



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO.

**TEMA:**

---

**“OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS  
DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR.”**

---

**Autor:** Christian Marcelo Moya Freire.

**Tutor:** Ing. M. Eng. Mayra Paucar.

Ambato – Ecuador

2017

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR.” Trabajo elaborado por el egresado Christian Marcelo Moya Freire, estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Certifico que el trabajo de investigación ha sido concluido en su totalidad, ha sido revisada en cada uno de sus capítulos y puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato, Julio 2017.

.....  
Ing. M. Eng. Mayra Paucar.

TUTOR.

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Declaro que el contenido del proyecto técnico: “OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR”, así como sus ideas, interpretaciones, resultados, conclusiones, son responsabilidad exclusiva y auténtica de mi persona como autor del presente proyecto.

Ambato, Julio 2017.

.....

Christian Marcelo Moya Freire.

C.I. 1804628145.

AUTOR.

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Julio 2017.

.....

Christian Marcelo Moya Freire.

C.I. 1804628145.

AUTOR.

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores calificadores, ya revisado en su totalidad el proyecto técnico realizado por el señor Christian Marcelo Moya Freire de la carrera de Ingeniería Mecánica, aprueban el tema “OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR”.

Ambato, Julio 2017

.....  
Ing. Mg. Diego Moya

.....  
Ing. Mg. Alex Mayorga

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis  
Padres, Germán y Marisol por ser un  
apoyo incondicional en el transcurso de  
mi vida, ya que con su amor y sabiduría  
supieron guiarme hasta cumplir una meta  
más propuesta, a mi hermana Karina, a mi  
pequeña Paula, a mis abuelitos y Andrea  
Fiallos por ser un pilar fundamental que  
me impulso a seguir adelante sin  
desmayar.

Christian

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por bendecirme e iluminarme en cada momento de mi vida, por levantarme en cada caída y guiarme hacia el camino del bien ayudándome a cumplir mis metas y objetivos.

A mi familia que siempre se encontró presente en cada paso, ayudándome a ser mejor cada día, haciéndome sentir valioso e indispensable en sus vidas.

A mi tutor la Ing. Mayra Paucar y al Ing. Pablo Amancha, que con su conocimiento, amabilidad y carisma hicieron posible la realización de este proyecto.

A Blanca Guanocunga Bibliotecaria, a Paola Carrera y Marco V. Yujato del Centro de Documentación del Sistema de Información Económica Energética, a Targelia Rivadeneira Especialista SIER, a la Coordinación de Gestión de la Información y Capacitación de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) por el acceso brindado a la información en sus bases de datos estadísticos, económicos y energéticos, que formaron un rol indispensable para la elaboración de los indicadores energéticos del Ecuador.

A mis maestros que me han ido formando académicamente con su aprendizaje y experiencia para aplicarlos en un futuro.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica que fue mi segundo hogar todos estos años ofreciéndome la mejor enseñanza y por los seminarios impartidos.

A mis amigos que hicieron que el estudio sea la mejor experiencia, dándonos a conocer el valor del trabajo en equipo.

Christian

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
CAPÍTULO I - EL PROBLEMA.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO II - FUNDAMENTACIÓN .....	3
2.1. Investigaciones Previas .....	3
2.2. Fundamentación Teórica.....	4
2.2.1. Evolución de la energía en el Ecuador.....	4
2.2.2. Producción de energía en Ecuador.....	6
2.2.2.1. Producción de energía primaria .....	7
2.2.2.2. Producción de energía secundaria.....	8



2.2.2.3. Sector Eléctrico en Ecuador .....	9
2.2.3. Sector de la energía vinculado con el medio ambiente .....	11
2.2.4. Energía y Desarrollo Sostenible .....	12
2.2.4.1. Evolución de indicadores energéticos del desarrollo sostenible .....	14
<b>CAPÍTULO III - DISEÑO DEL PROYECTO .....</b>	<b>16</b>
3.1. Indicadores Energéticos Del Desarrollo Sostenible .....	16
3.1.1. Dimensión Social .....	16
3.1.1.1. SOC1: Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial [2]. .....	17
3.1.1.2. SOC2: Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad [2]. .....	18
3.1.1.3. SOC3: Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados [2].....	18
3.1.1.4. SOC4: Víctimas mortales de accidentes por producción de energía por la cadena de combustibles [2]. .....	19
3.1.2. Dimensión Económica .....	19
3.1.2.1. ECO1: Uso de energía per cápita [2]. .....	20
3.1.2.2. ECO2: Uso de energía por unidad de PIB [2].....	21
3.1.2.3. ECO3: Eficiencia de la conversión y distribución de energía [2].....	22
3.1.2.4. ECO4: Relación reservas/ producción [2].....	22
3.1.2.5. ECO5: Relación recursos/ producción [2]. .....	23
3.1.2.6. ECO6: Intensidades energéticas de la industria [2]. .....	23
3.1.2.7. ECO7: Intensidades energéticas del sector agrícola [2].....	24
3.1.2.8. ECO8: Intensidades energéticas del sector de servicios y comercial [2].....	25
3.1.2.9. ECO9: Intensidades energéticas de los hogares [2]. .....	25
3.1.2.10. ECO10: Intensidades energéticas del transporte [2]. .....	26
3.1.2.11. ECO11: Porcentajes de combustibles en la electricidad y energía [2].....	27

3.1.2.12. ECO12: Porcentaje de energía no basada en el carbono en la electricidad y energía [2].	27
3.1.2.13. ECO13: Porcentaje de energías renovables en la electricidad y energía [2].	28
3.1.2.14. ECO14: Precios de la energía de uso final por combustible [2].	29
3.1.2.15. ECO15: Dependencias de las importaciones netas de energía [2].	29
3.1.2.16. ECO16: Reservas de combustibles críticos por consumo [2].	30
3.1.3. Dimensión Ambiental	30
3.1.3.1. ENV1: Emisiones de GEI por la producción, per cápita y por unidad de PIB [2].	31
3.1.3.2. ENV2: Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas [2].	32
3.1.3.3. ENV3: Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de energía [2].	32
3.1.3.4. ENV4: Descargas de contaminantes en efluentes líquidos [2].	33
3.1.3.5. ENV5: Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica [2].	34
3.1.3.6. ENV6: Tasa de deforestación atribuida al uso de energía [2].	34
3.1.3.7. ENV7: Relación entre desechos sólidos y las unidades de energía [2].	35
3.1.3.8. ENV8: Relación entre los desechos sólidos adecuadamente evacuados [2].	35
3.2. Índice de Sostenibilidad Energética	36
3.3. Determinación de la Sostenibilidad	38
3.3.1. Fuentes de información	38
3.3.2. Estudio de la sostenibilidad energética de Ecuador	39
3.3.3. Indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS)	39
3.3.4. Desarrollo del índice de sostenibilidad energética	40
3.4. Análisis e Interpretación	45
3.4.1. Indicadores Energéticos Del Desarrollo Sostenible Del Ecuador	45

