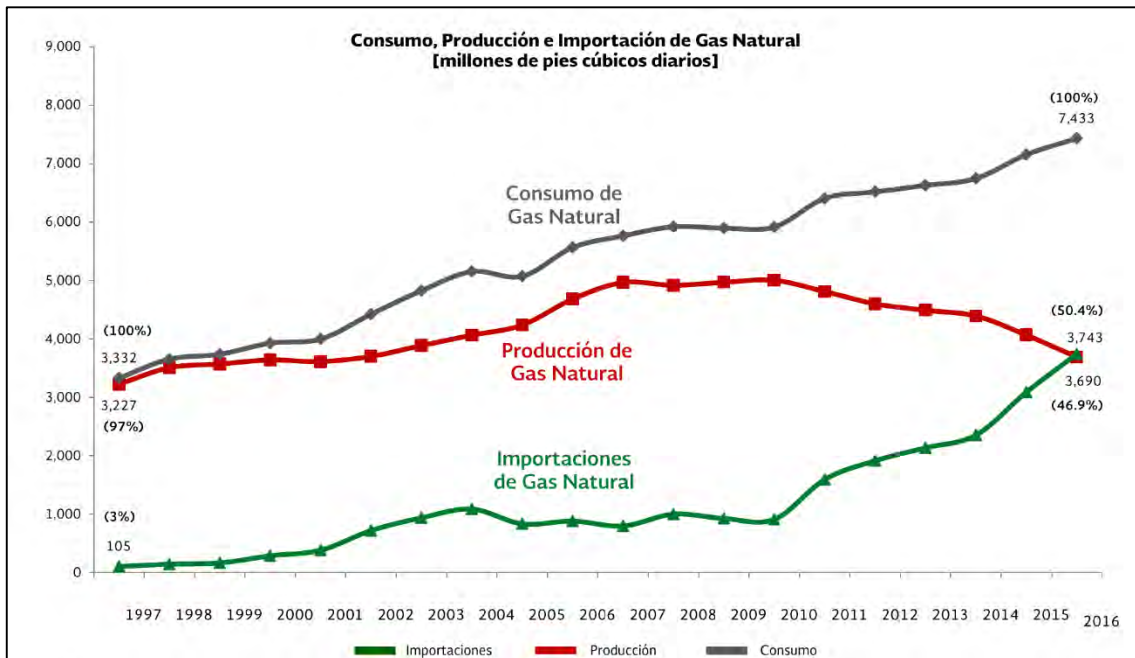
Hoy en día, con los cambios que existen en los países vecinos (cambios de administraciones, etc.) es indispensable analizar todas las alternativas en caso de posibles aumentos del precio del gas natural, uno de los recursos que se utiliza más en el país.

Como vimos en el capítulo anterior, el caso 3 (con aumento del 50% del precio de gas natural) se figuró por tener mejor diversificación al no depender tanto de un combustible y eso debería de tenerse en cuenta.

Actualmente, el consumo de gas natural ha aumentado aproximadamente un 50.35% con respecto a la producción que se tiene en México ([SENERi, 2016](#)) por lo tanto se necesita importar un 49.64% para cubrir con el total requerido (Figura 5.1).

El gas natural cuenta con redes e infraestructuras complejas que se distribuyen en todo el territorio nacional, la mayor parte de la producción es en el Pacífico, sin embargo, de acuerdo al informe anual 2015 de la CFE, existen proyectos de transporte de gas natural en desarrollo.

Si se sigue por ese camino, donde se le da demasiado peso al gas natural, va a llegar un momento en el que las importaciones rebasen la producción y ya no sería viable tener activas demasiadas las plantas que operen con este combustible.



Fuente: Sistema de Información energética, Base de datos institucional de PEMEX 2016.

Figura 5.1 Consumo, producción e importación del Gas Natural.

Hay que tener claro que, si existe algún inconveniente en los próximos años con las importaciones de combustible, las tecnologías que lo pueden sustituir son diversas, pero se deben cuantificar los alcances de participación de cada una de ellas.

Para este estudio, la alternativa principal fue presentar en forma global la cantidad de gas natural que se puede reemplazar utilizando la biomasa sólo para la generación de electricidad.

Como se mencionó en diferentes apartados del documento, la biomasa puede estar presente en diferentes sectores de consumo. El país tiene la ventaja de tener una cantidad generosa de diversos tipos de biomasa.

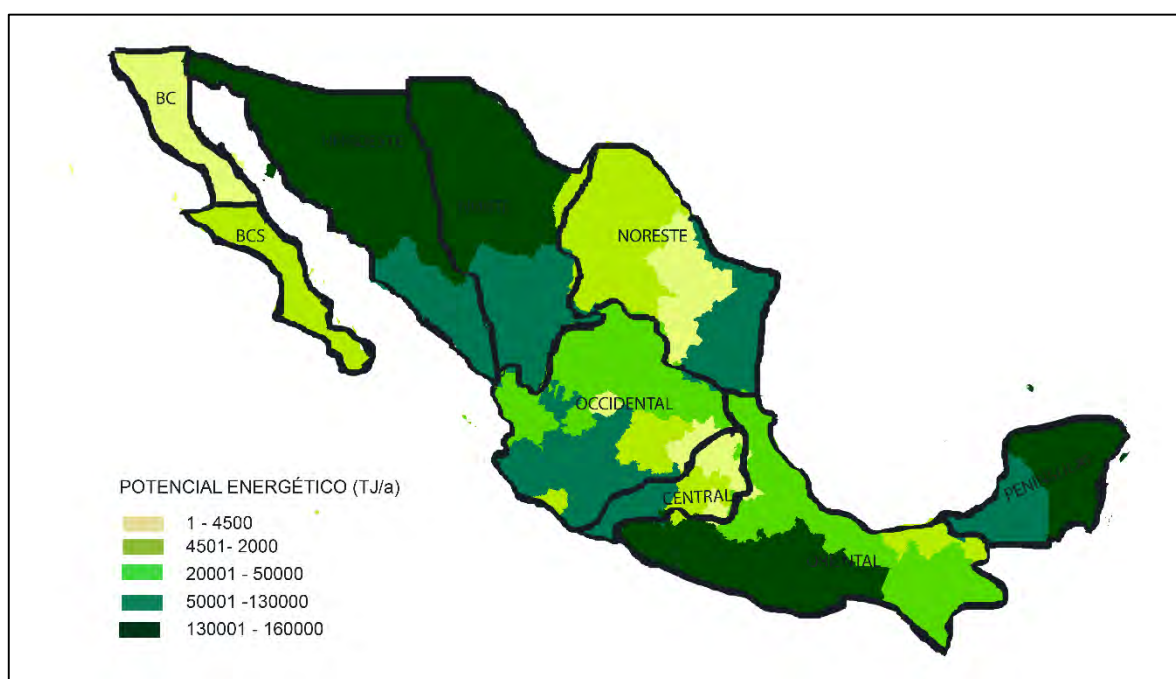
En México, el beneficio de ese recurso hasta ahora ha sido muy bajo, puesto que la tecnología a pesar de que existen muchos estudios de equipos y extracción de potencial de cada tipo de materia prima no ha sido aprovechada.

De toda la clasificación que se tiene de la biomasa en México, y con enfoque exclusivamente en la que puede ser útil para el sector eléctrico, a consideración propia resaltan las que por medio de gasificadores producen gas de síntesis utilizando residuos agro-forestales, teniendo el beneficio de que puede producir

energía térmica y aprovecharla para otros procesos (SynGas, 2016) o digestores que produzcan biogás a partir de residuos orgánicos o RU.

Algo importante de la bioenergía, es que resulta más económico instalar plantas cerca del lugar donde se extrae la materia prima, para economizar en gastos de transporte. De todos los mapas presentados en el capítulo 2, se eligieron los más aptos para este sector de acuerdo a su potencial.

En la Figura 5.2 se observa un gráfico que corresponde al potencial de tala sustentable que corresponde en su mayor parte a bosque nativo y residuo de árboles de eucalipto²⁴. El mapa se presenta dividido en las 9 regiones de control en la cual, se puede deducir que, en las regiones noroeste, norte, oriental y peninsular existe una mayor cantidad de materia prima de este tipo.



