



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto  
Ingeniería  
Energética



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE**

# **“ANÁLISIS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA Y PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD DE MACHALA”**

**AUTOR: AGUIRRE PARRA, JULIO ZHADY**

**TUTOR: ALFONSO SOLAR, DAVID**

**COTUTORA: PEÑALVO LÓPEZ, ELISA**

**Curso Académico: 2017-18**

**“Julio 2018”**



## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada agradezco infinitamente a Dios, mi creador, ya que gracias a él todo esto ha sido posible; a mi familia, en especial a la memoria de mi abuelo que siempre ha sido un ejemplo a seguir, a mi señora madre por todo el sacrificio y amor que siempre me ha dado, a mi hermana por su paciencia y apoyo incondicional en todas las decisiones que tomado en mi vida y a mi padre por sus consejos sobre la vida. Un agradecimiento especial a mi novia por brindarme su paciencia y amor que me alentaron en cada momento de mi ausencia para poder cumplir este objetivo.

También agradezco a mis profesores de la UPV que me impartieron sus conocimientos y amistad a lo largo de todo el máster universitario. A mi tutor porque mediante su cátedra inspiró en mi la creación de este proyecto de titulación.

Finalmente debo dar un agradecimiento especial a un grupo de amigos llamados “Los Dávilas” que considero como a hermanos; por todo su apoyo, camaradería y confianza que depositaron y siguen depositando en mí.

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo elaborar un plan de desarrollo energético sostenible para una ciudad de tamaño medio en Ecuador y que luego sirva de ejemplo o referencia para la implementación de este tipo de planes en futuros proyectos de otras ciudades del país o Sudamérica.

El plan de desarrollo energético sostenible se basa en conocer las necesidades energéticas de determinadas zonas y estimar una demanda futura para poder abastecerla por medio de recursos renovables (energía solar fotovoltaica, biomasa, eólica, etc.), utilizando un correcto mix energético y con el menor impacto ambiental posible. Para esto se utilizarán escenarios energéticos y la ayuda del software HOMER.

**Palabras clave:** Escenarios energéticos, sistemas híbridos, energías renovables

## RESUM

Aquest treball té com a objectiu elaborar un pla de desenvolupament energètic sostenible per a una ciutat de grandària mitjana de l'Equador i que després servisca d'exemple o referència per a la implementació d'aquest tipus de plans per a futurs projectes en les altres ciutats del país o a Sud Amèrica.

El pla de desenvolupament energètic sostenible es basa en conèixer les necessitats energètiques d'una zona determinada i estimar una demanda futura per a poder abastir-la mitjançant recursos renovables (energia solar fotovoltaica, biomassa, eòlica, etc.) , utilitzant un correcte mix energètic i amb el menor impacte ambiental possible. Per aquest motiu s'utilitzaran escenaris energètics i l'ajuda del software HOMER.

**Paraules clau:** Escenaris energètics, sistemes híbrids, energies renovables.

## ABSTRACT

The objective of this academic work is to develop a sustainable energy development plan for a medium-sized city in Ecuador which can then serve as an example or reference for the implementation of this type of plans for future projects in other cities of the country or South America.

The sustainable energy development plan is based on knowing the energy needs of a certain area and estimating a future demand to be able to supply it by means of renewable resources (photovoltaic solar energy, biomass, wind, etc.), using a correct energy mix and with the lower possible environmental impact. For this, energy scenarios and the help of the HOMER software will be used.

**Keywords:** Energy scenarios, hybrid systems, renewable energy.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Estructura del Documento .....	2
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE .....	4
2.1. Ecuador .....	4
2.2. Marco Legal de las Eléctricas de Ecuador.....	5
2.3. Machala.....	6
2.4. Recursos Energéticos .....	7
2.4.1. Hídrico .....	8
2.4.2. Solar.....	9
2.4.3. Eólico .....	10
2.4.4. Biomasa .....	11
2.4.5. Geotermia.....	12
2.4.6. Undimotriz .....	13
2.4.7. Petróleo .....	14
2.5. Situación del Sector Energético Ecuatoriano .....	15
2.5.1. Situación actual del eje residencial, comercial y público .....	16
2.5.2. Situación actual del eje industrial .....	18
2.5.3. Situación actual del eje de transporte.....	19
2.5.4. Situación eléctrica del Ecuador 2016 .....	20
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1. Sistemas Híbridos Renovables .....	24
3.2. Aplicación de Sistemas Híbridos Renovables .....	25
3.3. Escenarios Energéticos.....	25
3.4. Tipos de Energía a Utilizar .....	26
3.4.1. Energía solar fotovoltaica .....	26

3.4.2. Energía a partir de biomasa o bioenergía.....	30
3.5. HOMER .....	34
3.6. LandGem .....	34
CAPÍTULO 4. DATOS, CÁLCULOS Y MODELADO.....	36
4.1. Escenario Energético BAU Actual .....	36
4.2. Escenario Energético con mayor participación de las Energías Renovables.....	43
4.3. Incremento de las renovables en Escenario Energético Ecuatoriano hasta el 2030 .....	48
4.4. Plan de Desarrollo Energético Sostenible de la Ciudad de Machala.....	51
4.4.1. Temperatura .....	51
4.4.2. Radiación solar horizontal global.....	51
4.4.3. Análisis de la demanda eléctrica.....	52
4.4.4. Método.....	53
4.4.5. Evaluación de producción de biogás por el modelo de degradación de primer orden	54
4.4.6. Plan óptimo de un sistema energético híbrido renovable mediante el uso de HOMER	59
.....	59
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS.....	74
5.1. Análisis Económico.....	74
5.2. Análisis Ambiental.....	77
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
6.1. Conclusiones.....	78
6.2. Recomendaciones.....	79
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	82



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa territorial de la ciudad de Machala .....	6
Figura 2. Mapa del potencial hídrico de Ecuador .....	8
Figura 3. Mapa del recurso solar en Ecuador .....	9
Figura 4. Mapa de potencia eólica en Ecuador. ....	10
Figura 5. Mapa del potencial de biomasa en Ecuador.....	11
Figura 6. Mapa con ubicación de recursos energéticos para generación eléctrica mediante geotermia.....	12
Figura 7. Mapa de la potencia promedio general del oleaje ecuatoriano (kW/m).....	13
Figura 8. Mapa de ubicación de los recursos de hidrocarburos de Ecuador .....	14
Figura 9. Evolución del consumo de energía por sectores.....	15
Figura 10. Tipos de combustibles que se utilizan para satisfacer la demanda energética .....	16
Figura 11. Potencia evitada gracias a la ejecución de PLANEE en el eje residencia, comercial y público. ....	17
Figura 12. Energía evitada en el eje residencial, comercial y público. ....	17
Figura 13. Energía evitada en el eje Industrial .....	18
Figura 14. Evolución de la intensidad energética en el eje industrial. ....	19
Figura 15. Evolución de la intensidad energética en el eje de transporte.....	20
Figura 16. Diagrama de Sankey de la generación y consumo de energía eléctrica en Ecuador 2016. ....	21
Figura 17. Evolución histórica de la potencia nominal y efectiva .....	22
Figura 18. Curva de carga ecuatoriana .....	23
Figura 19. Esquema de un sistema Híbrido Renovable.....	24
Figura 20. Meridianos y paralelos del planeta Tierra. ....	27
Figura 21. Mapa de radiación solar en el planeta y cantidad estimada de energía.....	28
Figura 22. Componentes de un sistema fotovoltaico .....	28
Figura 23. Componentes de una planta de biogás en rellenos sanitarios .....	33
Figura 24. Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de energía primaria con BAU actual. ....	39

Figura 25. Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de electricidad sin implementación de E.R. ....	40
Figura 26. Resultados del sector energético ecuatoriano - Generación de electricidad con BAU actual. ....	40
Figura 27. Resultados del sector energético ecuatoriano - Emisiones de CO <sub>2</sub> con BAU actual. .	41
Figura 28. Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de energía primaria con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.....	45
Figura 29. Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de electricidad con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.....	46
Figura 30. Resultados del sector energético ecuatoriano - Generación de electricidad con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.....	46
Figura 31. Resultados del sector energético ecuatoriano – Emisiones de CO <sub>2</sub> con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.....	47
Figura 32. Energía adicional cubierta con energías renovables hasta el 2030.....	49
Figura 33. Demanda eléctrica anual (2016) de la ciudad de Machala.....	53
Figura 34. Esquema energético propuesto para la ciudad de Machala.....	53
Figura 35. Hoja electrónica de Landfill en el cual se realizó el cálculo de generación de biogás en el relleno sanitario de Machala. ....	55
Figura 36. Proyección de generación y recuperación de biogás en el depósito de RSU de Machala .....	57
Figura 37. Radiación solar de la ciudad de Machala ingresada a HOMER .....	59
Figura 38. Temperatura anual promedio de la ciudad de Machala simulada en HOMER.....	60
Figura 39. Perfil de carga eléctrica diaria de la ciudad de Machala.....	60
Figura 40. Dmap demanda anual .....	60
Figura 41. Perfil de carga eléctrica .....	61
Figura 42. Perfiles de carga eléctrica diario en cada mes del año.....	62
Figura 43. Distribución de frecuencia parcial.....	63
Figura 44. Frecuencia de distribución acumulada.....	63
Figura 45. Curva de duración de carga. ....	64
Figura 46. Sistema de Tecnologías propuestas .....	64
Figura 47. Resumen de coste por componente en el sistema renovable de la ciudad de Machala que se propone .....	66
Figura 48. Flujo de efectivo por tipo de coste en sistema híbrido renovable propuesto para la ciudad de Machala.....	67
Figura 49. Resultado de producción de energía eléctrica por tipo de componente en el sistema híbrido propuesto a la ciudad de Machala .....	68

Figura 50. Resultados de potencia disponible de la radiación solar en la ciudad de Machala ...	68
Figura 51. Resultados de operación de sistema de biogás en la ciudad de Machala.....	69
Figura 52. Energía suministrada a la red anualmente, mediante recursos renovables.....	69
Figura 53. Curva de la demanda eléctrica de la ciudad de Machala y aporte de las renovables. .....	70
Figura 54. Predios en el que se haya el relleno sanitario de la ciudad de Machala .....	73
Figura 55. Ubicación de la planta de biogás y áreas con mayor posibilidad de adquisición e instalación de paneles fotovoltaicos. ....	73
Figura 56. Porcentaje de costes de inversión de paneles fotovoltaicos .....	74
Figura 57. Porcentaje de costes de inversión de generador a biogás .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de costes de diferentes tipos de plantas de generación.....	32
Tabla 2. Producción de CO <sub>2</sub> en la aplicación de cada forma de energía a distintos sectores .....	37
Tabla 3. Ritmos de variación de la demanda y crecimiento Ecuador 2014 .....	37
Tabla 4. Datos de consumo energético Ecuador 2014 .....	38
Tabla 5. Datos del posible consumo energético Ecuador 2030 .....	39
Tabla 6. Escenario energético ecuatoriano con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R. - 2030.....	45
Tabla 7. Incremento de plantas de generación eléctrica con fuentes de energía renovables para alcanzar el BAU energético 2030 con 55 % de E.R. ....	50
Tabla 8. Temperaturas promedio mensuales en la ciudad de Machala. ....	51
Tabla 9. Radiación solar promedio mensual en ciudad de Machala. ....	52
Tabla 10. Proyecciones de generación y recuperación de biogás en el rellano sanitario de la ciudad de Machala.....	56
Tabla 11. Proyecciones de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido en el relleno de residuos sólidos de la ciudad de Machala – EMAM.....	58
Tabla 12. Diferentes porcentajes de participación de energías renovables en escenario energético sostenible de la ciudad de Machala. ....	65
Tabla 13. Características técnicas de paneles fotovoltaicos Simax SP672-310.....	70
Tabla 14. Características técnicas de Generador eléctrico mediante biogás .....	72
Tabla 15. Precios Preferenciales Energías renovables en Ecuador .....	76
Tabla 16. Producción anual de energía eléctrica y sus respectivos precios, para el plan de desarrollo energético sostenible de la ciudad de Machala.....	76

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>ARCONEL</b>	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
<b>BAU</b>	Business as usual
<b>CELEC</b>	Corporación Eléctrica del Ecuador
<b>CNEL</b>	Corporación Nacional de Electricidad
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>GLP</b>	Gas licuado del petróleo
<b>HOMER</b>	Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
<b>HRES</b>	Hybrid Renewable Energy System
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
<b>INECEL</b>	Instituto Ecuatoriano de Electricidad
<b>INER</b>	Instituto Nacional de Eficiencia Energética
<b>INP</b>	Instituto Nacional de Pesca
<b>LandGEM</b>	Landfill Gas Emissions Model
<b>MEER</b>	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>SEN</b>	Sistema Eléctrico Nacional Ecuatoriano
<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>PLANEE</b>	Plan Nacional de Eficiencia Energética
<b>RSU</b>	Residuos sólidos urbanos

## UNIDADES

<b>bep</b>	Barriles equivalentes de petróleo, unidad de energía equivalente a la energía liberada por la combustión de un barril de petróleo, $6,1178632 \cdot 10^9$ J
<b>C.A.</b>	Corriente alterna
<b>C.C.</b>	Corriente continua
<b>Ha</b>	Hectárea, equivale a $10.000 \text{ m}^2$
<b>J</b>	Joule, unidad de medida de energía, trabajo o calor, $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>ppm</b>	Partículas por millón, unidad de medida de concentración
<b>W</b>	Vatios, unidad de potencia eléctrica que equivale a $1 \text{ J/s}$
<b>°C</b>	Grados Celsius, unidad de termométrica que asigna $100 \text{ °C}$ y $0 \text{ °C}$ a la ebullición y condensación del agua en condiciones normales, respectivamente

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

La Organización Meteorológica Mundial ha determinado que el año 2016 fue el más caluroso que se ha vivido en todo el planeta, debido a la acumulación de más de 400 partes por millón (ppm) de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre[1]. Debido a un conjunto de factores como: el crecimiento de la población a más de 7,4 billones de personas y con una media de 9 billones para el año 2040, economía consumista con un crecimiento del 3,4 % anual, el aumento de la demanda de energía con un 30 %, la aceleración de urbanizaciones, cambio climático, etc.

El continuo aumento de la demanda energética, sus costes y las consecuencias que estas generan al calentamiento global son una gran problemática a nivel mundial, pero no todo es desalentador en el sector energético ya que estas mismas características incentivan a la generación de energía mediante otras fuentes, abaratando el coste de la generación eléctrica mediante fuentes no convencionales, en especial la fotovoltaica.

Actualmente la inversión mundial en plantas de energía renovables cubre 1/3 del mercado, esto debido a la gran inversión en este sector de los países asiáticos, en especial China. En Europa un 80 % de la nueva capacidad eléctrica es generada por aerogeneradores. Mientras en Sudamérica se invierte en hidroeléctricas y centrales solares. Esto ha originado un apoyo constante a la generación de electricidad mediante energías renovables no convencionales con el objetivo de abaratar costes y así poder abastecer la mayor cantidad de la demanda con energías de bajo impacto al medio ambiente.

Por otra parte, la economía y desarrollo de una nación se miden en referencia a la producción y consumo de energía, en especial energía eléctrica.

Ecuador al ser un país privilegiado debido a la abundancia de recursos naturales que posee, ha aumentado durante la última década la capacidad de generación de energía eléctrica. Se han implementado proyectos en búsqueda de una independencia energética que aumente la productividad del país y mejore su economía.

Las hidroeléctricas han sido los principales proyectos realizados ya que obtienen energía mediante una fuente renovable y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, Ecuador podría mejorar su matriz energética mediante una correcta combinación de todos sus tipos de generación de energía, es decir un mix energético. También la implementación de diferentes tipos de tecnología como los paneles fotovoltaicos en los hogares y de granjas solares en la región sur del país; instalación de plantas eólicas en la región andina y litoral; plantas de biogás en los rellenos sanitarios de las principales ciudades, son las principales fuentes energéticas que el país podría aprovechar para obtener energía limpia y así satisfacer su demanda eléctrica al 100 % con recursos renovables, marcando un hito en Sudamérica.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Promover el uso de energías renovables no convencionales mediante la elaboración de un plan de desarrollo energético sostenible en la ciudad de Machala y que este sirva de ejemplo para las demás ciudades del país.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Conocer los recursos energéticos predominantes del país.
- Elaborar posibles escenarios energéticos para conocer las necesidades energéticas del país y a su vez crear las estrategias de como cubrir esta futura demanda con el mayor uso de energías renovables.
- Elaborar un estudio de una posible inserción de energías renovables dentro de la ciudad de Machala.
- Idear un diseño técnico del mix energético mediante simulaciones a través del software Homer.
- Realizar un análisis de factibilidad del proyecto.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo pretende mejorar la problemática existente en la demanda energética en Ecuador y su gran dependencia de las hidroeléctricas para generar energía. El país no cuenta con un plan de desarrollo energético en sus ciudades que involucre directamente a las fuentes de energías renovables no convencionales, es así que mediante este trabajo se busca desarrollar un plan piloto para el desarrollo energético sostenible en la ciudad de Machala.

Se ha escogido esta ciudad ya que cuenta con las condiciones necesarias para ser pionera en la implementación de un plan de esta naturaleza. Mediante el uso de las cubiertas de los hogares para la instalación de sistemas fotovoltaicos y la generación de electricidad usando el biogás generado mediante la descomposición de los desechos sólidos urbanos que día a día genera la ciudad. Si este tipo de proyecto muestras ser factible originaría una nueva etapa en la revolución energética del país y la región, proporcionando innovación y nuevas fuentes de trabajo.

## **1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

Este documento consta de siete capítulos detallados a continuación. En el primer capítulo se explica como el Ecuador depende en gran medida de las hidroeléctricas para cubrir su demanda energética y la falta de planes de desarrollo energéticos alternos en sus ciudades que involucren fuentes de energía renovables no convencionales.

En el siguiente capítulo, denominado estado del arte, se describe la situación actual del sector energético del país y los consumos energéticos en los ejes residenciales, industriales y de transporte. Además, se hace un análisis de la situación actual del sector eléctrico en Ecuador en el cual se ha invertido a lo largo de los últimos 10 años.

Una vez determinados los recursos energéticos y el marco eléctrico se procede con el marco teórico, se incluye información sobre el país y la ciudad en la cual se realizara el proyecto,



además de análisis de los sistemas híbridos que se pueden aplicar para cubrir la demanda energética del país con la participación de energías renovables no convencionales. Para este estudio se estableció el uso de energía solar fotovoltaica y biomasa, abundantes en el país, y se realizó un estudio de ambos sistemas y los equipos que requieren para la generación de energía.

Se propone instalar el sistema fotovoltaico en los tejados de las principales urbanizaciones de la ciudad, edificaciones públicas y privadas que puedan abarcarlo. Además, se describe la generación de biogás en los rellenos sanitarios mediante el sistema de biomasa para producir energía.

Para realizar los cálculos y dimensionamiento de los sistemas de generación de energía eléctrica no convencionales se utilizaron dos software: HOMER que se especializa en el diseño y dimensionamiento de sistemas híbridos renovables y LandGEM que permite obtener el volumen de metano generado en los depósitos de residuos sólidos y su capacidad de generar energía en ellos mediante combustión del biogás.

Consecuentemente en el capítulo cuatro se desarrolla un escenario energético del país para determinar el futuro energético en los próximos quince años, y cuáles son las medidas que se deben tomar para un escenario nuevo con mayor participación de energías renovables. Una vez determinado el nuevo BAU de Ecuador se toma a Machala como ciudad piloto para la generación eléctrica mediante métodos no convencionales y se realiza un análisis de la demanda eléctrica de la misma con el objetivo de dimensionar el sistema híbrido. Mediante el uso de HOMER se realizarán una serie de simulaciones hasta hallar la adecuada para la ciudad, tanto al nivel energético como económico.

Antes de finalizar se realiza un análisis de factibilidad económico y ambiental que se desarrolla en el capítulo cinco para llegar a las conclusiones y recomendaciones expuestas en el capítulo seis. Por último, se detalla las fuentes que se utilizaron para la recopilación de la información necesaria a lo largo del presente trabajo.

## CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. ECUADOR

La República del Ecuador se encuentra ubicada en la costa noroeste del océano Pacífico, con una extensión territorial de 283.561 km<sup>2</sup> limitada al norte con Colombia, y tanto al sur como al este con Perú. Se encuentra en una zona tropical que cuenta con cuatro regiones naturales definidas por su clima y geografía, dividiéndola en: costa, sierra, oriente y región insular o Galápagos.

El clima varía de acuerdo a la altitud y regiones sin embargo predominan dos estaciones climáticas: invierno de diciembre a mayo, cuando el clima es cálido y predominan las lluvias por el efecto de la corriente del niño en el océano Pacífico; y el verano de junio a noviembre, temporada seca y con temperaturas más bajas. Sin embargo, estas estaciones han sufrido cambios debido al calentamiento global, provocando severas inundaciones en la región costa y fuertes sequías en el altiplano.

Por otra parte, Ecuador es el país más densamente poblado en Sudamérica con una población aproximada de más de dieciséis millones y medio de habitantes, y un índice de desarrollo humano de 0,739, considerado alto, ubicándolo en el puesto 89 a nivel mundial respecto al índice de desarrollo humano (IDH). Según el reporte de las Naciones Unidas, la media de esperanza de vida en el país andino es de 76,1 años.

En el año 2016 el PIB ecuatoriano fue de 97,8 miles de millones de dólares norteamericanos y su PIB per cápita fue de 11,3 miles de millones de dólares norteamericanos. [2]

La economía ecuatoriana está basada en la exportación de varios productos, en especial del petróleo, en el año 2016 se exportó 5,05 miles de millones de dólares. La agricultura también es considerada un pilar fundamental en la economía permitiéndole al país colocarse en varias oportunidades como principal exportador de productos agrícolas. Haciéndolo acreedor de galardones por la gran calidad de sus productos. Dentro de sus principales productos agrícolas tenemos el banano representando 2,74 miles de millones de dólares, flores 802 millones, cacao 622 millones, entre otros. Por otra parte, la acuicultura representa el 15 % de las exportaciones con un valor de 2,59 miles de millones de dólares. [3]

Estas cifras demuestran que Ecuador es un país rico en materia agrícola y recursos naturales, pero que a pesar de esto no ha desarrollado una industria capaz de competir con el mercado internacional para exportar productos elaborados con mayor valor adquisitivo. [3]

## 2.2. MARCO LEGAL DE LAS ELÉCTRICAS DE ECUADOR

Mediante decreto ejecutivo N.475, el gobierno ecuatoriano crea el ministerio de electricidad y energías renovables (MEER), el 19 de julio del 2007, que será el órgano rector y planificador del sector eléctrico, que promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables diversificadas.

Es esta institución del estado que creo el plan nacional de eficiencia energética PLANEE. Este plan consiste en incrementar el uso eficiente de los recursos energéticos que posee el país, mediante la ejecución de programas y proyectos de eficiencia energética con el fin de reducir el consumo de recursos fósiles y así contribuir al medio ambiente.

Entre el periodo 2016-2035 se promoverá el uso de todo tipo de energías renovables o uso de sistemas de eficiencia energética mediante la bonificación o exoneración de impuesto a este tipo de tecnologías. El estado ecuatoriano piensa consumir 543 millones de barriles equivalentes de petróleo (Mbep), representando un ahorro de 84.131 millones de dólares para el país. [4]

Para esto se creó el Instituto Nacional de Eficiencia Energética (INER), con el objetivo de impulsar las energías renovables y la eficiencia energética en el país, el cual tiene los siguientes proyectos [5]:

- Cambiar el uso de combustibles fósiles por energías renovables en el transporte marítimo de pasajeros a las islas Galápagos, mediante embarcaciones que funcionen con energía solar fotovoltaica.
- Establecer el uso de energías renovables en la zona norte de la amazonia ecuatoriana, para las comunidades alojadas en ese sector.
- Investigación de proyectos de generación de energía eléctrica mediante geotermia, con un potencial estimado de 1700 MWe.
- Análisis del comportamiento del parque eólico Villonaco para la elaboración de futuros proyectos energéticos.
- Estudio de factibilidad de uso de bombas de calor, mediante enfriamiento evaporativo para climatización en edificaciones de la ciudad de Guayaquil.
- Repotenciación de estaciones meteorológicas para poder obtener información de mayor precisión de la radiación solar en el país.

Ecuador posee políticas de incentivo del uso de energías renovables, como lo establece la ley de régimen del sector eléctrico en su artículo 67 que menciona: “se exonera el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras. Exonerase del pago de impuesto sobre la renta, durante cinco años a partir de su instalación a las empresas que, con su inversión, instalen operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales señalados en el inciso anterior” (INER, 2011).

### 2.3. MACHALA

Ciudad costera y capital de la provincia de El Oro ubicada al sur oeste de Ecuador (Latitud: -3º; Longitud; -79º), con una superficie de 66,5 km<sup>2</sup> a 6 m sobre el nivel del mar.

Cuenta con una población aproximada de 285 mil habitantes, es la cuarta ciudad más importante del país debido a su actividad agrícola, acuicultura, industrial, portuaria, y económica.

El clima es tropical, con temperaturas que oscilan de los 22 °C a 35 °C, los cultivos ocupan un 54 % de su superficie total cubriendo una extensión de 11.773 ha entre banano y cacao.[6]

Machala es considerada como la capital bananera del mundo debido al volumen y calidad de banano que exporta. En el año 2016 , se exportaron aproximadamente 72 millones de cajas de banano.[7]

Además del sector agrícola que se desarrolla en la ciudad, también ha ido evolucionando el sector inmobiliario. En esta última década, debido a un proceso denominado “regeneración urbana”, que consiste en mejorar los servicios básicos de la ciudad, ha crecido la inversión nacional y extranjera, permitiendo a Machala ser una de las principales ciudades del Ecuador en desarrollo.

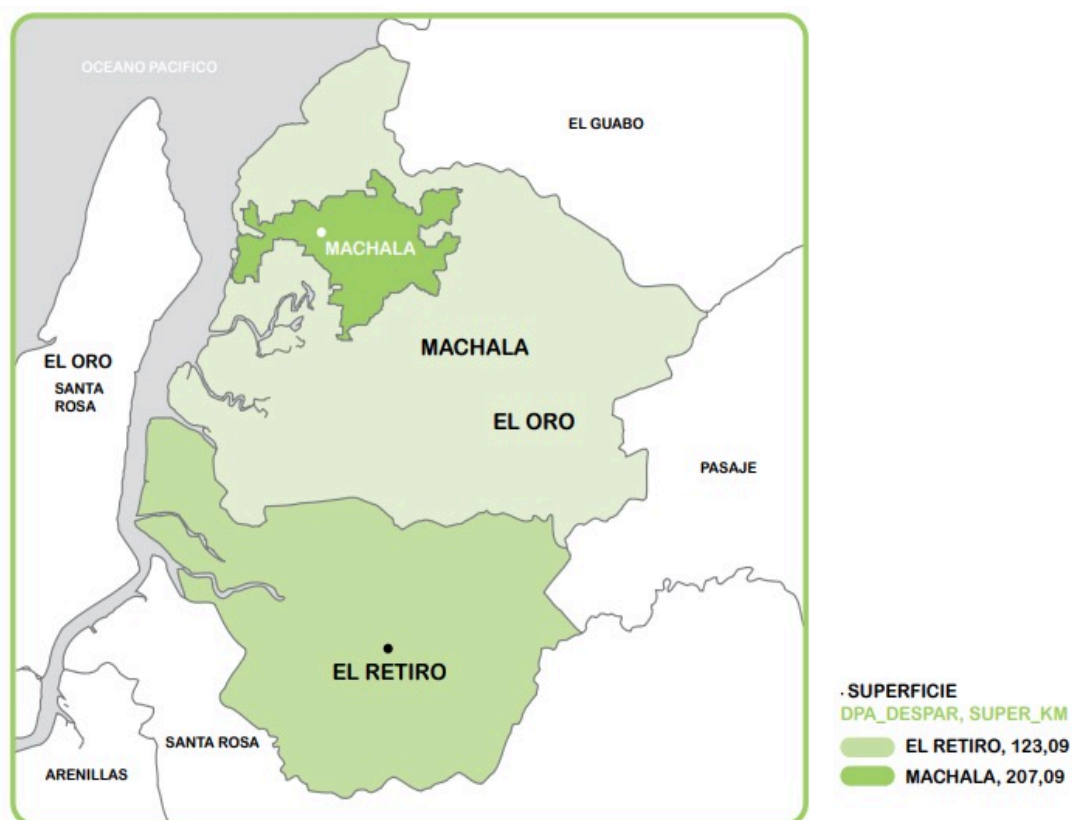


Figura 1. Mapa territorial de la ciudad de Machala

Fuente: Cartografía INEC 2001

#### **2.4. RECURSOS ENERGÉTICOS**

Ecuador cuenta con una variedad y cantidad de recursos renovables y no renovables, entre los que sobresalen tenemos los recursos hídricos, solares, de biomasa y eólicos. El país utiliza un porcentaje considerable de energías renovables para la generación de energía, en especial eléctrica, con una generación de 27.373,86 GWh, sin embargo, no ha explotado y diversificado todo su potencial. Por esta razón el gobierno ecuatoriano tiene planificado ejecutar proyectos hidroeléctricos de gran capacidad (potencia mayor a 50 MW), hidroeléctricos de mediana capacidad (potencia entre 10 y 49,99 MW), hidroeléctricos de pequeña capacidad (potencia entre 1 y 9,99 MW), generando un gran impacto en toda la región latinoamericana ya que su objetivo más destacado es poder conectar el sistema eléctrico nacional ecuatoriano (SEN) a otros países de la región.

Con estos proyectos Ecuador declararía su soberanía energética además de comenzar a exportar energía a los demás países de la región en especial Colombia y Perú. Ejemplos claros son el parque eólico Villonaco que en el año 2014 mostro un factor de planta del 63,86 %, porcentaje muy atractivo, al ser alto en comparación al factor de planta promedio de este tipo de plantas generadoras.[8] Además de continuar con el estudio de proyectos factibles para la generación de energía eléctrica mediante el uso de energías renovables no convencionales.

A continuación, se explicarán detalladamente los recursos que posee Ecuador para la generación de energía y así poder entender y saber cómo explotar de una mejor manera sus recursos.

### 2.4.1. Hídrico

Ecuador cuenta con un gran potencial de recursos hidroeléctricos debido a la gran cantidad de cuencas de drenaje que posee con un potencial teórico de 74.000 MW que se encuentran en 11 sistemas hidrográficos. Entre sus principales vertientes con capacidad instalable técnica y económica son la Amazónica y del Pacífico, las dos suman una capacidad aproximada de 21.500 MW.[9]

Por estas razones en los últimos años se ha invertido en la construcción de varias centrales hidroeléctricas, ya que Ecuador cuenta con un potencial exportador de energía limpia y amigable con el medio ambiente a sus países vecinos. En la última década el estado ecuatoriano ha invertido en la construcción de 8 centrales hidroeléctricas. Coca Codo Sinclair es la más grande de todas con una potencia nominal de 1500 MW. La finalidad de estas inversiones es poder cubrir la demanda de energía eléctrica entre un 85 % y 90 % del país. Una meta muy ambiciosa del Ecuador.[9]

En el año 2016 la potencia nominal eléctrica mediante hidroeléctricas fue de 4446,36 MW que representa el 57,97 % de la potencia de generación eléctrica del país.[9]

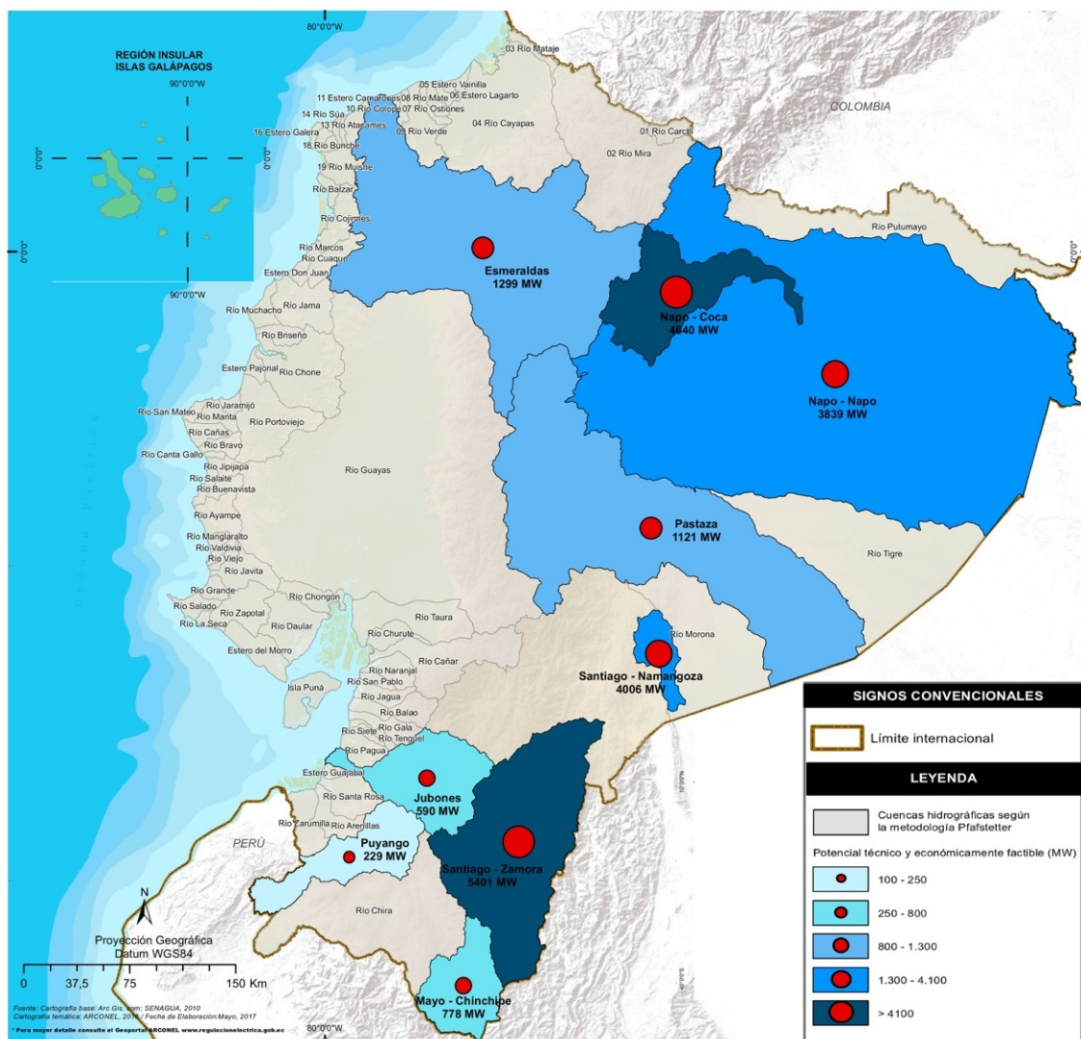


Figura 2. Mapa del potencial hídrico de Ecuador

Fuente: [9]

## 2.4.2. Solar

Ecuador se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto a recurso solar, ya que recibe una radiación casi perpendicular, invariable durante el año y con un ángulo de incidencia constante; características que otorgan a la generación fotovoltaica y termo solar un enorme potencial de aprovechamiento. Se ha estimado que entre 4 y 6 kWh/m<sup>2</sup> por día es económicamente factible [10], la media de Ecuador es de 4,57 kWh/m<sup>2</sup> al día. [11]

Las zonas con mayor insolación solar en el país son el sur occidente (Provincias de Loja y El Oro) y el norte de los Andes (Provincias de Cotopaxi, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas); ambas superando los 5,5 kWh/m<sup>2</sup> por día.