3.4.1.1. Dimensión Social .....	45
3.4.1.2. Dimensión económica .....	48
3.4.1.3. Dimensión ambiental .....	68
3.4.2. Índice de Sostenibilidad Energética de Ecuador .....	75
3.4.2.1. Equidad energética .....	75
3.4.2.2. Seguridad energética .....	76
3.4.2.3. Sostenibilidad ambiental .....	78
3.4.2.4. Desempeño económico .....	80
<b>CAPÍTULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
4.1. Conclusiones .....	82
4.2. Recomendaciones.....	84
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Evolución de la oferta de energía primaria por fuentes 2000-2014 .....	5
Figura 2.2: Evolución del consumo de energía por sectores 2000-2014 .....	5
Figura 2.3: Evolución del consumo de energía por fuentes 2000-2014.....	6
Figura 2.4: Producción de energía secundaria por fuente 2000-2014.....	6
Figura 2.5: Consumo de energía primaria por combustible 2015.....	7
Figura 2.6: Producción de energía primaria Ecuador 2014.....	8
Figura 2.7: Porcentaje de energía procesada a nivel de centros de transformación.....	8
Figura 2.8: Refinerías Ecuador 2004-2014 .....	9
Figura 2.9: Emisiones de GEI por fuente.....	11
Figura 2.10: Emisiones de GEI por actividad .....	12
Figura 2.11: Energía y desarrollo sostenible.....	13
Figura 3.1: Trilema energético .....	37
Figura 3.2: Estructura del Índice de Sostenibilidad Energética del CME.....	38
Figura 3.3: Indicadores Energéticos para el Desarrollo Sostenible .....	40
Figura 3.4: Esquema del desarrollo del índice de sostenibilidad energética.....	41
Figura 3.5: Población sin acceso a electricidad Ecuador 2005-2015.....	45
Figura 3.6: Población sin acceso a electricidad 2005-2015 .....	46
Figura 3.7: Uso de energía en los hogares del Ecuador 2005-2015.....	47
Figura 3.8: Uso de gas licuado en los hogares 2005-2015.....	47
Figura 3.9: Emisiones de CO <sub>2</sub> por el uso de energía del Ecuador 2005-2015 .....	48
Figura 3.10: Consumo y producción per cápita del Ecuador 2005-2015.....	49
Figura 3. 11: Consumo y producción de energía secundaria per cápita del Ecuador 2005-2015 .....	49
Figura 3.12: Producción de energía per cápita 2005-2015 .....	50
Figura 3.13: Consumo de energía per cápita 2005-2015 .....	50
Figura 3.14: Consumo de energía eléctrica per cápita 2005-2013.....	51
Figura 3.15: Consumo y producción de energía por PIB del Ecuador 2005-2015 ....	51
Figura 3. 16: Consumo y producción por PIB de energía secundaria del Ecuador 2005-2015 .....	52
Figura 3.17: Producción de energía por PIB 2005-2015.....	52
Figura 3.18: Consumo de energía por PIB 2005-2015 .....	53

Figura 3.19: Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución 2005-2013.....	53
Figura 3.20: Pérdidas de distribución y transmisión del Ecuador 2005-2014 .....	54
Figura 3.21: Relación reservas y producción de petróleo 2005-2015.....	55
Figura 3.22: Relación reservas y producción de gas natural 2005-2015 .....	55
Figura 3.23: Relación recursos /producción 2005-2015 .....	56
Figura 3.24: Intensidad energética del sector industrial Ecuador 2005-2014.....	57
Figura 3.25: Intensidad energética del sector residencial Ecuador 2005-2014.....	57
Figura 3.26: Intensidad energética del transporte Ecuador 2005-2014 .....	58
Figura 3.27: Producción total de energía por fuentes fósiles de Ecuador 2005-2015	59
Figura 3. 28: Consumo final de energía con fuentes fósiles Ecuador 2005-2015.....	60
Figura 3.29: Generación de electricidad con fuentes fósiles Ecuador 2005-2013.....	60
Figura 3.30: Generación de electricidad con fuentes fósiles del Ecuador 2005-2015. .....	61
Figura 3.31: Porcentaje de producción de energía total renovable del Ecuador 2005-2015.....	62
Figura 3.32: Producción de electricidad a partir de fuentes renovables. 2005-2013 .	63
Figura 3.33: Precio del Fuel Oil en el sector industrial del Ecuador 1996-2005 .....	63
Figura 3.34: Precios de combustibles en el sector residencial del Ecuador 1996-2005 .....	64
Figura 3.35: Precio de la energía de uso final por combustible en el sector de transporte del Ecuador 1996-2005 .....	65
Figura 3.36: Precio de la energía de uso final por combustible en el sector de transporte del Ecuador 1995-2005 .....	66
Figura 3.37: Dependencia de las importaciones netas de energía 2005-2015 .....	67
Figura 3.38: Reservas probadas de petróleo 2005-2015 .....	67
Figura 3.39: Reservas estratégicas de petróleo del Ecuador 2006-2015.....	68
Figura 3.40: Emisiones de GEI per cápita del Ecuador 2005-2012.....	69
Figura 3.41: Emisiones de CO <sub>2</sub> per cápita 2005-2013 .....	69
Figura 3.42: Emisiones de GEI por PIB del Ecuador 2005-2012 .....	70
Figura 3.43: Emisiones de CO <sub>2</sub> por unidad de PIB 2005-2013 .....	70
Figura 3.44: PM 2.5 contaminación del aire, exposición media anual 2010-2015....	71
Figura 3.45: Emisión de S0 <sub>2</sub> en centrales eléctricas Ecuador 2005-2015.....	71

Figura 3.46: Emisión de NO <sub>x</sub> en centrales eléctricas y sector de transporte Ecuador 2005-2015 .....	72
Figura 3.47: Emisión de hidrocarburos COV en centrales eléctricas y sector transporte Ecuador 2005-2015 .....	72
Figura 3.48: Emisión de CO en centrales eléctricas y secotr de transporte Ecuador 2005-2015 .....	73
Figura 3.49: Tasa anual de cambio de deforestación Ecuador 2000-2014 .....	73
Figura 3.50: Promedio anual de deforestación (ha/año) Ecuador 2000-2014.....	74
Figura 3.51: Índice de equidad energética de Ecuador. ....	76
Figura 3.52: Índice de seguridad energética de Ecuador. ....	78
Figura 3.53: Índice de sostenibilidad ambiental de Ecuador. ....	80
Figura 3.54: Sostenibilidad energética de Ecuador.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Energía eléctrica.....	10
Tabla 2.2: Consumo de energía para servicio público .....	11
Tabla 3.1: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión social	17
Tabla 3.2: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión económica .....	20
Tabla 3.3: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión ambiental.....	31
Tabla 3.4: Estado de referencia o sostenible energéticamente.....	43
Tabla 3.5: Equidad energética del Ecuador.....	75
Tabla 3.6: Seguridad energética de Ecuador.....	77
Tabla 3.7: Sostenibilidad ambiental de Ecuador.....	79
Tabla 3.8: Estado de referencia del desempeño económico. ....	80
Tabla 3.9: Desempeño económico de Ecuador. ....	80
Tabla 3.10: Sostenibilidad energética de Ecuador. ....	81
Tabla A.1: Índice de Sostenibilidad Energética.....	90
Tabla B.1: Referencias de información utilizada para el ISE .....	91
Tabla C.1: Tabla de criterio para analizar el ISE.....	92

## SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

AEMA = Agencia Europea del Medio Ambiente.