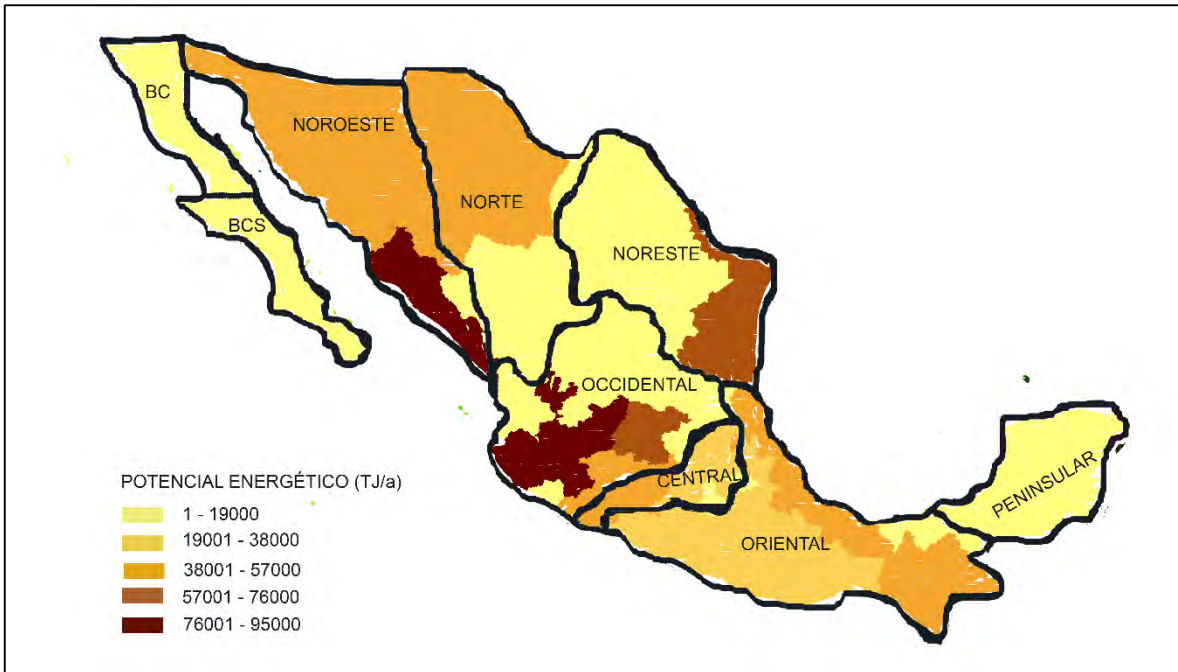
Fuente: Elaboración Propia (modificación de mapas). Datos obtenidos de INERE.

Figura 5.2 Potencial energético de la Biomasa tala sustentable dividida por regiones.

²⁴ Metadatos. Mapa de tala sustentable.

https://dgel.energia.gob.mx/documentos/METADATOS/Biomasa/Tala_Sustentable.htm

De la misma manera se muestra el potencial de los residuos forestales y agrícola donde se incluye el aserrío²⁵ (Figura 5.3) por regiones, Se observa que esa materia prima abunda en la regiones occidental y noroeste.



Fuente: Elaboración Propia (modificación de mapas). Datos obtenidos de INERE.

Figura 5.3 Potencial energético de la Biomasa Residuos Agro-forestales dividida por regiones.

En la Figura 5.4 se observa el potencial de RU, presentado de la misma manera que los dos anteriores. Considerando la biomasa procedente de actividades urbanas cotidianas, plantas de tratamiento de aguas residuales y los RSU que son potenciales aptos en cuanto a contenido de materia orgánica²⁶.

El potencial energético que se muestra en los mapas de biomasa corresponde a un potencial térmico, el cual se calcula de forma general de la siguiente forma²⁷:

$$PE = \frac{(M_{res})(PCI)}{\rho} \dots (5.1)$$

²⁵ Metadatos. Mapa de residuos forestales.

https://dgel.energia.gob.mx/documentos/METADATOS/Biomasa/Residuos_Agricolas.htm

²⁶ Metadatos mapas de Biomasa. Residuos Urbanos.

https://dgel.energia.gob.mx/documentos/METADATOS/Biomasa/Residuos_Urbanos.htm

²⁷ Cálculo general de potencial de biomasa. <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>

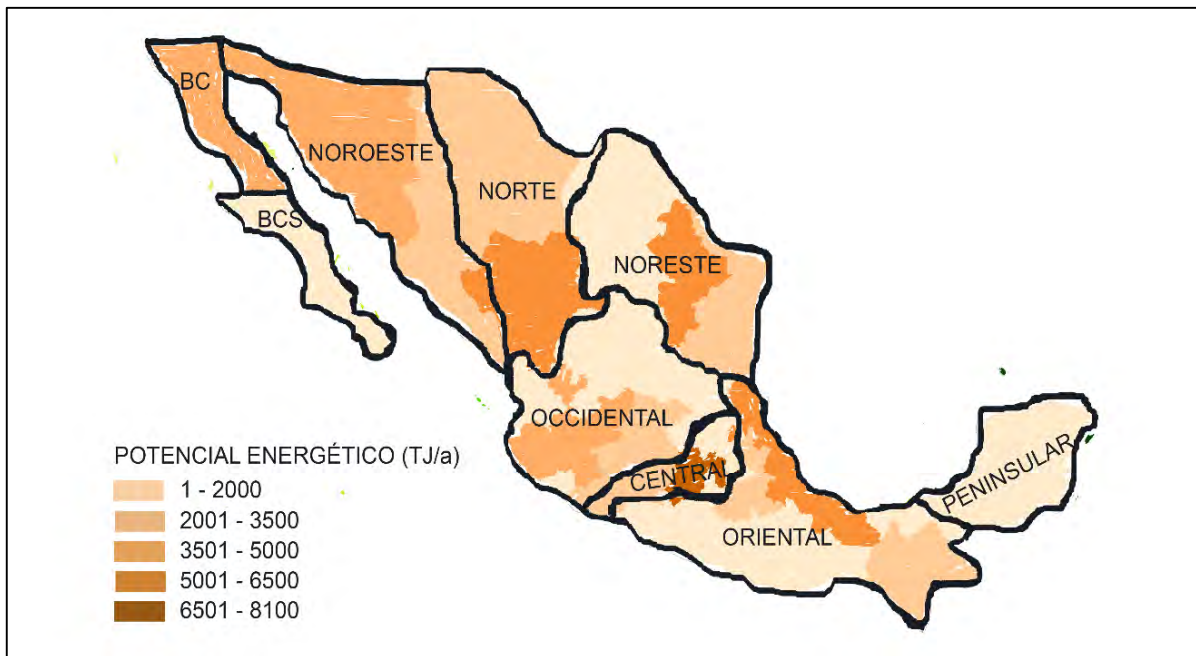
Donde,

$$PE = \text{Potencial energético} \left(\frac{MJ}{a} \right)$$

$$M_{res} = \text{Masa en base seca generada anualmente} \left(\frac{t}{a} \right)$$

$$PCI = \text{Poder calorífico inferior} \left(\frac{MJ}{m^3} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad absoluta de la biomasa} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$



Fuente: Elaboración Propia (modificación de mapas). Datos obtenidos de INERE.

Figura 5.4 Potencial energético de la Biomasa RU dividida por regiones.

Los datos para calcular los potenciales varían, dependiendo del tipo de biomasa y en algunos casos los que realizaron ese estudio utilizaron ecuaciones más específicas. Por lo tanto, para realizar cálculos a conversión eléctrica se deberán de tomar en cuenta las pérdidas por las eficiencias de los equipos que las convertirán a energía eléctrica.

5.2.1 Planteamiento del problema y metodología

Optando como materia prima principal a los tipos de biomasa antes mencionados, se realizará el ejercicio de elegir la región noroeste para calcular la cantidad de energía que se puede generar, tomando en cuenta que es una zona donde la biomasa abunda y si el GN escaseara, determinar qué cantidad se podría aportar

de bioenergía para esa región si se utilizara el producto en plantas de Cco, si todo el potencial se maneja para generación de electricidad.

Tener en cuenta que no es el mismo potencial calculado en el capítulo 2, ya que en ese caso se tomó un potencial a partir de plantas y proyectos que ya estaban probadas y en otro caso que eran posibles. Éste es el potencial total de biomasa que hay en México.

Los tipos de biomasa se eligieron de esa forma, para no entrar en conflicto con los tipos de biomasa que son de carácter alimenticio. Entonces se puede asegurar que la materia prima se puede utilizar para fines energéticos.

Al trabajar por regiones se vuelve complicado en cuestión de establecer un dato del total del potencial en una sola región, la delimitación de las regiones no coincide con los límites de los estados.

Cabe destacar que si se quiere conocer un aproximado del gas natural que se puede sustituir de todo el país se debe recrear este mismo ejercicio por región.

La metodología que se aplicó fue la siguiente:

- ❖ Se analizó la cantidad de potencial energético que existe en la región noroeste de biomasa forestal, agrícola y RU. Se estimaron valores mínimos y máximos del potencial, obteniendo un promedio aritmético en los casos donde una región tiene más de dos potenciales.
- ❖ Se supone que en el proceso de conversión de la biomasa existe una eficiencia del 60% para todos los casos y se le nombra como potencial aprovechable a partir de biomasa generada en gas o biogás.
- ❖ Para poder obtener el reemplazo de gas natural que se obtendría si se utiliza biomasa, primero se calcula la cantidad de GN aproximada que utiliza una planta de Cco donde las características que se proponen son las siguientes:
 - Capacidad neta de 110 MW.
 - Régimen térmico 7157 MJ/MWh.
 - Poder calorífico superior del GN en un rango de 36.81 - 42.67 MJ/m³.
 - Consumo de combustible de GN de 194.38 – 167.70 m³/MWh.