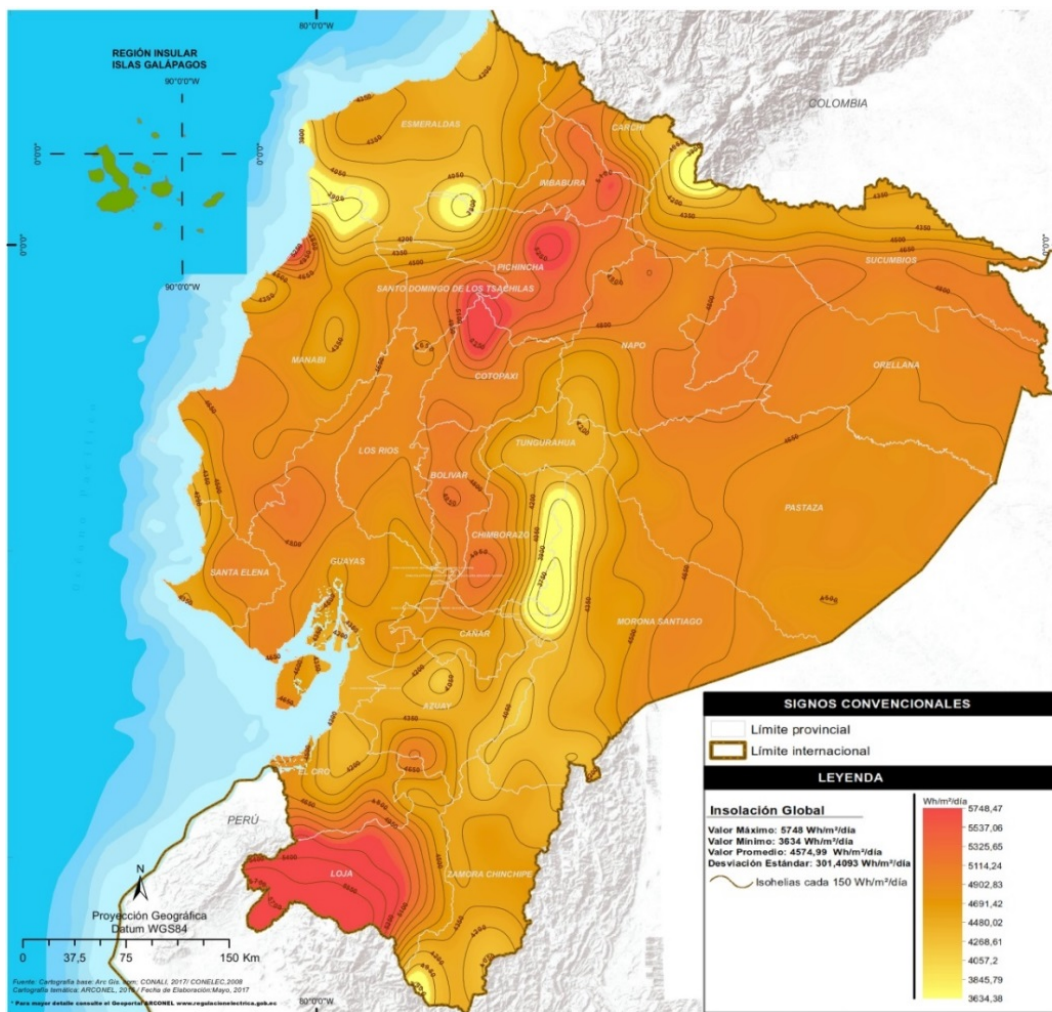


Figura 3. Mapa del recurso solar en Ecuador

Fuente: [9]

Hasta ahora el mercado solar ecuatoriano solo se ha desarrollado en zonas rurales para otorgar energía a lugares aislados de la red eléctrica nacional. Un ejemplo de este tipo de sistemas se lo realizó en la provincia de Imbabura, con una potencia de 998 kW a un coste de 3,5 millones de dólares, en una extensión de 3 ha. 4160 paneles solares generaran 28 MW al mes para el poblado de Pimampiro, solucionando así los problemas de abastecimiento de electricidad en la zona. Hasta el 2016 solo el 0,14 % de la energía eléctrica producida en el país viene de recursos solares.[12]

### 2.4.3. Eólico

La mayor cantidad de recursos eólicos en Ecuador se encuentra en la región de los Andes debido a las alturas de esta cordillera y su geografía que poseen considerables flujos de aire. Se calcula que existe un potencial bruto de 1.670 MW a una altura de 3.500 m.s.n.m. con corrientes de aire mayores a los 7 m/s. También se estima que en el perfil costanero se puede obtener 900 MW, con factores de planta entre un 20 % y 35 %.

Por el momento Ecuador cuenta con tres parques eólicos en funcionamiento: San Cristóbal – Región Insular (Galápagos) un sistema aislado con una capacidad de 2,4 MW, Baltra - Región Insular (Galápagos) también sistema aislado con una capacidad de 2,25 MW, y Villonaco – Región Interandina (Loja) con una capacidad de 16,5 MW. Este último parque cuenta con una segunda y tercera fase para ampliar su capacidad de generación eléctrica que se encuentra por el momento en busca de financiamiento para su ejecución. Estos parques eólicos en el año 2016 aportaron con el 0,31 % de la energía eléctrica del país.

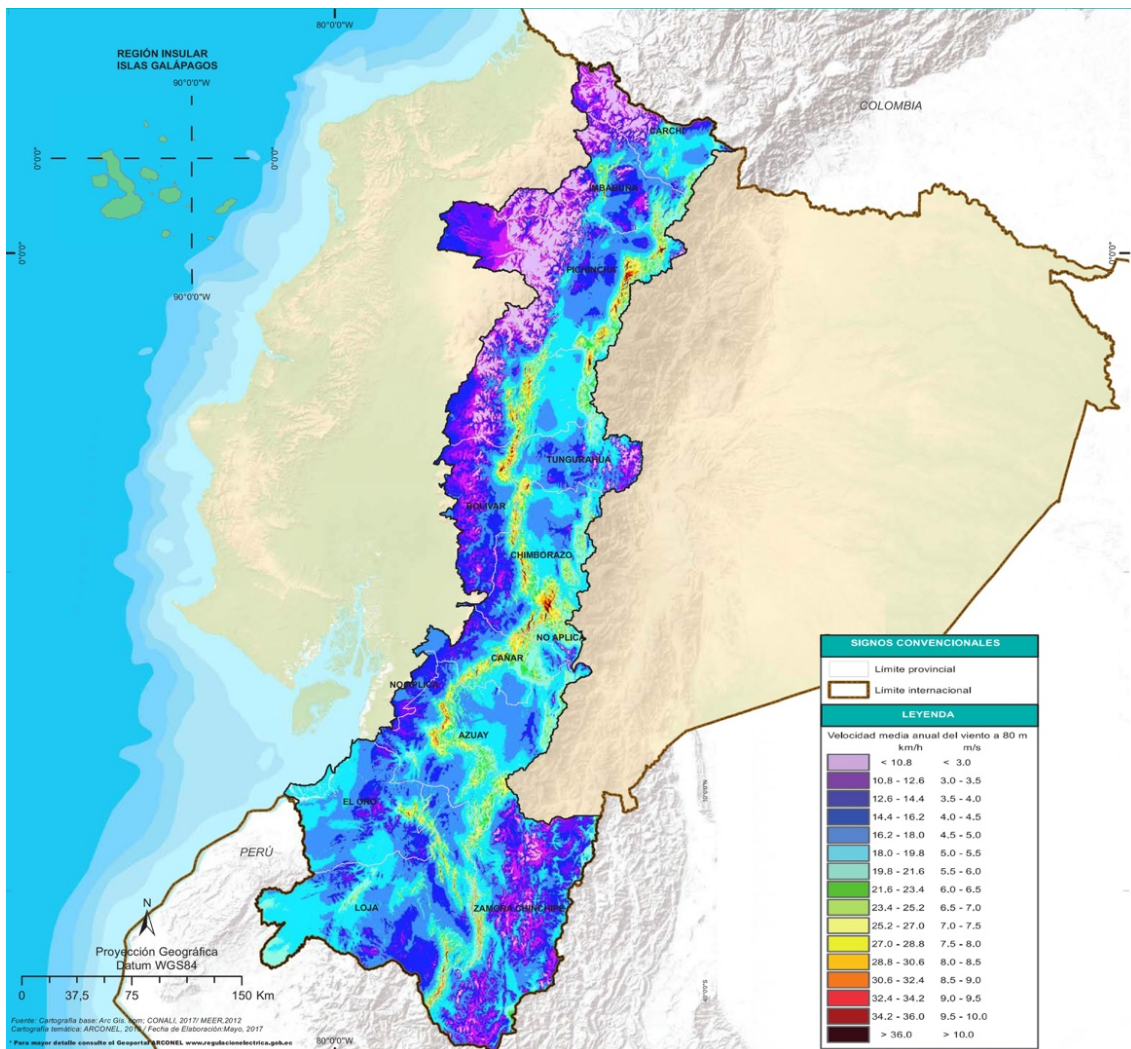


Figura 4. Mapa de potencia eólica en Ecuador.

Fuente:[9]



#### 2.4.4. Biomasa

Ecuador es un país netamente agrícola, posee una gran cantidad de biomasa proveniente de los recursos agrícolas, forestales y pecuarios. Los principales productos para la generación de energía, localizados en el sector agrícola, son: el arroz, banano, caña de azúcar, maíz, café, maíz, palma africana, plátano y piña. Por otro lado, en el sector pecuario son las actividades avícola, porcina y bovina.

En los últimos años Ecuador ha incorporado sistemas de cogeneración mediante biomasa, los excesos de energía eléctrica se entregan a la red nacional de energía eléctrica. Hasta ahora el principal cultivo que se ha utilizado para la generación de energía eléctrica es la caña de azúcar en los ingenios azucareros que posee el país. Entre ellos resaltan Ecoelectric (36,5 MW), San Carlos (35 MW) y Escudos (29,8 MW). Esto representa el 1,74 % de la energía eléctrica producida en Ecuador en el año 2016.

Cabe recalcar que la biomasa que posee el Ecuador también puede desarrollarse para la generación de biocombustibles, desde el año 2010 se ha ido integrando paulatinamente el biocombustible “Ecopaís” en las gasolineras del país, con composición de un 5% de bioetanol y 95 % de gasolina de alto octanaje.

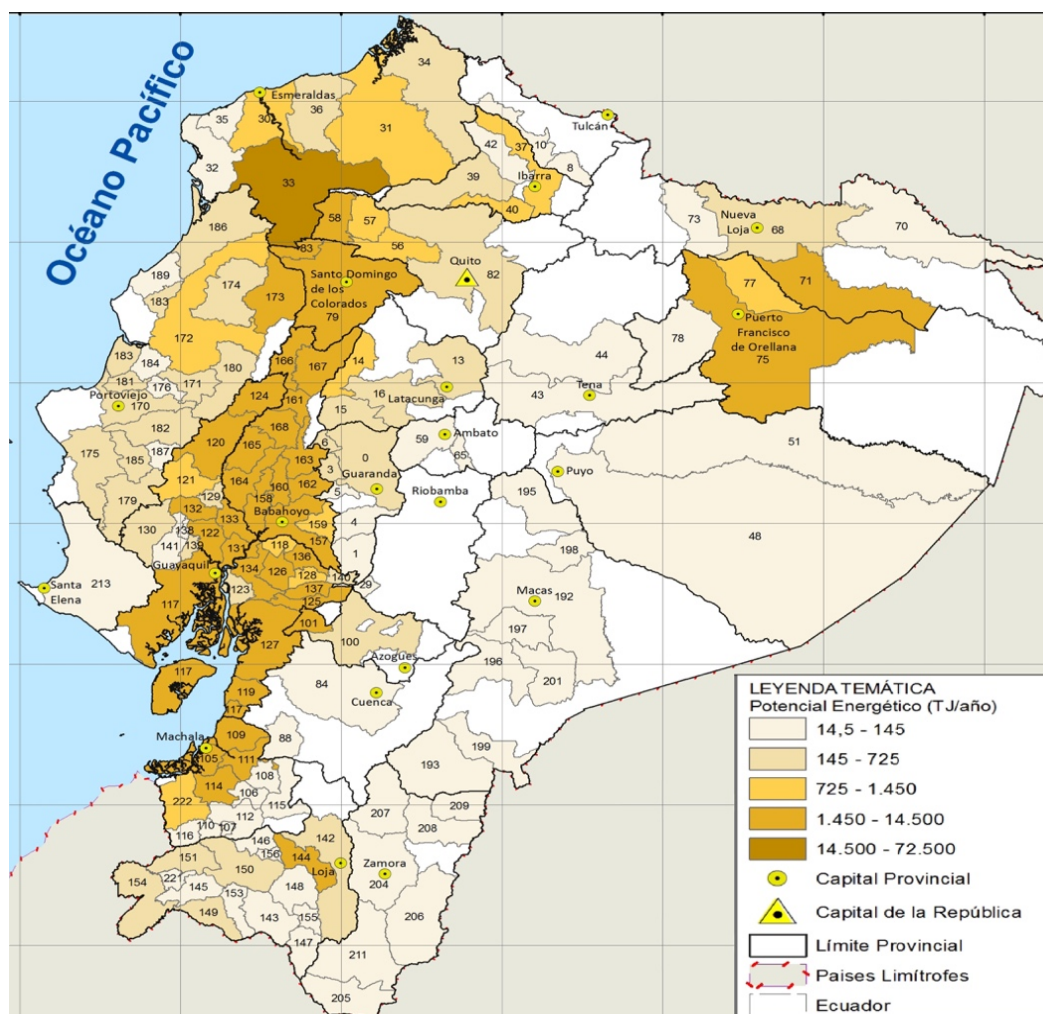


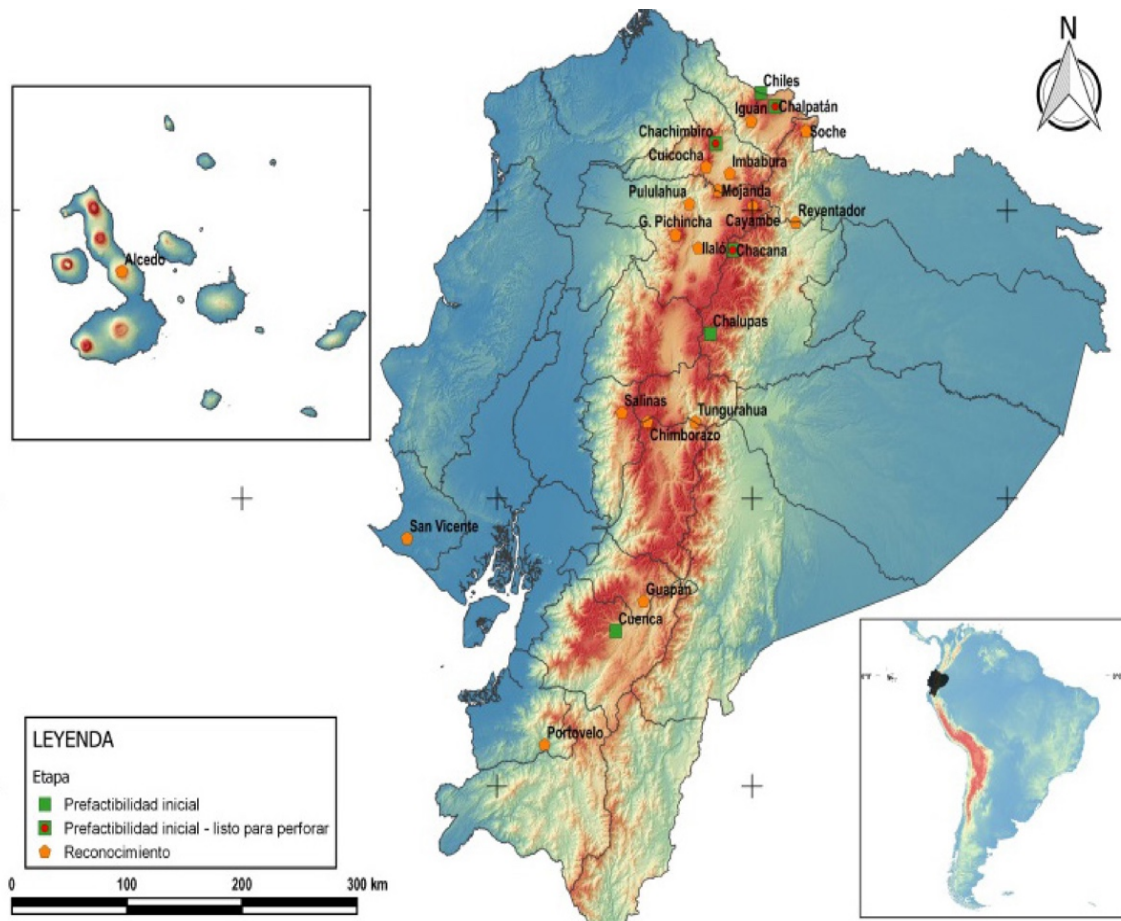
Figura 5. Mapa del potencial de biomasa en Ecuador.

Fuente:[13]

### 2.4.5. Geotermia

Se estima que en el territorio ecuatoriano existe un potencial de 1700 y 8000 MWe en aproximadamente 16 zonas de interés geotérmico [14], todas estas en la región Andina del país. Se ha determinado 3 proyectos de alta entalpia: Chachimbiro, Chacana y Chalpatán, todos ubicados en la provincia de Imbabura.

En la actualidad (2018) se están realizando perforaciones de exploración geotérmica en el proyecto de Chachimbiro en la provincia de Imbabura a cargo de la empresa pública CELEC Termo Pichincha, si se llegase a encontrar el recurso energético factible, se contempla la construcción de una pequeña planta de 5 MW hasta la culminación de la etapa de exploración, para luego proceder a la construcción de otra con mayor capacidad de generación.[14]



**Figura 6.** Mapa con ubicación de recursos energéticos para generación eléctrica mediante geotermia

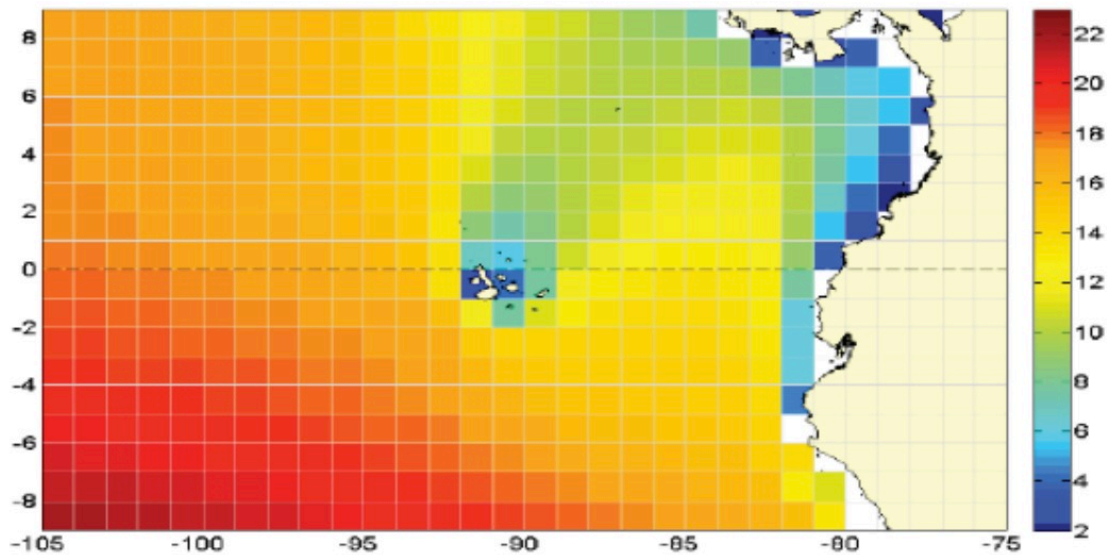
**Fuente:**[14]

#### 2.4.6. Undimotriz

El mar territorial ecuatoriano presenta características favorables para generar energía eléctrica mediante el movimiento de las olas. Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Preinversión ecuatoriano en el año 2013 cuantificó 14 kW/m en promedio en la mayor parte de los puntos cercanos al continente medidos, a pesar de la poca variabilidad de la altura en las olas que se registran.[15]

Las zonas con mayor contenido energético undimotriz en Ecuador se encuentran en el estuario del río Esmeraldas, golfo de Guayaquil, canal del Morro, canal de Jambelí y el estero Salado.

Los estudios realizados por el Instituto Nacional de Pesca (INP) aclaran que las tecnologías actualmente desarrolladas para la generación eléctrica mediante energía undimotriz, no son las más factibles para el perfil costanero ecuatoriano, ya que la velocidad es menor a los 0,5 m/s, de la misma manera no se cuenta con tecnología apta para las corrientes bidireccionales que posee el país. Por último, si se desea implementar este tipo de generación de energía la inversión sería muy alta debido a las adecuaciones que se deberían realizar, por lo que se convierte en un sistema poco atractivo desde el punto de vista económico.



**Figura 7.** Mapa de la potencia promedio general del oleaje ecuatoriano (kW/m)

**Fuente:**[15]

### 2.4.7. Petróleo

Ecuador posee 1.704 millones de barriles de petróleo probado, 287 millones de barriles probables y 705 millones de barriles posibles[16]. El 90 % de las reservas está siendo explotadas por el estado, se calcula que el país posee reservas para 11 años de producción de petróleo, también hay que adicionar los bloques petroleros que no se encuentran en operación, lo que incrementarían 8 a 9 años más, entonces se estima que las reservas actuales conocidas durarían unos 20 años. [17]

Una gran parte de los campos petroleros en el país tienen un tiempo de producción que promedia los 30 años, por lo que la actividad de perforación incrementó considerablemente desde el año 2007. Una gran parte de la matriz energética del país depende de recursos petrolíferos, en los que el sector del transporte consume dos tercios de estos recursos, seguido del gas para uso doméstico y la generación de electricidad con derivados de petróleo.

Desafortunadamente la mayor cantidad de estas reservas se encuentran en la región amazónica del país que al ser explotadas causarían un grave impacto ambiental.

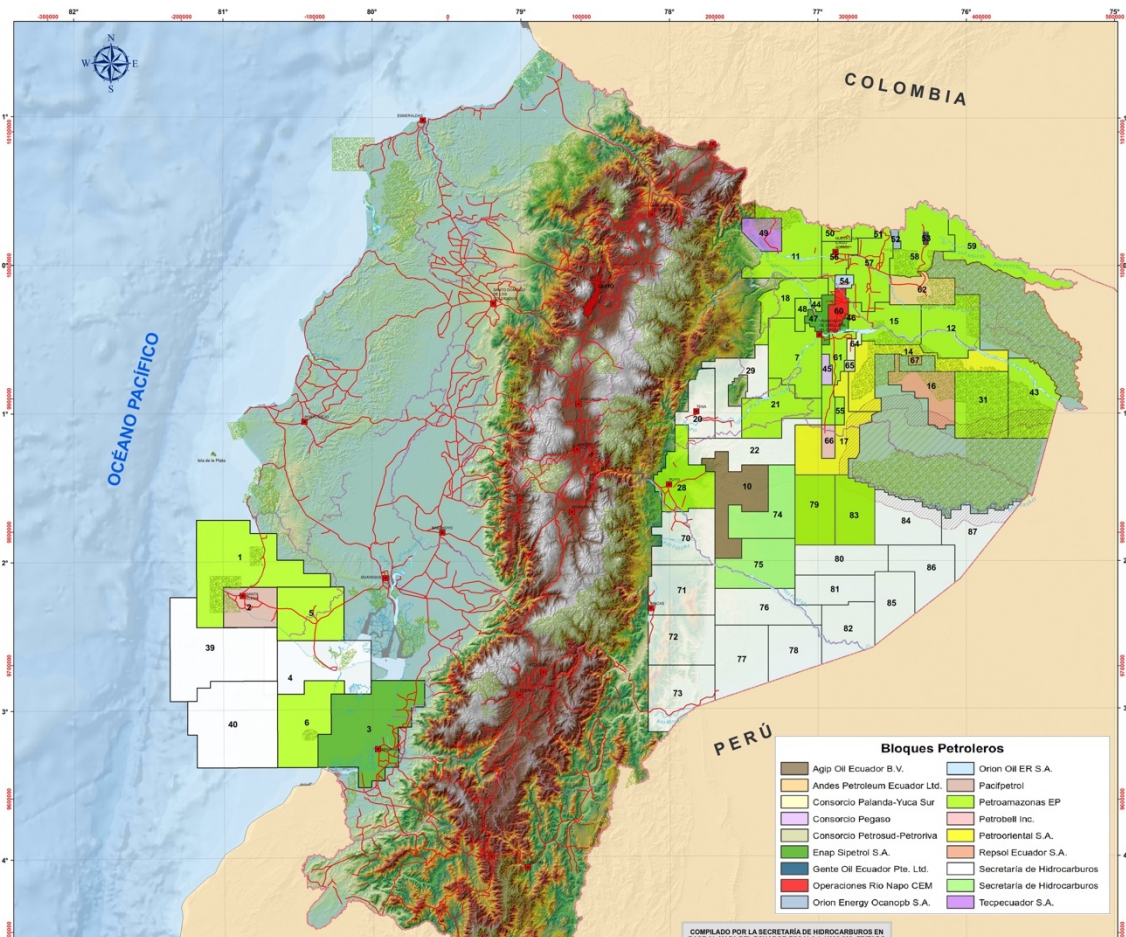


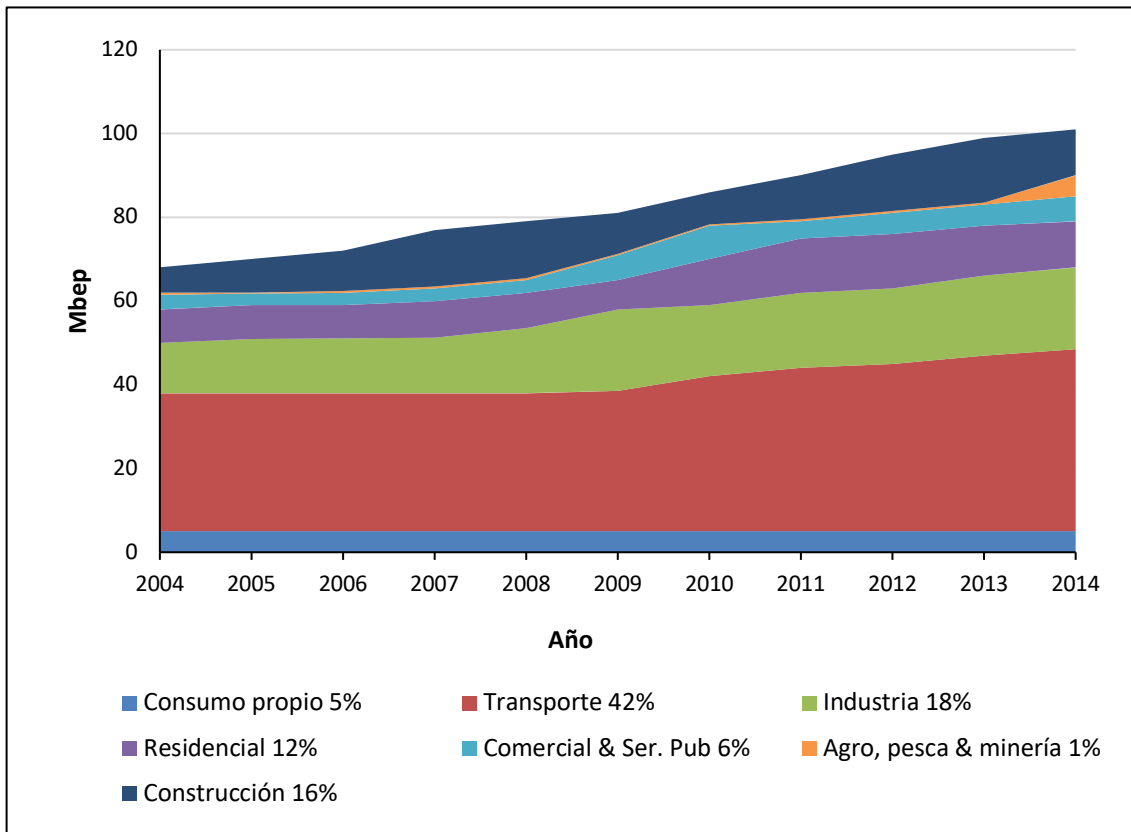
Figura 8. Mapa de ubicación de los recursos de hidrocarburos de Ecuador

Fuente:[18]

## 2.5. SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO ECUATORIANO

Un estudio energético realizado en los últimos años en Ecuador mostró un consumo final de energía de 101 Mbep (año base 2014), lo cual permitió identificar los consumos energéticos referenciales de cada sector y definir mecanismos para implementar un plan de eficiencia energética, mediante un mix energético u otras alternativas[4].

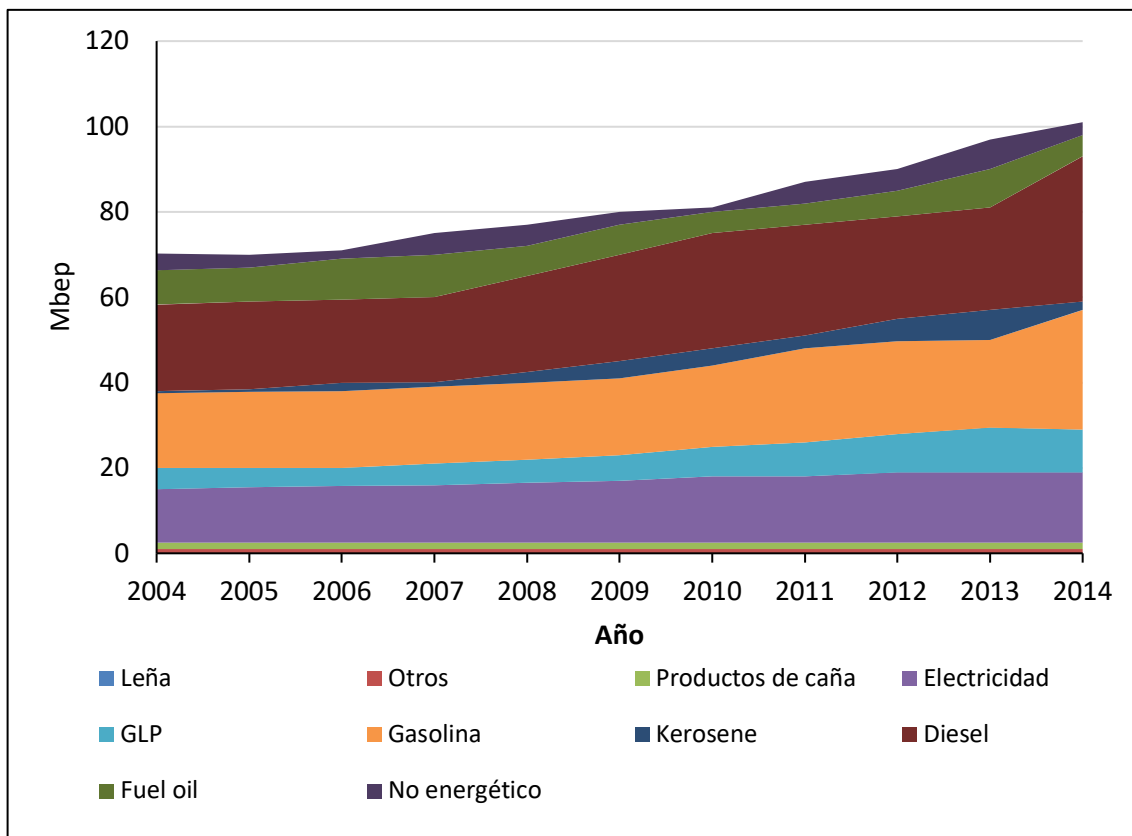
En la Figura 9 se muestra la evolución del consumo de energía por diferentes sectores, identificando al transporte como uno de los grandes consumidores de energía, seguido del sector industrial, construcción y residencial sucesivamente.



**Figura 9.** Evolución del consumo de energía por sectores.

**Fuente:**[4]

La demanda energética se satisface utilizando una gran porcentaje de combustibles fósiles como: diésel (31 %), gasolina (28 %), electricidad (13,5 %) y otros, como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Tipos de combustibles que se utilizan para satisfacer la demanda energética

**Fuente:** [4]

Ante tal problemática el gobierno ecuatoriano ha decidido emplear un plan nacional de eficiencia energética agresivo, especialmente en el sector eléctrico, llamado cambio de la matriz energética enfocándose en varios ejes los cuales son:

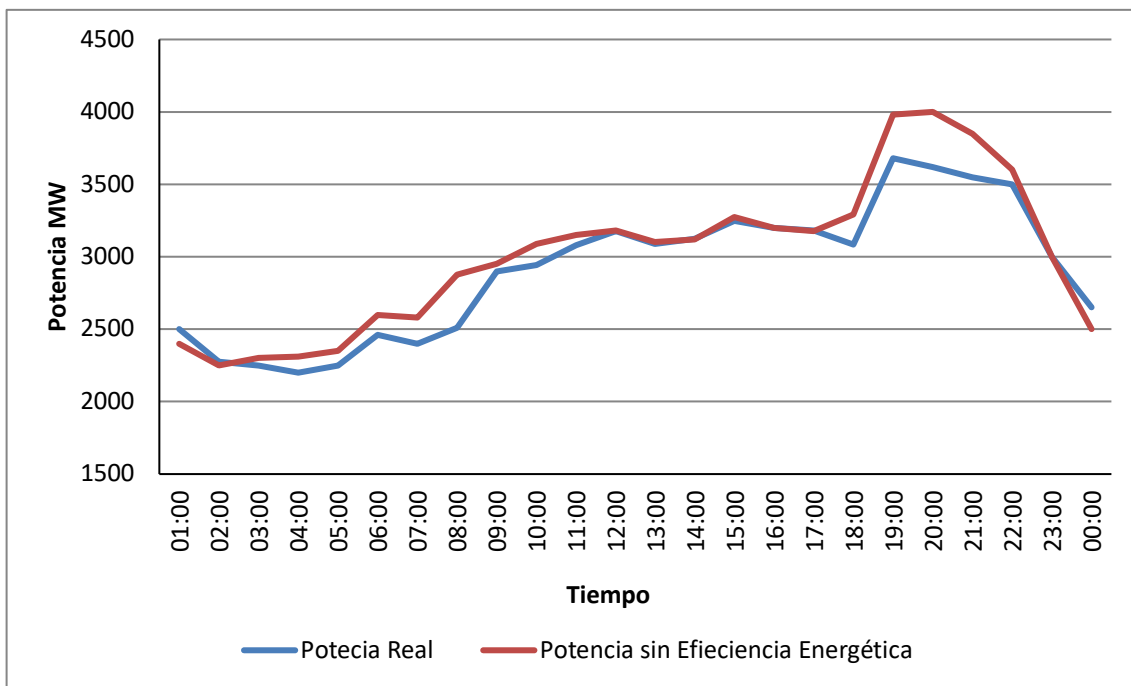
- Residencial, comercial y público
- Industrial
- Transporte

### 2.5.1. Situación actual del eje residencial, comercial y público

Estos tres sectores considerados un solo eje, por presentar características energéticas similares, representan el 18 % del consumo energético total y el 57 % del consumo de energía eléctrica. [4]

Es así que el MEER, ha tomado una serie de medidas de eficiencia energética como: la creación de normas de eficiencia energética, renovación de tecnología en iluminación residencial, cambio de luminarias más eficientes en alumbrado público, programas de renovación de electrodomésticos eficientes y la implementación de cocinas de inducción en los hogares ecuatorianos.