AIE = Agencia Internacional de Energía.

ARCONEL = Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

bb1 = Barril americano.

Bcm = Billones de metros cúbicos al año

bep = Barril equivalente de petróleo.

BP = British Petroleum.

CEPAL = Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas.

CFT = Consumo Final Total.

CH<sub>4</sub> = Metano.

CME = Consejo Mundial de la Energía.

CO = Monóxido de carbono.

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono.

CONELEC = Consejo Nacional de Electricidad.

COV = Compuestos Orgánicos Volátiles.

D<sub>n</sub> = Dimensión analizada.

E<sub>n</sub> = Estadística a normalizar.

EPA = Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos.

Eurostat = Oficina Estadística de la Unión Europea.

FMMA = Fondo Mundial para el Medio Ambiente.

GEI = Gases de Efecto Invernadero.

GLP = Gas licuado de petróleo.

hab = Habitante.

IDM = Indicadores del Desarrollo Mundial del Banco Mundial.

IDS = Indicadores del Desarrollo Sostenible.

IEDS = Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible.

I<sub>n</sub> = Indicador energético normalizado.

ISE = Índice de Sostenibilidad Energética.

MAGAP = Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.



MCI = Motores de Combustión Interna.  
MEER = Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.  
N<sub>2</sub>O = Óxido nitroso.  
NO = Óxido de nitrógeno.  
OCP = Oleoducto de Crudos Pesados.  
OIEA = Organismo Internacional de Energía Atómica.  
OLADE = Organización Latinoamérica de Energía.  
ONUUDI = Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.  
PIB = Producto Interno Bruto.  
PM<sub>2,5</sub> = Material particulado con diámetro menor a 2,5  $\mu$ m.  
PPA = Factor de conversión de la Paridad del Poder Adquisitivo.  
SIER = Sistema de Información Energética Regional OLADE.  
SNI = Sistema Nacional Interconectado.  
SO = Óxido de azufre.  
SO<sub>2</sub> = Dióxido de azufre.  
SOTE = Sistema de Oleoducto Transecuatoriano.  
STEP = Suministro total de energía primaria.  
TEP = Tonelada equivalente de petróleo.  
UNDESA = Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas.  
US\$ = Dólares de Estados Unidos.  
WEC = Consejo Mundial de Energía.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS DEL  
DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR.

**Autor:** Christian Marcelo Moya Freire.

**Tutor:** Ing. M. Eng. Mayra Paucar.

**RESUMEN**

El presente trabajo obtiene e interpreta los indicadores energéticos para el desarrollo sostenible que son presentados por la Organización Internacional de la Energía Atómica. Estos indicadores analizan tres dimensiones: social, económico y ambiental, resultando ser un método cualitativo para la determinación de la sostenibilidad energética. Además, se realiza un enfoque cuantitativo aplicando el Índice de Sostenibilidad Energética, mediante el cual se analizan tres aspectos: equidad energética, seguridad energética y sostenibilidad ambiental. Con la finalidad de medir el desempeño energético del país y compararlo contra un estado de referencia.

Se determina que el Ecuador presenta ciertas inequidades energéticas. La sostenibilidad ambiental es una fortaleza para el país, mientras que la seguridad energética y la equidad social resultan una debilidad. Estos indicadores alcanzan los siguientes valores: índice de equidad social 5,63/10; seguridad energética 5,33/10; sostenibilidad ambiental 7,94/10. La sostenibilidad energética alcanza un índice de 6,03/10, colocándolo en el puesto 3 de 5 países estudiados.

Palabras claves: Ecuador, Desarrollo sostenible, Indicadores Energéticos.

**AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY**  
**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS**  
**MECHANICAL ENGINEERING CAREER**

OBTAINING AND INTERPRETING ENERGY INDICATORS OF SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT FOR ECUADOR.

**Author:** Christian Marcelo Moya Freire

**Advisor:** Ing. M. Eng. Mayra Paucar.

**SUMMARY**

This work obtains and interprets the energy indicators for sustainable development that are presented by the International Atomic Energy Organization. These indicators analyze three dimensions: social, economic and environmental, proving to be a qualitative method for the determination of energy sustainability. In addition, a quantitative approach is applied applying the Energy Sustainability Index, which analyzes three aspects: energy equity, energy security and environmental sustainability. In order to measure the country's energy performance and compare it against a reference state.

It is determined that Ecuador has certain energy inequities. Environmental sustainability is a strength for the country, while energy security and social equity are a weakness. These indicators reach the following values: social equity index 5.63 / 10; Energy security 5,33 / 10; Environmental sustainability 7,94 / 10. Energy sustainability reached an index of 6.03 / 10, ranking it 3 out of 5 countries studied.

Key words: Ecuador, Energy Indicators, Sustainable development.

## **CAPÍTULO I - EL PROBLEMA**

### **1.1. Tema**

OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL ECUADOR.

### **1.2. Justificación**

Ecuador no cuenta con indicadores energéticos del desarrollo sostenible publicados con la metodología del Organismo Internacional de Energía Atómica, por lo cual éstos ayudarían a establecer la situación real del país mediante un análisis estadístico en materia de energía y medio ambiente, para poder establecer una línea base para el desarrollo sostenible [1].

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNDESA), la Oficina Estadística de la Unión Europea (Eurostat), la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) han desarrollado estos indicadores para analizar los componentes para el desarrollo sustentable, en los sectores sociales, económicos y ambientales. Algunos indicadores se ajustan en el suministro de servicios energéticos, específicos a mejorar las condiciones de vida y contra la pobreza [2].

La finalidad de este trabajo de investigación es generar indicadores energéticos que resulten útiles para determinar los progresos en los sectores social, económico y medio ambiente del Ecuador.

Existe varios estudios a nivel mundial, en especial países de América Latina como México, Guatemala, etc. que han determinado estos indicadores. Este estudio es factible por motivo que se tiene gran cantidad de información disponible y existen varios estudios relacionados, finalmente los materiales para el desarrollo de la investigación son de fácil adquisición y con un coste bajo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Obtener e interpretar los indicadores energéticos del desarrollo sostenible para el Ecuador.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Investigar datos de estadísticas y fuentes de información que ayuden a elaborar los indicadores energéticos para el desarrollo sostenible e índice de sostenibilidad energética de Ecuador.
- Desarrollar los indicadores energéticos del desarrollo sostenible para el ámbito social, económico y ambiental del Ecuador.
- Realizar un enfoque cuantitativo para desarrollar un índice para evaluar la sostenibilidad energética del Ecuador y contrastar el desarrollo energético del país con diferentes países o regiones.
- Analizar el desarrollo sostenible del Ecuador mediante los indicadores energéticos del desarrollo sostenible e índice de sostenibilidad energética.