Con esos datos se puede calcular la generación anual con GN, y la cantidad de metros cúbicos que se necesitan de combustible para generar esa electricidad.

- Generación con GN 776,486 MWh/a.
- Cantidad de combustible que utiliza la planta 130, 218,600 m³/a.

- Costo nivelado por concepto de combustible 32.48 \$/MWh, donde el precio del GN se consideró como 4.64 \$/MBTU.

Ahora teniendo en cuenta la cantidad de gas natural que se necesita anualmente para abastecer a una planta de ciclo combinado se realizan los cálculos con las biomásas seleccionadas.

❖ Cálculo la generación promedio de la región noroeste

$$\begin{aligned}
 & GEN \text{ bio} \\
 &= \left(PotAbio \left[\frac{TJ}{a} \right] \right) \left(\frac{1}{Pc \text{ bio}} \left[\frac{m^3 \text{ bio}}{MJ} \right] \right) \left(10^6 \left[\frac{MJ}{TJ} \right] \right) \left(\frac{1}{CoComb \text{ GN}} \left[\frac{MWh}{m^3 \text{ GN}} \right] \right) \left(\frac{1}{Eq} \left[\frac{m^3 \text{ GN}}{m^3 \text{ bio}} \right] \right) \dots (5.2)
 \end{aligned}$$

Donde,

GEN bio = Generación promedio biomasa
PotAbio = Potencial aprovechable gas/biogás
Pc bio = Poder calorífico superior de la biomasa gas/biogás
CoComb GN = Consumo de combustible del GN
Eq = Equivalencia energética entre el gas natural/biomasa

Con esta ecuación se realiza una conversión del potencial aprovechable en donde ya se tiene contemplada la eficiencia (60%) del equipo que convierte la energía térmica primaria en una energía que se puede aprovechar para generación eléctrica.

Pero como se propone utilizar en plantas que utilizan gas natural como combustible principal se tiene que realizar una equivalencia energética ya que la cantidad de calor que desprende el GN para que se produzca potencia en el Cco no se puede comparar con lo que se obtiene de biogás o gas. Por ese motivo con ayuda de sus poderes caloríficos se realiza una relación entre ambos para conocer la cantidad de volumen que se necesita de biomasa para igualar al GN.

En la siguiente Tabla 5.1, se muestra el cálculo de equivalencia tanto para el gas como para el biogás, estos resultados pueden variar dependiendo del tipo de biomasa. Para este estudio se utiliza el dato que tiene una menor diferencia en la equivalencia (resaltado en negritas) ya que, si no resulta un estudio viable con ese valor, el mayor tendría menos oportunidades.

Con esos resultados nos damos cuenta que se necesita casi el doble de biogás por cada m³ de gas natural que se utiliza en una planta, y más de siete veces cuando se trata de gas de síntesis, teniendo un aproximado, puesto que el valor dependerá de las condiciones en las que se encuentre la biomasa, como su porcentaje de humedad, el tipo de biomasa etc.

Tabla 5.1 Equivalencia entre el GN y la biomasa.

Tipo de combustible	PC ²⁸ MJ/m ³		Equivalencia		
	Gas natural	36.8192	42.6768	Eq= $\frac{PC_{GN}}{PC_{Bio}} \dots (5.3)$	
Gas síntesis bio	3.9748	5.6484	9.263157895		7.55555556
Biogás	18.828	23.4304	1.955555556		1.82142857

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo todos estos datos, se puede calcular mediante a la fórmula (5.2) la GEN bio, es decir, la cantidad de bioenergía que se puede generar en promedio para la región noroeste en MWh/a equiparando la cantidad de combustible que necesita una planta de ciclo combinado.

- ❖ Número de plantas de Cco que se pueden abastecer: conociendo la cantidad que genera una planta con las características mostradas anteriormente haciendo una relación entre los MWh/a generados entre ambas.
- ❖ La cantidad de combustible que reemplaza: Obteniendo el dato con el consumo de combustible de la planta.

De acuerdo a la metodología mencionada, se presentan los resultados que corresponden a la generación de electricidad con biomasa y la cantidad de gas natural que podría reemplazar si se utilizara en plantas de Cco (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Resultados de utilizar biomasa para generación de electricidad Región noroeste.

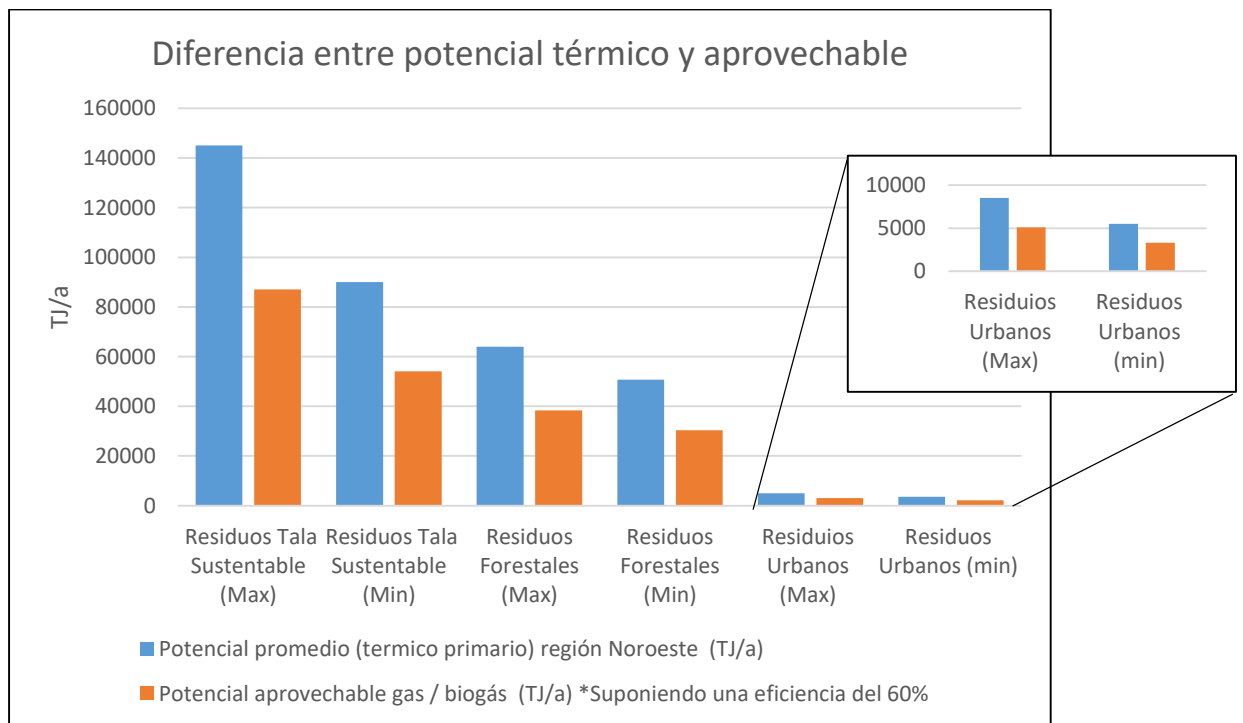
Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Noroeste (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Noroeste Biomasa (MWh/a)	Número de plantas de Cco (110MW) abastecidas por biomas	m ³ de GN que se reemplaza
Residuos Tala Sustentable (Max)	145,000	87,000	12,155,931	16	2,038,578,338

²⁸ Datos de poder calorífico superior para el gas de síntesis obtenidos experimentalmente por la planta en centro demostrativo GREEN TO ENENERGY UNAM. Para el caso de biogás y gas natural de: http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_biogas.html

Residuos Tala Sustentable (Min)	90,001	54,001	7,545,145	10	1,265,338,545
Residuos Forestales (Max)	64,000	38,400	5,365,377	7	899,786,301
Residuos Forestales (Min)	50,669	30,401	4,247,785	5	712,363,626
Residuos Urbanos (Max)	5,000	3,000	419,170	1	70,295,805
Residuos Urbanos (min)	3,501	2,101	293,503	0	49,221,122

Fuente: Elaboración Propia.