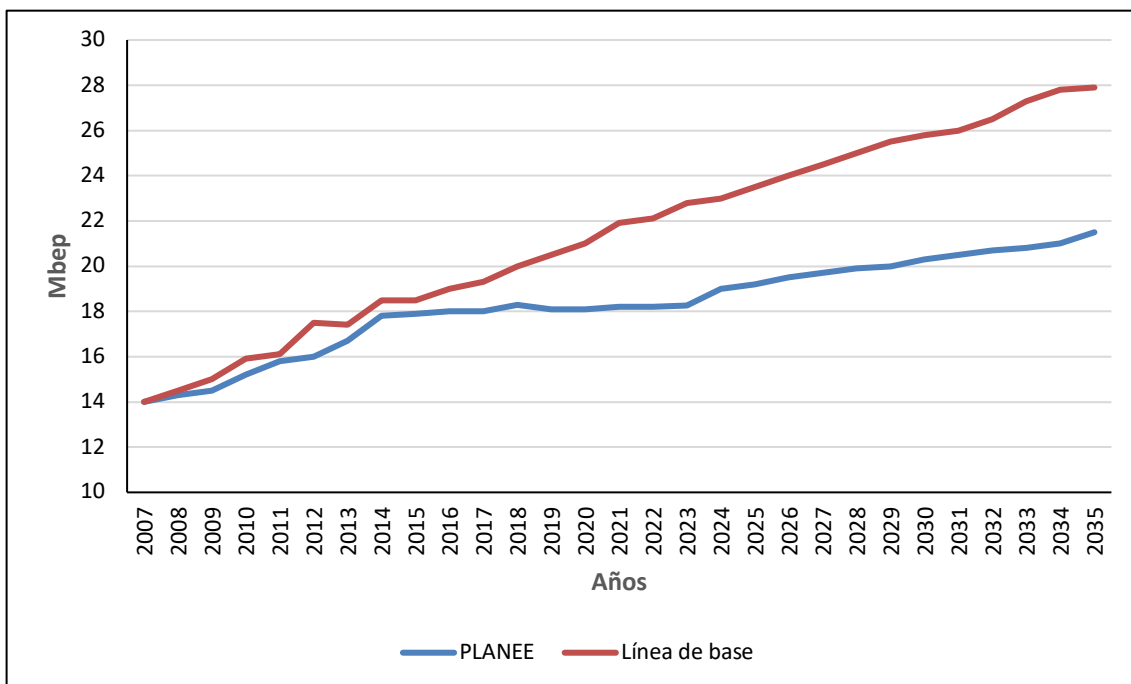
Las medidas de eficiencia energéticas tomadas en este eje han representado un ahorro significativo, aproximadamente unos 362 MW diarios en las horas de mayor demanda, como se muestra en la gráfica 3 y un ahorro superior a los 720 millones de dólares por costes de futuras instalaciones de generación para proveer esta potencia [4], como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11.** Potencia evitada gracias a la ejecución de PLANEE en el eje residencia, comercial y público.

Fuente:[4]

La meta para el año 2035 es reducir 88,8 Mbep, gracias a las medidas ejecutadas y se seguirán tomando en los próximos años en el eje residencial, comercial y público, como se muestra en la Figura 12:



**Figura 12.** Energía evitada en el eje residencial, comercial y público.

Fuente:[4]

### 2.5.2. Situación actual del eje industrial

Desde el 2012 hasta el 2015 se ejecutó la implementación de eficiencia energética en varias empresas del país, con la finalidad de mejorar los sistemas motrices eléctricos y de vapor, lo que llevo a un ahorro eléctrico de 13.400 MWh/año y de 57.272 bep/año en combustibles fósiles. Dentro de los proyectos más representativos en el sector industrial tenemos el suministro de energía eléctrica mediante cogeneración en algunos ingenios azucareros del país, con una capacidad de 136,4 MW. En la Figura 13 se muestra la energía evitada en el eje industrial por las medidas tomadas:

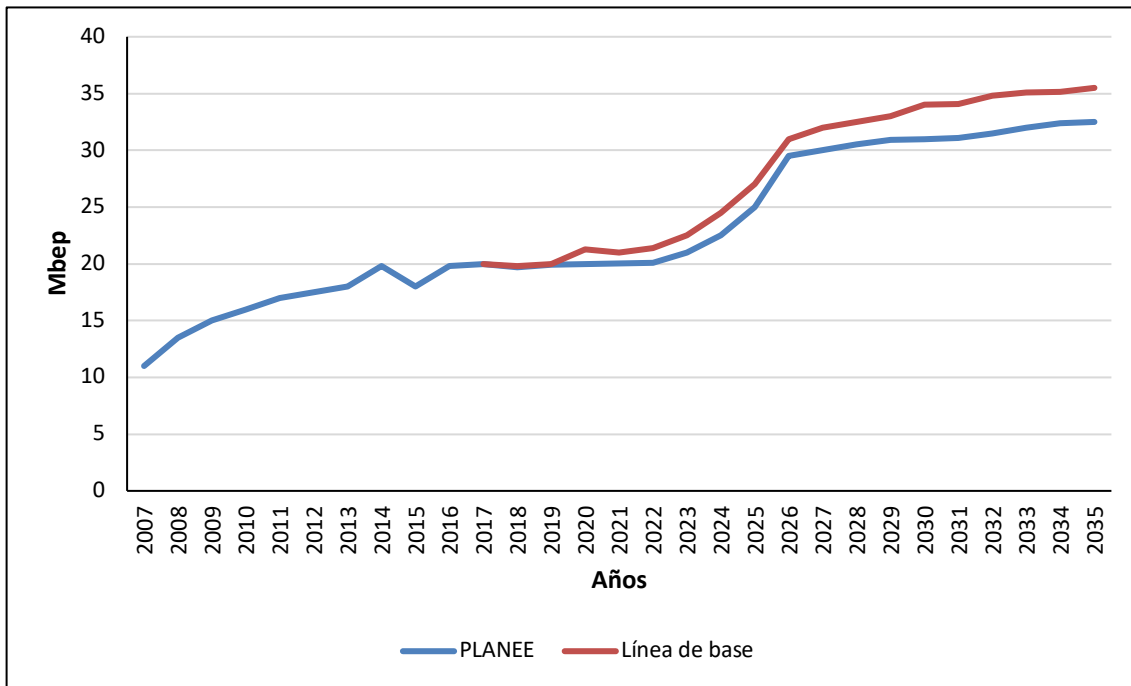
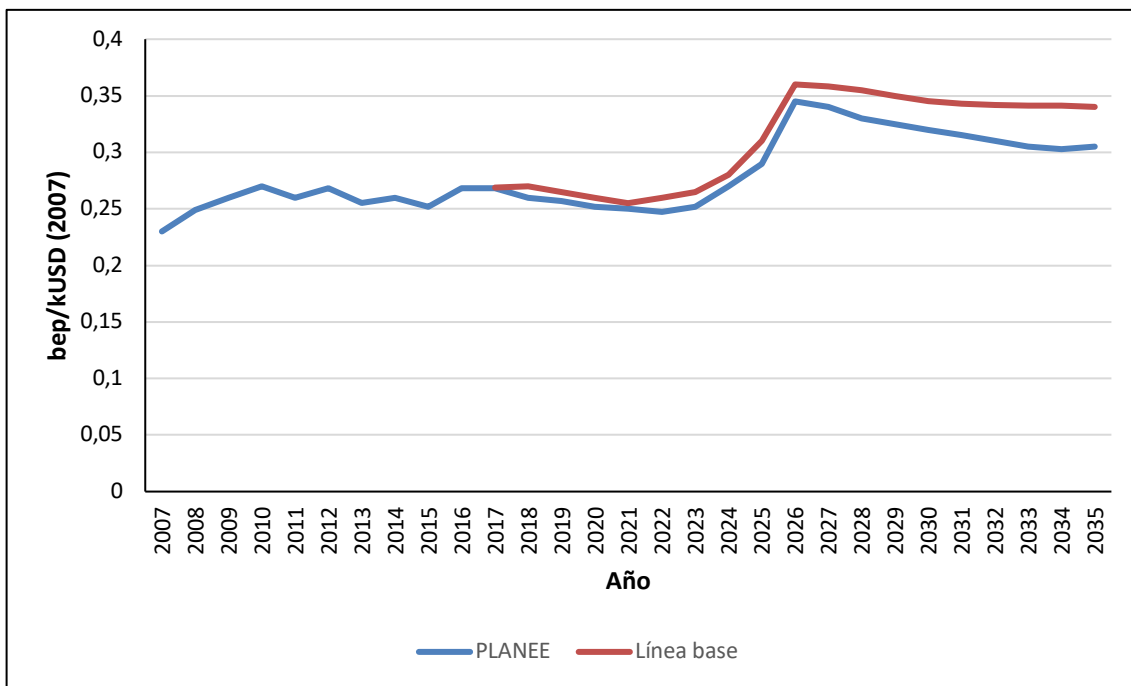


Figura 13. Energía evitada en el eje Industrial

Fuente:[4]

Para el año 2035, Ecuador tiene como meta reemplazar sus equipos ineficientes en el sector industrial, aplicar sistemas de cogeneración e impulsar el desarrollo de un mercado de empresas de servicios energéticos [4] y así apalea el consumo energético en este eje, como se puede observar en la Figura 14:





**Figura 14.** Evolución de la intensidad energética en el eje industrial.

Fuente:[4]

### 2.5.3. Situación actual del eje de transporte

Es el sector de mayor consumo energético representando el 42 % de la demanda nacional, además de ser el más contaminante ya que usa netamente combustibles fósiles.

En la última década Ecuador ha mejorado la infraestructura de su sistema vial, lo que prevé la reducción de consumo de combustibles para el transporte, ha reemplazado vehículos ineficientes mediante planes de renovación de transporte público, ha dado incentivos en la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos mediante la exoneración de impuestos y aranceles, ha producido biocombustibles a base de etanol y mejorado la calidad de combustibles con mayor octanaje y reducción de plomo.[4]

Con las medidas elegidas hasta el momento se ha disminuido el consumo de energía y para el año 2035 se estima que la eficiencia en el uso de combustible en el eje de transporte siga mejorando hasta llegar a los 0,27 bep/kUSD aproximadamente (Figura 15), con la integración de biodiésel, combustible más usado en el país.

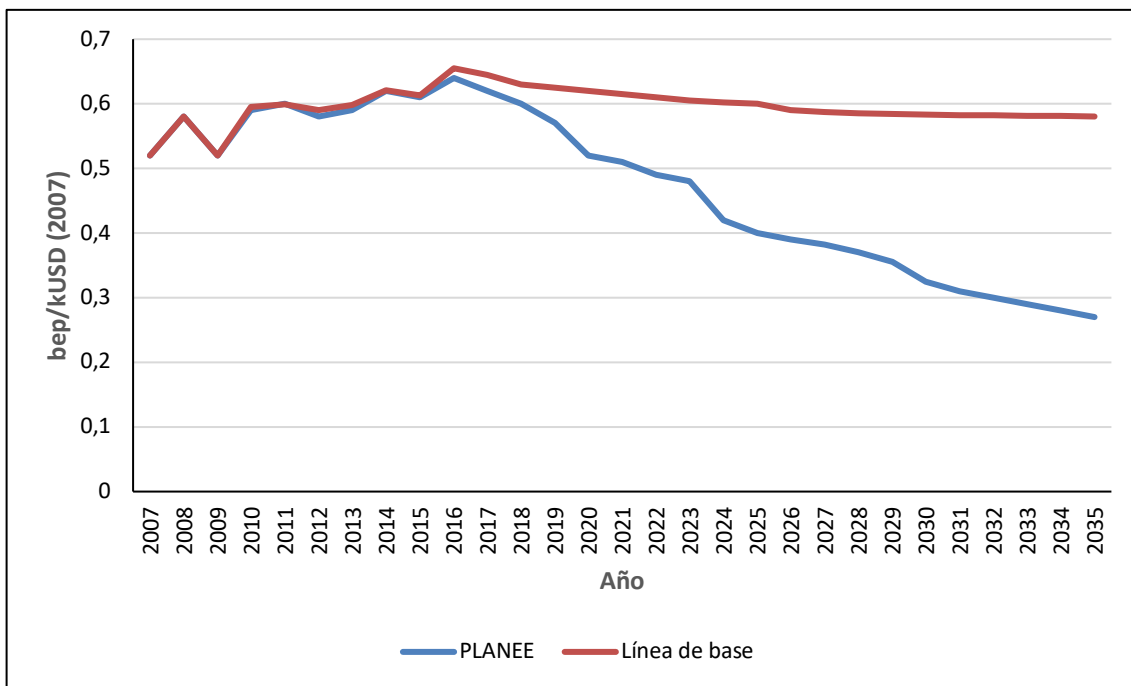


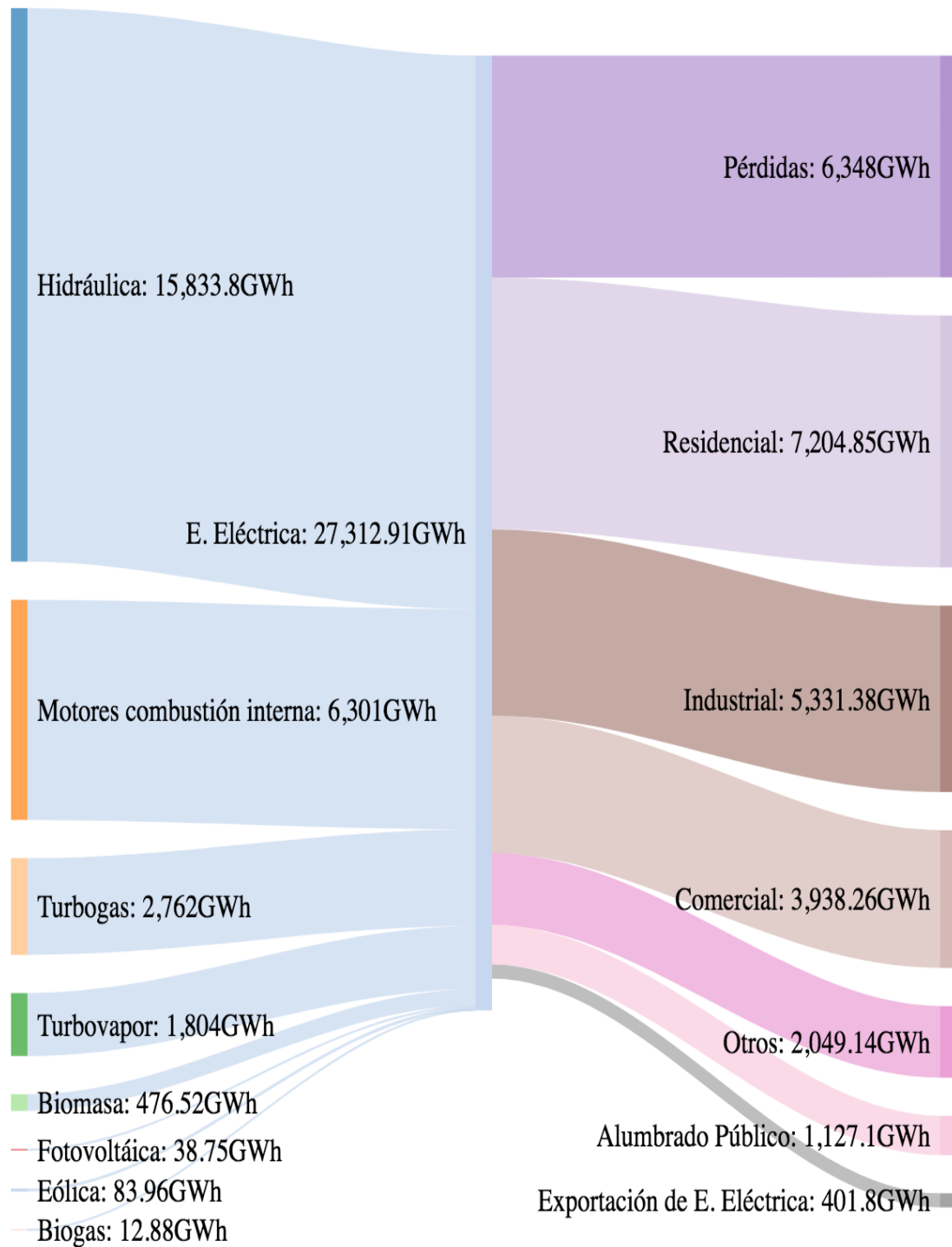
Figura 15. Evolución de la intensidad energética en el eje de transporte.

Fuente: [4]

#### 2.5.4. Situación eléctrica del Ecuador 2016

La energía eléctrica total producida en el año 2016 fue de 27,314 TWh, con las siguientes cifras: hidráulica 15,83 TWh (57,9 %); térmica 10,87 TWh (39,8 %); biomasa 0,48 TWh (1,7% ); eólica 0,084 TWh; biogás 0,012 TWh (0,05 %) y fotovoltaica 0,0387 TWh (0,14 %)[19]. Siendo un 60,21 % energía eléctrica generada por fuentes renovables predominando la hidráulica y un 39,79 % por fuentes no renovables con una gran participación de los motores de combustión interna.

Para ello se ha elaborado un diagrama de Sankey de la generación y consumo de energía eléctrica en el año 2016 de Ecuador, como se muestra en la Figura 16.



**Figura 16.** Diagrama de Sankey de la generación y consumo de energía eléctrica en Ecuador 2016.

**Fuente:** ARCONEL

**Realizado:** Por el autor

La infraestructura eléctrica de Ecuador ha tenido un cambio radical debido al incremento anual de la generación eléctrica, en el año 2016 el país conto con 82.226,42MW de potencia nominal y 7606,88 MW de potencia efectiva, debido a la construcción de proyectos de generación renovable en especial hidroeléctricas; las más representativas son Coca Codo Sinclair con 1500 MW, Sopladora con 487 MW y Mazar con 170 MW.

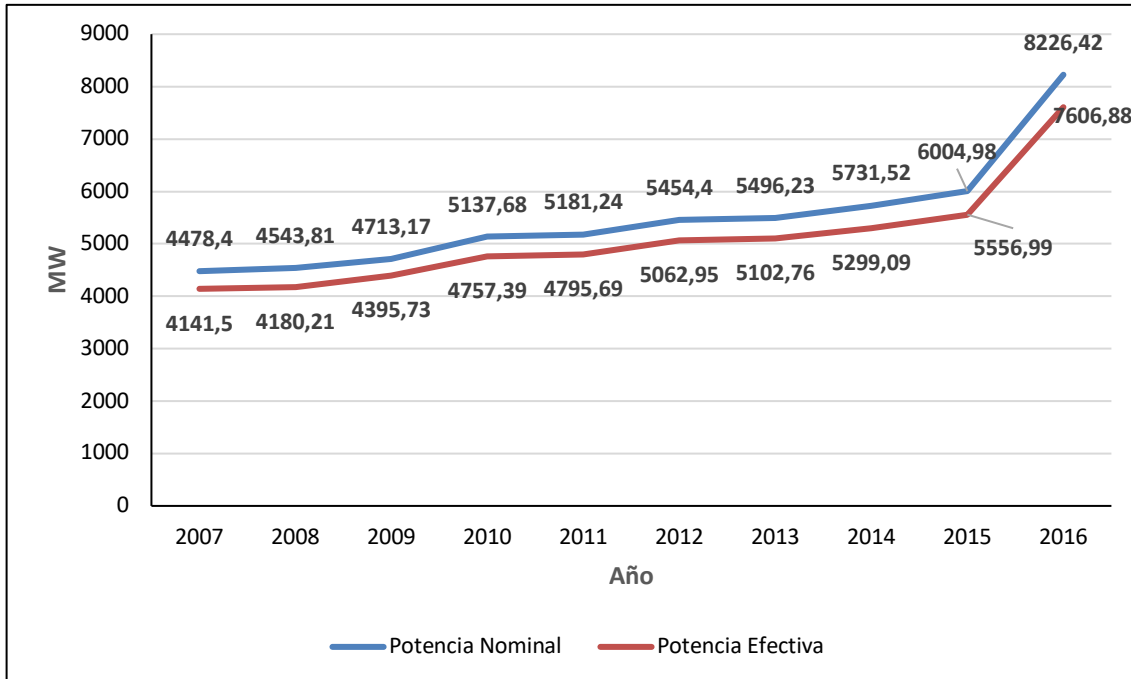


Figura 17. Evolución histórica de la potencia nominal y efectiva

Fuente: [19]

Además, existen varios proyectos de eficiencia eléctrica en plena ejecución, como es el plan de cocción eficiente que busca cambiar el uso de gas licuado por electricidad en las cocinas de inducción, cambio de electrodomésticos de baja eficiencia y reemplazo de luminarias en el sector público y domiciliario. Con estos planes se busca obtener cambios en la carga eléctrica del país.

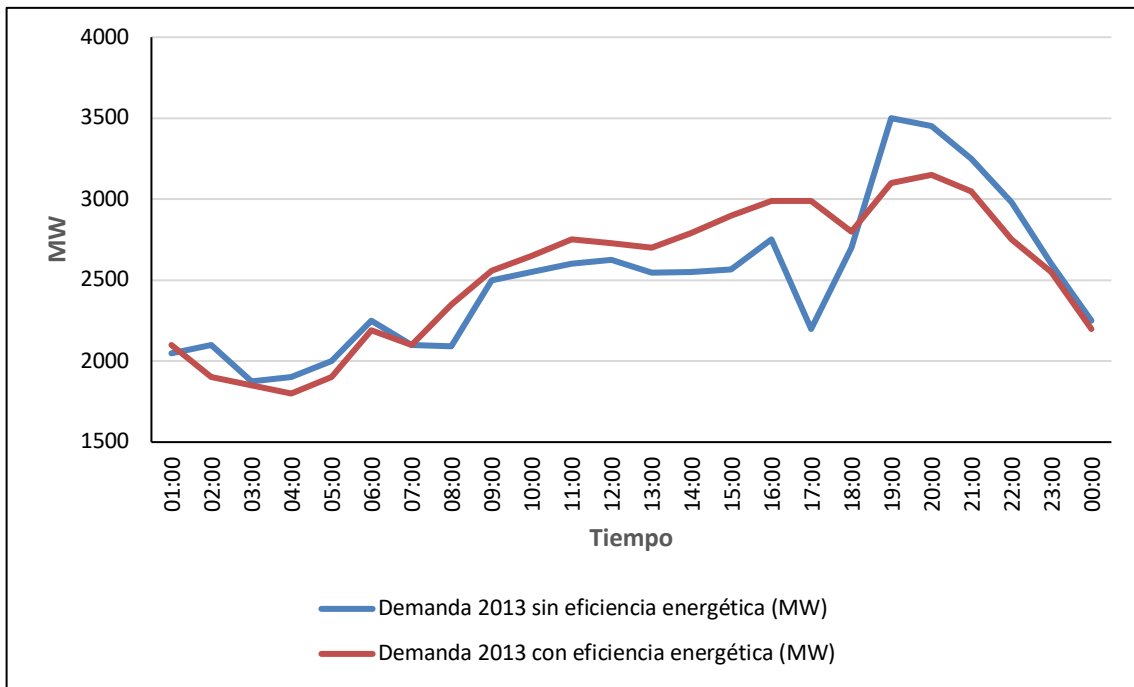


Figura 18. Curva de carga ecuatoriana

Fuente: [20]

## CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES

El crecimiento de la población e industria provocan que la demanda de energía aumente día a día, agudizando la crisis energética que ya se comienza a sentir en el planeta. Sin olvidar que la mayoría de los recursos fósiles que se utilizan se encuentran en zonas conflictivas, provocando desabastecimientos y encarecimiento de estos combustibles. Además de provocar emisiones de CO<sub>2</sub> perjudiciales para la salud y medio ambiente.

Las energías renovables han tomado posesión en estas últimas décadas debido al rápido agotamiento de los combustibles fósiles como el petróleo, carbón y el gas. Sin embargo, este tipo de energías tienen un gran problema, su dependencia a las condiciones ambientales, especialmente a la velocidad del viento y la radiación solar. Es por eso que las plantas de generación con energía renovables son de tipo intermitente, es decir, no pueden proporcionar continuamente energía.

Ante esta situación ha surgido el concepto de “HRES”, *Hybrid Renewable Energy System* por sus siglas en inglés, que consiste en la integración de fuentes de energías renovables: eólica, solar, hídricas, biomasa y pilas de combustible; con recursos no renovables, componiendo un sistema más confiable y amigable con el medio ambiente.

Esta forma de tecnología es muy utilizada en zonas aisladas o de difícil acceso, y cuando se tiene sistemas de almacenamiento de energía, este sistema es económicamente más atractivo debido que la generación eléctrica podría ser continua y se podría verter energía eléctrica a la red principal cuando los valores de esta son más altos, disminuyendo los tiempos de pago.

Una ventaja primordial de estos sistemas es poder crear un mix energético que permite no depender de un solo recurso natural, obteniendo un sistema más flexible y óptimo

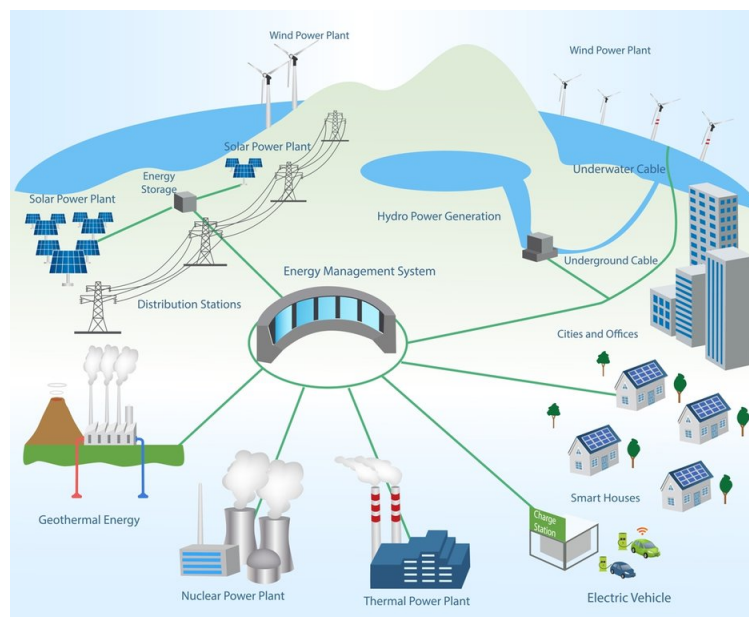


Figura 19. Esquema de un sistema Híbrido Renovable

Fuente: Makeasmartcity

### 3.2. APLICACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES

Un sistema híbrido renovable puede ser utilizado en cualquier sector que lo requiera, pero este es instalado en zonas rurales o de difícil acceso debido a la falta de redes eléctricas que existen en estos sectores permitiendo disminuir costes económicos significativos.

También puede ser instalado en hospitales o universidades, que tienen una gran demanda energética que puede ser sustituida por energías renovables y en caso de haber excedentes, vértelos a la red eléctrica nacional.

Además, se los puede utilizar en zonas naturales protegidas, ya que su impacto ambiental es mínimo, siendo muy atractivo para países con gran biodiversidad y que sus leyes prohíben un gran impacto ambiental en sus localidades, como es el caso de Ecuador.

### 3.3. ESCENARIOS ENERGÉTICOS

El cambio climático provocado por el continuo uso de energía mediante recursos fósiles ha obligado a realizar análisis energéticos a largo plazo, donde se busca abordar todos los problemas energéticos y ambientales en el futuro. La elaboración de escenarios está basada en la recolección de datos y sucesos pasados.

Por esta razón se puede definir al escenario energético como una herramienta que brinda una visión a largo plazo en un futuro incierto, que busca encontrar las acciones adecuadas para cada uno de los posibles escenarios que se presenten mediante una planificación estratégica. Por lo tanto, los escenarios describen procesos hipotéticos, secuencias de eventos que podrían desarrollarse durante un período de tiempo.

Los escenarios comenzaron a desarrollarse después de la segunda guerra mundial, para la elaboración de estrategias militares, luego este concepto fue tomado por las grandes empresas para la toma de decisiones futuras. Es por eso que en los últimos 15 años se han generalizado como una herramienta en la planificación y toma de decisiones políticas por parte de gobiernos y ministerios, en una variedad de áreas: desde investigación hasta salud pública, desde planificación urbana y transporte, hasta infraestructura energética.[21]

Para la elaboración de escenarios energéticos primero se debe definir el problema y su magnitud. Posteriormente se debe recopilar información y tener claro los antecedentes referentes a los temas ambientales, económicos, energéticos, es decir todos los agentes relevantes y determinar factores claves para decisiones futuras, por lo que es primordial clasificar estos factores por importancia.[21]

El tipo de escenario más común es el BAU (business-as-usual), un escenario tipo pronóstico, donde se asumen la continuidad de las tendencias históricas en el futuro y las estructuras de los sistemas permanecen sin cambios.

Además del BAU existen otros tipos de escenarios como:

- **Exploratorios:** están dedicados a explorar una serie de distintas configuraciones posibles con el objetivo de identificar a partir de ellos las estrategias más certeras de los objetivos deseados.

- **Normativos:** diseñados con el fin de generar normas que en un futuro deben regir en un escenario, por lo general son escenarios de tipo político y prescriptivo, estos suelen estar basados en unos escenarios exploratorios.
- **Cualitativos:** este tipo de escenarios estudia las relaciones internas de varios elementos de un sistema, para analizar cómo sería su futuro sin entrar en la cuantificación de las mismas.
- **Cuantitativos:** en este tipo de escenarios se evalúan cifras, márgenes de error, evolución de variables e indicadores del sistema. Suelen crear herramientas para generar modelos numéricos.

### 3.4. TIPOS DE ENERGÍA A UTILIZAR

#### 3.4.1. Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía funciona mediante el principio del efecto fotoeléctrico, un material semiconductor genera un potencial eléctrico mediante la absorción de fotones y desplaza sus electrones en este material.

La gran mayoría de paneles solares son construidos de silicio y dependiendo de su pureza o aleación permiten generar mayor potencial eléctrico mejorando su eficiencia. Cada celda de los paneles solares convencionales puede producir entre 0,6 y 0,7 V. Este voltaje generado es directamente proporcional al área de captación e irradiación solar incidente.

La relación de la corriente generada por el panel con la radiación solar viene dada por la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1. Relación de corriente generada por la radiación solar

$$I_{ph} = I_{cc} * \left( \frac{I_r}{1000} \right) * [1 + K * (T_{cell} - T_{amb})]$$

Dónde:

- $I_{ph}$  = Corriente fotovoltaica
- $I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito de la celda (A)
- $I_r$  = Irradiación ( $W/m^2$ )
- $K$  = Coeficiente térmico
- $T_{cell}$  = Temperatura de la celda ( $^{\circ}C$ )
- $T_{amb}$  = Temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ )

#### 3.4.1.1. Ventajas y desventajas

Las características y propiedades de la energía solar crean un abanico de ventajas en la actualidad comparadas a las tecnologías convencionales de generación, como son las siguientes:

- La energía solar es una fuente de energía inagotable y gratuita.
- No emite gases contaminantes lo cual la convierte en amigable con el medio ambiente.
- Puede ser instalada en casi cualquier lugar del planeta.
- Permite generar energía en varias escalas dependiendo de las necesidades que el usuario posea.
- Mediante esta se impulsa el desarrollo y creación de nuevas tecnologías.



- Motor económico en algunos sectores energéticos del planeta.

No obstante, esta fuente de generación cuenta con ciertas desventajas como las siguientes:

- Dependencia total a condiciones climáticas.
- Los rendimientos alcanzados aún siguen siendo bajos.
- Sus sistemas requieren de una gran área de instalación en relación a su poca generación.
- Impacto visual negativo.
- Inversiones muy altas con plazos de recuperación muy largos.

Requieren de sistemas de almacenamiento de energía para ser más atractivos encareciendo la inversión.

### 3.4.1.2. Conceptos básicos de radiación solar

La Tierra gira alrededor del sol con una inclinación de 23,45 grados durante los 365 días del año, esto genera las 4 estaciones climáticas establecidas en el planeta.

Es por eso que la radiación solar varía dependiendo de la estación del año y ubicación geográfica.

Las coordenadas exactas de un lugar vienen determinadas por latitud y longitud. La primera expresa la posición de la distancia norte – sur con respecto a la línea ecuatorial que es tomada como referencia 0°, los polos se encuentran en las latitudes 90 grados positivos si es en el hemisferio norte y negativos siendo en el sur.[22]

Mientras que la longitud expresa la posición de la distancia este – oeste respecto al meridiano de Greenwich.

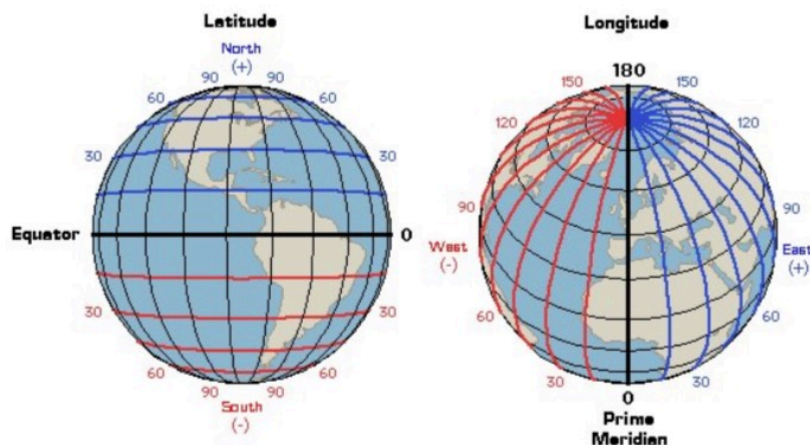


Figura 20. Meridianos y paralelos del planeta Tierra.