## CAPÍTULO II - FUNDAMENTACIÓN

### 2.1. Investigaciones Previas

- El Ingeniero Sergio Manuel Meléndez Mendizábal [3], realizó el “ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE GUATEMALA”, donde analiza la sostenibilidad energética y el estudio de los indicadores energéticos del desarrollo sostenible respecto a la dimensión social, económica y ambiental de Guatemala, resultando esta investigación beneficiosa para el presente trabajo.
- La Agencia Internacional de Energía Atómica [4], realiza una iniciativa de “INDICADORES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ENERGÍA”, donde sus autores I. A. Vera, L. M. Langlois, H. H. Rogner, A. I. Jalal, y F. L. Toth generan un conjunto de indicadores para medir y evaluar sistemas energéticos. Estudio que resulta de gran utilidad en la presente investigación por su acercamiento a los indicadores de sostenibilidad.
- Khaled Ben Abdallah, Mounir Belloumi y Danil De Wolf [5], realizan el artículo “INDICADORES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ENERGÍA: UN MULTIVARIABLE ANÁLISIS DE COINTEGRACIÓN Y CASUALIDAD DEL SECTOR DEL TRANSPORTE, estudian un mecanismo entre indicadores para determinar el grado de sostenibilidad energética vinculados con el consumo de energía del sector transporte.
- B. Chen, Q. Yang, J.S.Li y G.Q. Chen [6], elaboran en el año 2016 un "ANÁLISIS DE DESACOPAMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA, EMISIONES DE GEI INCORPORADAS Y CRECIMIENTO ECONÓMICO- EL ESTUDIO DE CASO DE MACAO". El cual resulta un enfoque para evaluar el proceso de desarrollo sostenible y medir la aparición de una disociación entre las emisiones de GEI, siendo esta investigación beneficiosa para nuestro estudio.

- La Ingeniera Remedios María Robles González [7], desarrollo el tema de "EFICIENCIA ENERGÉTICA SOSTENIBLE: MÉTODO PARA LA TOMA DE DECISIONES". Realiza un estudio de los conceptos de ecosistema, sostenibilidad y eficiencia energética.

## **2.2. Fundamentación Teórica**

### **2.2.1. Evolución de la energía en el Ecuador**

En 1972, el Ecuador inicia su producción petrolera, convirtiéndose este recurso en base de su estructura económica, a partir de ese año el petróleo ha dominado la matriz energética primaria, convirtiéndose como un exportador neto de energía [8].

La industria del petróleo ha sufrido dos sucesos importantes, uno de ellos fue el terremoto de 1987 que destruyó el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), razón por la cual se detuvieron las actividades hidrocarburíferas del país. El otro se originó en el inicio de operaciones de la puesta en marcha del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) en el año 2003, que incurrió en la producción positiva de crudo del país [8].

Debido a las políticas adoptadas por el gobierno, entre ellas el cambio de matriz energética, se espera reducir el consumo de combustibles derivados de petróleo, disminuyendo la importación de los mismos y satisfacer la demanda sectorial de transporte impulsando la producción de energía secundaria [8].

La Figura 2.1 evidencia la producción de energía primaria durante los últimos 14 años en el país, donde el petróleo ocupa la mayor parte de esta producción resultando de suma importancia en la sociedad ecuatoriana, tanto para abastecer la demanda de energía interna, la cual en los últimos 10 años ha tenido un crecimiento sostenido, tanto por la renta derivada de las exportaciones. Las energías renovables convencionales (biomasa, hidroenergía) y no convencionales (eólica y fotovoltaica) tienen una pequeña participación, ampliándose en los últimos años debido a las nuevas centrales hidroeléctricas construidas en la actualidad [8].

En el año 2007 la producción de petróleo disminuyó, producto del agotamiento de varios campos (Shushufindi- Aguarico y Libertad – Atacapi), aumentado en el 2010 principalmente por la perforación de nuevo pozos y repotenciación de campos agotados. [8].

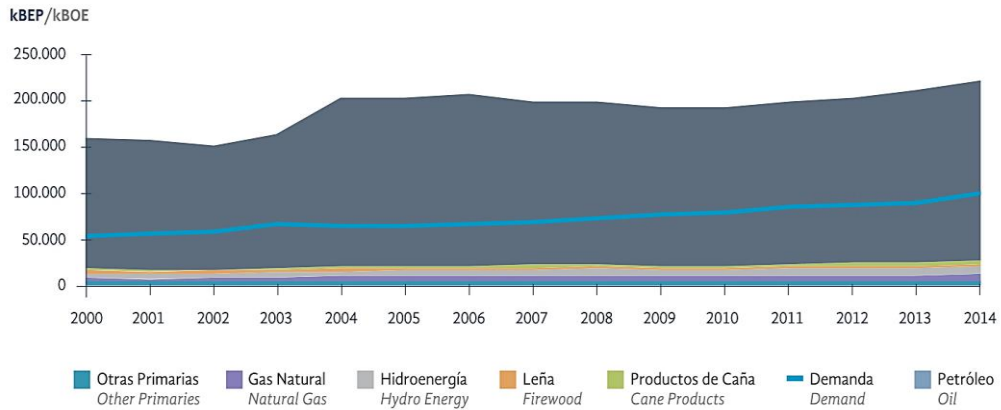


Figura 2.1: Evolución de la oferta de energía primaria por fuentes 2000-2014 [8].

El sector con mayor participación en la demanda energética del Ecuador es el transporte, alcanzando el 42% de la matriz de consumo en el 2014, seguido por los sectores industrial y residencial, con una participación del 18% y 12%, respectivamente, como puede verse en la Figura 2.2. [8].

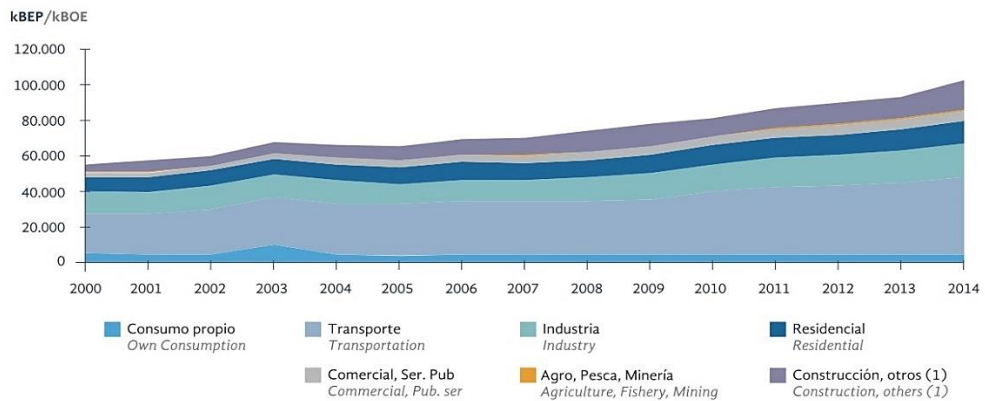


Figura 2.2: Evolución del consumo de energía por sectores 2000-2014 [8].