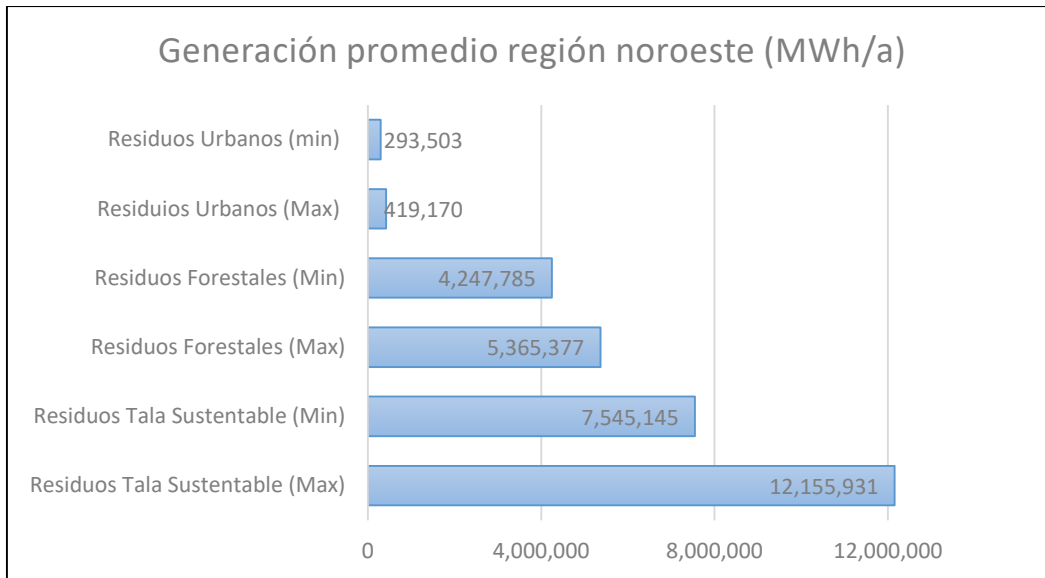
Existe una diferencia significativa, entre la cantidad de potencial térmico y el aprovechable (Figura 5.5) y para mejorar la conversión, se debe elegir un equipo que tenga la mayor eficiencia posible (estudio que se pretende realizar para trabajos posteriores).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5 Diferencia entre potencial térmico y potencial aprovechable.

En el caso de la generación eléctrica que puede abastecer la biomasa, se observa que se puede generar una cantidad grande cuando se trata de residuos de tala sustentable y en menor cantidad, pero no despreciable cuando se trata de residuos urbanos (Figura 5.6).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6 Generación eléctrica promedio región noroeste de biomasa (MWh/a).

Con esas cantidades generadas se podrían aprovechar hasta 15 plantas de Cco con residuos de tala sustentable, hasta siete plantas con residuos forestales y hasta una planta con residuos urbanos, todas estas con las características antes mencionadas.

Llevando esta propuesta a costos, se calculó la cantidad que se puede ahorrar sólo por concepto de combustible utilizando, para la biomasa y para el GN sus costos nivelados por concepto de combustible aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Costo\ bio = \left(Generación\ bio \left[\frac{MWh}{a} \right] \right) \left(Costo\ comb.\ nivelado\ biomasa \left[\frac{\$}{MWh} \right] \right) \dots (5.4)$$

$$\begin{aligned} &Costo\ GN \\ &= \left(Generación\ GN \left[\frac{MWh}{a} \right] \right) \left(costo\ comb.\ nivelado\ GN \left[\frac{\$}{MWh} \right] \right) (\#Plantas) \dots (5.5) \end{aligned}$$

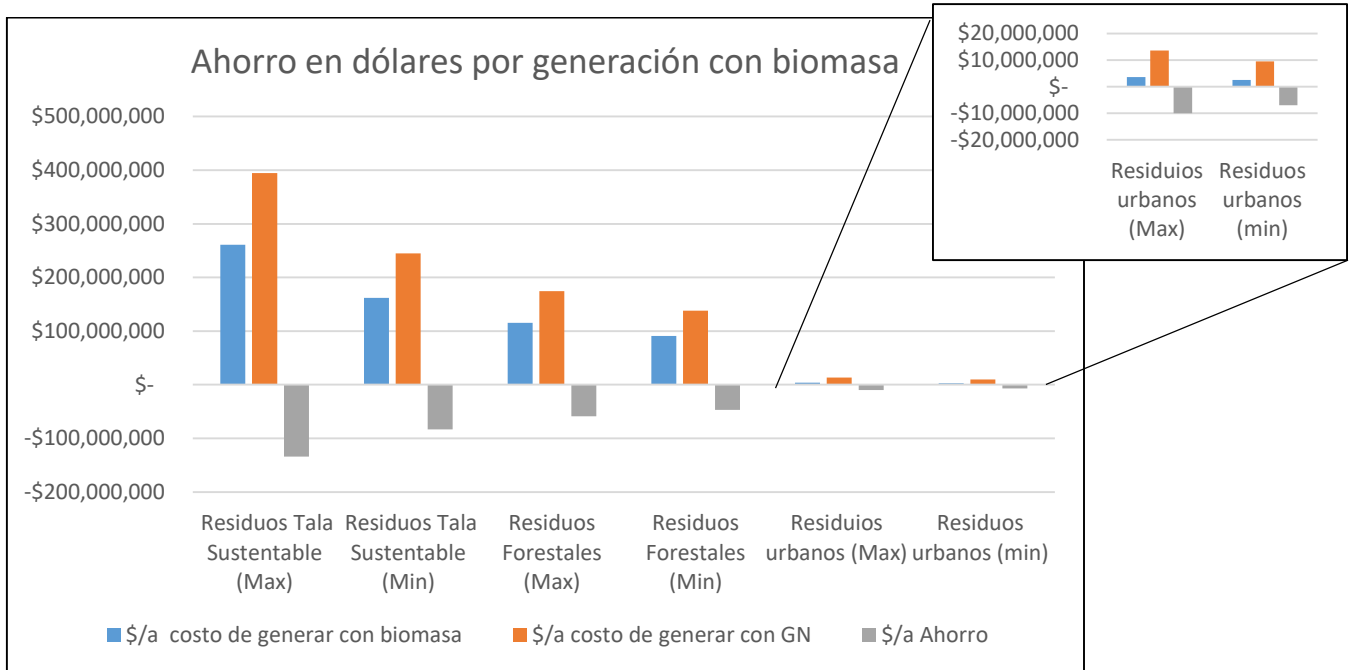
En el caso de la ecuación 5.5, se multiplica ese costo por el número de plantas que se podrían sustituir con biomasa, para igualar la cantidad de MWh/a generadas con ambos combustibles. Por lo tanto, los costos se presentan en la siguiente tabla (Tabla 5.3):

Tabla 5.3 Costo anual en dólares de generación con biomasa por concepto de combustible.

Tipo de Biomasa	\$/a Costo de generar con biomasa	\$/a Costo de generar con GN
Residuos Tala Sustentable (Max)	\$ 261,000,000	\$ 394,824,647
Residuos Tala Sustentable (Min)	\$ 162,001,800	\$ 245,066,297
Residuos Forestales (Max)	\$ 115,200,000	\$ 174,267,430
Residuos Forestales (Min)	\$ 91,204,200	\$ 137,968,069
Residuos Urbanos (Max)	\$ 3,600,000	\$ 13,614,643
Residuos Urbanos (min)	\$ 2,520,720	\$ 9,532,973

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 5.7 de acuerdo a los costos de generar con biomasa y con gas natural se observa un ahorro sustancial, lo cual es un buen indicio para continuar con estudios más específicos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.7 Ahorro en dólares de generar energía con biomasa.