Fuente:[22]

Para poder calcular la radiación o incidencia solar en una posición específica se vale de los siguientes datos:

- **Azimut solar:** es el ángulo formado entre la proyección del sol sobre el horizonte y el sur.
- **Zenit solar:** es el ángulo en un plano vertical entre los rayos del sol y la proyección de los mismos sobre el plano horizontal.[22]

Es por eso que la zona del Ecuador al absorber mayor radiación solar, la convierte en una de las zonas más abundante de este recurso natural

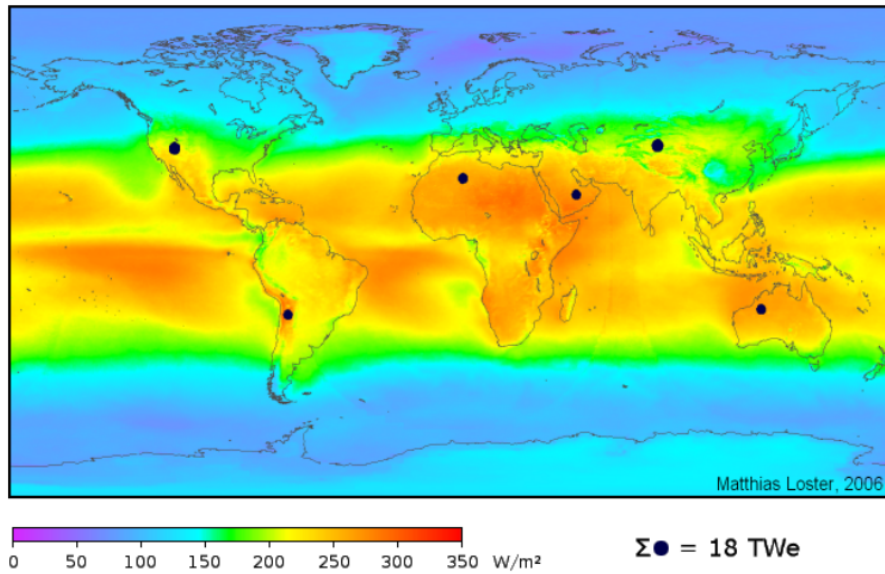


Figura 21. Mapa de radiación solar en el planeta y cantidad estimada de energía

Fuente: Global solar atlas

### 3.4.1.3. Componentes

En la Figura 22 se muestra el esquema básico y componentes que conforman un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

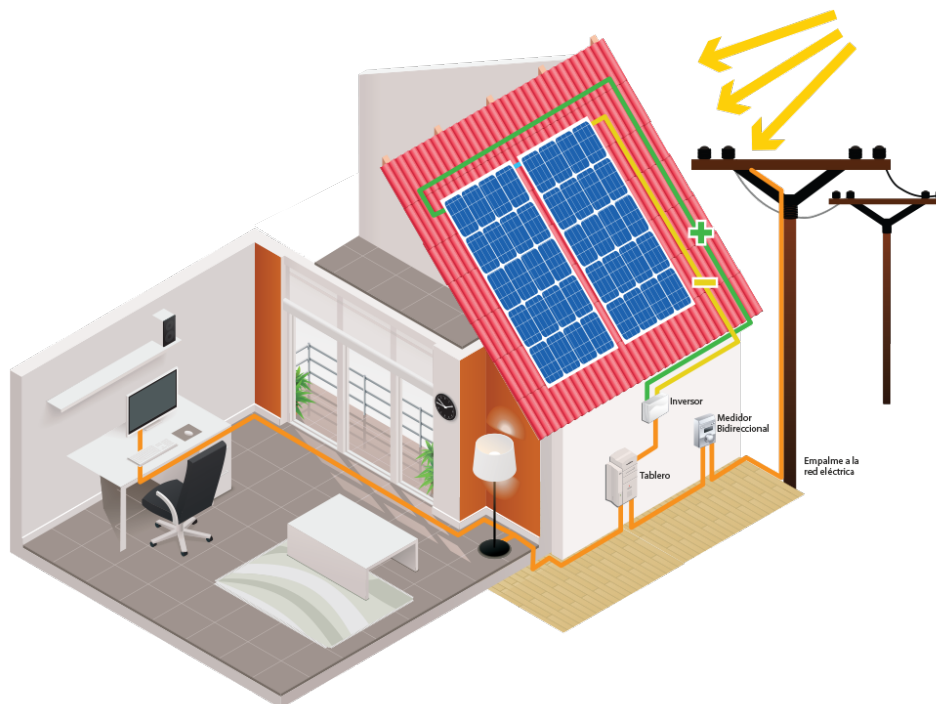


Figura 22. Componentes de un sistema fotovoltaico

Fuente: ACESOL

### **Paneles Solares.**

Un panel solar es el conjunto de pequeñas celdas compuestas principalmente de silicio cristalino o arseniuro de galio (materiales semiconductores) que convierten la luz en electricidad por medio de un efecto fotovoltaico.

Este efecto provoca un diferencial de potencial, donde los fotones transfieren la energía de la radiación solar a los electrones del semiconductor, liberándolos de la red cristalina de la celda.

El conjunto de estos electrodos forma una corriente eléctrica.

Existe una variedad de células con las que están fabricados los paneles solares, pero las más conocidas en el mercado son:

- **Células de silicio mono-cristalino:** con su tono azul oscuro que lo caracteriza por su alta pureza en silicio, este tipo de células poseen una alta eficiencia, además de poseer un tiempo de vida útil más prolongado.
- **Células de silicio poli-cristalinas:** se caracteriza por tener aristas cuadradas y fabricación más simple, por ende más económica. El inconveniente en este tipo de células es su baja eficiencia además que esta empeora cuando las temperaturas son altas.
- **Células de capa fina:** su fabricación es muy sencilla lo que permite fabricar grandes remesas, disminuyendo su coste y haciéndola atractivas para el sector domiciliario a pesar que su eficiencia sea baja. Un inconveniente de estas células es que su degradación es muy acelerada.

Para poder obtener la mayor eficiencia de los paneles solares se deben tomar en cuenta la inclinación y la orientación al momento de ser instalados. Si las cargas son pequeñas es común instalarlos en una posición fija; si estas son grandes, las instalaciones tienen sistemas de rastreo solar que giran de acuerdo a la ubicación del sol, aprovechando de mejor manera el recurso solar y también incrementado el coste de la instalación.

La orientación de los paneles siempre será la contraria al hemisferio donde estén instalados.

Con la ayuda de las siguientes ecuaciones se puede determinar la distancia de separación a la se aconseja instalar los paneles solares para su mayor eficiencia:

**Ecuación 2.** Ángulo mínimo de la posición del sol respecto al observador

$$\gamma = 90 - \delta - L$$

**Ecuación 3.** Distancia adyacente al ángulo de inclinación puesto

$$d1 = w * \text{Cos}(\beta)$$

**Ecuación 4.** Altura a la que se encuentra el panel de la superficie por inclinación puesta

$$h = d1 * \text{Tan}(\beta)$$

**Ecuación 5.** Distancia de generación de sombra del panel

$$d2 = \frac{h}{\text{Tan}(\delta)}$$

**Ecuación 6.** Distancia mínima entre paneles

$$d=d_1+d_2$$

Dónde:

- $\gamma$  = Menor ángulo de la posición del sol respecto al observador
- $\delta$  = Inclinación de la tierra respecto al sol el de menor ángulo
- L = Latitud
- $\beta$  = Inclinación de los paneles FV
- d = Distancia mínima entre los paneles FV

**Inversor de corriente.**

Este equipo permite transformar la corriente continua generada por los paneles solares o almacenada en las baterías en corriente alterna. Para diseñar un correcto sistema fotovoltaico se debe calcular la tensión de alimentación o nominal del inversor, para que no afecte a la potencia nominal que entregue este equipo.

El rendimiento de los inversores de corriente es considerado alto ya que oscila entre el 85 % y 95 % dependiendo de su clase.

**Sistema de almacenamiento**

Usar paneles fotovoltaicos posee la ventaja de almacenar energía aprovechando al máximo la producción de la misma, este almacenamiento se lo realiza mediante su conversión a otra fuente de energía, garantizando su gestión.

Los sistemas de almacenamiento más utilizados en los paneles fotovoltaicos son:

- SMES: Campo magnético en superconductores
- EDLC: Campo eléctrico en condensadores de doble capa
- FCHES: Hidrógeno para celdas de combustible.
- BES: Energía electroquímica en batería y baterías de flujo.

Para este estudio solo se analizará el sistema de almacenamiento en baterías, donde reacciones químicas que participan en la conversión de energía son reversibles permitiendo la acumulación y descarga de electricidad.

Las baterías de plomo ácido son usadas comúnmente para sistemas estacionarios, ya que su placa tubular mejora la densidad de energía además de poseer una versatilidad de tensión nominal. La vida útil de la batería supera los 1000 ciclos.[23]

**3.4.2. Energía a partir de biomasa o bioenergía**

La biomasa es el mayor recurso de carbono conocido, mediante el proceso de fotosíntesis almacena energía en compuestos orgánicos a través de la captación de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y luz solar.

El uso de biomasa tiene dos ejes bases: la generación térmica, en calderas residenciales o industriales y la eléctrica en plantas de cogeneración.

El observatorio de energías renovable de la Unión Europea (*EurObserv'ER Barometer*) reconoce 4 tipos de biomasa dependiendo de su fuente energética, estos son: biomasa sólida, biogás, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y biocarburantes.

El biogás es un tipo de biomasa que se genera a partir de la descomposición de los desechos orgánicos realizada por microorganismos en ausencia del oxígeno en los rellenos sanitarios. Este proceso biológico es conocido como descomposición anaeróbica y depende de la temperatura y la humedad del ambiente, así como el tiempo transcurrido en el cual se ha descompuesto.

Se estima que una tonelada de residuos sólidos urbanos contiene 9,5 GJ de energía. Es por esto que este tipo de componentes almacena un gran potencial para la generación de energía calorífica y eléctrica. [24]

La potencia disponible y potencia a instalar, dependerá del caudal de biogás según la siguiente ecuación:

**Ecuación 7.** Potencia disponible del biogás

$$\text{Potencia disponible [kW]} = \eta_t * PCI_{biogas} * Q_{biogas}$$

Dónde:

- $\eta_t$  : Rendimiento térmico de la generación eléctrica, este valor oscila entre un 25 y 40 %.
- $PCI_{biogas}$ : Poder calorífico inferior del biogás, aproximadamente 5 kWh/m<sup>3</sup>
- $Q_{biogas}$  : Caudal de biogás capturado m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora

Las plantas generadoras a partir de biogás presentan una gran ventaja ya que sus costes de inversión y mantenimiento son muy bajos comparados con otros tipos de tecnología, como se indica en la siguiente tabla.[25]

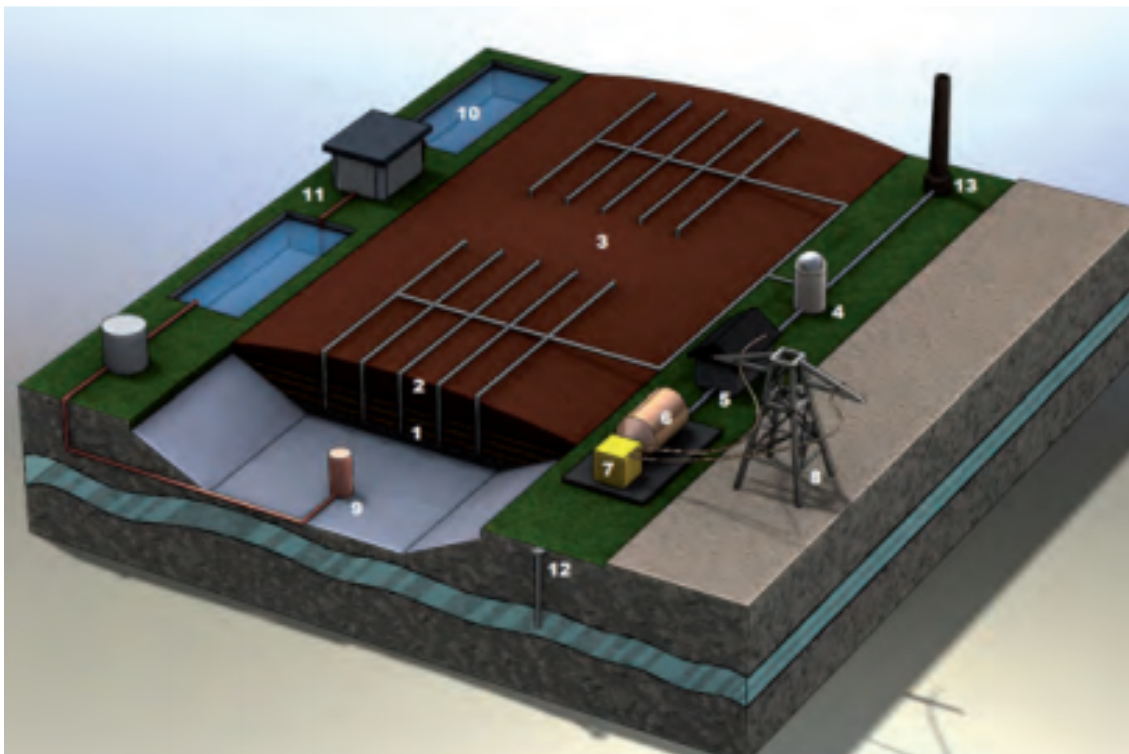
**Tabla 1. Comparación de costes de diferentes tipos de plantas de generación**

Fuente: [25]

Tipo de biomasa	Especificaciones de planta	Costes de Inversión (\$/KWe)	Costes de O&M (\$/KWe/año)	Eficiencia Eléctrica	Eficiencia Térmica	Tiempo de vida (media, años)
<b>Biomasa sólida</b>	Biomasa	2.225 - 2.995	84 - 146	0,26 - 0,3	-	30
	Co-combustion	450 - 650	65 - 95	0,37	-	30
	Biom. Co-gen	2.600 - 4.375	86 - 176	0,22 - 0,27	0,63 - 0,66	30
<b>Biogás</b>	Agric. Co-gen	2.765 - 4.525	120 - 145	0,27 - 0,33	0,55 - 0,59	25
	Vertedero	1.350 - 1.950	50 - 80	0,32 - 0,36	-	25
	Vert. Co-gen	1.500 - 2.100	55 - 85	0,31 - 0,35	0,5 - 0,54	25
	Agric.Res. Co-gen2	400 - 3.350	125 - 175	0,26 - 0,3	0,54 - 0,58	25
<b>Fracción orgánica</b>	Incin - RSU	5.500 - 7.125	145 - 249	0,18 - 0,22	-	30
	Incin - RSU Co-gen	5.800 - 7.425	172 - 258	0,14 - 0,16	0,64 - 0,66	30

### 3.4.2.1. Componentes

En la Figura 23 se muestra un relleno de residuos sólidos urbanos en el cual se ha instalado una planta de biogás para poder generar energía eléctrica.



**Figura 23.** Componentes de una planta de biogás en rellenos sanitarios

**Fuente:** Guía de usuario generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos

El equipo principal en este tipo de plantas son los generadores eléctricos que pueden ser: motores de combustión interna, turbinas y micro turbinas, esto dependerá del flujo de biogás que se tenga.

#### **Motores de combustión interna.**

Son los más utilizados debido a sus costes y eficiencia que varía entre 25 y 35 %, que inclusive puede mejorarse con sistemas de cogeneración. Las capacidades de generación van desde los 800 kW hasta los 3 MW por motor, utilizando una mezcla de biogás con 50 % de concentración de metano.

Lamentablemente sus costes de mantenimientos son relativamente altos y así también la emisión de gases al medio ambiente.

#### **Turbinas de gas.**

Son utilizadas en proyectos de gran envergadura debido que los flujos de biogás son mayores ( $40 \text{ m}^3/\text{min}$ ) permitiendo generar un mínimo de 3 MW. Entre mayor el tamaño de la turbina menor el coste por kW.[26]

La eficiencia de estas turbinas va del 20 al 28 %, inclusive pudiendo alcanzar un 40 % adaptando sistemas de cogeneración con recuperación de calor residual.[26]

La principal desventaja de las turbinas es que necesitan un biogás de mayor pureza.

### **Sistemas de tratamiento de gas**

Los generadores que funcionan en estas plantas requieren de la purificación del combustible para reducir partículas contaminantes que puedan averiar las partes de los mismos. Además, estos sistemas de tratamiento disminuyen los niveles de emisión de gases contaminantes.

Los principales métodos utilizados son: absolventes con gel de sílice, enfriamientos bajo cero, absorción líquida, absorción con animas o separación con membranas.

### **3.5. HOMER**

HOMER por sus siglas en inglés *Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*, es un software que permite modelar sistemas de potencia distribuida, de la manera más óptima dependiendo de las necesidades del usuario. La principal ventaja de HOMER es que simplifica la evaluación de diseños de sistemas de energía conectadas a la red o fuera de ella.

El programa simula la operación de un sistema determinado realizando cálculos de balance de energía, comparando la demanda térmica y eléctrica para cada una de las horas del año, con la energía que el sistema puede brindar en ese instante determinado.

Con las comparaciones y cálculos realizados, HOMER determina si la configuración dada satisface la demanda y con ello se estima los costes de instalación y operación del sistema en función del tiempo de vida de los equipos del diseño.

Una herramienta que posee este programa permite realizar un análisis de sensibilidad, es decir, puede ingresar valores más detallados de los recursos energéticos de entrada, permitiendo tener un análisis económico más exacto dependiendo de la demanda energética en un instante de tiempo determinado.

Otras de las ventajas que ofrece HOMER es su interfaz sencilla y amigable con el usuario, por lo que es posible contar con los datos de la demanda eléctrica y térmica, los valores en cada una de las 8760 horas del año solo con insertar los datos técnicos de cada uno de los equipos. Ya que el programa realizara todos los cálculos dependiendo de las restricciones que el usuario le proporcione.

Inclusive cuenta con una biblioteca de equipos a utilizar, con sus datos técnicos preestablecidos, siendo una buena sugerencia para diseños energéticos que se piensan realizar.

HOMER cuenta con los principales elementos de generación de energía renovable como es el caso de la generación de energía mediante hidrólisis, uno de los más complejos, incluso se pueden adherir al sistema equipos que consuman combustibles fósiles para tener el balance más real del sistema.

### **3.6. LANDGEM**

EPA LandGEM es un programa basado en Microsoft Excel que utiliza ecuaciones de primer orden para estimar la generación de metano y de biogás en los rellenos sanitarios, basado en el depósito de residuos sólidos del pasado y el futuro; y estimando la eficiencia del sistema de colección de biogás en el vertedero de RSU.



**Ecuación 8.** Velocidad de descomposición de primer orden

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}}$$

Dónde:

- $Q_{CH_4}$  = Generación de metano anual ( $m^3/año$ )
- $l$  = año inicial
- $n$  = (año en el que se realiza el cálculo) – (año inicial de recepción de residuos sólidos urbanos)
- $j = 0,1$  – años de incremento
- $k$  = metano generado ( $1/año$ )
- $L_0$  = potencial de metano generado ( $m^3/Mg$ )
- $M_i$  = cantidad de basura aceptada en el año  $i$  ( $Mg$ )

Hay que recalcar que este software asume que la generación de metano está a su capacidad nominal poco tiempo después de su depósito en los vertederos, también supone que el porcentaje de generación de metano en los rellenos sanitarios de RSU disminuye exponencialmente debido que el material orgánico es consumido por bacterias.

Los datos a ingresar en el software son: la cantidad de basura anual que ingresa al vertedero y seleccionar ciertos parámetros preestablecidos por el programa que son la constante de velocidad de generación de metano ( $k$ ), capacidad potencial de generación de metano ( $L_0$ ) y el porcentaje de metano contenido en el biogás.

**(k) Constante de velocidad de generación de metano:**

Esta constante indica la velocidad con la cual los desechos colocados en vertedero de RSU generan biogás. Condiciones como la humedad, precipitación anual, temperatura, disponibilidad de bacterias y pH definen principalmente el valor de la constante de velocidad de generación de metano ( $k$ ). Las mejores condiciones son las que registran mayor humedad, gran cantidad de precipitaciones y altas temperaturas, ya que provocan mayor descomposición de la materia orgánica generando más biogás en el vertedero.

**(L) Potencial de generación de metano:**

Este valor indica la cantidad total de gas metano potencialmente producido por una tonelada métrica de RSU en el transcurso del tiempo en el que se descompone. La agencia de protección ambiental de USA ha determinado que este valor está entre el rango de 56,6 a 198  $m^3$  por tonelada de RSU.

Este valor depende principalmente del grado de materia orgánica que ingrese al vertedero, por lo que el programa LandGEM establece a este parámetro un valor de 170  $m^3/Mg$  para tener idea de un vertedero convencional.

## CAPÍTULO 4. DATOS, CÁLCULOS Y MODELADO

En este trabajo se realizó un escenario energético BAU de Ecuador, desde el año 2014 hasta el 2030 mediante el cual se pueda tomar las medidas necesarias ante las necesidades del país, ya que se plantea insertar nuevas tecnologías y reducir el consumo de combustibles fósiles sustituyendo la energía generada por estos, por energía proveniente de recursos renovables, aprovechando la abundancia de estos en Ecuador.

Una vez realizado y elegido el mejor escenario energético para el país se realizó un mix energético de la ciudad de Machala utilizando HOMER, y así poder cumplir el escenario energético BAU antes resuelto.

### 4.1. ESCENARIO ENERGÉTICO BAU ACTUAL

En la elaboración del escenario energético ecuatoriano a corto plazo se tomaron datos de la agencia internacional de energía (IEA), desde el año 1990 hasta el 2014. Con estos valores se pueden determinar los ritmos de variación de la demanda de los sectores: industrial, transporte, servicios, domésticos y agricultura y pesca. Además de poder evaluar el ritmo crecimiento de la población y producto interno del país. Estos ritmos vienen definidos por la siguiente ecuación:

**Ecuación 9.** Ritmos de crecimiento de un escenario energético.

$$\text{Ritmos de crecimiento} = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Dónde:

- $V_f$  = valores finales
- $V_i$  = valores iniciales
- $n$  = número de años

Una vez determinados los ritmos de crecimiento se puede determinar los valores de crecimiento de cada uno de los sectores involucrados mediante una extrapolación lineal y así analizar su impacto.

En el ejercicio también se deben tomar en cuenta ciertas variables delimitantes como es la producción de CO<sub>2</sub> por fuente y sector, cada país posee valores diferentes ya que estos dependen del tipo de energía que generan, sus recursos renovables y el avance tecnológico que posea para la generación de energía y satisfacción de la demanda. Sin embargo, Ecuador no cuenta con una base de datos clara de la producción de CO<sub>2</sub> en el país, por los que se han tomado los ratios del foro Nuclear 2012, con el fin de estandarizarlos.

**Tabla 2.** Producción de CO<sub>2</sub> en la aplicación de cada forma de energía a distintos sectores

**Fuente:** Foro Nuclear 2012

Sector	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Nuclear
Industrial	0	4,8	3,5	2,5	0	0
Transporte	0	0	3,4	2,5	0	0
Servicios	0	4,8	3,5	2,5	0	0
Doméstico	0	4,8	3,5	2,5	0	0
Agric. y Pesca	0	4,8	3,5	2,5	0	0
Gen. Electricidad.	3,4	5,6	4	3,8	0	0

En la elaboración del escenario BAU se recopilan los datos de producción de cada fuente, y consumo de cada sector para poder establecer la demanda de energía por sectores y tomar un año como referencia que nos permita realizar el plan de desarrollo energético.

Un aspecto muy importante en los resultados del BAU es el consumo de electricidad por cada sector y la generación eléctrica dependiendo de la fuente, ya que son factores claves para la toma de decisiones en los escenarios energéticos.

En las siguientes tablas se muestran los valores iniciales con los que se realizó el BAU para obtener las proyecciones de consumo energético en el año 2030, según los ritmos de crecimiento y variación de la demanda.

**Tabla 3.** Ritmos de variación de la demanda y crecimiento Ecuador 2014

**Fuente:** El autor

Sector	%
Industrial	3,4
Transporte	3,0
Servicios	8,7
Doméstico	1,1
Agric. Y Pesca	2,0
Población	1,8
PIB (M\$)	3,3

**Tabla 4.** Datos de consumo energético Ecuador 2014

Fuente: El autor

CONTRIBUCIÓN (ktep)							
SECTOR		Electricidad	Petróleo	Gas natural	Renovables	Total	%
<b>Industria</b>	ktep	731	1647	34	311	2723	25
	%	27	60	1	11		
<b>Transporte</b>	ktep	1	5364	0	8	5373	50
	%	0	100	0	0		
<b>Servicios</b>	ktep	414	377	0	2	793	7
	%	52	48	0,00	0,25		
<b>Doméstico</b>	ktep	547	913	0	235	1695	16
	%	32,3	54	0,0	13,9		
<b>Agric. Y Pesca</b>	ktep	0	132	0	0	132	1
	%	0	100	0	0		
<b>Gen. Electricidad</b>	ktep		2281	564	1235	4080	
	%		56	14	30		
<b>Total fuente</b>	ktep	1693	10714	598	1791		
<b>Saldo eléctrico</b>	ktep	68					
<b>Electricidad generada</b>	ktep	1625					
<b>Total E. Primaria</b>	ktep					13171	
	%	1	81	5	14		
<b>Total E. final</b>	ktep					10716	

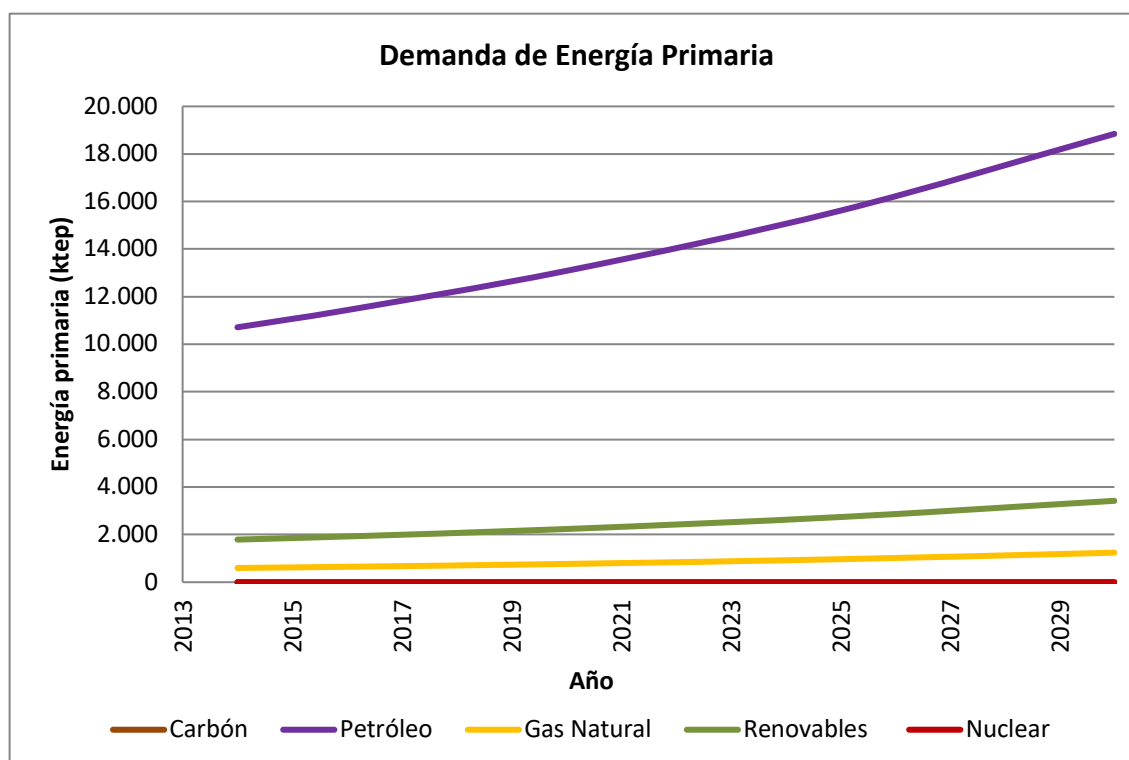
Antes de la ejecución del plan de desarrollo energético se ha establecido un escenario BAU a mediano plazo en el que se han planteado las siguientes condiciones: mantener constante los porcentajes de contribución de cada una de las fuentes al consumo de cada sector de la demanda, un rendimiento medio establecido de la generación eléctrica a partir de los datos del año 2014 y un excedente eléctrico que mantendrá constante.

A partir de estas condicionantes se obtienen los siguientes resultados a analizar:

**Tabla 5.** Datos del posible consumo energético Ecuador 2030

Fuente: El autor

CONTRIBUCIÓN (ktep)							
SECTOR		Electricidad	Petróleo	Gas natural	Renovables	Total	%
Industria	ktep	1242	2798	58	528	4625	25
	%	27	60	1	11		
Transporte	ktep	2	8550	0	13	8564	46
	%	0	100	0	0		
Servicio	ktep	1578	1437	0	8	3023	16
	%	52	48	0	0		
Doméstico	ktep	655	1094	0	282	2031	11
	%	32	54	0	14		
Agric.y Pesca	ktep	0	181	0	0	181	1
	%	0	100	0	0		
Gen. Electricidad	ktep		4785	1183	2591	8559	
	%		56	14	30		
Total fuente	ktep	3477	18844	1241	3421		
Saldo eléctrico	ktep	68					
Electricidad generada	ktep	3409					
Total E. Primaria	ktep					23574	
	%						
Total E Final	ktep					18424	



**Figura 24.** Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de energía primaria con BAU actual.

Fuente: El autor

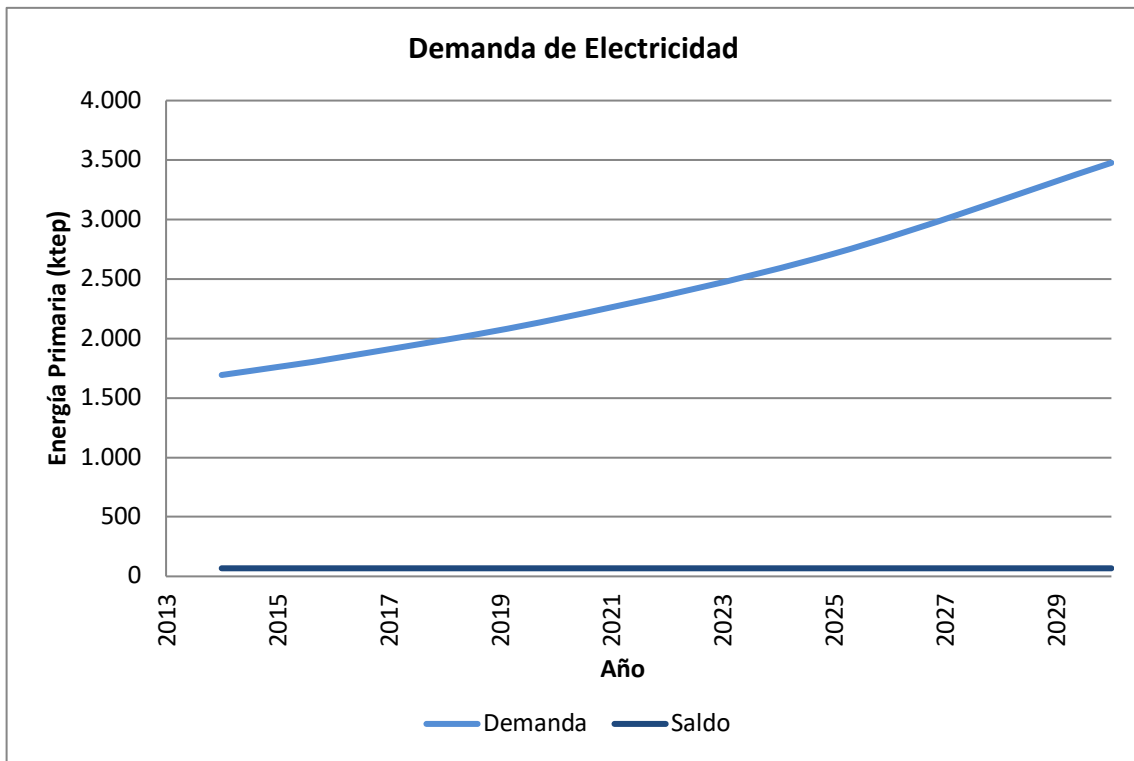


Figura 25. Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de electricidad sin implementación de E.R.