La gasolina y diésel son los principales combustibles derivados de petróleo utilizados como fuentes de consumo energético. Siendo demandados principalmente por el sector del transporte, teniendo en cuenta que la electricidad ha tenido un aumento mínimo en la matriz, como puede observarse en la Figura 2.3 [8].



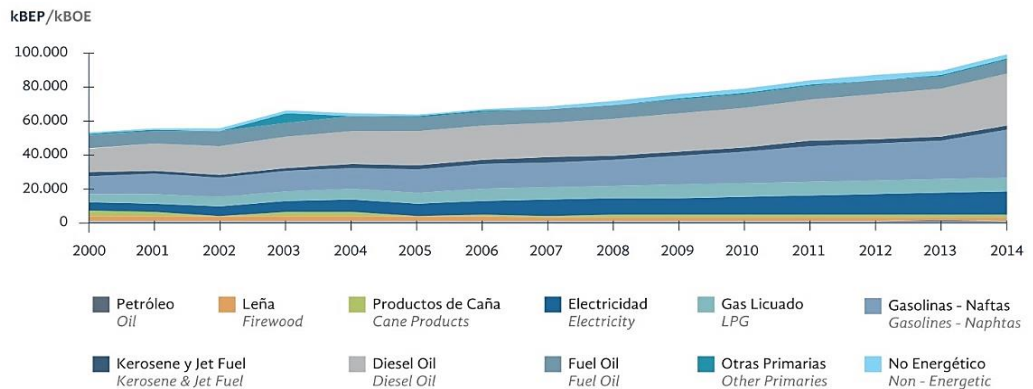


Figura 2.3: Evolución del consumo de energía por fuentes 2000-2014 [8].

El fuel oil es el energético más generado en los centros de transformación como se indica en la Figura 2.4. Petroecuador exportará 190.000 barriles de fuel oil que será utilizado como combustible para embarcaciones marítimas y para la producción de electricidad en termoeléctricas [9]. Por otra parte, la generación de electricidad es la energía secundaria con una alta tendencia de crecimiento en los siguientes años [8].

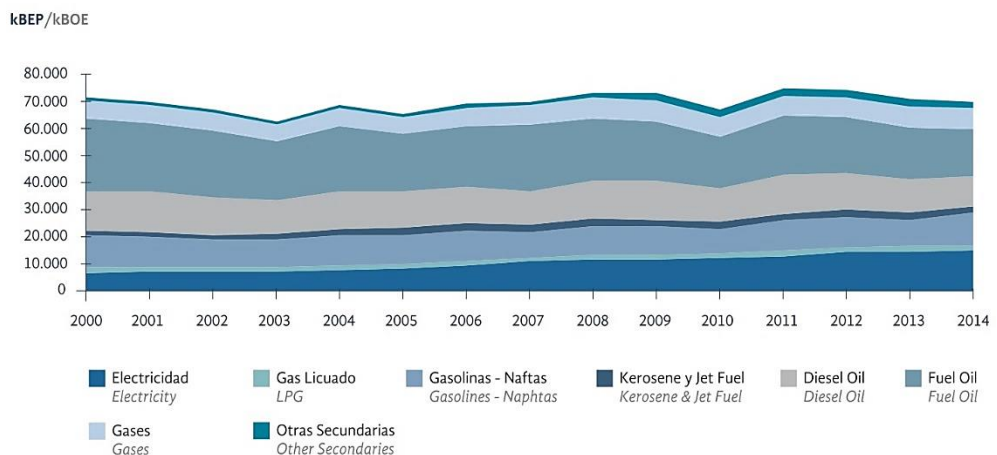


Figura 2.4: Producción de energía secundaria por fuente 2000-2014 [8].

### 2.2.2. Producción de energía en Ecuador

El Ecuador cuenta con un consumo de energía primaria de 15,4 Mbep (millones de barriles equivalentes de petróleo) que equivale a 552.6576 PJ en el 2015 [10]. Las rentas del petróleo al año 2014 es del 13.72 % del PIB [11], y ha tenido un crecimiento anual promedio del 4.7% [11]. En cuanto a la energía primaria por consumo de combustible, el petróleo representó el 75.97% del consumo total del país en el 2015, como puede observarse en la Figura 2.5 [10].

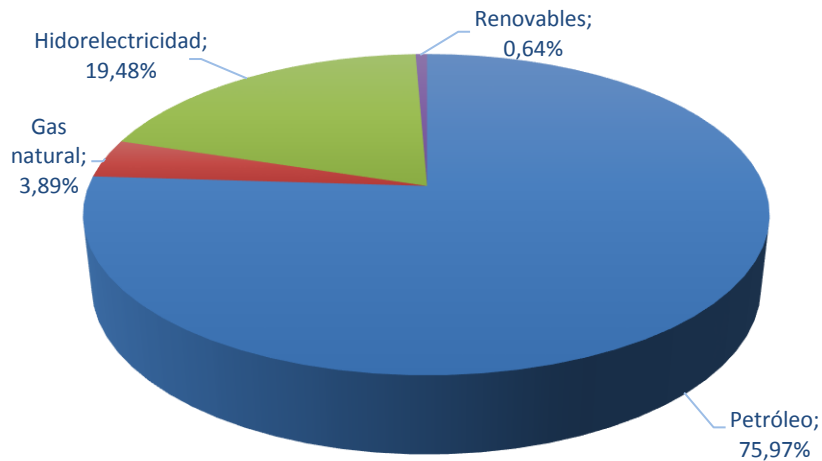


Figura 2.5: Consumo de energía primaria por combustible 2015 [10].

Se encuentran en proceso ocho proyectos hidroeléctricos que son la parte principal para la transformación de la matriz energética siendo los de mayor potencia instalada: Coca Codo Sinclair (1500 MW), Paute Sopladora (487.8 MW) y Toachi Pilatón con 253 MW [12].

#### 2.2.2.1. Producción de energía primaria

La producción de energía primaria en el año 2014 es de 227.210 kbep, 5,7% superior al año 2013, con una producción de 535 mil barriles diarios, 26 mil barriles más en comparación al 2013.

El petróleo constituye el 88% de producción de energía primaria, la cual se subdivide en el 67% para exportación y el 21% para carga a refinerías. A más de que el gas natural constituye el 5 %, los combustibles fósiles representan el 94% en la producción de energía primaria. La energía hidráulica representa el 4%, la producción de caña menor al 2%, leña menor del 1% y otras primarias que vienen a ser solar y eólica con el 0,03%, como se puede señalar en la Figura 2.6 [8]. En comparación, con el año 2013 el aumento de energía primaria al 2014, representa un aumento del 59,3% [8].