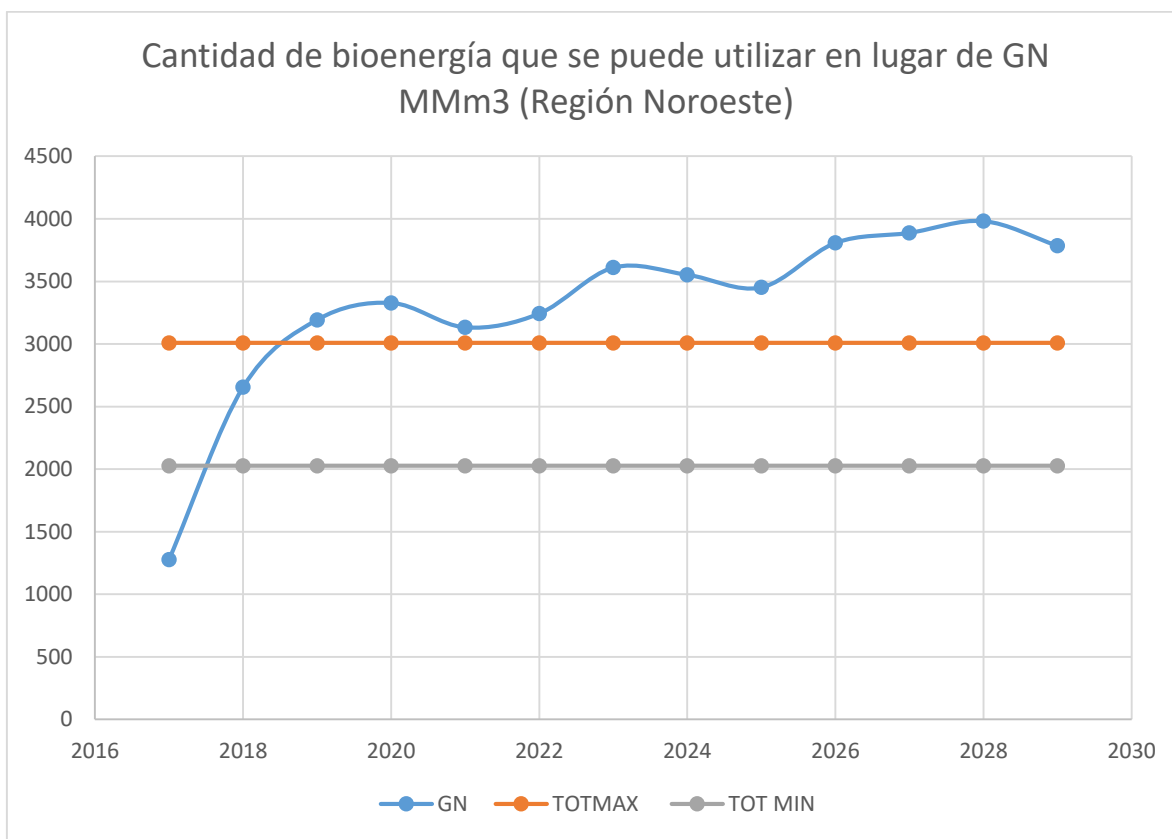
El ahorro es más notorio si se produce la electricidad con residuos de tala sustentable y con forestales. Sin embargo, para el caso de los RU, aunque no se observe una cantidad grande, el ahorro es menor de 10 millones de dólares anuales, entonces con esto se puede concluir que el costo de GN sí influye de manera contundente, entonces si este precio se vuelve vulnerable en unos años por falta del recurso, la biomasa podría ser parte de la solución.

Cabe destacar que esta propuesta es para ahorrarse la construcción de plantas de bioenergía, sin embargo, todavía se necesitan analizar diferentes aspectos que pueden determinar si sería una opción asequible. Estos aspectos podrían incluir: costos de construcción de plantas específicas para la conversión de la materia prima a gas de síntesis/biogás, costos de operación y mantenimiento, las ventajas de conservar los bosques y campos agrícolas en un estado menos vulnerable a incendios forestales, generación de empleos.

Para verificar lo dicho anteriormente con más precisión, se procede a realizar un análisis para conocer, de acuerdo al comportamiento de la región Noroeste y con datos del PRODESEN 2015 la cantidad que se utiliza de gas natural y si se utilizara esta generación de biomasa para cuántos años alcanzaría.

- Se consideraron todas las plantas en operación y las que se encuentran en el programa indicativo.
- Se obtuvieron datos anuales de la generación que producían las plantas que utilizan GN a partir del año 2017-2029.
- Se utilizó un poder calorífico del gas natural propuesto por el COPAR 2015 de 0.01024106 MWh/m³.
- Los resultados del consumo en m³ de gas natural se presentan en MMm³ anuales.
- La biomasa se equiparó con el gas natural utilizando la misma metodología presentada en la ecuación 5.3 de este capítulo.
- Se hizo la propuesta de que el total de potencial que se puede obtener de todos los residuos de biomasa (tala sustentable, forestales y RU) sea constante todos los años, y a partir de ahí, conocer hasta qué año podría sustituir la mayor cantidad de GN.
- Se hace la separación de la cantidad máxima que se puede obtener de biomasa y la cantidad mínima, para hacer una comparación entre ambos.

De acuerdo a todos los supuestos que se presentaron anteriormente, se presentan los resultados en MMm³ (Figura 5.8).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.8 Cantidad de bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN.

En la línea azul se tiene la evolución de consumo de GN en MMm³ basada en la planeación del PRODESEN 2015 obtenida con la metodología descrita anteriormente.

Haciendo una comparación con la cantidad de biomasa máxima y mínima que se puede generar en esa misma región. En los dos casos tomando en cuenta la incertidumbre, no se podría cubrir más de 2 años, teniendo una cantidad pequeña de excedentes. Después del 2018 se necesita más del 50% para el caso del mínimo (línea gris) y hasta de un 20% (línea naranja) de gas natural para cubrir la producción total.

La región noroeste cuenta con un potencial grande de biomasa, sin embargo, se debe tener en cuenta que cada una de las regiones es diferente y el potencial cambia. Por ejemplo, la región de Baja California y Baja California sur, tienen un potencial muy bajo de los tipos de biomasa con los que se ha trabajado, entonces al realizar los cálculos se obtienen resultados pocos favorecidos con la cantidad de

GN que se utiliza en esa región. En esos casos esa biomasa se puede aprovechar para otros sectores de consumo, en lugar de equiparlo con el gas natural.

Como caso opuesto es la región peninsular, en donde la producción de electricidad con GN es muy escasa, pero se tiene un potencial grande de biomasa, entonces en esos casos si se podría pensar en hacer una sustitución del gas natural por biomasa.

Para poder revisar mejor estos datos, en los anexos se podrán encontrar los resultados para todas las regiones faltantes, tomando en cuenta que se siguió la misma metodología.

Los resultados presentados, aún necesitan ser afinados para que su tratamiento sea cada vez más acertado, además que se tienen que ir actualizando de acuerdo a las nuevas investigaciones que vayan surgiendo con el paso del tiempo, pero se puede tener una primera aproximación para estudios posteriores.

A pesar de ser un escenario muy optimista, es bueno conocer lo que se podría generar de todo ese contenido que se tiene sin procesar, además, que se necesitan buscar todas las alternativas posibles para que se cuente con la seguridad energética que el país exige y que el aporte de biomasa vaya creciendo conforme avanzan los años ya que todos los residuos que se generan pueden ser utilizados para fines energéticos.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

De acuerdo a la investigación realizada se puede decir lo siguiente:

- La biomasa es una materia prima con mucha diversidad y se tienen que realizar investigaciones particulares de su aprovechamiento dependiendo del tipo de biomasa que se quiera utilizar.
- México es un país que cuenta con un buen potencial de recursos de biomasa, sin embargo, faltan políticas más específicas del uso de la biomasa para que sean aprovechadas al 100%.
- De acuerdo con los resultados en el SIMISE, si se utiliza la biomasa con los equipos adecuados, se podría llegar a alcanzar a tener una participación máxima del 5% del total de energía eléctrica en el año 2050. Siendo ésta una participación significativa y esperando que en 33 años la tecnología sea mejor y participe en una cantidad mayor.
- Desarrollar programas de planeación energética con modelos de optimización integral de generación y transmisión regional que tomen en cuenta variaciones de demanda y oferta horarias, para que los escenarios sean más fieles a la realidad.
- Al elegir una mezcla de tecnologías se tenga en cuenta el objetivo de reducir emisiones y contaminar menos. Dentro de estos parámetros la biomasa puede formar parte del cambio.
- Considerar los tipos de biomasa provenientes de los residuos de la tala sustentable y agrícolas-forestales como materia prima principal para la generación de electricidad por medio de gas de síntesis y no sólo como combustión, ya que con este método se contamina menos y uno de los residuos principales es el bio-carbón que ayuda a mitigar impactos en el medio ambiente, ya que puede tener un buen uso para nutrir la tierra de los suelos que han sufrido de agotamiento de minerales.

- Tecnologías con base en bioenergía pueden instalarse en lugares lejanos en donde no se cuenta con electricidad, además que se ayuda también a realizar cogeneración al utilizar el calor que desprenden los equipos para ser utilizados en calentamiento de agua etc.
- La cogeneración con biomasa en ingenios azucareros es una forma de utilizar sus residuos para la generación de calor. No obstante, deberían aplicar otros métodos para no contaminar ya que la quema de biomasa si no se realiza de la forma adecuada puede llegar a emitir una cantidad grande de CO₂ y otros contaminantes como las cenizas volátiles que se elevan como partículas sólidas suspendidas.
- Aprovechar la reforma energética para que la industria azucarera pueda no solo cogenerar con residuos para producción de calor, sino también para producir electricidad y poder vender excedentes al mercado eléctrico mayorista. Actualmente la empresa grupo PIASA está implementando esta tecnología, sin embargo, aún no son detallados las metodologías que están empleando, al parecer su método es por combustión y se les genera un problema con las cenizas que obtienen como producto de esa transformación de materia prima a energía.
- Lo importante al realizar estudios de la cantidad de gas natural que se puede sustituir es encontrar alternativas para que si existen inconvenientes geopolíticos se tenga una seguridad energética en el país bien cimentada, para que se pueda salir adelante con tecnologías limpias.
- A pesar de que el reemplazo de gas natural con bioenergía es optimista al tratar de utilizar todo el potencial que se tiene en el año, se puede demostrar que, si se le diera un buen tratamiento, el país se puede ver beneficiado, al tener controlado los residuos que generamos.
- Se realizó una base de datos en Excel donde se pueden actualizar los potenciales, de acuerdo a los estudios que se vayan realizando para México.