Fuente: El autor

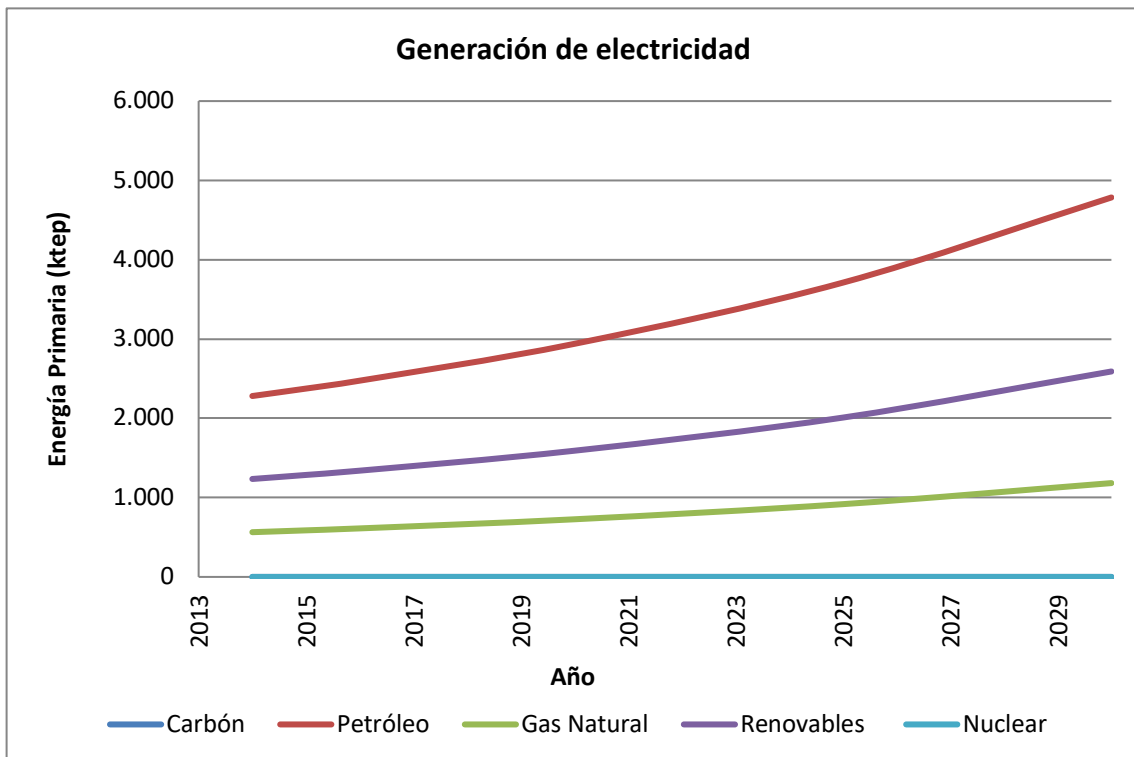
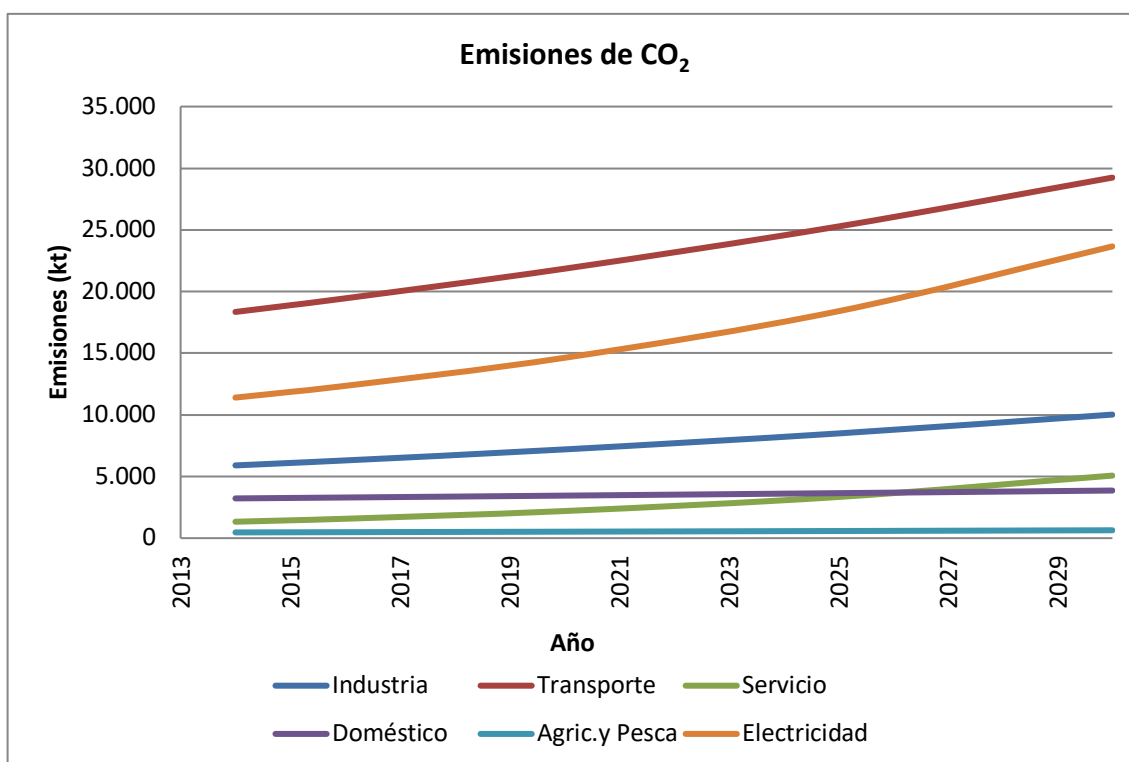


Figura 26. Resultados del sector energético ecuatoriano - Generación de electricidad con BAU actual.

Fuente: El autor



**Figura 27.** Resultados del sector energético ecuatoriano - Emisiones de CO<sub>2</sub> con BAU actual.

**Fuente:** El autor

Los resultados del futuro escenario energético ecuatoriano son poco alentadores debido al excesivo uso de recursos fósiles como energía primaria (18.844 ktep), esto se debe básicamente a que gran parte de la energía se utiliza en el sector del transporte ya que el Ecuador es muy dependiente del uso del petróleo en este sector. Esta situación aumentó la emisión de CO<sub>2</sub>, sin olvidar que el país posee combustibles de mediana o baja calidad, produciendo otros gases contaminantes y evitando una correcta combustión en los vehículos.

También se puede observar que las energías renovables y el uso de gas natural han permanecido casi constantes en el transcurso del tiempo cubriendo la demanda de energía primaria ecuatoriana.

Por otra parte, la demanda de electricidad presenta un ascenso debido al ritmo de crecimiento de la población (1,8 %) y la variación de la demanda de los diferentes sectores, lo que genera un mayor uso de combustibles fósiles para satisfacer esta necesidad, como es el caso de la generación eléctrica a partir de recursos fósiles. Se estima que el consumo per cápita ecuatoriano es de 1120,47 kWh/hab [27], siendo la provincia del Guayas la que posee el mayor consumo de energía, no solo por su población sino también por ser la zona con mayor cantidad de industrias y comercio del país.

Ante este escenario se deben analizar los factores específicos que se puedan modificar para un mejor desarrollo energéticamente sostenible y con menores emisiones de CO<sub>2</sub>. A continuación, se detallan las principales problemáticas de sector energético ecuatoriano:

### **Sector de transporte.**

Ecuador posee un excesivo uso de combustibles fósiles en medios de transporte, que en su mayoría son antiguos y se encuentran en mal estado. Este sector consume el 42 % de la energía del país, como fue mencionado en el capítulo anterior, principalmente por la ineficiencia de los vehículos, la mala planificación del sistema de transporte público interprovincial, intercantonal y urbano, además de la falta de educación a la población sobre el uso de recursos fósiles para su movilización. Cabe recalcar que el factor socioeconómico es clave dentro de esta problemática.

Por otra parte, el subsidio de combustibles por parte del estado ecuatoriano (\$ 1,48 por galón de gasolina) [28] podría ser considerado como un incentivo para la compra y uso de medios de transporte que utilicen combustibles fósiles. Hasta que el país no modifique esta situación, no podrá cambiar su esquema energético en este sector.

### **Sector eléctrico.**

Ecuador, durante muchas décadas tuvo falencias en niveles de generación, transmisión y sub-transmisión. No contó con una planificación eléctrica hasta la creación del instituto ecuatoriano de electricidad (INECEL), el cual publicó el primer plan de electrificación en 1966.

Actualmente el país cuenta con un sistema eléctrico más estable, sin embargo, su red aun no supera los problemas de eficiencia y hurto de energía eléctrica. Debido a esto, invertir en un programa de eficiencia eléctrica en hogares e industrias podrá mejorar notoriamente esta panorámica.

Ya que este sector depende principalmente de las hidroeléctricas, en el 2009 el país tuvo racionamientos eléctricos debidos a los estiajes que sufrió durante 3 meses en la estación de verano. A pesar que el Ecuador cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos estos están sometidos a cambios climáticos, lo que los convierten en una fuente de energía poco segura. Si se implementaran otros sistemas con uso de fuentes no convencionales de energía como un mix energético, se podría equilibrar el sistema de generación ecuatoriano y tener un respaldo ante cualquier circunstancia.

### **Sector residencial, comercial y público.**

Estos tres sectores conforman el 23 % de la demanda energética del país, el residencial con 12 %, el más alto entre los tres debido al uso de gas licuado derivado del petróleo para la cocción de alimentos y uso de calefactores y calefones.

El uso de gas licuado en el sector domiciliario es un sistema ineficaz ya que las cocinas que utilizan este tipo de combustible tienen una eficiencia alrededor del 40 % con un consumo de energía de 209 kWh/mes, mientras que las cocinas de inducción presentan un 85 % de eficiencia con un consumo de 100 kWh/mes. Para estas cifras se tomó de ejemplo a una familia de cuatro personas y la cocción de tres comidas principales. [29]

Además de su ineficiencia el gas licuado de petróleo (GLP) causa grandes pérdidas económicas al estado ecuatoriano ya que este destina más de 700 millones de dólares en su subsidio. Un cilindro de 15 kg en Ecuador cuesta \$ 2,50, mientras el precio internacional es de \$ 22,27. Por otra parte el 88 % del GLP que se consume en el país es importado, causando un gran desbalance en la economía ecuatoriana.



Además, este gas destinado solo para uso doméstico es utilizado erróneamente en el sector industrial y comercial. Sin embargo, el problema más grave es el contrabando de combustible hacia los países vecinos, se estima que un 18,45 % del total de GLP ecuatoriano es sustraído, ocasionando pérdidas y gastos adicionales en control fronterizo.

#### **4.2. ESCENARIO ENERGÉTICO CON MAYOR PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES**

Una vez conocidos los problemas del país en un escenario energético sin implementación de sistemas de energías renovables se pueden tomar los correctivos necesarios para la creación de un plan energético proyectado hasta el 2030, con mayor participación de energías amigables con el medio ambiente. A continuación, se detallarán las medidas a tomar cada cinco años para lograr cumplir las expectativas, tomando de referencia los datos establecidos en el 2014:

##### **2015**

En este año se debió implementar el uso de biocombustibles, sustituyendo en un 2 % el consumo de combustibles fósiles en el sector del transporte por biocarburantes. De esta manera se lograba una disminución de 111 ktep de energía fósiles, lo que conducía a suspender la producción de un 378 kt de CO<sub>2</sub>.

En el sector domiciliario se podía implementar el plan de cocción de alimentos eficiente, dejando atrás el uso de GLP de uso domiciliario por cocinas de inducción eléctricas. Para este año se estimaba que un 10 % de los recursos fósiles que eran empleados para el consumo de GLP pasarían a ser reemplazados por energía eléctrica. Este cambio lograría que 92 ktep que contribuía el petróleo pasen a ser de energía eléctrica y así evitar emitir 326 ktep a la atmosfera.

Estas acciones obligarían a aumentar la generación de electricidad, que equivalen a 605,9 ktep que lo deberían proporcionar fuentes renovables para mantener el plan de desarrollo energético del país.

##### **2016**

Para este año las medidas adoptadas debían consistir en el aumento de 5 % de energías renovables en el sector industrial por medio de autoconsumo, fotovoltaica y cogeneración. Esto disminuiría el uso de 88 ktep de petróleo, por lo que se necesitaría incrementar 355 ktep en la generación de energía eléctrica del país mediante fuentes renovables.

Para este año se debía continuar el cambio paulatino de derivados del petróleo por carburantes en el sector de transporte, con lo que se espera suprimir el uso de 111 ktep de petróleo que serán cubiertos por las energías renovables.

El plan de cocción eficiente de alimentos se incrementaría un 1 % disminuyendo el uso de 8ktep de derivados del petróleo, se espera que en el futuro se incremente el porcentaje de usuarios que use cocinas de inducción, ya que se pretende eliminar el subsidio al GLP para uso doméstico.

##### **2020**

Para este año se continúa con el plan de eficiencia energética en la industria y la implementación de un 5 % de energías renovables, que equivalen a 382 ktep. Esto permitiría disminuir 1347 kt de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmosfera.

Otra medida que se tomará a partir de este año es el incremento de un 10% en el uso de biocarburantes en el sector de transporte con la esperanza de reducir 2455 ktep de derivados de petróleo.

También se tiene previsto un aumento del 3 % en el consumo eléctrico anual ocasionado por el uso de cocinas de inducción lo que llevaría a una disminución de 105 ktep usados por GLP. Este aumento da lugar al aumento de generación eléctrica (836,83 ktep), que será cubierto por fuentes renovables.

## **2025**

En esta penúltima etapa de medidas energéticas para llevar a cabo el escenario energético donde predominen las energías renovables se activa un plan agresivo en las medidas antes tomadas en especial el uso de la cocina de inducción ya que se eliminan totalmente el subsidio del GLP doméstico para la cocción de alimentos, por lo que se estima incremento del 15 % de consumo eléctrico anual en el sector domiciliario, que representan unos 608 ktep.

Se incentiva el uso de energías renovables en las industrias lo que conlleva al aumento de un 5 % anual de estas por medio de sistemas de autoconsumo como la cogeneración.

En esta etapa, el país ya se encuentra concienciado y a plena capacidad de usar automóviles eléctricos, en especial en el sistema de transporte público de grandes ciudades como Guayaquil, Quito, Cuenca y Machala. Por lo que se implementa el plan de transporte eléctrico en el país con un incremento del 5 % anual, logrando disminuir 1065 ktep anuales en uso de derivados del petróleo.

## **2030**

En esta etapa final se continúa con la implementación del transporte eléctrico en el sector público y de uso personal. Este tipo de transporte se vuelve rentable gracias a la creación de nuevas hidroeléctricas y la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, además de incentivos económicos y la eliminación del subsidio de los combustibles en el país. Se estima un incremento del 7 % anual del uso de transporte eléctrico.

El país se encuentra en la etapa final de la transición del uso de cocinas accionadas por GLP a cocinas de inducción magnética, por lo que se registrará un aumento del 2 % anual en el sector domiciliario. El aumento considerable de la carga eléctrica producido por este servicio será cubierto por todos los proyectos de generación renovable que se han ido construyendo a lo largo de este plan de desarrollo energético, la base de generación serán las centrales hidroeléctricas, seguido del uso de recurso solar y biomasa.

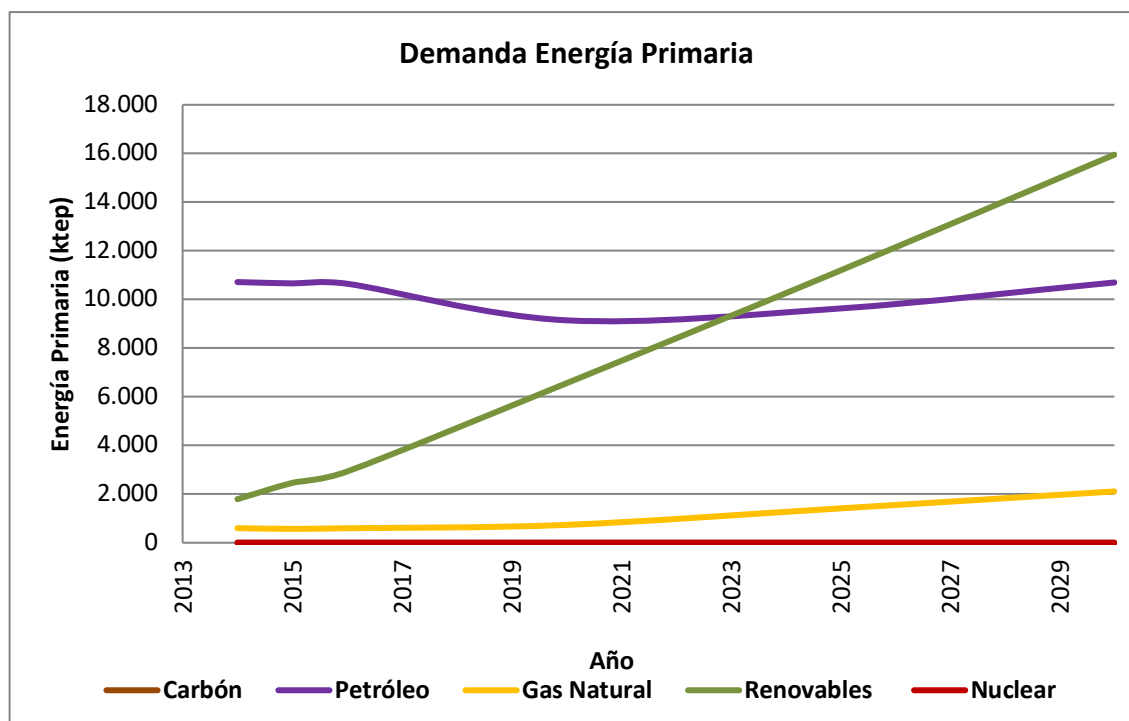
Se continúa con el aumento de generación de energía en la industria mediante fuentes renovables, especialmente en la industria enfocada al procesamiento del sector agrícola con un gran potencial en las plantas de cogeneración u otras tecnologías. Se pretende realizar un cambio del 10 % anual en este sector.

Si se llegara a tomar todas estas decisiones para el futuro escenario energético de Ecuador, el país podría cubrir un 55,34 % de su demanda de energía a partir de fuentes renovables.

**Tabla 6.** Escenario energético ecuatoriano con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R. - 2030

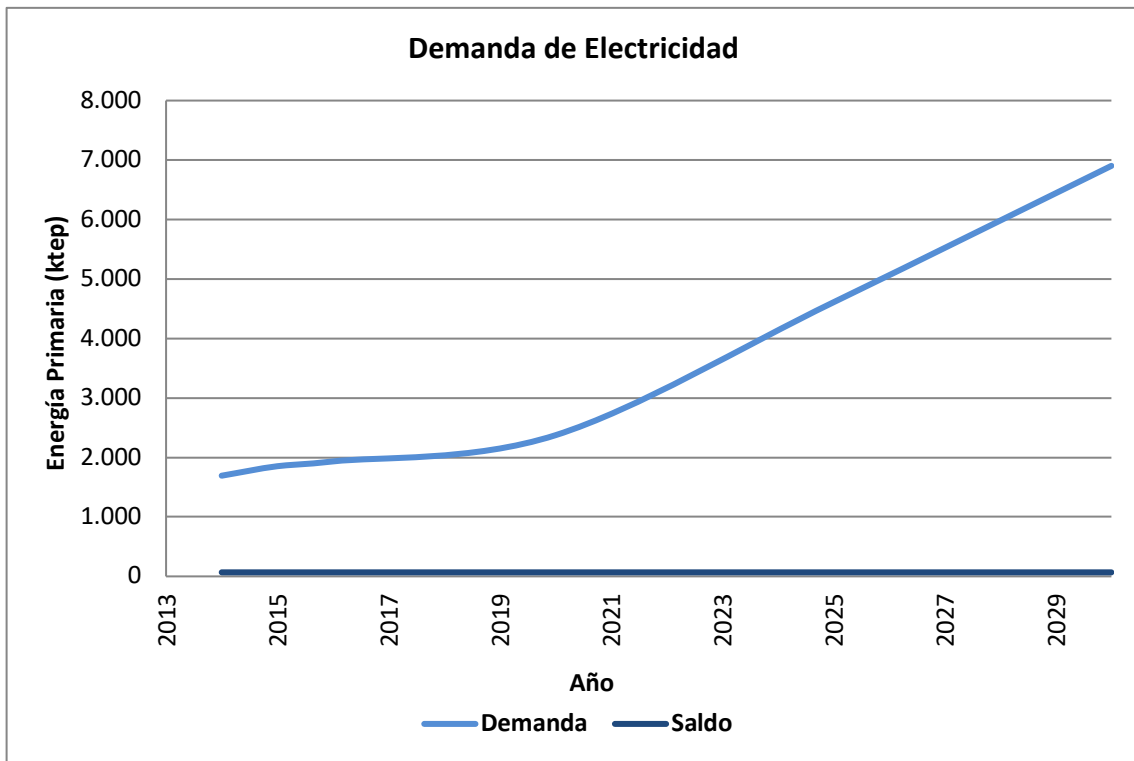
Fuente: El autor

CONTRIBUCIÓN (ktep)							
SECTOR		Electricidad	Petróleo	Gas natural	Renovables	Total	%
Industria	ktep	1242	797	58	2528	4625	25
	%	27	17	1	55		
Transporte	ktep	2526	2402	0	3636	8564	46
	%	30	28	0	42		
Servicio	ktep	1578	1437	0	8	3023	16
	%	52	48	0	0		
Doméstico	ktep	1556	193	0	282	2031	11
	%	77	10	0	14		
Agric.y Pesca	ktep	0	256	0	0	256	1
	%	0	100	0	0		
Gen. Electricidad	ktep		5612	2051	9496	17160	
	%		33	12	55		
Total fuente	ktep	6903	10697	2109	15950		
Saldo eléctrico	ktep	68					
Electricidad generada	ktep	6835					
Total E. Primaria	ktep					28824	
	%	0	37	7	55	100	
Total E Final	ktep					18498	



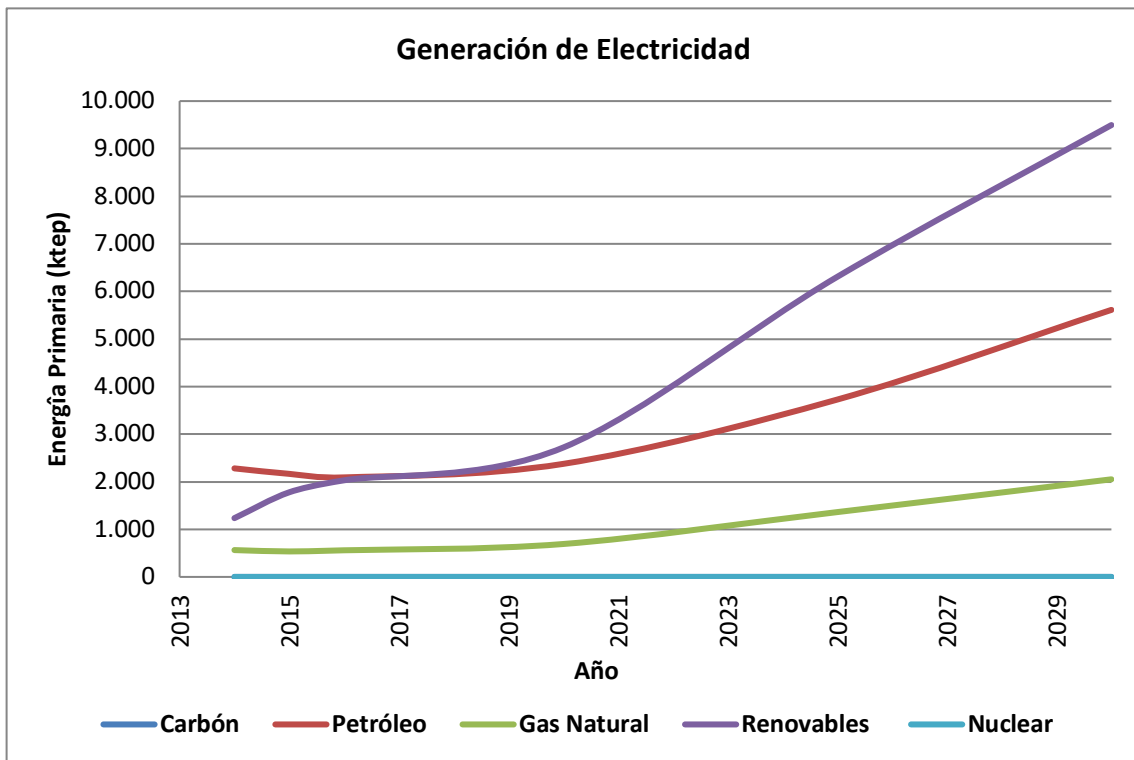
**Figura 28.** Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de energía primaria con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.

Fuente: El autor



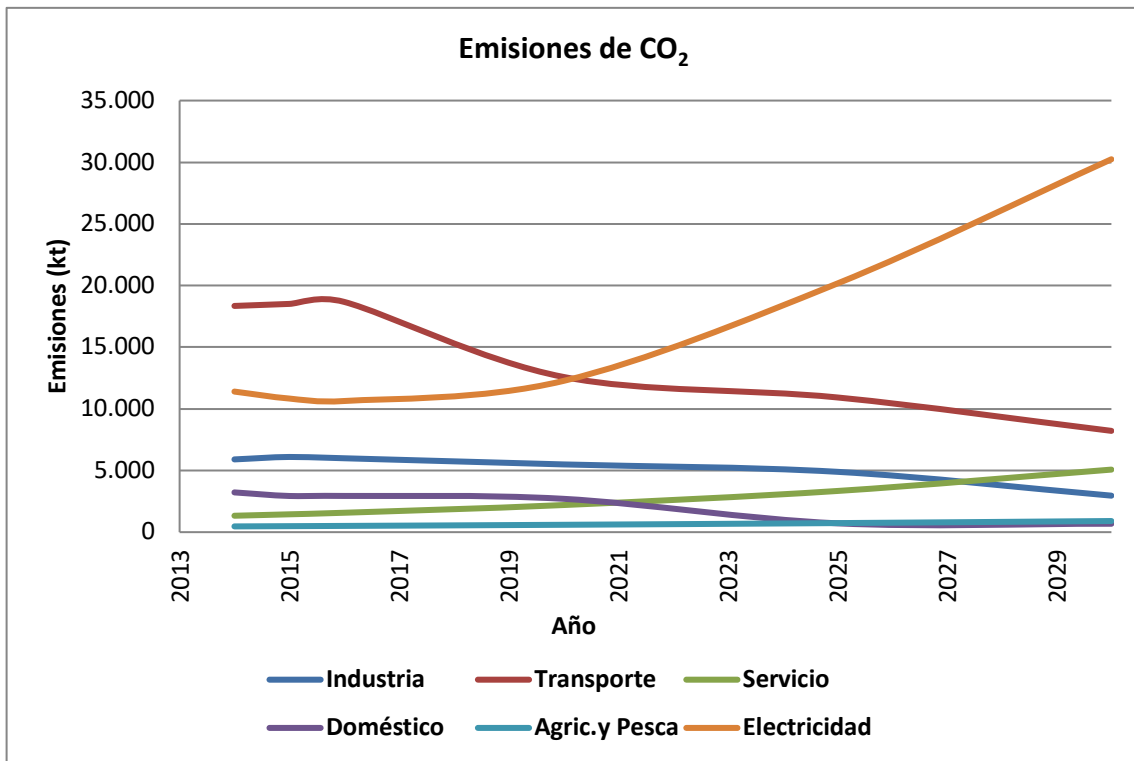
**Figura 29.** Resultados del sector energético ecuatoriano - Demanda de electricidad con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.

Fuente: El autor



**Figura 30.** Resultados del sector energético ecuatoriano - Generación de electricidad con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.

Fuente: El autor



**Figura 31.** Resultados del sector energético ecuatoriano – Emisiones de CO<sub>2</sub> con implementación de nuevo BAU con mayor aporte de E.R.

**Fuente:** El autor

### **4.3. INCREMENTO DE LAS RENOVABLES EN ESCENARIO ENERGÉTICO ECUATORIANO HASTA EL 2030**

La implementación de estas medidas para el futuro escenario energético conlleva el aumento de la potencia eléctrica a través del uso de energías renovables. Para el año 2030 el país necesitará aumentar 6.909 ktep en el sector eléctrico, es decir 80.3015 GWh de energía eléctrica generada por fuentes renovables.

Mediante el análisis de los recursos existentes en el país analizados en capítulos anteriores, se implementará e impulsará la construcción de centrales que utilicen energía hidráulica, solar, biomasa, geotermia y eólica.

Al momento ya se encuentran en construcción 5 centrales hidroeléctricas y ciertos proyectos en etapas de pruebas e integración a la red eléctrica nacional. Hasta ahora el mayor proyecto ecuatoriano es la central Coca Codo Sinclair con una potencia de 1500 MW.

Se prevé que con la construcción de las nuevas hidroeléctricas desde el año 2016 al 2030 estas proporcionen 45661 GWh, siendo la base de la generación con fuentes renovables del país con 56,9 % en el sector.

En este proyecto se plantea que la energía solar pueda ser el segundo pilar de generación eléctrica en el país, debido a su gran potencial en este recurso, además que esta tecnología se encuentra en apogeo y comienzan a abaratare costes de producción e instalación. Se pretende instalar 7.755 MW con una generación de 19.729 GWh hasta el año 2030 y con una inversión 16.197 millones de dólares norteamericanos. Los proyectos contemplan granjas fotovoltaicas y centrales termo-solares al sur de país; pero sobre todo la participación del sector domiciliario y comercial en la implementación de esta tecnología, con el fin de autoabastecerse de energía, quitar un peso económico al estado ecuatoriano e incentivar una conciencia energética en el cual la ciudadanía juega un papel importante en consumo y generación de energía que permitan el desarrollo de una nación además del respeto al medio ambiente.

La tercera fuente de generación de energía eléctrica puede desarrollarse mediante biomasa, ya que Ecuador es un país netamente agrícola, siendo su segundo mayor rubro la exportación de estos productos. Para esto, se propone desarrollar centros de acopio de desechos agrícolas y pecuarios para la generación eléctrica mediante la incineración de estos o la producción de biogás que luego se combustiónará para la creación de energía. Esto permitiría crear una nueva fuente económica para el agro ecuatoriano además de incentivar el uso de energías renovables en las zonas rurales del país.

También se intervendrían los centros de depósitos de residuos sólidos urbanos para la generación de electricidad mediante la producción de biogás que permitiría diversificar las fuentes de energía de las ciudades del país. Esto aportaría conjuntamente a un mejor manejo de residuos sólidos urbanos, que actualmente carecen de un tratamiento para disminuir su impacto ambiental.

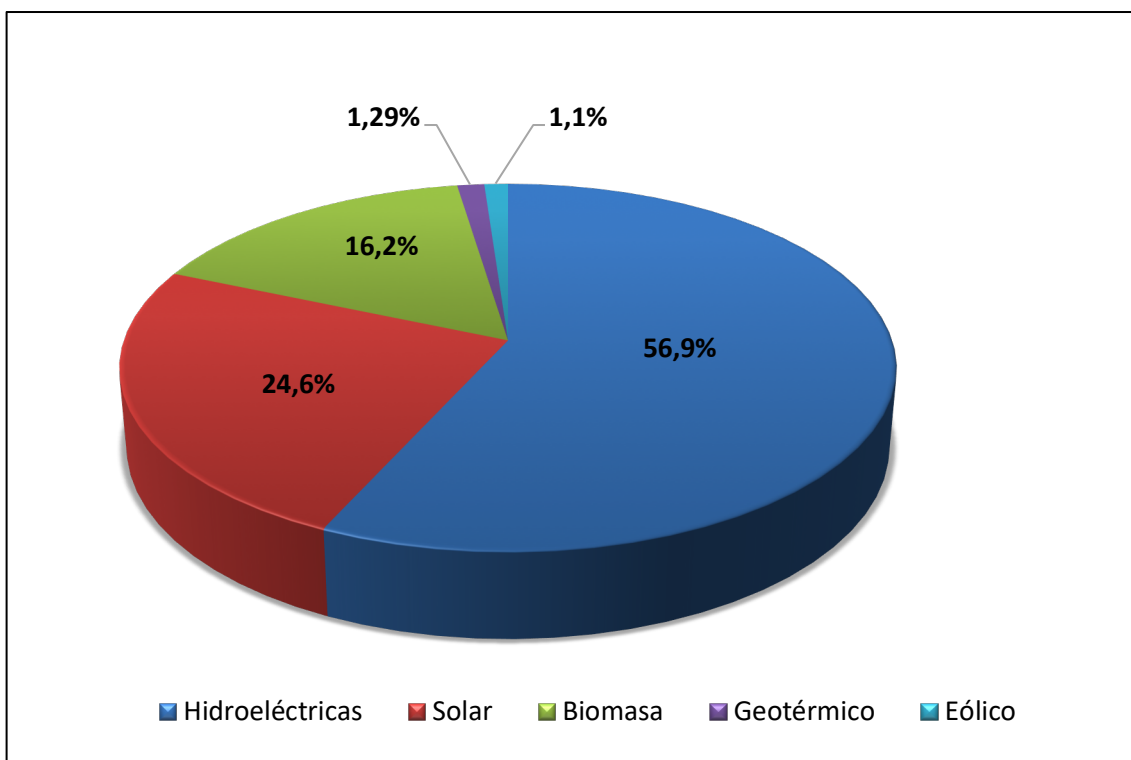
La ejecución de estos proyectos proporcionaría al país 12.979 GWh paulatinamente hasta el 2030, año en el que culminaría la construcción de todas estas centrales. La inversión aproximada de centrales que operen con algún tipo de biomasa asciende a los 682 millones de dólares norteamericanos.

La participación de centrales eléctricas a partir de biogás en los centros de residuos sólidos urbanos es beneficiosa para el estado ecuatoriano ya que la inversión puede realizarse por los municipios correspondientes, inversión extranjera o consorcios. Un claro ejemplo es la ciudad de Cuenca, en la que la empresa pública privada EMAC-BGP ENERGY con una inversión superior a los 2 millones de dólares, ha consolidado una planta inicial de 2 MW. Es así como estas centrales de generación se han vuelto atractivas por su rentabilidad y baja inversión.

Por otra parte, se pretende involucrar en este cambio de matriz energética nuevos tipos de generación, por lo que se ha incluido la creación de la primera planta geotérmica del país con una potencia de 130 MW, que podría cubrir el 1,29 % de la generación eléctrica con fuentes renovables del país.

Este tipo de centrales son muy costosas, pero Ecuador siendo uno de los países con mayor cantidad de volcanes en el mundo se convierte en un candidato ideal para la explotación de este recurso. Por estas razones la planta geotérmica Chachimbiro podría marcar un hito en el país.

El último sistema de energías renovables en el que se invertiría sería en el eólico, con la creación de 4 granjas eólicas con una potencia total de 124 MW, que conformarían el 1,1 % de la generación de energía eléctrica del país.



**Figura 32.** Energía adicional cubierta con energías renovables hasta el 2030.

**Fuente:** El autor

**Tabla 7.** Incremento de plantas de generación eléctrica con fuentes de energía renovables para alcanzar el BAU energético 2030 con 55 % de E.R.

Fuente: El autor

%	Tipo	Proyectos	Potencia (MW)	Producción anual (GWh)	Inversión (M\$)	Posible Funcionamiento	
56,9 %	Hidroeléctricas	Coca Codo Sinclair	1500	8.735	2.245,0	2016	
		Delsitanisagua	180	1.411	266,0	2018	
		Mazar Dudas	21	125	60,0	2018	
		Manduriacu	65	473	227,0	2018	
		Minas San Francisco	275	1.291	556,0	2018	
		Sopladora	4870	11.250	755,0	2016	
		Toachi Pilaton	254	1.120	508,0	2018	
		Santiago (G8)	3600	15.000	5.450,0	2025	
		Paute - Cardenillo	596	3.409	876,0	2023	
		Santa Cruz	138	964	208,9	2018	
		Quijos	50	355	138,0	2020	
		Due	50	421	138,0	2025	
		Normandía	50	351	130,0	2025	
		Pusuno	40	217	125,0	2025	
		Sabanilla	30	194	118,0	2025	
		Sigchos	19	126	58,0	2025	
		Río Verde Chico	10	83	28,0	2025	
		Palmira Nanegal	10	77	28,0	2025	
		San José de Minas	6	37	12,0	2025	
		Chorrillos	4	23	11,0	2025	
24,6 %	Solar	Fotovoltaico	5500	14520	6050,0	2018-2030	
		Termosolar	2255	5209,05	10147,5	2018-2030	
16,2 %	Biomasa	RSU en capitales Provinciales	Machala	2	12	2,80	2021
			Guayaquil	50	310	38,00	2025-2030
			Santa Elena	1	6	1,35	2022
			Portoviejo	2	12	2,80	2020
			Babahoyo	1	6	1,35	2020
			Esmeraldas	1	6	1,35	2021
			Santo Domingo de los Tsáchilas	2	12	2,80	2023
			Quito	5	39	8,00	2024
			Cuenca	2	12	3,50	2020
			Guaranda	1	6	1,50	2019
			Azogues	1	6	1,50	2020
			Tulcán	1	6	1,50	2020
			Latacunga	1,5	6	1,50	2018
			Riobamba	1	6	1,50	2020
			Ibarra	1	6	1,50	2018
			Loja	2	12	1,50	2025
		Resto de ciudades	100	6831	108	2025	
	Agrícola	100	5680	500	2020		
	Pecuario	48	56				
1,29 %	Geotérmico	Chachimbiro	130	1040	250	2027	
1,1 %	Eólico	Guairapamba	50	380	60	2020	
		Salinas Ibarra	12	95	12	2019	
		Villonaco II	12	95	14,4	2023	
		Membrillo-Ducal	50	339	60	2028	
100 %	<b>TOTAL</b>		<b>20.098</b>	<b>80.374</b>	<b>29.213</b>		



#### 4.4. PLAN DE DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE DE LA CIUDAD DE MACHALA

Para poder cumplir los objetivos del escenario energético de Ecuador en el año 2030, se realizará un análisis micro energético, en el cual la ciudad de Machala será tomada como ciudad piloto para la inclusión de generación de energía por métodos no convencionales. La elección de esta ciudad se debe a que cuenta con una serie de factores que hacen factible el estudio en este lugar; como su ubicación geográfica, población, crecimiento económico y cantidad y variedad de recursos naturales que hacen viable la inversión de energías renovables.