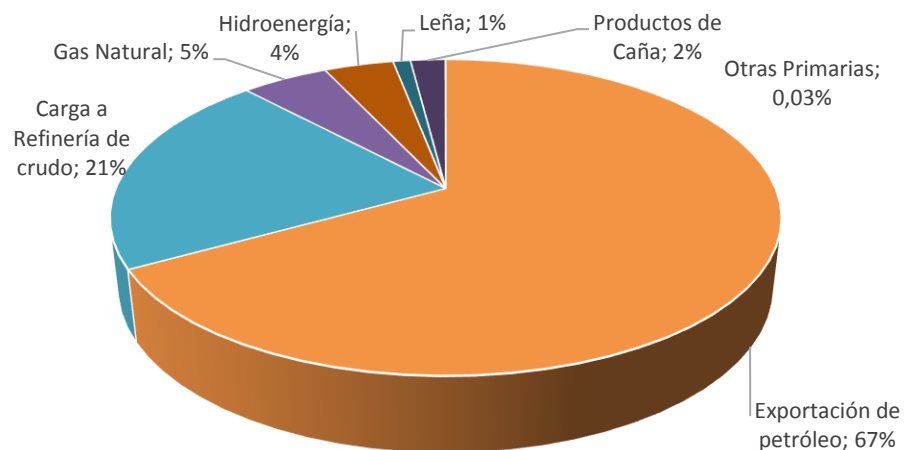


Figura 2.6: Producción de energía primaria Ecuador 2014 [8].

### 2.2.2.2. Producción de energía secundaria

La producción de energía secundaria derivada de los centros de transformación para el año 2014 alcanzó 69.327 kbep, la misma que obtuvo una reducción del 1,15% con el año 2013. El Ecuador para el 2014 sufrió una baja porcentual del 10,1 % de cantidad de petróleo que ingreso a refinerías, que en promedio resultan 138 mil barriles diarios. A nivel de centros de transformación el porcentaje de energía entrante que se procesan se puede indicar en la Figura 2.7 [8].

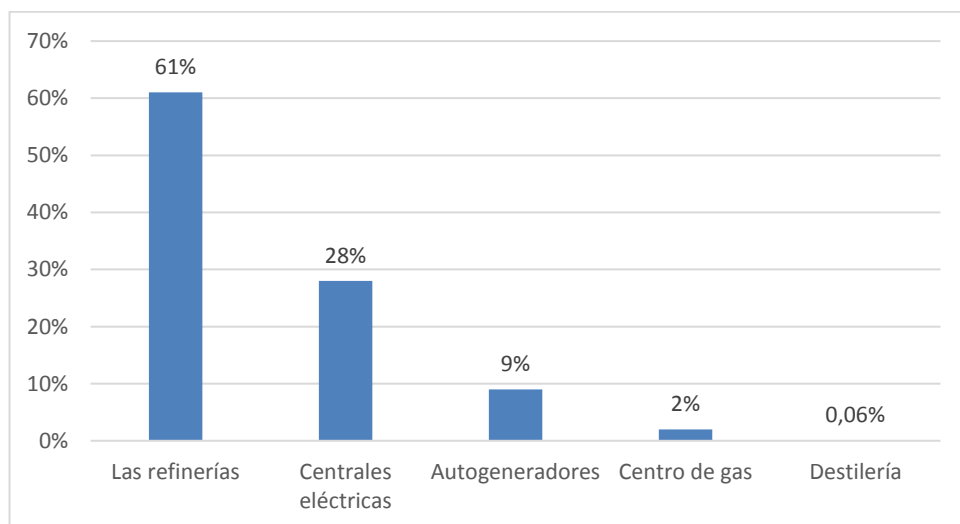


Figura 2.7: Porcentaje de energía procesada a nivel de centros de transformación [8].

La refinería de Esmeraldas genera el 47% del total de petróleo refinado que equivale a 64 mil barriles por día, la refinería de La Libertad, Shushufindi y otras plantas del país generan el 30%, 14%, y 9% respectivamente, como se observa en la Figura 2.8 [8].

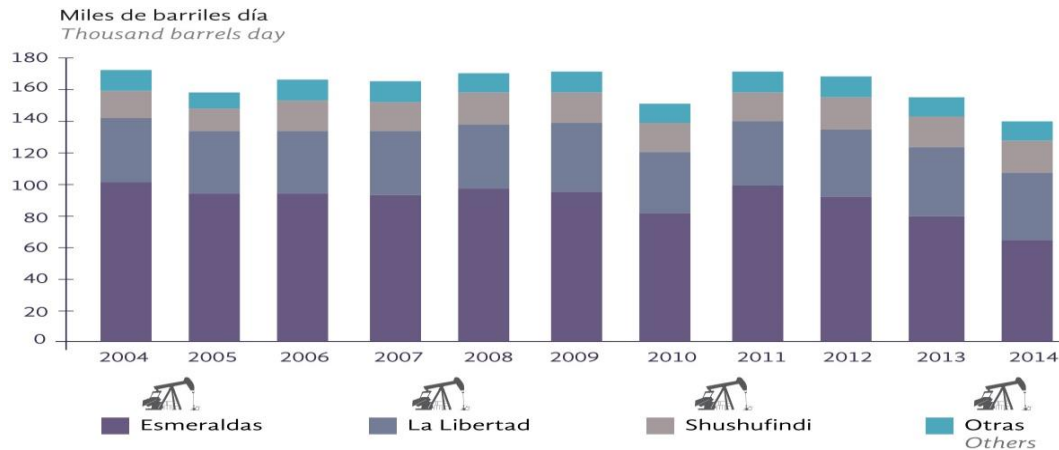


Figura 2.8: Refinerías Ecuador 2004-2014 [8].

### 2.2.2.3. Sector Eléctrico en Ecuador

La matriz eléctrica del Ecuador posee una potencia nominal total de 8.093,98 MW, con una participación de energía renovable de 4.603,17 MW (56,87%) y de 3.490,81 MW (43,13%) en energía no renovable. Las interconexiones que realiza a Colombia son de 540 MW y a Perú son de 110 MW. El total de capacidad efectiva es de 7.587,80 MW, con una participación de energía renovable de 4.566,92 MW (60,19%) y de 3.020,87 MW (39,81%) de energía no renovable. En cuanto a las interconexiones que genera Ecuador constituye a Colombia 525 MW y a Perú 110 MW. La producción total de energía e importaciones es de 27.173,54 GWh, los cuales la energía renovable produce 15.624,33 GWh (57,22%) y la energía no renovable produce 11.549,21 GWh (42,30%). La interconexión a Colombia es de 53,37 GWh (0,20%) y a Perú es de 77,88 GWh (0,29%), dando un total de 131,25 GWh (0,48%). La producción total de energía e importaciones S.N.I generan 23.435,11 GWh, la energía renovable produce 15.597,22 GWh (66,18%) y la energía no renovable produce 7.837,89 GWh (33,26%). La interconexión a Colombia es de 53,37 GWh (0,23%) y a Perú es de 77,88 GWh (0,33%), dando un total de 131,25 GWh (0,56%). El total de energía entregada para servicio público es de 22.602,13 GWh, la energía renovable produce 14.835,28 GWh (65,72%) y la energía no renovable produce 7.617,60 GWh (33,70%). La interconexión generada es de 131,25 GWh (0,58%), ver Tabla 2.1 [13].