- En febrero de 2017 la SENER actualizó su información desarrollando una herramienta tecnológica que contiene información sobre los sitios que tienen un alto potencial en el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables en México, el cual lleva como nombre AZEL, reduciendo los potenciales utilizados en este trabajo, específicamente por municipios en donde sería factible colocar una planta de bioenergía. Por lo tanto, en trabajos posteriores se pretende trabajar con esos nuevos datos, para tener una mejor caracterización de la tecnología.
- Muchos países europeos tienen desarrollada la tecnología para procesar biomasa, con la cual aprovechan todo su potencial y en algunos casos específicos como Dinamarca, compran residuos de Canadá para continuar con la generación de electricidad, siguiendo su ejemplo, se podría llegar a alcanzar en un futuro los mismos estándares.
- Se tiene pensado seguir trabajando en este tema, realizando una interacción más cercana con instituciones gubernamentales como el INECC, SEMARTANT, CINAM, etc. para poder realizar una investigación más completa.
- En el caso de que el uso de la biomasa no sea viable para ser utilizada en las plantas que ocupan gas natural, es crucial no dejar de lado que la principal motivación para no abandonar a la biomasa es que nos ayuda a mitigar tanto problemas sociales como lo es la contaminación, así como se ayuda a generar más empleos en el país.

Bibliografía

ASEA. 2013. Agencia de Seguridad, Energía y Medio Ambiente. [En línea] 26 de julio de 2013. [Citado el: 4 de Diciembre de 2016.] <http://www.asea.gob.mx>.

Azuela, Elizondo y et Al. . 2013. World Bank. *The world bank*. [En línea] 28 de 05 de 2013. [Citado el: 15 de Junio de 2016.] <http://documents.worldbank.org/curated/en/603241469672143906/pdf/778890GTF0full0report.pdf>.

Castellanos , Pedro. 2008. *La biomasa como recurso energetico*. España : Universidad Salamanca, 2008.

COP 21. 2015. COP 21 Paris. [En línea] 15-16 de Noviembre de 2015. [Citado el: 17 de 08 de 2016.] <http://www.cop21paris.org>.

Damien, Alain. 2010. *La Biomasa: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. España : Mundi-Prensa Libros, 2010. 9788496709171.

G2E. 2015. g2e. [En línea] 11 de Mayo de 2015. [Citado el: 22 de Diciembre de 2016.] <http://www.g2e.mx/cont.php>.

IEA. 2016. *Mexico Energy Outlook*. Francia : OECD/IEA, 2016. pág. 125.

INECC. 17. gob.mx. [En línea] 2016 de Noviembre de 17. [Citado el: 10 de Enero de 2017.] <http://www.gob.mx/inecc/prensa/mexico-presento-en-la-cop-22-su-estrategia-de-cambio-climatico-al-2050>.

INERE. 2015. DGEL. *Inventario Nacional de Energías Renovables*. [En línea] 12 de Febrero de 2015. [Citado el: 2016 de Agosto de 15.] https://dgel.energia.gob.mx/documentos/metodologia_biomasa.pdf.

IRENA. 2014. *Renewable energy in manufacturing a technology roadmap for Remap 2030*. Brussels and New Delhi : Disclaimer, 2014. pág. 33.

Jaume, Pous y Jutglar, Lluís. 2004. *Energía Geotérmica*. España : Ceac, 2004. 8432910619.

Jutglar, Lluís. 2004. *Energía Solar*. Universitat de Barcelona : Ceac, 2004. 8432910635.

Martínez. 2010. Planeación Energética en México y Sus Futuros. [En línea] 1 de Octubre de 2010. [Citado el: 16 de Agosto de 2016.] <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art94/art94.pdf>. 1067-6079.

Martín-Serrado , Felipe y Rufo, Raúl . 2014. IngeLibre. *Funcionamiento de los frenos regenerativos* . [En línea] 25 de Marzo de 2014.

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/03/25/funcionamiento-de-los-frenos-regenerativos/>.

Masera. 2011. *La bionergía en México: Situación actual y perspectivas 2011*. México : CIFOR, 2011. pág. 42. En trámite .

OECD. 2016. OECD Data. [En línea] 3 de Febrero de 2016. [Citado el: 7 de Noviembre de 2016.] <https://data.oecd.org/mexico.htm#profile-energy>.

Ortega, Reyna. 2014. FORBES, México. [En línea] 14 de Octubre de 2014. [Citado el: 18 de Septiembre de 2016.] <http://www.forbes.com.mx/sector-energetico-donde-esta-la-oportunidad/#gs.pZRP1IE>.

PEMEX. 2015. PEMEX. [En línea] 1 de Enero de 2015. [Citado el: 15 de Marzo de 2016.] http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Reservas%20de%20hidrocarburos%20evaluaciones/150101_rh_00_vcr.pdf.

Peña. 2013. Ventajas y Desventajas del Uso de la Energía Nuclear. [En línea] 2013. [Citado el: 17 de Octubre de 2016.] <http://www.cie.unam.mx/~rbb/ERyS2013-1/nuclear/Maria-Fernanda-Pena-Rodriguez.pdf>. 2448-4938.

Portal, The Shift Project Data. 2013. tsp-data-portal. [En línea] 13 de Mayo de 2013. [Citado el: 6 de Junio de 2016.] <http://www.tsp-data-portal.org/Historical-Electricity-Generation-Statistics#tspQvChart>.

Roldan, José. 2013. *Energías Renovables: Lo que hay que saber*. España : Paraninfo, 2013. pág. 205. 978-84-283-3312-2.

Sanzs Osorio , José Francisco, y otros. 2008. *Energía Hidroelectrica*. Segunda. Universidad de Zaragoza : CIRCE, 2008. pág. 398. 978-84-16933-31-0.

Sawin, J. 2016. *Ren 21*. Francia : Werbeagentur GmbH, 2016. pág. 31, Informativo. 978-3-9818107-3-8.

SEGOBa. 2014. Orden Jurídico. *gob.* [En línea] 2014 de Noviembre de 2014. [Citado el: 24 de Septiembre de 2016.] <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo98009.html>.

SEGOBb. 2015. DOF. *gob.* [En línea] 25 de Diciembre de 2015. [Citado el: 23 de Mayo de 2016.] http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015.

SENER. 2013. PWC. [En línea] 4 de Junio de 2013. [Citado el: 23 de Abril de 2016.] <http://www.pwc.com/mx/es/industrias/infraestructura/archivo/2013-06-iniciativa-renovable-sener-cogeneracion.pdf>.

SENERa. 2015. *Reporte de avances de Energía Limpias 2015*. México : Secretaría de Energía, 2015.

SENERb. 2016. *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*. México : Secretaría de Energía, 2016.

SENERc. 2016. gob. [En línea] 11 de Marzo de 2016. [Citado el: 18 de Noviembre de 2016.] <http://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico>.

SENERd. 2015. *Prospectiva de Sector Eléctrico 2015-2029*. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética , Secretaría de Energía . México : Secretaría de Energía, 2015.

SENERe. 2015. SIE. *Sistema de información energética*. [En línea] 1 de Enero de 2015. [Citado el: 25 de Noviembre de 2016.] <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE0C01>.

SENERf. 2015. gob. [En línea] 15 de Marzo de 2015. [Citado el: 2 de Mayo de 2016.] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44353/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf.

SENERg. 2012. gob. [En línea] 26 de Julio de 2012. [Citado el: 17 de Octubre de 2016.] www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf.

SENERh. 2016. *PRODESEN 2016*. México : Secretaría de Energía, 2016.

SENERi. 2016. SECRETARIA DE ENERGÍA ACCIONES Y PROGRAMAS. [En línea] 20 de DIC de 2016. [Citado el: 29 de Agosto de 2016.] <http://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/plan-quinquenal-de-gas-natural-2015-2019>.

SynGas. 2016. SynGas Technology, LLC. [En línea] 22 de Diciembre de 2016. [Citado el: 5 de Enero de 2017.] <http://www.syngastechnology.com/index.html>.

Union, European. 2014. European Union. [En línea] 15 de Junio de 2014. [Citado el: 4 de Enero de 2017.] europa.eu.

Valdivia , Gerardo. 2014. Este país . [En línea] 10 de Octubre de 2014. [Citado el: 6 de Agosto de 2016.] http://archivo.estepais.com/inicio/historicos/133/10_Ensayo7_El%20sector%20energetico_Valdivia.pdf.