##### 4.4.1. Temperatura

Esta información fue obtenida del banco de información de la organización de datos climáticos mundiales, en el cual se pudo obtener los siguientes valores de temperatura promedio de la ciudad de Machala.

**Tabla 8.** Temperaturas promedio mensuales en la ciudad de Machala.

**Fuente:** Climate-data org

**Elaborada:** Por el autor

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Temperatura media (°C)</b>	26,5	26,8	26,9	27,1	26,2	24,6	23,9	23,3	23,6	23,8	24,5	25,7
<b>Temperatura min, (°C)</b>	22,6	22,8	22,9	23,1	22,7	21,5	20,8	20,1	20,2	20,7	21	21,8
<b>Temperatura máx, (°C)</b>	30,4	30,9	31	31,1	29,8	27,8	27	26,6	27	26,9	28	29,7
<b>Precipitación (mm)</b>	71	111	116	69	24	14	12	11	11	16	13	21

La media de la temperatura en esta ciudad es de 25,2 °C, además de poseer un alto nivel humedad que puede llegar hasta del 90 %. Esta ciudad se ve definida por dos etapas climáticas: invierno desde el mes de diciembre hasta mediados de abril, donde se presentan fuertes precipitaciones y altas temperaturas; y verano de mayo a noviembre con temperaturas cálidas con mayor cantidad de corrientes de aire.

##### 4.4.2. Radiación solar horizontal global

Estos datos se pueden obtener del centro atmosférico de la NASA, al cual el software HOMER tiene libre acceso mediante el ingreso de coordenadas geográficas y zona horaria. Se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 9.** Radiación solar promedio mensual en ciudad de Machala.

**Fuente:** NASA Atmospheric Science Data Center

**Editada:** Por el autor

Mes	Índice de claridad	Radiación diaria (kWh/m <sup>2</sup> /d)
Enero	0,465	4,830
Febrero	0,453	4,800
Marzo	0,493	5,190
Abril	0,486	4,880
Mayo	0,497	4,650
Junio	0,515	4,600
Julio	0,511	4,650
Agosto	0,509	4,940
Septiembre	0,504	5,180
Octubre	0,471	4,950
Noviembre	0,506	5,260
Diciembre	0,494	5,070
<b>Promedio</b>	<b>0,492</b>	<b>4,9166667</b>

Mediante la Tabla 9 podemos determinar que la ciudad tiene la cantidad necesaria de radiación solar para la producción de energía mediante paneles solares fotovoltaicos con una media de 4,92 kWh/m<sup>2</sup>/d.

#### 4.4.3. Análisis de la demanda eléctrica

Los datos de la curva eléctrica de la ciudad fueron obtenidos por CNEL Empresa Pública Unidad de negocios El Oro, en la que se detallan la energía suministrada a la ciudad durante el periodo del año 2016. Estas mediciones fueron realizadas desde las cinco subestaciones eléctricas que posee la ciudad en intervalos de una hora, desde el 1 de enero a las 00:00 hasta el 31 de diciembre a las 23:00. Con estos datos se puede determinar el comportamiento habitual del consumo de energía eléctrica horaria dentro de la ciudad, que permitió elaborar la siguiente figura.

Por medio de esta gráfica se puede determinar que la demanda promedio de la ciudad es de 40 MWh, además que en los meses de invierno (diciembre-abril) la demanda eléctrica aumenta por el uso de sistemas de climatización debido al aumento de la temperatura de la ciudad, como se registra el martes 29 de marzo, con un consumo de 63,05 MWh.

Cabe mencionar que gran parte de la energía demandada de esta ciudad es para el sector industrial que posee.

Por otra parte, se registraron tres interrupciones del servicio eléctrico debido al mantenimiento de las redes de la ciudad o interconexiones al sistema nacional.

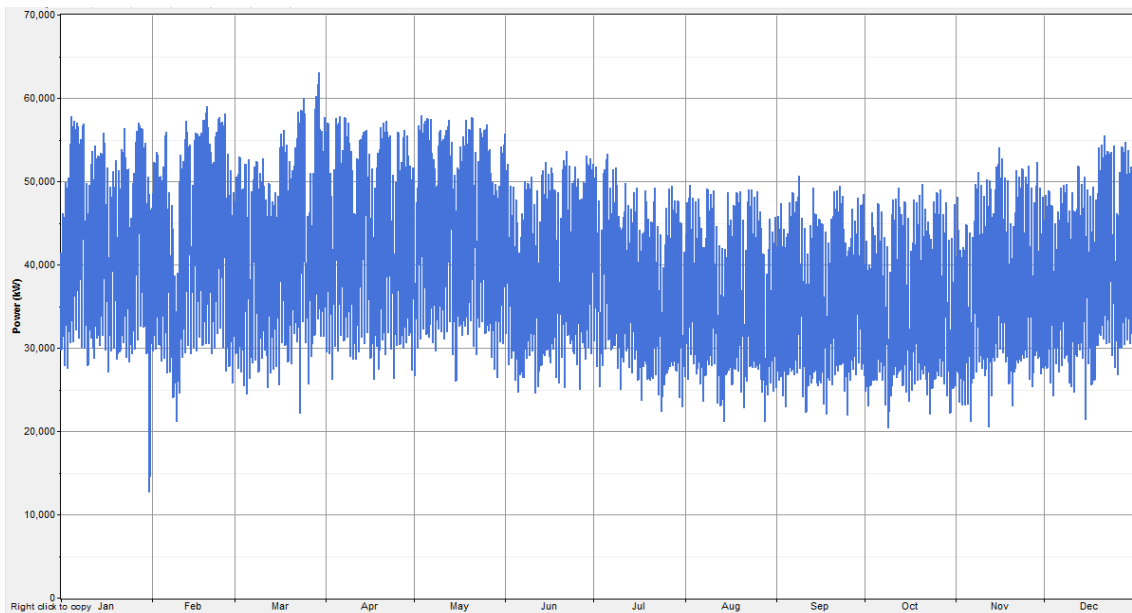


Figura 33. Demanda eléctrica anual (2016) de la ciudad de Machala

Fuente: El autor

#### 4.4.4. Método

El sistema híbrido de energías renovables o también conocido como *hybrid renewables energy system* (HRES) del plan de desarrollo energético de la ciudad de Machala consiste en la combinación de equipos fotovoltaicos y biomasa que producirán electricidad combinados con la red eléctrica existente.

En este capítulo se detallará y explicará las características de este sistema mediante la utilización del software de optimización energética HOMER, donde se introducirán los parámetros de la demanda eléctrica y los equipos que se utilizarán para satisfacer dicha demanda, con la finalidad de utilizar la mayor cantidad de recursos renovables existentes en el sector.

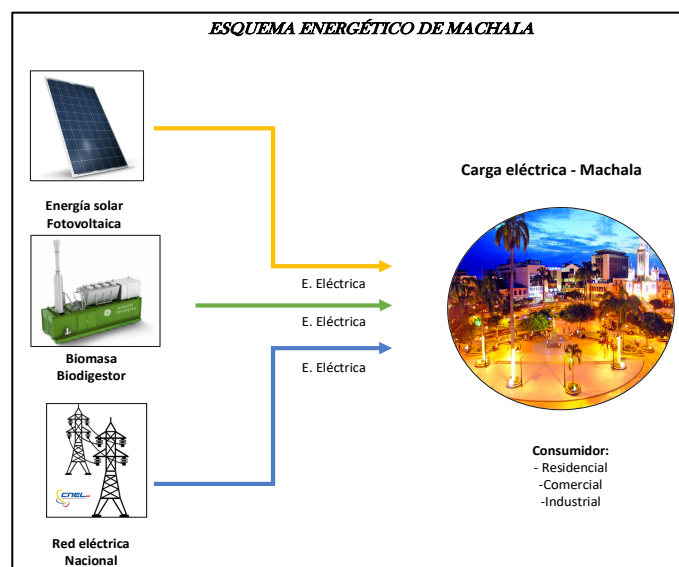


Figura 34. Esquema energético propuesto para la ciudad de Machala

Fuente: El autor

Los equipos fotovoltaicos serían instalados en edificios públicos y privados de la ciudad con la finalidad de satisfacer su necesidad de energía eléctrica y si hubiera excedentes verterlos a la red eléctrica de la ciudad.

Por otra parte, se plantea aprovechar la considerable cantidad de residuos sólidos urbanos que posee la ciudad para generar energía eléctrica mediante motores de combustión interna utilizando el biogás producido en el relleno sanitario por descomposición anaeróbica. Por esto se debe realizar un estudio previo de la cantidad y calidad de biogás que se puede producir en el relleno sanitario de la ciudad, para lo que se utilizó el sistema de evaluación de producción de biogás de primer orden con la ayuda del software LandGEM, que se detalla a continuación.

#### **4.4.5. Evaluación de producción de biogás por el modelo de degradación de primer orden**

Evaluar la cantidad de gas que produce un relleno sanitario es siempre necesario para un análisis técnico y económico, por lo que la EPA (Environmental Protection Agency Of United States of North America) ha creado una hoja de cálculo electrónica llamada LandGEM. Esta aplicación utiliza una ecuación de decaimiento de primer orden que permite calcular las tasas de generación de metano en unidades de flujo o masa.

Este modelo tiene una gran precisión en el que se toman en cuenta las siguientes variables: promedio anual de la captación de basura en el relleno sanitario de una ciudad, número de años que lleva abierto el sitio, potencial de generación de (CH<sub>4</sub>) metano de los residuos y tasa de generación anual de metano de los residuos urbanos.

Los valores de la constante de generación de metano (k) y capacidad potencial de generación de metano (Lo) se los puede seleccionar de un conjunto de valores preestablecidos en la hoja electrónica por LandGEM V3.02 para este caso se utilizó  $k = 0,05$  (1/año) y  $Lo = 96$  (m<sup>3</sup>/Mg).

En la Figura 35 (Excel de Landfill), se muestra con mayor detalle la interfaz de la hoja electrónica donde fueron introducidos los datos para poder determinar la cantidad de biogás que se podría obtener y recuperar en el relleno de RSU de la ciudad de Machala.

## Análisis de la Matriz Energética Ecuatoriana y Plan de Desarrollo Energético Sostenible de la Ciudad de Machala

**SER INPUTS** Landfill Name or Identifier:

**1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS**

Landfill Open Year:

Landfill Closure Year:

Have Model Calculate Closure Year?  Yes  No

Waste Design Capacity:

**2: DETERMINE MODEL PARAMETERS**

Methane Generation Rate, k (year<sup>-1</sup>):

Potential Methane Generation Capacity, L<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>/Mg):

NMOC Concentration (ppmv as hexane):

Methane Content (% by volume):

**3: SELECT GASES/POLLUTANTS**

Gas / Pollutant #1:  Default pollutant parameters are currently being used by model.

Gas / Pollutant #2:

Gas / Pollutant #3:

Gas / Pollutant #4:

**4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES**

Input Units:

Year	Input Units (SHORT tons/year)	Calculated Units (Mg/year)
2010	65.700	59.727
2011	66.817	60.743
2012	67.953	61.775
2013	69.108	62.825
2014	70.283	63.893
2015	71.478	64.980
2016	72.693	66.084
2017	73.929	67.208
2018	75.185	68.350
2019	76.463	69.512
2020	77.763	70.694
2021	79.085	71.896
2022	80.430	73.118
2023	81.797	74.361
2024	83.188	75.625
2025	84.602	76.911
2026	86.040	78.218
2027	87.503	79.548
2028	88.990	80.900
2029	90.503	82.276
2030	92.042	83.674
2031		
2032		

**Figura 35.** Hoja electrónica de Landfill en el cual se realizó el cálculo de generación de biogás en el relleno sanitario de Machala.

**Fuente:** El autor

Al sistema de recolección de biogás se le agrega un valor de eficiencia del 60 % que se ha establecido para los rellenos sanitarios de la ciudad de Machala, además, esta eficiencia aumenta a un 80 % en el año 2020 debido a la futura construcción de pozos verticales.

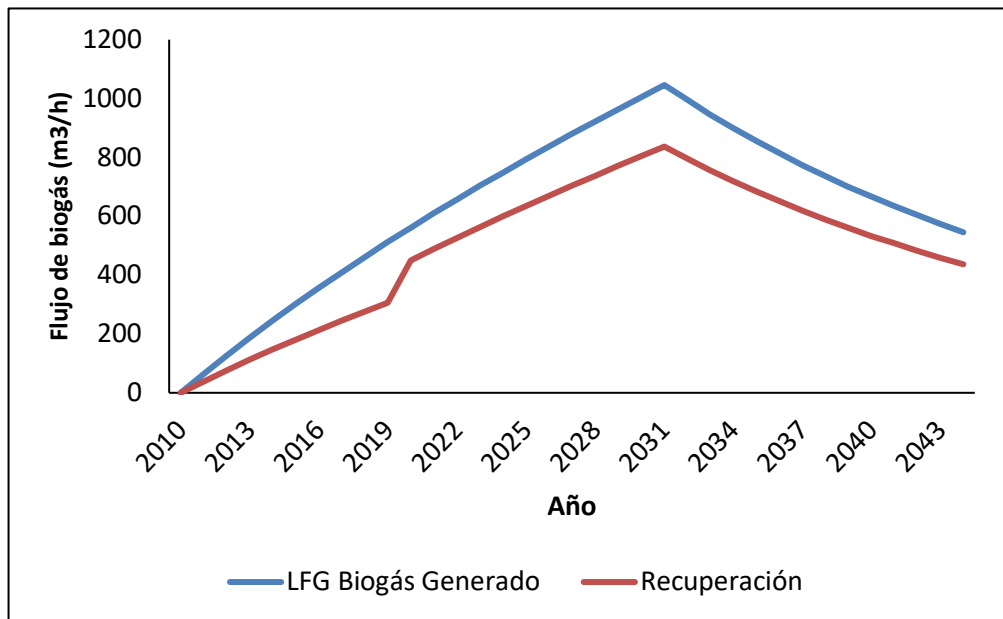
En la hoja de cálculo de US EPA que se muestra a continuación, se ingresan los datos antes mencionados relacionados con las características de los residuos sólidos de la ciudad de Machala, así se podrá calcular la generación de biogás metano que proporcionaría este relleno durante su tiempo de vida útil.

**Tabla 10.** Proyecciones de generación y recuperación de biogás en el rellano sanitario de la ciudad de Machala

Fuente: El autor

Año	Índice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de LFG gas	Eficiencia del sistema Recolector	Recuperación de metano del sistema
	(Tn/año)	(Tn)	(m <sup>3</sup> /h)	(%)	(m <sup>3</sup> /h)
2010	65700,00	0,00	0,00	0,60	39420,00
2011	66816,90	65700,00	560682,60	0,60	40090,14
2012	67952,79	132516,90	1103551,99	0,60	40771,67
2013	69107,98	200469,69	1629638,97	0,60	41464,79
2014	70282,82	269577,67	2139926,81	0,60	42169,69
2015	71477,63	339860,49	2635353,65	0,60	42886,58
2016	72692,75	411338,12	3116814,71	0,60	43615,65
2017	73928,52	484030,87	3585164,45	0,60	44357,11
2018	75185,31	557959,39	4041218,59	0,60	45111,19
2019	76463,46	633144,70	4485756,09	0,60	45878,08
2020	77763,34	709608,16	4919520,96	0,80	62210,67
2021	79085,32	787371,50	5343224,00	0,80	63268,25
2022	80429,77	866456,82	5757544,53	0,80	64343,81
2023	81797,07	946886,58	6163131,92	0,80	65437,66
2024	83187,62	1028683,66	6560607,14	0,80	66550,10
2025	84601,81	1111871,28	6950564,20	0,80	67681,45
2026	86040,04	1196473,09	7333571,50	0,80	68832,03
2027	87502,72	1282513,13	7710173,15	0,80	70002,18
2028	88990,27	1370015,85	8080890,20	0,80	71192,22
2029	90503,10	1459006,12	8446221,87	0,80	72402,48
2030	92041,66	1549509,23	8806646,61	0,80	73633,33
2031		1641550,89	9162623,20	0,80	0,00
2032		1641550,89	8715756,79	0,80	0,00
2033		1641550,89	8290684,32	0,80	0,00
2034		1641550,89	7886342,87	0,80	0,00
2035		1641550,89	7501721,39	0,80	0,00
2036		1641550,89	7135858,12	0,80	0,00
2037		1641550,89	6787838,21	0,80	0,00
2038		1641550,89	6456791,44	0,80	0,00
2039		1641550,89	6141890,00	0,80	0,00
2040		1641550,89	5842346,49	0,80	0,00
2041		1641550,89	5557411,89	0,80	0,00
2042		1641550,89	5286373,72	0,80	0,00
2043		1641550,89	5028554,23	0,80	0,00
2044		1641550,89	4783308,74	0,80	0,00

Mediante estos cálculos se ha podido determinar que la generación óptima de biogás será hasta el año 2044 de 561,59 m<sup>3</sup>/h (67570 Tn/ año) y una recuperación mínima en el año 2020 de 449,27 m<sup>3</sup>/h (5406,38 Tn/ año).



**Figura 36.** Proyección de generación y recuperación de biogás en el depósito de RSU de Machala

**Fuente:** El autor

### Cálculo de la energía eléctrica.

Para poder hallar una potencia promedio de la generación de energía eléctrica se toma en cuenta la recuperación mínima de metano en el vertedero de residuos sólidos urbanos que se daría en el año 2020 con 449,27 m<sup>3</sup>/h (5406,38 Tn/ año).

Para ello se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Concentración aproximada de metano en vertedero, para este caso se consideró 50 %.
- Potencia calorífica del metano, 10 kWh/m<sup>3</sup>.
- Eficiencia promedio del motor de combustión interna que se utilizaría en la planta de generación de energía, en este caso de 39,1 %

Con los parámetros detallados se puede calcular el potencial energético que posee 1 m<sup>3</sup> de metano del relleno sanitario de la ciudad piloto. Como se demuestra en la siguiente ecuación:

**Ecuación 10.** Potencial energético del biogás.

$$\text{Potencia energético de biogás} = \%CH_4 * \text{valor calorífico}$$

$$\text{Potencia energético de biogás}_{50\%CH_4} = 5,0 \text{ kWh/m}^3$$

A través de la potencia energética del biogás hallado en la ecuación 10, se puede determinar la potencia eléctrica anual mediante la ecuación 11.

**Ecuación 11.** Potencia eléctrica del biogás en un motor de combustión interna

$$Potencia\ eléctrica = Volumen_{biogás} * Pot.energética_{biogás} * \eta_{generador}$$

**Tabla 11.** Proyecciones de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido en el relleno de residuos sólidos de la ciudad de Machala – EMAM

Fuente: El autor

Año	Volumen de LFG Generado		Potencia Energética (kW)	Potencia eléctrica (kW)
	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /h)		
2010	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	1,07	64,00	640,05	261,78
2012	2,10	125,98	1259,76	515,24
2013	3,10	186,03	1860,32	760,87
2014	4,07	244,28	2442,84	999,12
2015	5,01	300,84	3008,39	1230,43
2016	5,93	355,80	3558,01	1455,23
2017	6,82	409,27	4092,65	1673,90
2018	7,69	461,33	4613,26	1886,82
2019	8,53	512,07	5120,73	2094,38
2020	9,36	561,59	5615,89	2296,90
2021	10,17	609,96	6099,57	2494,72
2022	10,95	657,25	6572,54	2688,17
2023	11,73	703,55	7035,54	2877,54
2024	12,48	748,93	7489,28	3063,11
2025	13,22	793,44	7934,43	3245,18
2026	13,95	837,17	8371,66	3424,01
2027	14,67	880,16	8801,57	3599,84
2028	15,37	922,48	9224,76	3772,93
2029	16,07	964,18	9641,81	3943,50
2030	16,76	1005,32	10053,25	4111,78
2031	17,43	1045,96	10459,62	4277,98
2032	16,58	994,95	9949,49	4069,34
2033	15,77	946,43	9464,25	3870,88
2034	15,00	900,27	9002,67	3682,09
2035	14,27	856,36	8563,61	3502,52
2036	13,58	814,60	8145,96	3331,70
2037	12,91	774,87	7748,67	3169,21
2038	12,28	737,08	7370,77	3014,64
2039	11,69	701,13	7011,29	2867,62
2040	11,12	666,93	6669,35	2727,76
2041	10,57	634,41	6344,08	2594,73
2042	10,06	603,47	6034,67	2468,18
2043	9,57	574,04	5740,36	2347,81
2044	9,10	546,04	5460,40	2233,30

Los motores de combustión interna que utilizan metano necesitan que este tenga un alto grado de pureza que va del 90 % al 96 %, sin embargo, al aplicar este proceso se disminuye el caudal ya que se separan los diluyentes (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> principalmente) y se consigue concentrar el metano



hasta la pureza necesaria Para este estudio se obtendrá el siguiente valor a partir de la siguiente ecuación:

**Ecuación 12.** Relación de pureza y volúmenes del biogás.

$$C_1V_1=C_2V_2$$

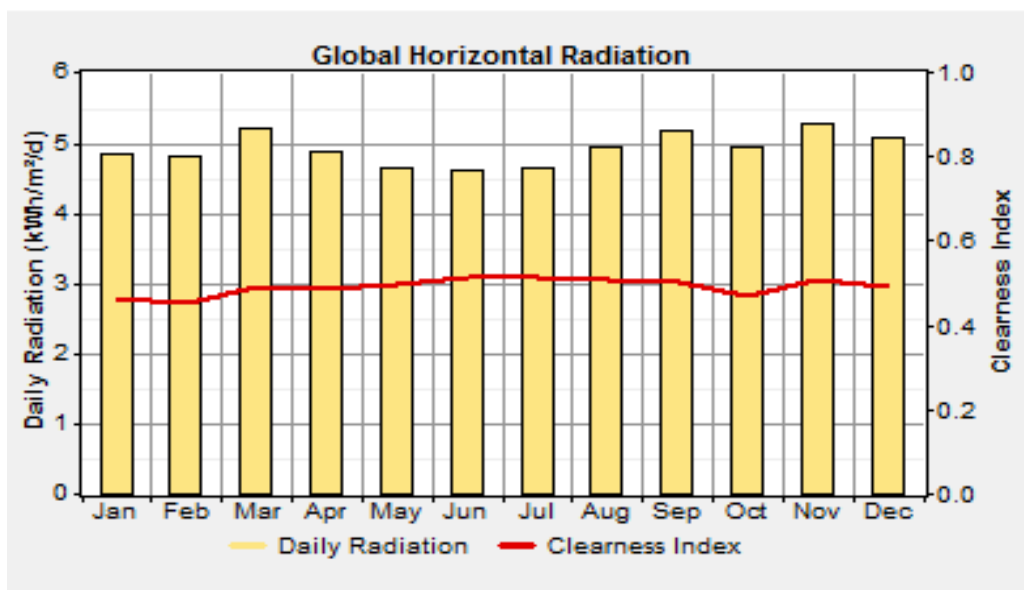
$$50 \% * 1045 \text{ m}^3/\text{h} = 90 \%V_2$$

$$V_2 = 580 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.4.6. Plan óptimo de un sistema energético híbrido renovable mediante el uso de HOMER

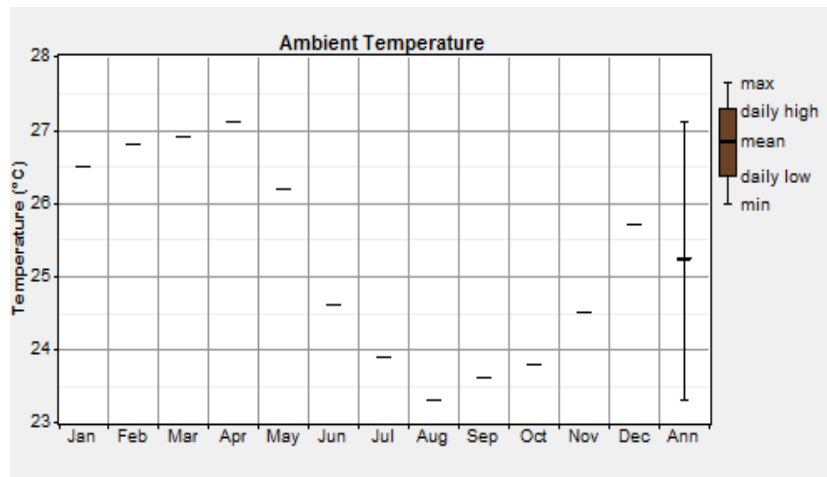
HOMER necesita de 6 tipos de información para poder simular y optimizar un sistema energético híbrido renovable, los cuales son: información meteorológica, perfil de carga o curva de la demanda, características de los equipos a utilizarse, rango de búsqueda, información económica e información técnica.

- Información meteorológica: se refiere a los datos de radiación solar y temperatura mensual que se han ingresado en el programa, para luego poder determinar la potencia de salida de energía solar u otros recursos renovables disponibles.



**Figura 37.** Radiación solar de la ciudad de Machala ingresada a HOMER

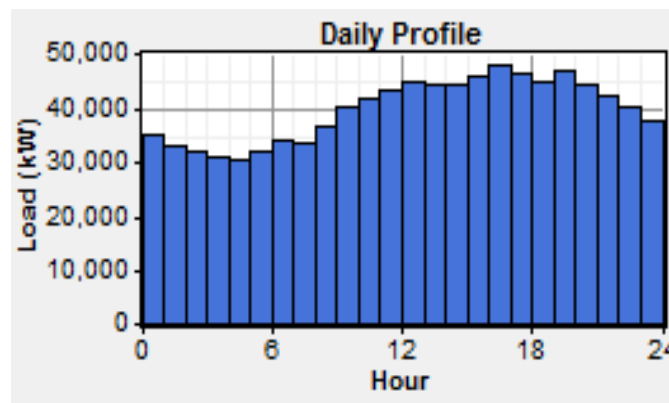
**Fuente:** El autor



**Figura 38.** Temperatura anual promedio de la ciudad de Machala simulada en HOMER

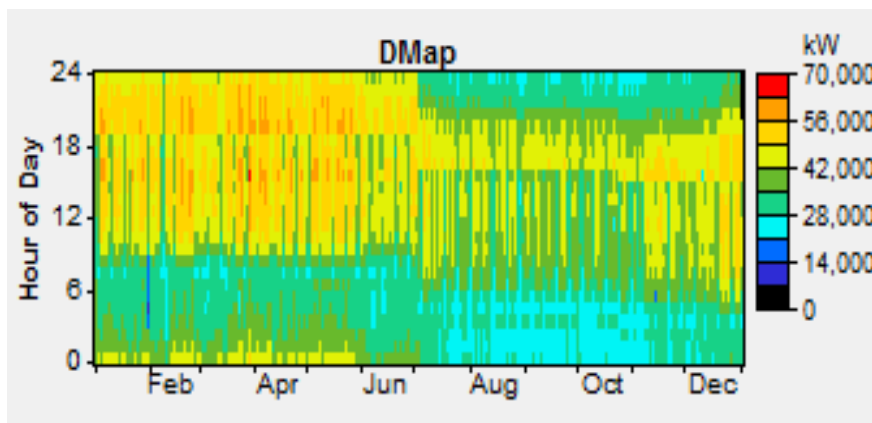
**Fuente:** El autor

- Perfil de Carga: este es uno de los parámetros más importantes dentro de las simulaciones y optimizaciones que se realizan en un sistema energético, ya que de sus características depende la toma de decisiones para elaborar un sistema híbrido renovable.



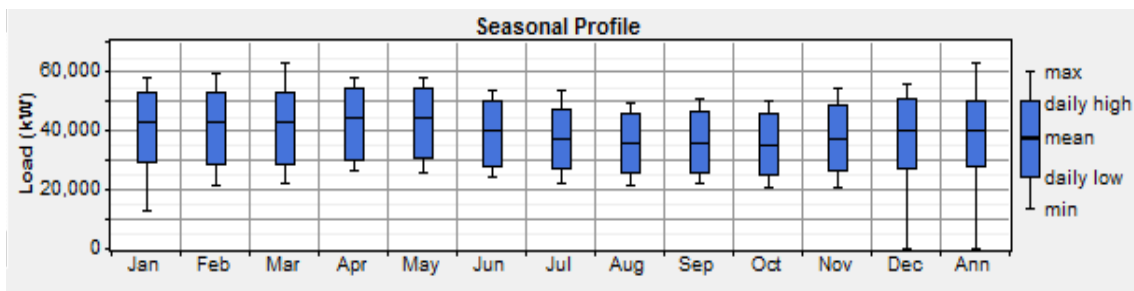
**Figura 39.** Perfil de carga eléctrica diaria de la ciudad de Machala.

**Fuente:** El autor



**Figura 40.** Dmap demanda anual

**Fuente:** El autor



**Figura 41.** Perfil de carga eléctrica

**Fuente:** El autor

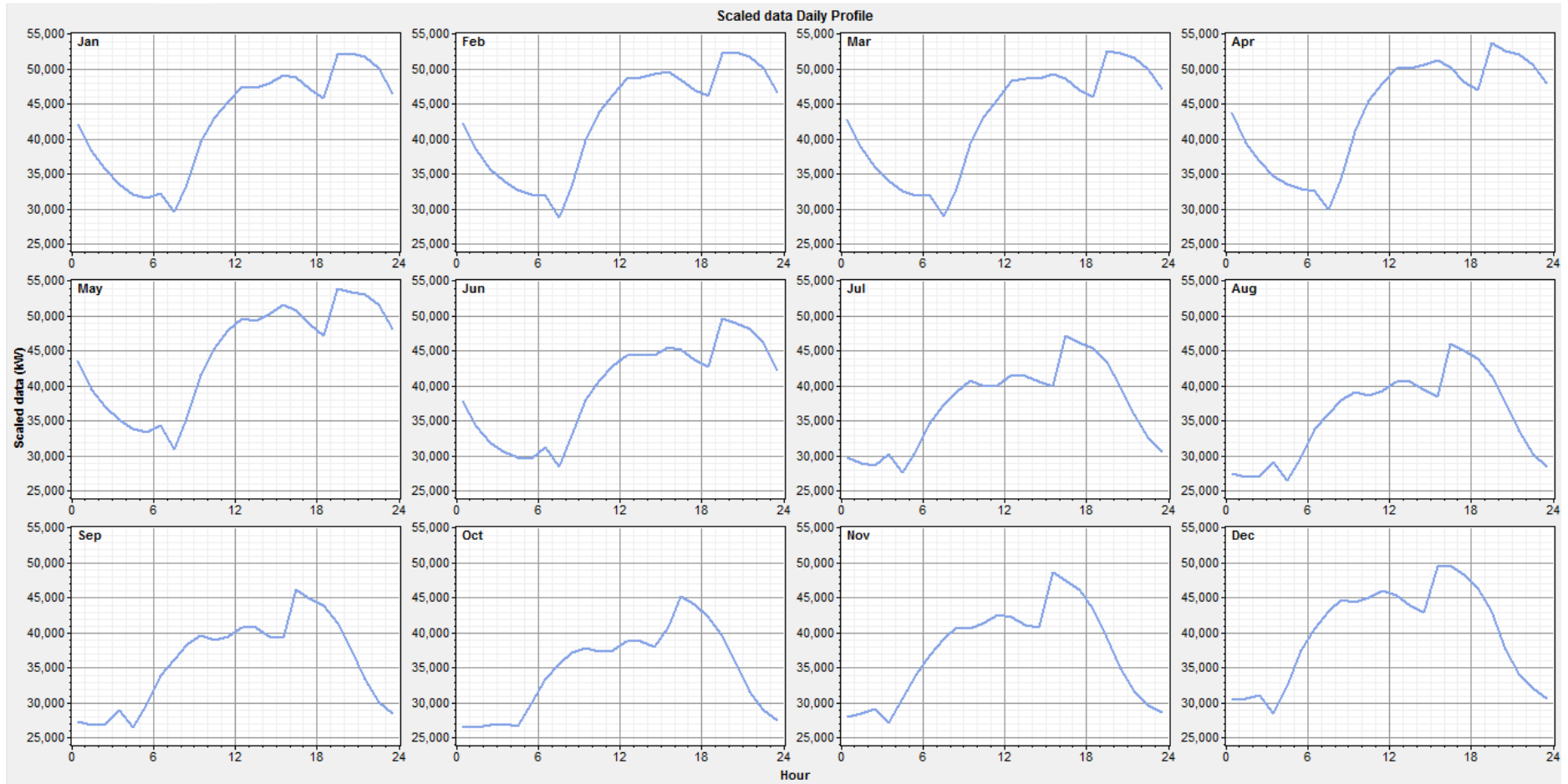
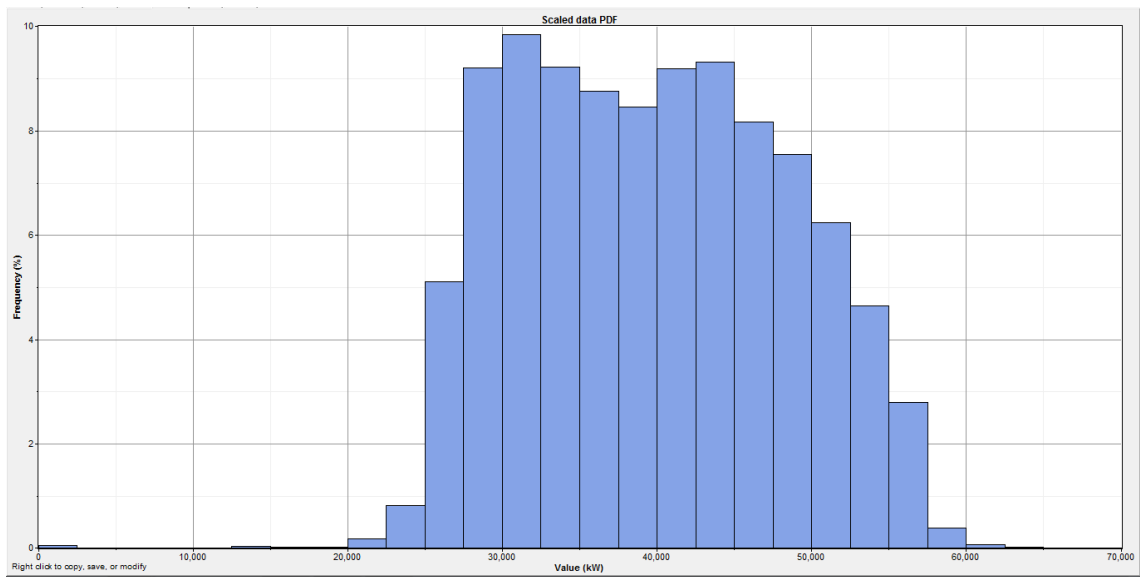


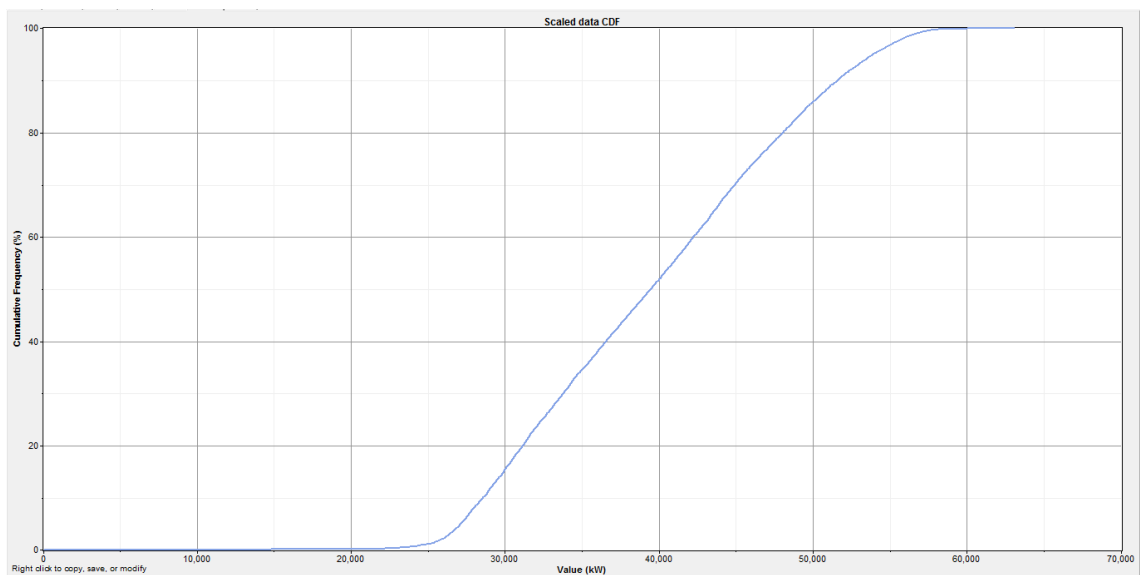
Figura 42. Perfiles de carga eléctrica diario en cada mes del año.