Tabla 2.1: Energía eléctrica [13].

		Potencia nominal MW	%	Capacidad efectiva MW	%	Producción total de Energía e Importaciones GWh	%	Producción total de Energía e Importaciones S.N.I GWh	%	Energía Entregada para Servicio Público GWh	%
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	4.409,24	54,48%	4.382,04	57,75%	15.004,23	59,45%	14.986,28	63,59%	14.430,83	63,85%
	Eólica	21,15	0,26%	21,15	0,28%	92,76	0,34%	86,37	0,37%	90,71	0,40%
	Fotovoltaica	26,48	0,33%	25,57	0,34%	38,03	0,14%	35,28	0,15%	36,64	0,16%
	Biomasa	144,30	1,78%	136,40	1,80%	478,39	1,75%	478,39	2,03%	284,51	1,26%
	Biogas	2,00	0,02%	1,76	0,02%	10,91	0,04%	10,91	0,05%	10,59	0,05%
<b>Total Energía Renovable</b>		4.603,17	56,87%	4.566,92	60,19%	15.624,33	57,22%	15.597,22	66,18%	14.853,28	65,72%
<b>Energía No Renovable</b>	Térmica MCI	1.929,10	23,83%	1.598,58	21,07%	6.601,24	24,18%	3.389,33	14,38%	3.370,03	14,91%
	Térmica Turbogas	1.0909,85	13,59%	971,55	12,80%	3.105,59	11,37%	2.643,19	11,22%	2.559,88	11,33%
	Térmica Turbovapor	461,87	5,71%	450,74	5,94%	1.842,38	6,75%	1.805,37	7,66%	1.687,69	7,47%
<b>Total Energía No Renovable</b>		3.490,82	43,13%	3.020,87	39,81%	11.549,21	42,30%	7.837,89	33,26%	7.617,60	33,70%
<b>Total</b>		8.093,98	100,00%	7.587,80	100,00%	27.173,54	99,52%	23.435,11	99,44%	22.470,88	99,42%
<b>Interconexión</b>	Colombia	540,00	83,08%	525,00	82,68%	53,37	0,20%	53,37	0,23%		
	Perú	110,00	16,92%	110,00	17,32%	77,88	0,29%	77,88	0,33%		
<b>Total Interconexiones (Importación)</b>		650,00	100,00%	635,00	100,00	131,25	0,48%	131,25	0,56%	131,25	0,58%

Tabla 2.2: Consumo de energía para servicio público [13].

<b>Consumo de Energía para Servicio Público</b>		<b>GWh</b>	<b>%</b>
<b>Consumo de Energía a Nivel Nacional</b>	Residencial	7.122,18	32,31%
	Comercial	3.879,50	17,60%
	Industrial	5.233,24	23,74%
	A. Público	1.119,41	5,08%
	Otros	2.033,92	9,23%
<b>Pérdidas en Distribución</b>	Técnicas	1.766,25	8,01%
	No Técnicas	890,66	4,04%

El total de consumo de energía para servicio público es de 19.388,25 GWh, representado el 87,95% y el total de pérdidas de energía en distribución es de 2.656,92 GWh (12,05%), como se puede observar en la Tabla 2.2 [13].

### 2.2.3. Sector de la energía vinculado con el medio ambiente

Para el año 2014, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) fueron de 45,8 MtCO<sub>2</sub>e. Esto constituyen 45,4 millones de CO<sub>2</sub>, 0,16 de N<sub>2</sub>O y 0,22 de CH<sub>4</sub>. El principal energético contaminante es el diésel, seguidamente por las gasolinas y el fuel oil, como se observa en la Figura 2.9 [8].

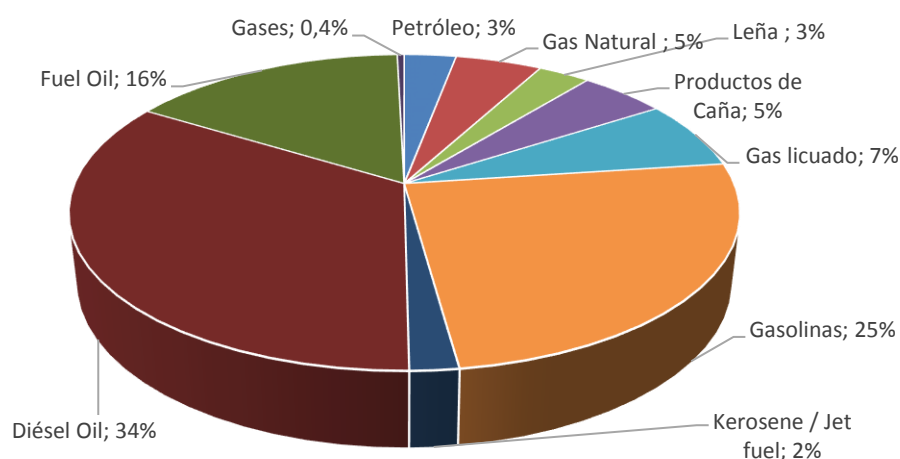


Figura 2.9: Emisiones de GEI por fuente [8].

El sector del transporte es el contaminante principal con un 39%, seguido por el sector eléctrico con 14% y en tercer lugar se encuentra el sector industrial con una participación del 13%, como se puede observar en la Figura 2.10 [8].

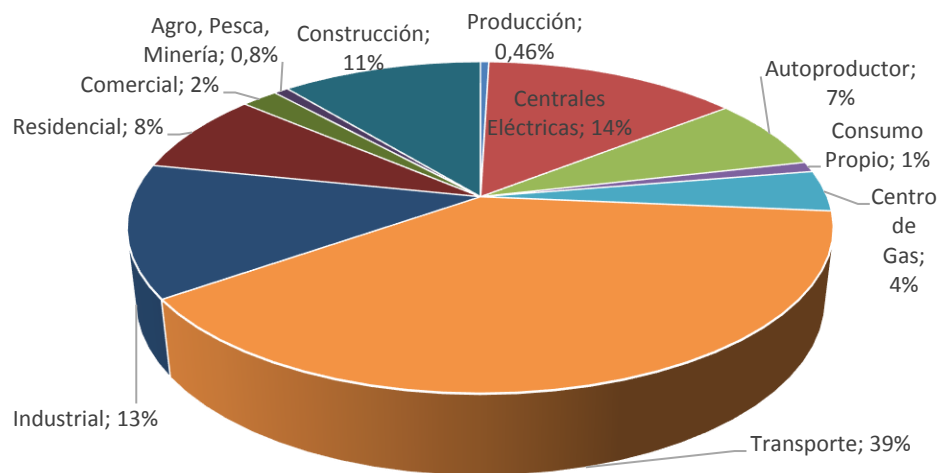


Figura 2.10: Emisiones de GEI por actividad [8].