Villarrubia, López Miguel. 2012. *Ingeniería de la Energía Eolica*. Universidad de Barcelona : Marcombo, 2012. 978-607-707-402-1 .

Wood Markets. 2014. Wood Markets. [En línea] 13 de Febrero de 2014. [Citado el: 29 de Agosto de 2016.] <http://www.woodmarkets.com/wp-content/%C2%ADuploads/2014/02/WMM-Feb13.pdf>.

Anexo A: Resultados de potenciales por regiones de control

Se presentan los resultados de la metodología empleada por región de control mostrando los gráficos correspondientes al gas natural que se puede reemplazar, con respecto a la cantidad reportada de GN en el PRODESEN 2015. En este caso se presentan los datos abreviados de la siguiente forma:

A max Residuos Tala Sustentable (Max)	B max Residuos Forestales (Max)	C max Residuos Urbanos (Max)
A min Residuos Tala Sustentable (Min)	B min Residuos Forestales (Min)	C max Residuos Tala Urbanos (Max)

Región Baja California

Tabla A.1 Biomasa para generación de electricidad región BC.

Tipo biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región BC (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región BC Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	4,500	2,700	377,253	63,266,224
A min	1	1	84	14,059
B max	19,000	11,400	1,592,846	267,124,058
B min	1	1	84	14,059
C max	5,000	3,000	419,170	70,295,805
C min	3,501	2,101	293,503	49,221,122

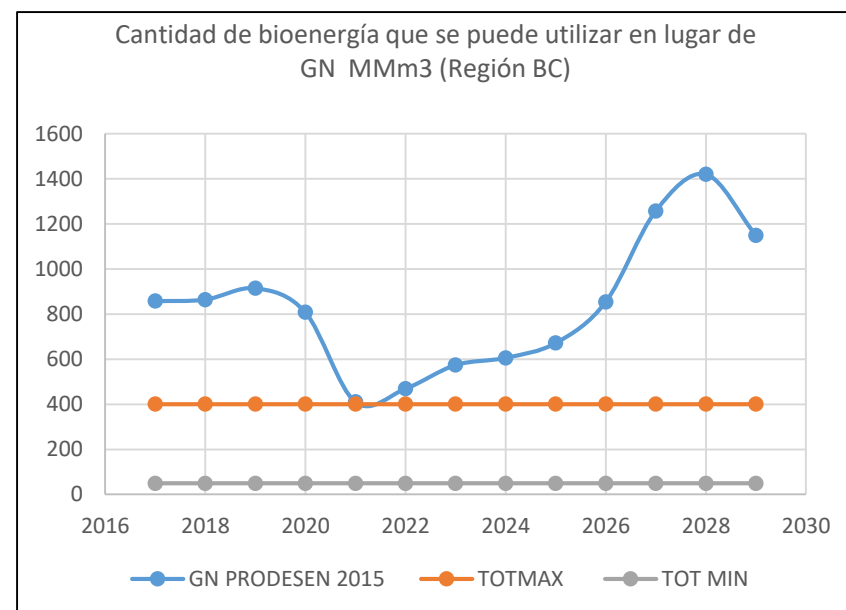


Figura A.1 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región BC.

Región Baja California Sur

Tabla A.2 Biomasa para generación de electricidad región BCS

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región BCS (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región BCS Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	20,000	12,000	1,676,680	281,183,219
A min	4,501	2,701	377,337	63,280,283
B max	19,000	11,400	1,592,846	267,124,058
B min	1	1	84	14,059
C max	100	60	8,383	1,405,916
C min	1	1	84	14,059

Región Norte

Tabla A.3 Biomasa para generación de electricidad región Norte.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Norte (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Norte Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	145,000	87,000	12,155,931	2,038,578,338
A min	90,001	54,001	7,545,145	1,265,338,545
B max	38,000	22,800	3,185,692	534,248,116
B min	28,501	17,101	2,389,353	400,700,146
C max	5,000	3,000	419,170	70,295,805
C min	3,501	2,101	293,503	49,221,122

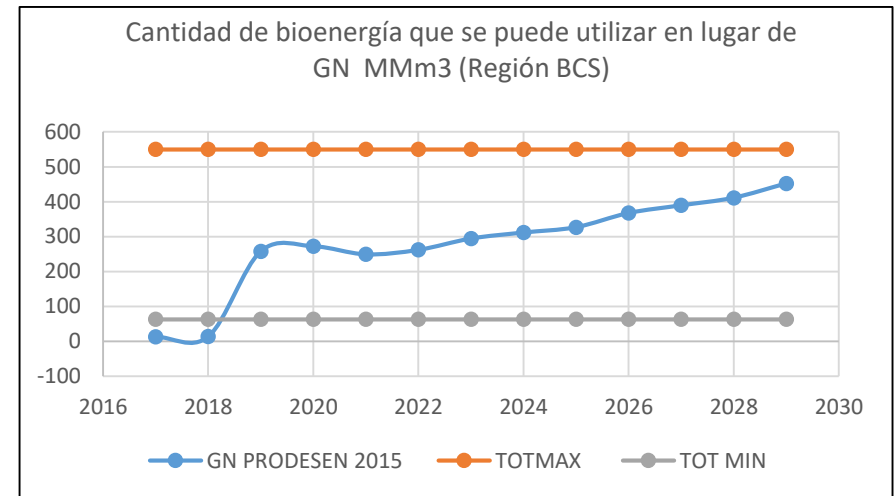


Figura A.2 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región BCS.

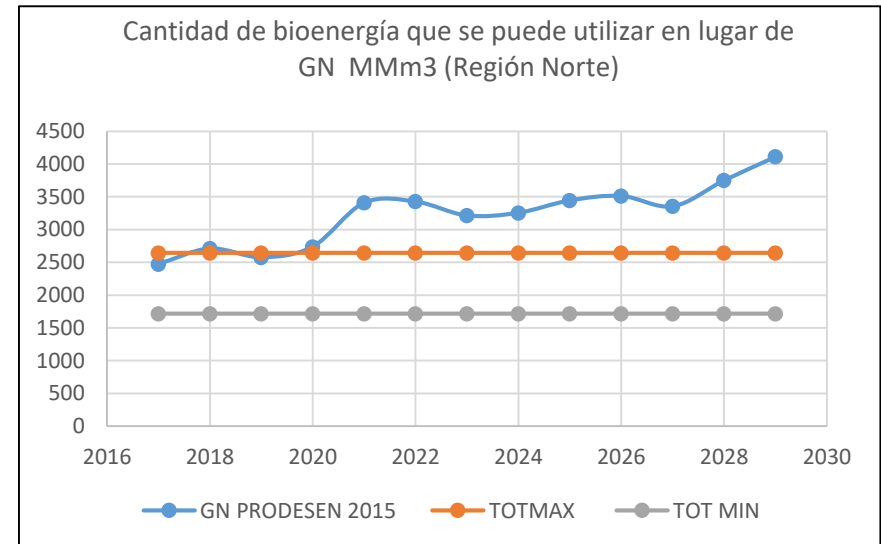


Figura A.3 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Norte.

Región Noreste

Tabla A.4 Biomasa para generación de electricidad región NorE.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Noreste (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Noreste Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	61,500	36,900	5,155,792	864,638,398
A min	23,334	14,001	1,956,211	328,061,148
B max	47,500	28,500	3,982,115	667,810,145
B min	28,501	17,101	2,389,353	400,700,146
C max	4,000	2,400	335,336	56,236,644
C min	2,334	1,401	195,697	32,818,768

Región Occidental

Tabla A.5 Biomasa para generación de electricidad región Occ.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Occidental (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Occidental Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	46,625	27,975	3,908,761	655,508,379
A min	18,626	11,176	1,561,492	261,865,932
B max	61,750	37,050	5,176,750	868,153,189
B min	42,751	25,651	3,583,988	601,043,190
C max	3,500	2,100	293,419	49,207,063
C min	1,834	1,101	153,780	25,789,188

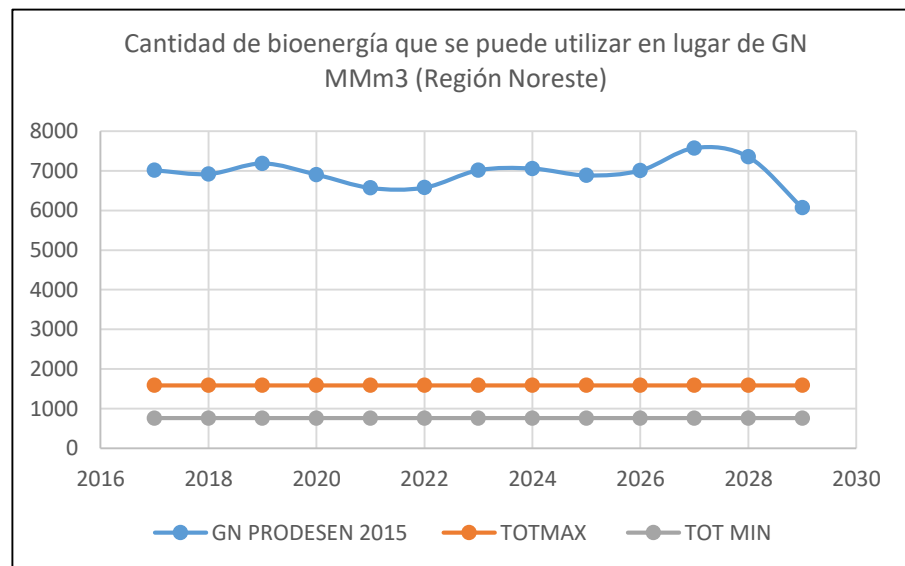


Figura A.4 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Noroeste.