Fuente: El autor



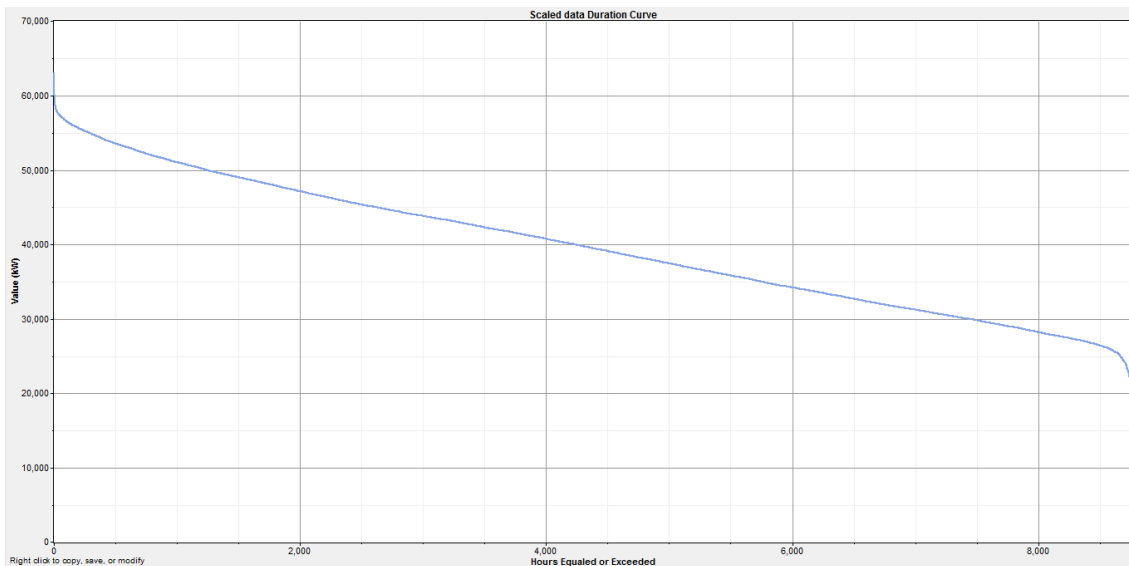
**Figura 43.** Distribución de frecuencia parcial.

**Fuente:** El autor



**Figura 44.** Frecuencia de distribución acumulada.

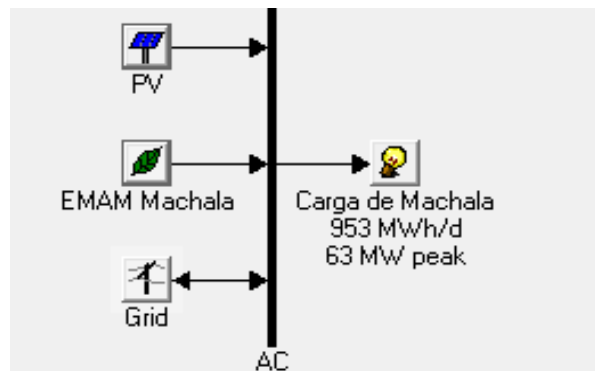
**Fuente:** El autor



**Figura 45.** Curva de duración de carga.

**Fuente:** El autor

Una vez ingresados todos los datos que necesita HOMER para poder simular y optimizar un sistema energético, se debe elegir los equipos que se van a emplear en el sistema. Para este caso se simulará paneles fotovoltaicos que serán instalados en edificaciones de la ciudad y un motor de biogás que funcionara a partir de la generación de metano en la planta de relleno sanitario de la ciudad, estos dos equipos estarán conectados a la red eléctrica. El esquema de este sistema se lo puede observar en la Figura 46.



**Figura 46.** Sistema de Tecnologías propuestas

**Fuente:** El autor

Para este proyecto se realizará una serie de pruebas para encontrar el porcentaje factible de energías renovables que se puede aplicar en esta ciudad, siempre cubriendo su demanda. El porcentaje factible dependerá del coste por energía (COE), ya que para este tipo de proyectos se busca el coste beneficio.

Las simulaciones realizadas dieron un rango de búsqueda en el sistema fotovoltaico de 5 MW hasta 60 MW, que funcionarían aproximadamente 5 horas diarias y con una vida útil del sistema de 25 años; el generador de biogás metano del relleno de residuos sólidos urbanos se encendería desde las 16:00 horas hasta las 24:00 todos los días, el rango de búsqueda de este equipo es de 1 MW hasta los 20 MW, con una vida útil de 15.000 horas; además siempre estaría

presente la red eléctrica nacional que brindaría robustez y confiabilidad al sistema o serviría de respaldo en momentos que la demanda aumente considerablemente o las condiciones metrológicas no permitan generar energía en el caso de la fotovoltaica. Mas el propósito es usar el mayor porcentaje de energías renovables posible y así poder cumplir con el plan de desarrollo energético.

Se realizaron 5 escenarios y en cada uno de ellos el nivel de participación de energías renovables aumentaba (0, 10, 26, 31, 45 y 50 %), obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Diferentes porcentajes de participación de energías renovables en escenario energético sostenible de la ciudad de Machala.

Fuente: Propia

	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
Red (kW)	64000	64000	64000	64000	64000	64000
Fotovoltaica (kW)	-	20.000	50.000	55.000	50.000	50.000
Eólica (turbina)	-	-	-	-	-	-
Biomasa (kW)	-	1.000	3.000	5.000	20.000	20.000
Capital inicial (\$)	-	35.500.000	89.500.000	101.000.000	115.000.000	115.000.000
Coste de operación (\$/año)	35.189.184	33.167.266	30.168.492	29.680.308	29.796.896	29.796.896
Total NPC	540.944.000	545.362.176	553.263.680	557.259.072	573.051.328	573.051.328
COE (\$/kWh)	0,101	0,102	<b>0,103</b>	0,104	0,107	0,107
Fracción Renovable eléctrica	0	0,1	0,26	0,31	0,45	0,5
Gas natural (m3)	0	0	0	0	0	0
Biomasa (ton)	0	3629	10678	17397	62943	62943

En el escenario 0 no se incluye ningún tipo de energía renovable, es decir la demanda energética de la ciudad solo es satisfecha por la red eléctrica nacional, en el que se puede ver que los costes de operación son elevados, pero con un COE inferior respecto a los demás escenarios

Para el escenario 1 se tiene una participación del 10 % de energías renovables de las cuales 20 MW son entregadas por energía fotovoltaica y 1 MW por biomasa, con un coste inicial de inversión de \$ 35.500.000

Para el escenario 2 la fracción de energías renovables en el sector eléctrico es del 26 % con una inversión de \$ 89.500.000, más del doble que el escenario 1 debido al incremento considerable de las instalaciones fotovoltaicas y el generador de biogás que se triplicó. Se puede observar que el coste de operación y mantenimiento es un poco menor \$ 30.168.492 debido a que a mayor capacidad instalada disminuyen los costes. Su coste eléctrico incrementa a 0,103 \$/kWh debido la potencia instalada en sistemas fotovoltaicos.

En el escenario 3, en el cual se aumenta la fracción de las renovables en el sector eléctrico un 31 %, debido a que se instala una potencia fotovoltaica de 55 MW y 5 MW de biomasa con un coste

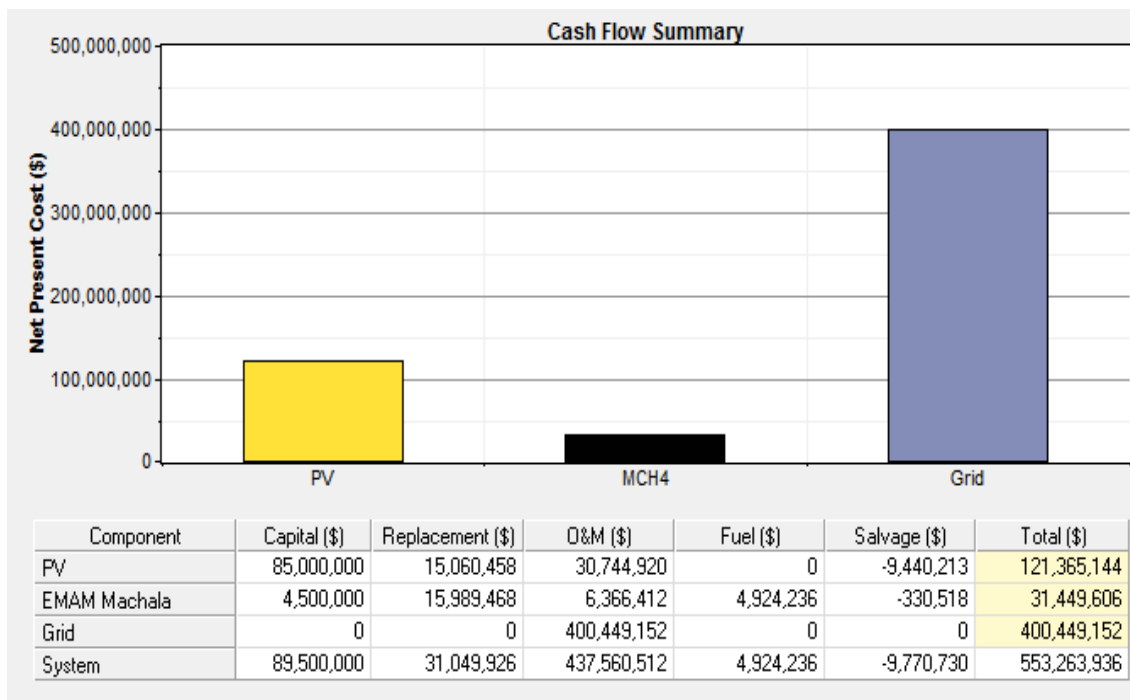
de \$ 101.000.000. Para este escenario se registra el menor coste de operación con \$ 29.680.308 y su COE de 0,104 \$/kWh.

En los escenarios 4 y 5 se aumentó a 45 % y 50 % respectivamente el porcentaje de energía renovable que cubriría la demanda eléctrica de la ciudad. Los costes y la potencia de cada una de las tecnologías son las mismas, por lo que sería más factible el escenario 5 entre estos dos casos.

Por lo tanto, de todas las simulaciones la más factible para el plan de desarrollo energético sostenible de la ciudad sería el escenario 2, dentro de sus muchas razones, la fundamental es el precio, el cual es más asequible en relación con la capacidad de energía renovable instalada. Además de ser la que más se alinea a la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que no todos los hogares de esta ciudad tienen las posibilidades de costear los gastos de instalación, por lo menos en la fase inicial, hasta que los costes disminuyan o se cree un plan de subsidios o incentivos económicos en este sector. También la planta de biogás se manejaría mejor con una potencia de 3 MW por razones de producción de metano.

A continuación, se presentan los resultados de la simulación elegida.

En la Figura 47 se puede observar el resumen de flujo efectivo, desglosado en términos de costes actuales por componente. En los que se refleja que los costes de operación y mantenimiento de la red son muy elevados.



**Figura 47.** Resumen de coste por componente en el sistema renovable de la ciudad de Machala que se propone

**Fuente y elaboración:** Propia

La energía fotovoltaica posee valores considerables debido al coste de inversión y reemplazo, además que la potencia instalada es de 50 MW, por lo que los valores suben.



El flujo de efectivo en el generador de biomasa es el menor debido a su capacidad de 3 MW, sin embargo, este posee un valor alto en el reemplazo de sus partes ya que el tiempo de vida útil es menor.

Al comienzo del proyecto se invierten los valores correspondientes a la adquisición e instalación de los equipos que conformaran el sistema renovable, esta inversión solamente en el comienzo del proyecto. Luego de este flujo de caja solo se registran costes de operación y mantenimiento, que básicamente, serán los valores del personal encargado de la limpieza y mantenimiento de los paneles solares y generador eléctrico con biomasa. Además, se registran gastos por el reemplazo de equipos, que dependerán del uso de los equipos. El sistema de biomasa será el que se reemplazará primero debido al tiempo de vida útil del motor de combustión interna y sus componentes, que es menor que el de los paneles solares que es de 25 años.

En la figura 48 no se registran costes elevados del combustible ya que la energía solar no tiene coste en Ecuador. Para el caso de la biomasa de los residuos sólidos urbanos se consideró el coste de recolección actual que tiene esta materia prima para el funcionamiento del motor de combustión interna.

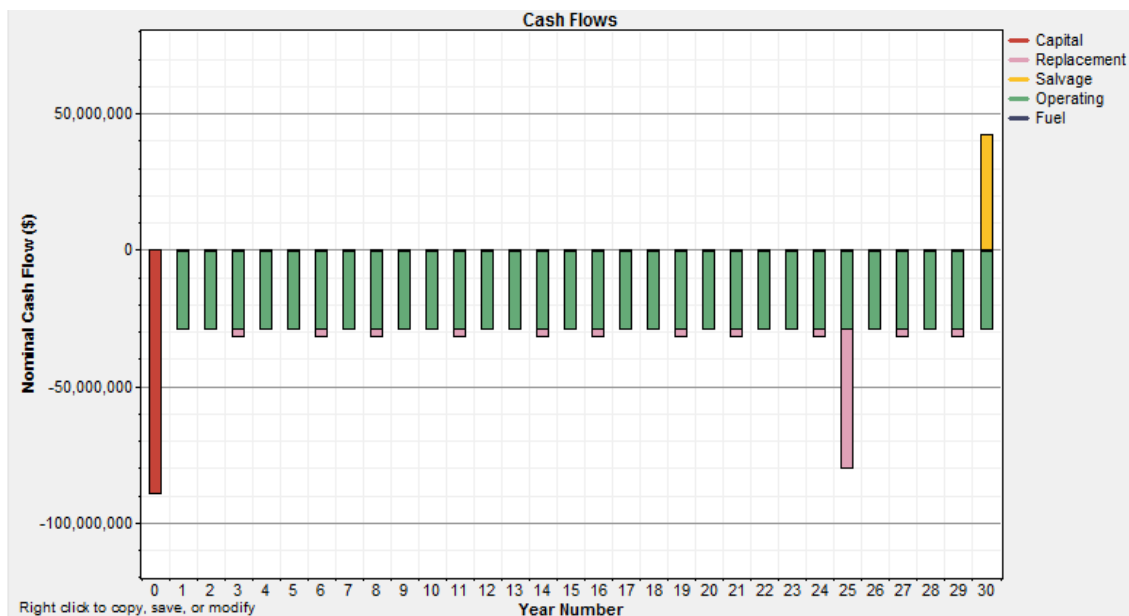
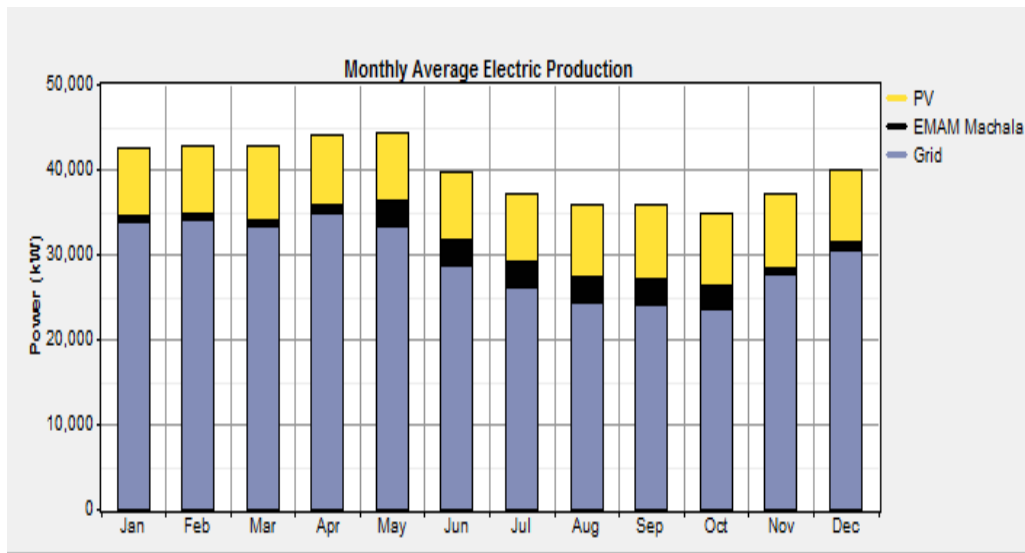


Figura 48. Flujo de efectivo por tipo de coste en sistema híbrido renovable propuesto para la ciudad de Machala.

Fuente: Propia

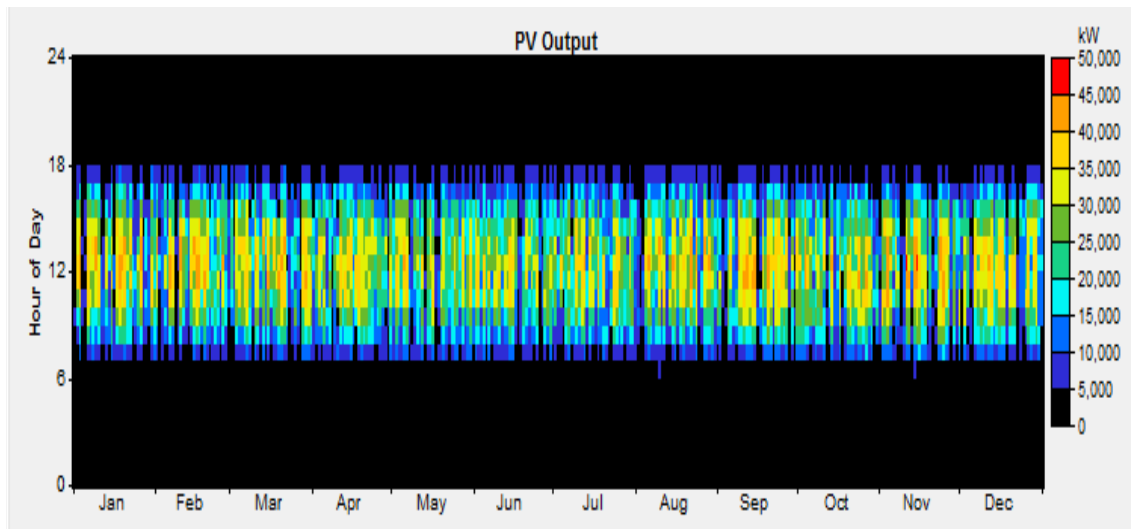
En la Figura 49 se puede ver claramente que la base de la demanda es satisfecha por la red eléctrica nacional con 258,5 GWh/año, seguida por la fotovoltaica 72,5 GWh/año y finalmente 17,25 GWh/año por la planta de biomasa. Además, los meses de mayor consumo se registran en la temporada de invierno por las altas temperaturas en la ciudad lo que conduce al uso de equipos acondicionadores de aire.



**Figura 49.** Resultado de producción de energía eléctrica por tipo de componente en el sistema híbrido propuesto a la ciudad de Machala

**Fuente:** Propia

En los resultados de paneles fotovoltaicos se aprecia claramente que los valores de radiación solar no varían mucho, a pesar que exista dos estaciones climáticas. Estos trabajarán mejor a medio día gracias a la privilegiada altitud que posee Ecuador.



**Figura 50.** Resultados de potencia disponible de la radiación solar en la ciudad de Machala.

**Fuente:** Propia

En los resultados del generador este funcionará de 18:00 hasta las 24:00 entre los meses de noviembre a agosto, durante el resto del año este deberá ser prendido forzosamente alrededor de 24 horas al día, ya que en verano la radiación solar disminuye en Ecuador, por lo que la energía antes cubierta por fuentes fotovoltaicas será cubierta por biomasa.

El generador de biomasa estará en operación 5752 h/año aproximadamente que generaría 17,25 GWh/año con un factor de capacidad del 65,6 %. El coste de generación de kWh es de \$ 0,0159.

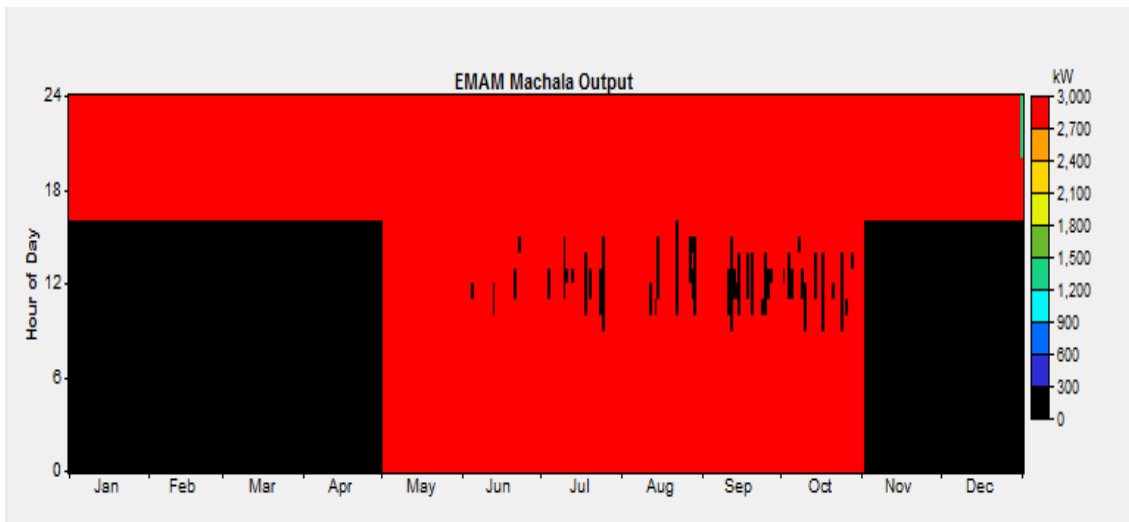


Figura 51. Resultados de operación de sistema de biogás en la ciudad de Machala

Fuente: Propia

En la Figura 52 se muestra la carga eléctrica y como el sistema fotovoltaico y biomasa cubren la demanda eléctrica de la ciudad durante todo el año. Se puede destacar que el sistema fotovoltaico cubre en gran parte la demanda energética de la ciudad.

Así mismo en la Figura 53 se puede apreciar con más detalle la misma curva eléctrica y como esta es cubierta por las energías renovables en el mes de enero.

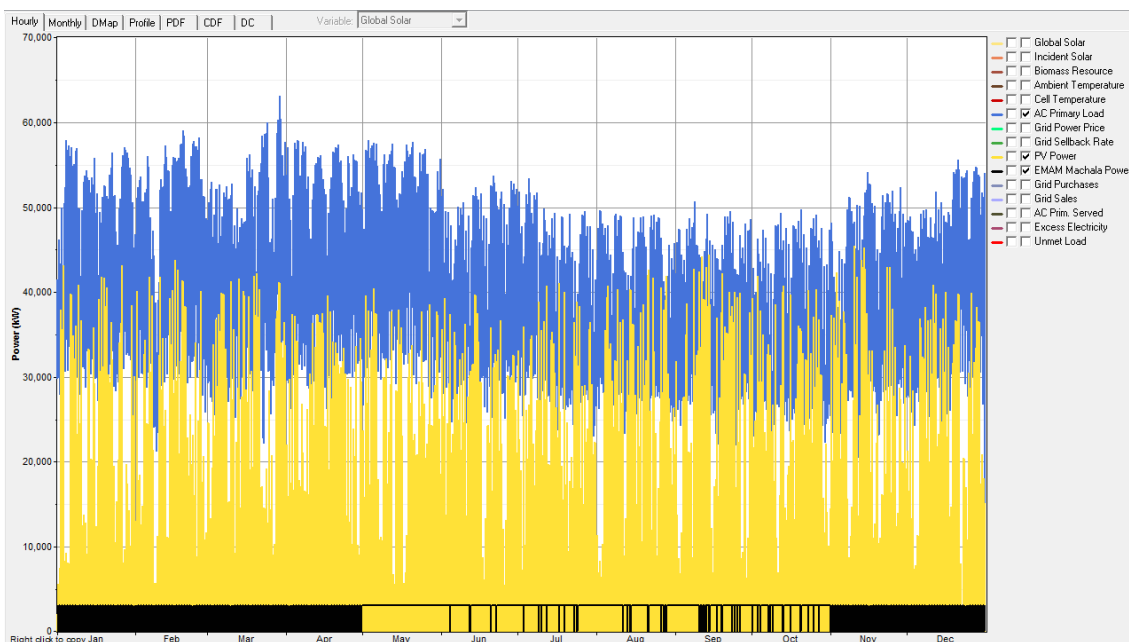
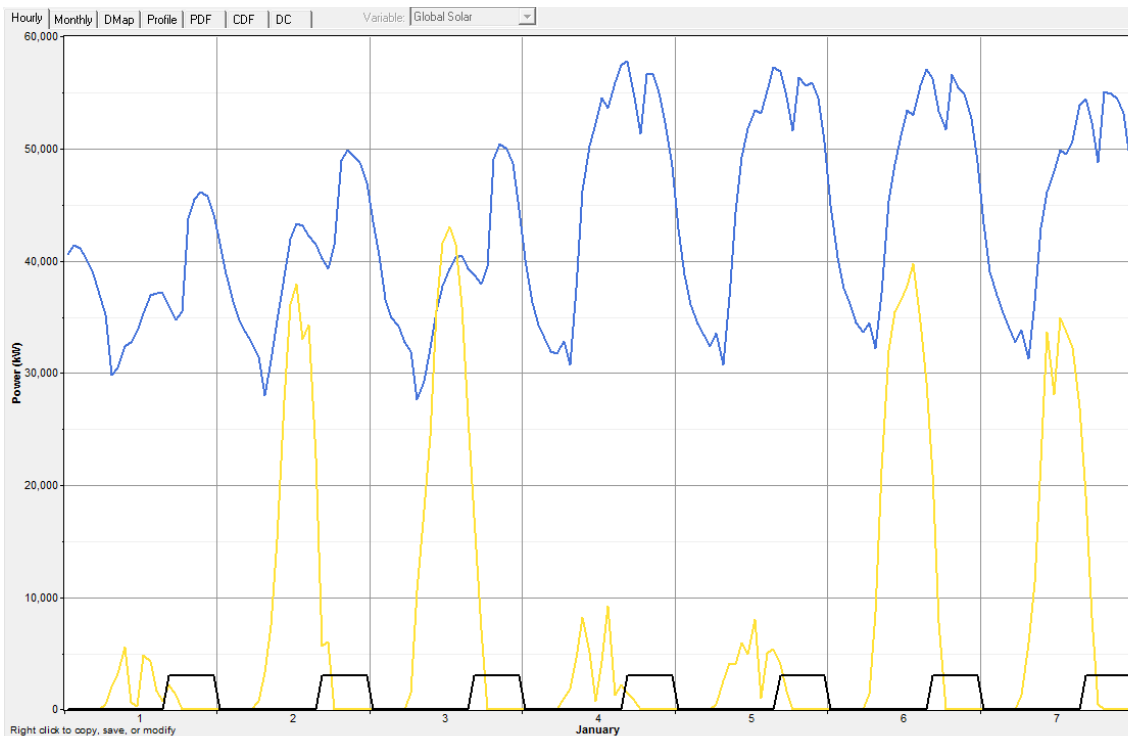


Figura 52. Energía suministrada a la red anualmente, mediante recursos renovables.

Fuente: Propia

## Análisis de la Matriz Energética Ecuatoriana y Plan de Desarrollo Energético Sostenible de la Ciudad de Machala



**Figura 53.** Curva de la demanda eléctrica de la ciudad de Machala y aporte de las renovables.

**Fuente:** Propia

### Paneles fotovoltaicos.

Luego de la revisión y análisis detallados de las especificaciones técnicas y eficiencias de los paneles solares fotovoltaicos, se ha considerado utilizar paneles FV de la marca Simax. En la Tabla 13 se muestran las características principales de los mismos:

**Tabla 13.** Características técnicas de paneles fotovoltaicos Simax SP672-310

**Fuente:** Propia

<b>Características del Equipo</b>	
Marca	Simax
Modelo	SP672-310
Célula solar	Policristalina de Si
Dimensiones (mm)	992x1957
Potencia Pico (W)	310
Tensión nominal (V)	36,8
Corriente nominal (A)	8,42
Tolerancia de potencia (%)	0~+ 3%
Eficiencia del módulo (%)	16
Vida útil (años)	25
STC: Irradiación 1000 W/m <sup>2</sup> ; espectro Am 1,5; temperatura 25 °C	

Mediante la radiación solar horizontal global analizada anteriormente en la sección 4.4.1.2, característica de los paneles FV, y la energía máxima que se cubrirá con paneles solares, se puede determinar el número de módulos que se necesitan para cubrir esta demanda.

**Ecuación 13.** Cálculo de número de módulos solares en relación a la demanda eléctrica y características del módulo

$$\text{Número de módulos: } \frac{\text{Demanda máxima diaria}}{\text{HSP} * \text{Potencia por cada módulo}}$$
$$\text{Número de módulos: } \frac{198547 \text{ kWh/d}}{4,92 * 0,310 \text{ kW}} \approx 125.101 \text{ módulos}$$

Para poder hallar el área que se necesitará para instalar esta cantidad de paneles, se debe calcular también la distancia de separación de estos, que dependerá básicamente de la inclinación de los paneles y la inclinación del sol con respecto al horizonte.

Por la ubicación de la ciudad de Machala (Latitud:  $-3^\circ$ ; Longitud;  $-79^\circ$ ) los paneles que se instalen en esta ciudad deberán ser orientados al norte, con una inclinación de  $3^\circ$  a  $5^\circ$  dependiendo de las variantes en donde se instalen estos equipos. Para este proyecto se ha elegido una inclinación óptima de  $10^\circ$  por cuestiones de limpieza y para evitar el estancamiento de agua durante las lluvias.

- $\gamma = 90 - \delta - L$   
 $\gamma = 90^\circ - 23,5^\circ - 3^\circ = \mathbf{63,5^\circ}$
- $d1 = w * \text{Cos}(\beta)$   
 $d1 = 0,992\text{m} * \text{Cos}(10^\circ) = \mathbf{0,976 \text{ m}}$
- $h = d1 * \text{Tan}(\beta)$   
 $h = 0,976 * \text{Tan}(10^\circ) = \mathbf{0,172 \text{ m}}$
- $d2 = \frac{h}{\text{Tan}(\delta)}$   
 $d2 = \frac{0,172}{\text{Tan}(63,5^\circ)} = \mathbf{0,085 \text{ m}}$
- $d = d1 + d2$   
 $d = 0,976 \text{ m} + 0,085 \text{ m} = \mathbf{1,062 \text{ m}}$

La superficie total que se necesitará para instalar los paneles que satisfagan la demanda energética de la ciudad se puede calcular con la distancia mínima entre paneles ya calculada, como se muestra a continuación:

- Área por panel =  $d * \text{largo del módulo}$   
Área por panel =  $1,062 \text{ m} * 1,975 \text{ m} = \mathbf{2,099 \text{ m}^2}$
- Área Total = área por panel \* número de módulos  
Área Total =  $2,099 \text{ m}^2 * 125.101 \text{ módulos} = \mathbf{262.594 \text{ m}^2}$

Los resultados de los cálculos antes hechos indican que se necesita un área de 26 ha para instalar la cantidad apropiada de paneles solares que cubra la demanda de la ciudad, cabe mencionar que esta distancia podría variar dependiendo de las edificaciones donde se instale.

Esta ciudad cuenta con la suficiente cantidad de edificaciones que cumplen con las condiciones para la instalación de paneles solares en sus tejados o terrazas. Además, los centros comerciales y edificios públicos también pueden utilizarse para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

#### **Generador eléctrico a biogás**

El equipo seleccionado para este proyecto fue determinado por el volumen de metano que se obtiene en la planta de purificación de gas del relleno sanitario, donde se tomaron en cuenta una serie de parámetros en base al conocimiento de proyectos anteriores realizados en el país. Estos parámetros son: velocidad, frecuencia, porcentaje de metano, emisión de partículas de NO<sub>x</sub>, potencia generada y eficiencia total.