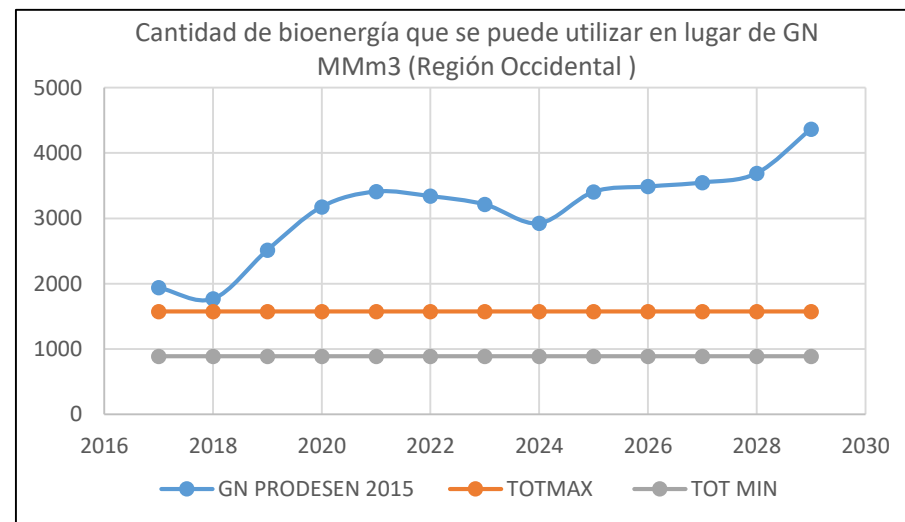


Figura A.5 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Occidental.

Región Central

Tabla A.6 Biomasa para generación de electricidad región Cen.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Central (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Central Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	51,500	30,900	4,317,451	724,046,789
A min	18,168	10,901	1,523,068	255,422,150
B max	31,667	19,000	2,654,744	445,206,763
B min	28,501	17,101	2,389,353	400,700,146
C max	5,033	3,020	421,965	70,764,443
C min	4,001	2,401	335,420	56,250,703

Región Oriental

Tabla A.7 Biomasa para gen. de electricidad región Orient.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Oriental (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Oriental Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	76,667	46,000	6,427,274	1,077,869,006
A min	51,501	30,901	4,317,535	724,060,848
B max	50,667	30,400	4,247,590	712,330,821
B min	38,001	22,801	3,185,776	534,262,175
C max	4,000	2,400	335,336	56,236,644
C min	2,334	1,401	195,697	32,818,768

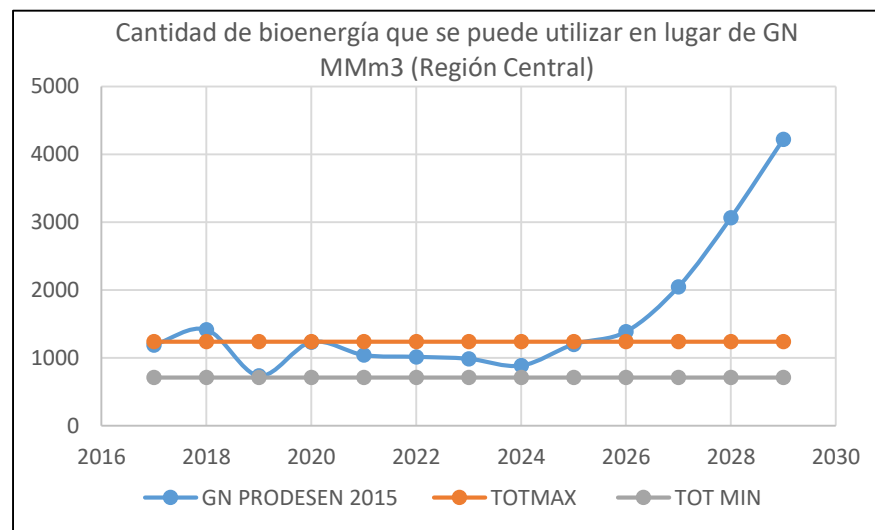


Figura A.6 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Central.

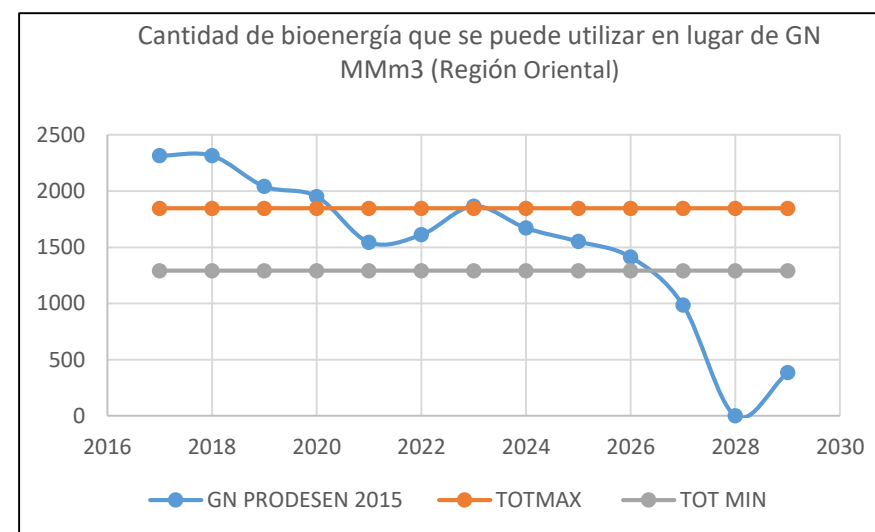


Figura A.7 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Oriental.

Región Peninsular

Tabla A.8 Biomasa para generación de electricidad región Plar.

Tipo de Biomasa	Potencial promedio (térmico primario) región Peninsular (TJ/a)	Potencial aprovechable gas / biogás (TJ/a) *Suponiendo una eficiencia del 60%	Generación promedio región Peninsular Biomasa (MWh/a)	m ³ de GN que se reemplaza
A max	145,000	87,000	12,155,931	2,038,578,338
A min	90,001	54,001	7,545,145	1,265,338,545
B max	19,000	11,400	1,592,846	267,124,058
B min	1	1	84	14,059
C max	2,000	1,200	167,668	28,118,322
C min	1	1	84	14,059

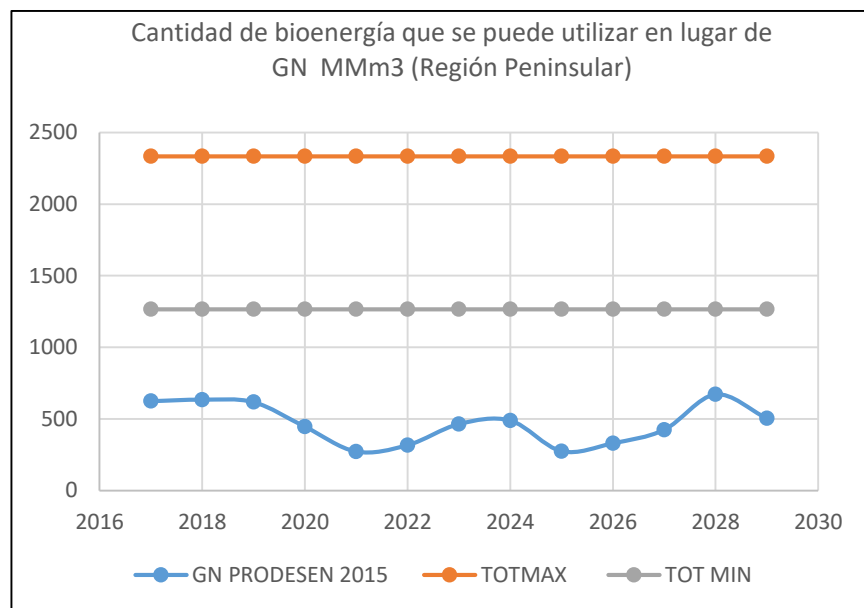


Figura A.8 Bioenergía que se puede utilizar en lugar de GN, región Peninsular.