Por lo que se ha determinado que el equipo que más se ajusta a las necesidades requeridas para este proyecto es generador Jenbacher tipo 3 modelo J320 de GE Power, por su rentabilidad durabilidad y fiabilidad que brinda al sistema.

**Tabla 14.** Características técnicas de Generador eléctrico mediante biogás

**Fuente y elaboración:** Propia

<b>Características del Equipo</b>	
Marca	General Electric
Modelo	Jenbacher 320
Combustible	Biogás 500mg/m <sup>3</sup>
Velocidad nominal (rpm)	1800
Frecuencia (Hz)	60
Potencia Eléctrica (kW)	1062
Eficiencia Eléctrica (%)	39,1
Potencia Térmica (kW)	1321
Eficiencia Térmica (%)	48,6
Eficiencia Total (%)	87,8
<b>Potencia térmica con una tolerancia +/-8%, enfriamiento de los gases de escape hasta 180 C</b>	

La planta de generación eléctrica mediante biogás será montada en los predios del relleno de desechos sólidos de Machala ubicados en las coordenadas -3,318931; -79,9484489, como se muestra en la Figura 54. Este lugar ya se encuentra listo para enterrar las tuberías de extracción de gas. Para fines del año 2030 su capacidad se encontrará al límite, por lo que se piensa expandir el relleno a sus alrededores, con la posibilidad de generar más biogás y a su vez energía eléctrica.



**Figura 54.** Predios en el que se haya el relleno sanitario de la ciudad de Machala

**Fuente:** Google Maps

En la Figura 55 se muestra la ubicación de los sistemas a instalarse. En el recuadro amarillo la planta de biogás se encuentra a las afueras de la ciudad, para el caso de las instalaciones fotovoltaicas resaltadas en los recuadros rojos, se pueden instalar en la mayor parte de la ciudad, sin embargo, para este estudio se ha enfocado en medianas y grandes edificaciones como: centros comerciales, edificios públicos y urbanizaciones.



**Figura 55.** Ubicación de la planta de biogás y áreas con mayor posibilidad de adquisición e instalación de paneles fotovoltaicos.

**Fuente:** Google Maps

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS

### 5.1. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para poder implementar el nuevo escenario energético ecuatoriano con mayor participación de las renovables (55 %) se deben invertir M\$ 29.213, de los cuales 16.197 millones de dólares serían destinados para proyectos solares y 682 millones de dólares para proyectos en los cuales se utilice biomasa.

A continuación se detallaran los costos de inversión para el plan de desarrollo energético sostenible de Machala en el cual se implementara sistemas fotovoltaicos en los hogares de la y una planta de biogás en el relleno de residuos sólidos que posee la ciudad.

El coste de inversión del proyecto fotovoltaico es de 85 millones de dólares y 4,5 millones de dólares por el sistema de biogás en el relleno sanitario. En las siguientes figuras 56 Y 57 se muestra el porcentaje correspondiente a cada rubro de cada sistema instalado.

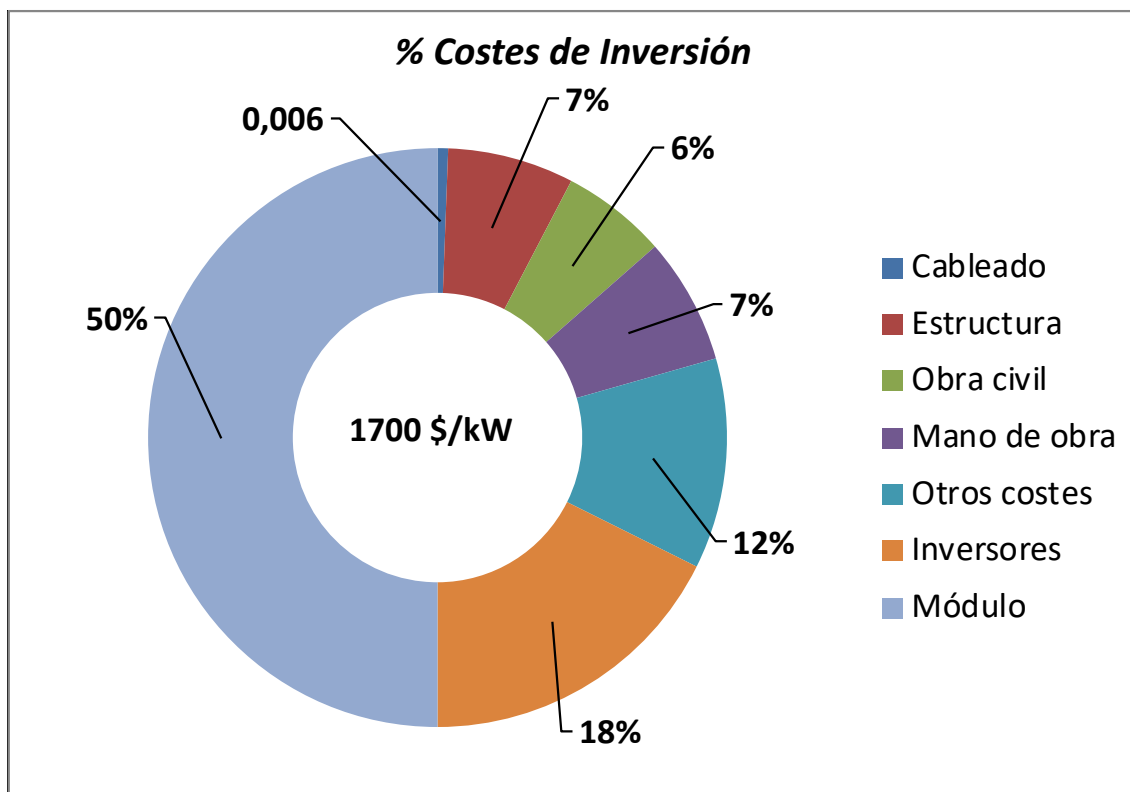


Figura 56. Porcentaje de costes de inversión de paneles fotovoltaicos

Fuente: El autor



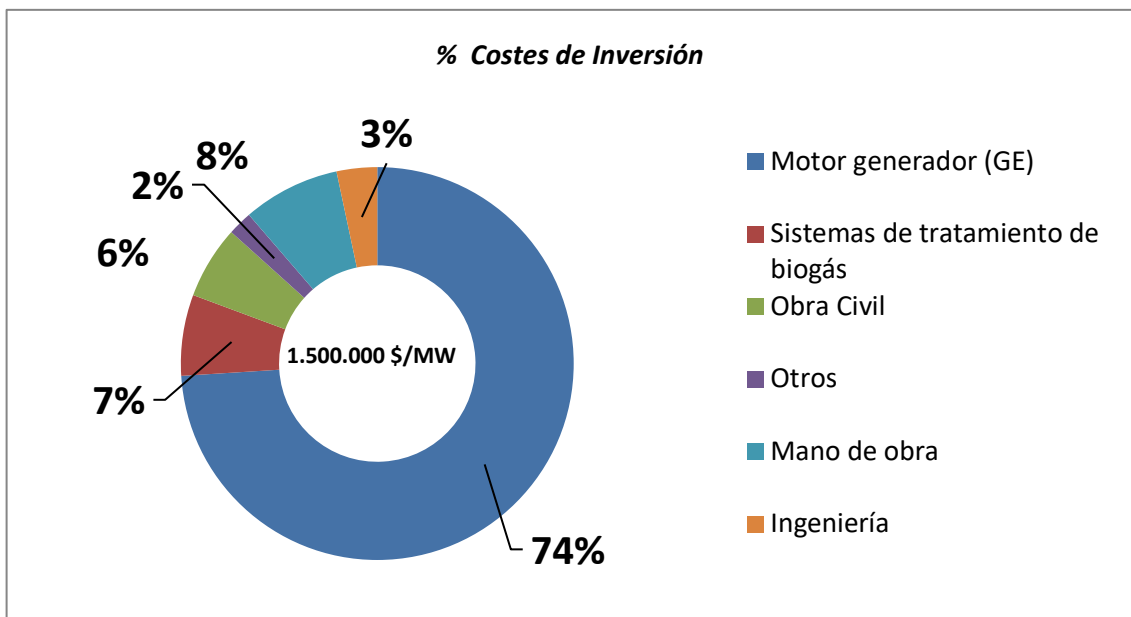


Figura 57. Porcentaje de costes de inversión de generador a biogás

Fuente: El autor

Es decir, el coste total del proyecto de implementación de energías renovables en la ciudad de Machala es 89,5 millones de dólares. Cabe mencionar que la mayor parte de las instalaciones fotovoltaicas sería adquirida por el sector privado y domiciliario, lo que tiene como ventaja que el estado ecuatoriano no deberá invertir capital, simplificando trámites burocráticos y eliminando procesos de corrupción en los que se ha visto envuelto el país en las últimas construcciones de proyectos hidroeléctricos. La desventaja que se presentaría al ser una inversión privada es que no todos los hogares ecuatorianos poseen el nivel de endeudamiento para adquirir paneles fotovoltaicos y autogenerar energía, por lo que el proyecto dependería de la clase media y alta de la sociedad.

La inversión del sistema de generación eléctrica mediante biogás la podría realizar el municipio de Machala, con inversión extranjera o por medio de un plan de concesión.

Los precios para las energías renovables son preferentes y quedaron establecidas en la regulación 04/011 del CONELEC.

**Tabla 15.** Precios Preferenciales Energías renovables en Ecuador

Fuente: CONELEC 2012

Centrales	Territorio Continental (\$/kWh)	Territorio Insular de Galápagos (\$/kWh)
Eólicas	0,0913	0,1004
Fotovoltaicas	0,4003	0,4403
Solar Termoeléctrica	0,3102	0,3412
Corrientes marinas	0,4477	0,4925
Biomasa y biogás < 5MW	0,1105	0,1216
Biomasa y biogás > 5MW	0,096	0,1056
Geotérmicas	0,1321	0,1453

Para poder calcular el payback se tomará en cuenta solo los sistemas implementados, es decir se excluirá a la red, ya que ya existe.

Los costes de inversión del proyecto representan un valor de \$ 162.585.494, mientras los valores por la generación de energía renovable son:

**Tabla 16.** Producción anual de energía eléctrica y sus respectivos precios, para el plan de desarrollo energético sostenible de la ciudad de Machala

Fuente: El autor

Centrales	Producción (kWh/año)	Precio (\$/kWh)	Total (\$/año)
Fotovoltaicas	72.469.592	0,403	29.009.578
Biomasa y Biogás < 5MW	17.248.748	0,1105	1.905.987
			<b>30.915.564</b>

La generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos y biogás en el depósito de residuos sólidos urbanos produce \$ 30.915.564 anual aproximadamente.

El payback:

$$PB = \frac{\$ 89.500.00}{30.915.564 \frac{\$}{año}} = 2,89 \text{ años} \approx \mathbf{3 \text{ años}}$$

Payback por tecnologías:

$$PB_{FV} = \frac{\$85.000.000}{29.009.578 \frac{\$}{año}} = 2,93 \text{ años} \approx \mathbf{3 \text{ años}}$$

$$PB_{Biogás} = \frac{\$4.500.000}{1.905.987 \frac{\$}{año}} = 2,36 \text{ años}$$

La factibilidad económica de este proyecto se centra en varios puntos, pero uno de los principales es que existe un incentivo económico por parte del gobierno ecuatoriano en el precio de generación de energías renovables pero en especial la fotovoltaica y, lo que permite que los tiempos de retorno de inversión sean sumamente cortos. Ningún otro país en la región cuenta con precios preferenciales a las energías renovables de tal manera.

Otro punto a favor es que el país cuenta con las condiciones óptimas para la generación fotovoltaica por mantener un clima estable casi todo el año y la inclinación de los rayos solares.

Por otra parte Ecuador cuenta con grandes cantidades de biomasa que son desaprovechadas, de las cuales se puede generar energía y combustibles.

## 5.2. ANÁLISIS AMBIENTAL

Si llegara a implementarse este proyecto el impacto ambiental sería positivo, primero, debido a que la energía fotovoltaica no genera emisiones; y segundo, el sistema de generación eléctrica mediante biogás permite realizar un mejor uso de los residuos sólidos de la ciudad que no son correctamente tratados, captura el metano del botadero de basura y generando energía eléctrica, creando un impacto ambiental negativo mínimo.

Hay que mencionar que Ecuador posee un factor de emisión de CO<sub>2</sub> para la generación de energía eléctrica de 0,6945 ton CO<sub>2</sub>/kWh, para determinar los factores de contaminación.

Según el análisis de HOMER, si solo se utilizara la red eléctrica nacional esta producirá 219.801 Tn/año de CO<sub>2</sub>, pero con la inserción del sistema híbrido donde interviene la energía fotovoltaica, biomasa a partir de biogás y la red eléctrica nacional, las emisiones serían de 163.128 Tn/año de CO<sub>2</sub>, reduciendo en un 25,79 % las emisiones de dióxido de carbono.

Se puede aprovechar esta reducción de emisión de CO<sub>2</sub> y negociar en el mercado de carbono como mecanismos de desarrollo limpio, esto permitiría en cierta parte financiar el proyecto.

Para obtener un estimado de la rentabilidad en el mercado de carbono se ha tomado como referencia los precios del sistema europeo de negociación del dióxido de carbono (SENDECO), que establece un valor de 0,40 €/Tn de CO<sub>2</sub> que en actualmente representa 0,50 \$/Tn de CO<sub>2</sub>.

$$219.801 \frac{Tn CO_2}{año} - 163.128 \frac{Tn CO_2}{año} = 56.673 \frac{Tn CO_2}{año}$$
$$56.673 \frac{Tn CO_2}{año} * 0,50 \frac{\$}{Tn CO_2} = 28.336 \frac{\$}{año}$$

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

El presente trabajo se realizó con el fin de crear una nueva forma de abastecer la demanda eléctrica de las ciudades del Ecuador, utilizando fuentes de energía renovable no convencionales para diversificar realmente la matriz energética del país. Se quiere aprovechar el potencial energético que posee Ecuador gracias a su posición privilegiada para la captación de energía solar, además al ser un país netamente agrícola es capaz de generar grandes volúmenes de biomasa y esta a su vez obtener energía eléctrica mediante procesos químicos y mecánicos; y finalmente permitir el desarrollo del país mediante el uso de nuevas tecnologías involucrando a la sociedad ecuatoriana.

Al tomar la ciudad de Machala ubicada en el sur del país como ciudad piloto para elaborar este proyecto “plan de desarrollo energético sostenible” previo al análisis de la matriz energética ecuatoriana, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El 26 % de la demanda eléctrica de la ciudad será cubierta con energías renovables no convencionales, de las cuales la fotovoltaica cubrirá el 21 % con 72.469 GWh/año y un 5 % por biomasa que son 17.248 MWh/año.
- Para este estudio se analizó la demanda eléctrica de la ciudad como un todo, es decir no se realizó un análisis individual de cada una de las necesidades de los edificios en los que se instalarían los sistemas fotovoltaicos, por lo que no se incluye la instalación de baterías para almacenar energía, ya que el coste incrementaría.
- El coste de inversión para este proyecto es de \$ 30.915.564 con un payback aproximado de 3 años, con el precio de la energía renovable impuestos en la regulación del CONELEC04/11
- El precio de la energía fotovoltaica en Ecuador es muy alto por lo que los tiempos de retorno de la inversión son muy cortos, permitiendo hacer atractivos este tipo de proyectos.
- Ecuador cuenta con una gran cantidad de recursos energéticos, de los cuales el solar y biomasa no han sido explotados. Si esto cambiara, gran parte del país podría satisfacer sus necesidades energéticas con recursos renovables, incluso en el sistema del transporte que es el mayor consumidor de energía
- La mayor parte de las ciudades de Ecuador pueden autoabastecerse de energía eléctrica mediante sistemas de generación fotovoltaicos en los hogares y plantas de biogás en los centros de desechos de residuos sólidos
- La creación de planes de desarrollo energéticos en las principales ciudades de Ecuador permitiría diversificar la matriz energética del país, creando una nueva forma en el sistema de generación, brindando muchos beneficios como: disminuir el consumo de recursos fósiles para la generación de energía eléctrica, disminuir la pérdidas de energía que existen en la red de distribución y transmisión eléctrica, evitar la construcción de redes de transmisión de energía eléctrica, el consumidor de energía eléctrica pasaría a

entrar en el mercado eléctrico ofreciendo excedentes de energía y vendiendo a la red y se evitaría la corrupción en el país por el sobreprecio de las obras de generación de energía.

- Gran parte del consumo energético del país es dirigido al sector transporte por lo que se debe tomar alternativas en este sector, creando sistemas de transportes más eficientes como es el tren eléctrico. Además, existe un excesivo uso de automóviles que hace que sea factible la inserción de biocombustibles y uso de automóviles eléctricos, con lo que se planea reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- No depender exclusivamente de las hidroeléctricas, ya que la implementación de estas tiene un coste elevado, además de causar un impacto ambiental en zonas con gran diversidad ecológica (amazonia ecuatoriana).
- Ofrecer una seguridad en el pago de la energía generada por fuentes renovables no convencionales, ya que las negociaciones se las hace con las distribuidoras eléctricas del país y algunas de ellas no se encuentran en las mejores condiciones económicas.
- Eliminar las barreras burocráticas y crear una mejor regulación con garantías de más de 20 años. Mejorar los trámites administrativos respecto a información, conexión a la red, autorizaciones ambientales y otros.
- Incentivar al sector privado el uso de energías renovables y quitar progresivamente esta carga al estado ecuatoriano.
- Mejorar la red eléctrica del país, contar con la tecnología necesaria para que los hogares ecuatorianos que inviertan en energías renovables puedan vender excedentes de energía eléctrica a la red eléctrica nacional.
- Crear conciencia ambiental y de eficiencia energética, para que los ciudadanos se sientan más identificados con estas prácticas. Incentivar el uso de energías renovables, y el uso consciente de la energía, no solo eléctrica sino toda clase de energía que se consume en el país, principalmente en el transporte.
- Crear un plan de eliminación paulatina de los subsidios de energía eléctrica, combustibles (gasolina y diésel) y gas de uso domiciliario, para que la población haga buen uso de los recursos energéticos que posee.
- Hacer controles por parte de las empresas eléctricas para eliminar los hurtos de energía eléctrica.

## CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. meteorológica Mundial, “El aumento de la concentración de gases de efecto invernadero alcanza un nuevo récord | Organización Meteorológica Mundial.” [Online]. Available: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentración-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanza-un>. [Accessed: 11-Jun-2018].
- [2] Banco Mundial, “Ecuador | Data,” *datos Ecuador 2016*. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>. [Accessed: 08-Feb-2018].
- [3] OEC, “OEC - Ecuador (ECU) Exportaciones, Importaciones, y Socios comerciales.” [Online]. Available: <https://atlas.media.mit.edu/es/profile/country/ecu/>. [Accessed: 09-Feb-2018].
- [4] “Planificación de eficiencia energética del Ecuador,” 2016.
- [5] INER, “Proyectos Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.” [Online]. Available: <http://www.iner.gob.ec/proyectos/>.
- [6] Secretaría Nacional del migrante-sistema de naciones unidad en cooperación con el Programa Interdisciplinario de Población y desarrollo Local Sustentable - PYDLOS - de la Universidad de Cuenca., “Programa conjunto &quot;juventud, empleo y migración para reducir la inequidad en el Ecuador&quot;”
- [7] Diario Opinión, “Por Puerto Bolívar se exporta el 30% de la producción bananera nacional,” Machala, 20-Nov-2017.
- [8] Ma. Soledad Romero, “El Parque Eólico Villonaco supera el factor de planta estimado.” [Online]. Available: <https://www.celec.gob.ec/bitacoralegal/index.php/component/k2/item/393-el-parque-eolico-villonaco-supera-el-factor-de-planta-estimado.html>. [Accessed: 09-Feb-2018].
- [9] A. de R. y control de Electricidad, “Atlas del Sector Electrico Ecuatoriano 2016,” *Atlas del Sect. Electr. Ecuatoriano*, vol. 1, p. 113, 2017.
- [10] J. Cevallos-Sierra and J. Ramos-Martin Universidad Andina Simón Bolívar, “Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador,” 2017.
- [11] CONELEC, “Atlas solar del Ecuador,” *Conelec*, pp. 1–51, 2008.
- [12] Ecuavisa (DCH), “Ecuador ya tiene su primera planta de energía solar :: Ecuadorinmediato,” 02-Jan-2013.
- [13] E. C. S.A, “ATLAS Bioenergético del Ecuador,” *Atlas bioenergético del Ecuador*, vol. Primera Ed, pp. 1–150, 2014.
- [14] maya, “PLAN DE LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA,” 2015.
- [15] I. N. de P. Ecuatoriano, “Estudio de la energía de olas, corrientes y energía cinética de ríos en el Ecuador para generación eléctrica,” 2013.
- [16] M. de H. de Ecuador, “Sector Hidrocarburos,” 2017.
- [17] ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA DEL ECUADOR, “Asociación de la Industria Hidrocarbúfera del Ecuador Petróleo en Cifras,” pp. 8–9, 2011.

- [18] ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA DEL ECUADOR, “Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador Petroleo en Cifras,” pp. 8–9, 2011.
- [19] ARCONEL, “Estadística anual y multianual sector eléctrico,” 2016.
- [20] M. coordinador de sectores Estratégicos, “Agenda energetica 2016-2040.pdf.” 2016.
- [21] I. E. Agency, “ENERGY,” *OECD*, p. 224.
- [22] J. Paya, “ADVANCED SOLAR THERMAL TECHNOLOGIES 0. Basic concepts on solar radiation,” vol. 0.
- [23] Á. Pérez-navarro, E. Peñalvo, and D. Alfonso, “Sistemas Híbridos Renovables complementariedad con sistemas híbridos renovables.”
- [24] D. L. Klass, “Chapter 2 - Biomass as an Energy Resource: Concept and Markets,” *Biomass Renew. Energy, Fuels, Chem.*, pp. 29–50, 1998.
- [25] E. Cerdá Tena, “Energía obtenida a partir de biomasa,” *Cuad. económicos ICE*, no. 83, pp. 117–140, 2012.
- [26] D. De Energía, G. Blanco, E. Santalla, V. Córdoba, and A. Levy, “Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico,” *Banco Interam. Desarro.*, 2017.
- [27] ARCONEL, “Consumo Anual Per Cápita | Agencia de Regulación y Control de Electricidad.” [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/recaudacion-anual/>. [Accessed: 18-Feb-2018].
- [28] Globalpetrolprices, “Precios de la gasolina en todo el mundo, 12-feb-2018 | GlobalPetrolPrices.com,” 2018. [Online]. Available: [http://es.globalpetrolprices.com/gasoline\\_prices/](http://es.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/). [Accessed: 18-Feb-2018].
- [29] M. de electricidad y energia renovable Ecuatoriano, “Cocinas de Induccion.” 2015.

# ANEXOS

## Anexo 1. Características técnicas de Generador eléctrico mediante biogás

GE Power



### Datos técnicos

<b>Configuración</b>	V 70 <sup>2</sup>		
<b>Taladro (mm)</b>	135		
<b>Carrera (mm)</b>	170		
<b>Cilindrada / cilindro (lit)</b>	2,43		
<b>Velocidad nominal (rpm)</b>	1.500 (50 Hz) 1.200 / 1.800 (60 Hz)		
<b>Velocidad media del pistón (m/s)</b>	8,5 (1.500 rpm) 6,8 (1.200 rpm) 10,2 (1.800 rpm)		
<b>Alcance de suministro</b>	Gen-Set, módulo de cogeneración, Gen-Set / módulo de cogeneración en contenedor		
<b>Tipos de gases utilizables</b>	Gas natural, flare-gas, biogás, propano, gas de vertedero, gas de depuradora. Gases especiales (p. ej., grisú, gas de coque, gas de madera, gas de pirolisis)		
<b>Tipo de motor</b>	J312	J316	J320
<b>N° de cilindros</b>	12	16	20
<b>Cilindrada total (lit)</b>	29,2	38,9	48,7

Dimensiones l x a x al (mm)			
<b>Gen-Set</b>	J312	4.700 x 1.800 x 2.300	
	J316	5.200 x 1.800 x 2.300	
	J320	5.700 x 1.700 x 2.300	
<b>Módulo de cogeneración</b>	J312	4.700 x 2.300 x 2.300	
	J316	5.300 x 2.300 x 2.300	
	J320	5.700 x 1.900 x 2.300	
<b>Contenedor</b>	J312	12.200 x 2.500 x 2.600	
	J316	12.200 x 2.500 x 2.600	
	J320	12.200 x 2.500 x 2.600	

Peso seco (kg)			
<b>Gen-Set</b>	J312	8.100	
	J316	10.100	
	J320	13.900	
<b>Módulo de cogeneración</b>	J312	9.500	
	J316	11.200	
	J320	14.400	

### Potencias y rendimientos

Gas natural		1.500 rpm   50 Hz					1.800 rpm   60 Hz					1.200 rpm   60 Hz				
NOx <	Type	PeI (kW) <sup>1</sup>	ηel (%) <sup>2</sup>	Pth (kW) <sup>2</sup>	ηth (%) <sup>2</sup>	ηtot (%) <sup>2</sup>	PeI (kW) <sup>1</sup>	ηel (%) <sup>2</sup>	Pth (kW) <sup>2</sup>	ηth (%) <sup>2</sup>	ηtot (%) <sup>2</sup>	PeI (kW) <sup>1</sup>	ηel (%) <sup>2</sup>	Pth (kW) <sup>2</sup>	ηth (%) <sup>2</sup>	ηtot (%) <sup>2</sup>
500 mg/m <sup>3</sup> <sub>NO</sub>	J312	390	39,3	508	51,2	90,5										
	J312	635	40,8	739	47,4	88,2	633	38,1	832	50,0	88,1	435	39,7	516	47,1	86,7
	J316	847	40,5	991	47,4	87,8	849	38,3	1.113	50,2	88,5	583	40,3	680	46,9	87,2
	J320	1.067	40,9	1.241	47,6	88,6	1.062	39,1	1.365	50,3	89,4	795	40,7	896	45,9	86,7
250 mg/m <sup>3</sup> <sub>NO</sub>	J312	635	39,5	766	47,6	87,1	633	36,8	895	51,9	88,7	418	38,6	519	47,9	86,6
	J316	847	39,4	1.028	47,8	87,2	849	37,0	1.186	51,6	88,6	559	38,7	690	47,8	86,6
	J320	1.067	39,9	1.293	48,4	88,4	1.062	38,2	1.417	51,0	89,2	730	39,1	894	48,0	87,1

Biogás		1.500 rpm   50 Hz					1.800 rpm   60 Hz				
NOx <	Type	PeI (kW) <sup>1</sup>	ηel (%) <sup>2</sup>	Pth (kW) <sup>2</sup>	ηth (%) <sup>2</sup>	ηtot (%) <sup>2</sup>	PeI (kW) <sup>1</sup>	ηel (%) <sup>2</sup>	Pth (kW) <sup>2</sup>	ηth (%) <sup>2</sup>	ηtot (%) <sup>2</sup>
500 mg/m <sup>3</sup> <sub>NO</sub>	J312	526	41,3	563	44,2	85,4					
	J312	635	40,4	709	45,1	85,5	633	38,1	810	48,8	86,9
	J316	703	42,0	734	43,0	85,0					
	J316	847	41,0	935	45,0	85,0	849	38,3	1.084	48,9	87,3
	J320	1.067	40,9	1.179	45,2	86,1	1.062	39,1	1.321	48,6	87,8
250 mg/m <sup>3</sup> <sub>NO</sub>	J312	635	39,0	730	44,8	83,8	633	36,8	860	49,9	86,7
	J316	847	39,1	964	44,5	83,6	849	37,0	1.147	49,9	86,9
	J320	1.067	39,3	1.225	45,1	84,4	1.062	37,0	1.451	50,5	87,5



Find your local support online:  
[www.gepower.com/distributedpower](http://www.gepower.com/distributedpower)

1) Detalles técnicos de acuerdo a la norma ISO 1046  
 2) Potencia térmica total con una tolerancia de +/- 8 %, enfriamiento de los gases de escape hasta 120°C, con biogás hasta 180°C  
 Todos los valores se refieren a un funcionamiento del motor a plena carga y están sujetos a cambios debidos al desarrollo técnico.  
 Puede obtener otras versiones de motores, previa solicitud.

La División Distributed Power de GE Power forma parte de General Electric Company. La marca y el logo de GE son marcas comerciales de General Electric Company. © 2016 General Electric Company. La información proporcionada está sujeta a cambios sin previo aviso. Todos los valores son valores de diseño o típicos al ser medidos en condiciones de laboratorio.  
 GEA-32390SP



Anexo 2. Características técnicas de paneles fotovoltaicos Simax SP672-310

**SIMAX 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-310W**



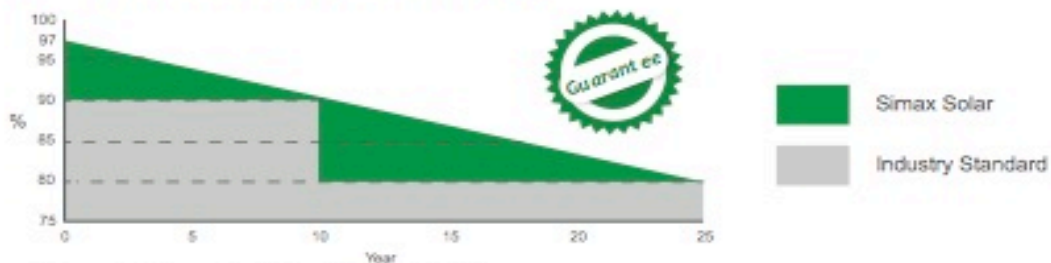
Product Features



- Positive tolerance**  
 Guaranteed tolerance +3%  
 Reliable power output
- High module efficiency**  
 Module efficiency up to 15.7%  
 Cells efficiency up to 17.8%
- Strong compressive strength**  
 Certified to withstand high wind of 2400Pa and snow loads of 5400Pa
- High manufacture standards**  
 certified to high standards by the most reputable labs According to IEC:61215: IEC:61730-1/2
- International Management System**  
 Manufactured and certified according to ISO9001, Quality management system
- Fire test approved**  
 Application class A, Safety Class II, Fire Rating C
- Excellent performance under extreme condition**  
 High salt mist and ammonia resistance
- Reliable quality forever**  
 Without potential induced degradation(PID-free)

Leading Warranty in PV Industry

- 25 year transferrable power output warranty: 10 years / 90%, 25 years / 80%
- Linear performance warranty from SIMAX Power
- 12 year material and workmanship warranty

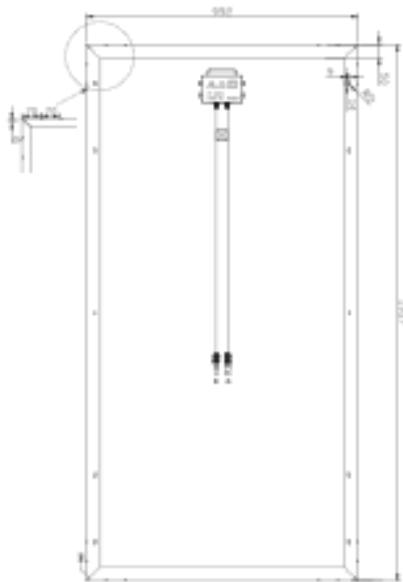


\* Please refer to Simax Solar Product Warranty for details.





Parameters	SP672-280	SP672-285	SP672-290	SP672-295	SP672-300
Peak power [W] $P_{max}$	280W	285W	290W	295W	300W
Open circuit voltage [V] $V_{oc}$	44.4	44.4	44.4	45.0	45.0
Maximum Power Voltage [V] ( $V_{mp}$ )	29.5	30.8	31.8	32.3	32.3
Maximum Power Current [A] ( $I_{mp}$ )	7.82	7.96	8.10	8.13	8.25
Short circuit Current [A] ( $I_{sc}$ )	8.45	8.60	8.71	8.78	8.93
Power Tolerance	0~+3%	0~+3%	0~+3%	0~+3%	0~+3%
Module Efficiency (%)	14.5%	14.7%	14.9%	15.3%	15.5%



### Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156 x 156 (mm)
No. of Cells	72 ( 6 x 12 )
Dimensions	1956 x 992 x 40 mm
Weight	22.5 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

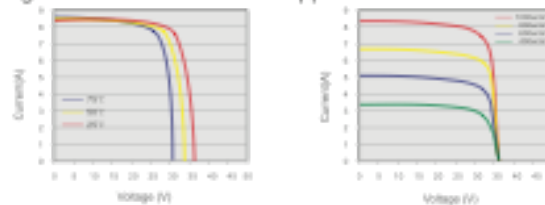
### Output

Cable Type	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB001 MC4

### Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	$45 \pm 2^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of ( $P_{max}$ )	$-0.39\% / ^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of ( $V_{oc}$ )	$-0.34\% / ^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of ( $I_{sc}$ )	$0.035\% / ^\circ\text{C}$

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out  $\geq 90\%$  in 10 years
- Power out  $\geq 80\%$  in 25 years



### Anexo 3. Precio de energías renovables en Ecuador



en caso se estime que la energía a entregarse no es necesaria, en las condiciones presentadas por el inversionista.

Una vez obtenido el certificado previo al Título Habilitante, por el cual se califica la solicitud de la empresa para el desarrollo y operación de un proyecto de generación, se determinará el plazo máximo que tiene el solicitante para la firma de contrato. Durante este periodo no se aceptará a trámite otro proyecto que utilice los recursos declarados por el primero.

Para la obtención del Título Habilitante, el proyecto calificado se someterá a lo descrito en la normativa vigente.

## 6. CONDICIONES PREFERENTES

### 6.1 PRECIOS PREFERENTES

Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh, son aquellos indicados en la Tabla No. 1. No se reconocerá pago por disponibilidad a la producción de las centrales no convencionales.

<sup>2</sup>Tabla No. 1

#### *Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)*

<b>CENTRALES</b>	<b>Territorio Continental</b>	<b>Territorio Insular de Galápagos</b>
<i>EÓLICAS</i>	<i>9.13</i>	<i>10.04</i>
<i>FOTOVOLTAICAS</i>	<i>40.03</i>	<i>44.03</i>
<i>SOLAR TERMOELÉCTRICA</i>	<i>31.02</i>	<i>34.12</i>
<i>CORRIENTES MARINAS</i>	<i>44.77</i>	<i>49.25</i>
<i>BIOMASA Y BIOGÁS &lt; 5 MW</i>	<i>11.05</i>	<i>12.16</i>
<i>BIOMASA y BIOGÁS &gt; 5 MW</i>	<i>9.60</i>	<i>10.56</i>
<i>GEOTÉRMICAS</i>	<i>13.21</i>	<i>14.53</i>

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en la Tabla No. 2, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

<sup>2</sup> Tabla No. 1 reemplazada mediante Resolución Directorio No. 017/12 de 12 de enero de 2012.