#### 2.2.4. Energía y Desarrollo Sostenible

La Comisión Brundtland en sus inicios, define el concepto desarrollo sustentable como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad para que futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades” [14]. Sin embargo, el desarrollo sostenible se considera como la definición más apropiada del término en inglés “sustainable development”. Por otra parte, “El desarrollo sostenible no es una propiedad sino un proceso de cambio direccional, mediante el cual el sistema mejora de manera sostenible a través del tiempo” [15]. La Conferencia de Desarrollo y Medio Ambiente de las Naciones Unidas, realizada en el año 1992, adoptó la Agenda 21, en la cual se determinó el desarrollo sostenible en tres dimensiones: económica, social y ambiental [16]. Además, se definió al desarrollo energético sostenible como la provisión de servicios energéticos a un costo asequible de manera confiable y respetuosa con el medio ambiente, tomando en cuenta las dimensiones sociales y económicas [2].

En relación al desarrollo sostenible de la dimensión ambiental, el Protocolo de Kioto de 1997 es un acuerdo internacional sobre el fenómeno al cambio climático. Este tiene por objetivo disminuir las emisiones de GEI en un 5,2 % en comparación con los índices del año 1990 durante el período comprendido entre los años 2008 y 2012. Los gases de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kioto son: (CO<sub>2</sub>) dióxido de carbono, (N<sub>2</sub>O) óxido nitroso, (CH<sub>4</sub>) metano, (HCF) hidrofluorocarburos, (PFC) perfluorocarbonos y el (SF<sub>6</sub>) hexafluoruro de azufre [17].

En el año 2002, en Johannesburgo, se realiza una de las decisiones más acertadas en cuanto al desarrollo sostenible y su relación con la energía, la cual indica que es “El desarrollo que implica el mejoramiento en el acceso a fuentes y recursos energéticos seguros, factibles, económicamente viables, socialmente aceptables y racionales ambientalmente, tomando en consideración cada sistema energético nacional”, como se observa en la Figura 2.11 [18]. Contar con un suministro de energía apropiado depende para que los países tengan un buen desarrollo económico y social, transición en una buena economía agrícola, y resulta de gran importancia para generar riqueza comercial e industrial. A pesar de todos estos aspectos positivos que genera la energía, esta solo es un medio, el fin depende en tener una buena salud, un alto nivel de vida, energía sostenible, y una atmósfera limpia [2].

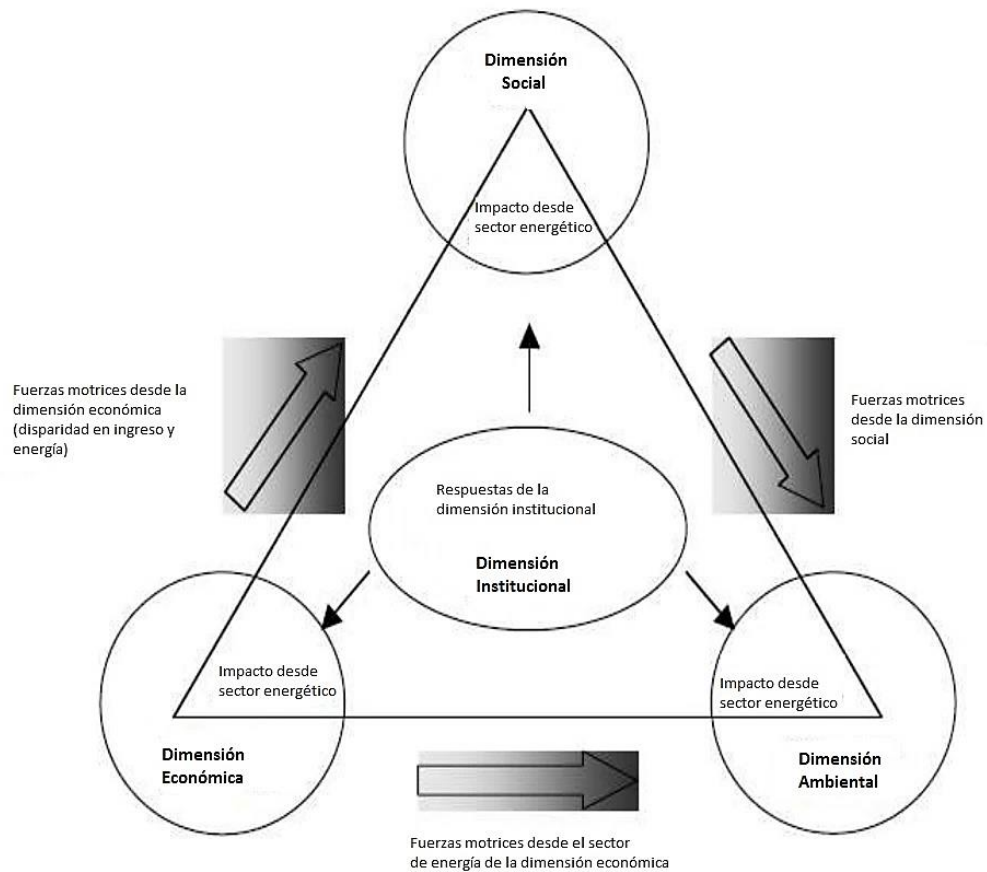


Figura 2.11: Energía y desarrollo sostenible [2].

Los diferentes tipos que existen para la producción de energía, en algún momento, desde su extracción hasta el suministro pueden originar desechos que pueden repercutir en el medio ambiente o afectar directamente en la salud. A pesar de que los combustibles fósiles se consideren ambientalmente insostenibles, la quema de estos es la principal causa de la contaminación del aire, la acidificación regional y la



consecuencia de un cambio climático. La utilización de energía nuclear puede inducir en el almacenamiento o la eliminación de desechos radiactivos de gran magnitud y la difusión de armas nucleares [2].

Para lograr tener un desarrollo económico sostenible se necesita tener un uso responsable de los recursos, tecnología, planificación de medidas estratégicas e incentivos económicos apropiados. Además de contar con un control continuo de los impactos generados, se debe de determinar si se está promoviendo un desarrollo sostenible o si se debe generar una reforma. Es de gran importancia tener la capacidad de evaluar el estado de desarrollo de un país o una región y comprobar si existe un progreso o no hacia el objetivo de la sostenibilidad. Este es el objetivo de los indicadores energéticos, el poder medir o evaluar los efectos actuales y a la larga sobre el uso de la energía en aspectos relacionadas a la salud, sociedad, agua, suelo y medio ambiente. Las dimensiones principales para el desarrollo sostenible son: económica, social y ambiental [2].

#### **2.2.4.1. Evolución de indicadores energéticos del desarrollo sostenible**

A partir de la publicación que se realizó en 1987 del Informe Brundtland, se empezaron a desarrollar indicadores que permitan medir y evaluar ciertos aspectos del desarrollo sostenible. Los cuales tuvieron gran impacto en organizaciones nacionales e internacionales. Estas acciones tuvieron un gran impulso por motivo de la adopción del Programa 21 en la Cumbre de la Tierra, realizada en 1992, en el que se especifica a los países y organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales generen el concepto de indicadores de desarrollo sostenible y los concilien a nivel global, regional y nacional [2].

En el año 1995, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (UNDESA) empezó con el desarrollo de indicadores de desarrollo sostenible. En un inicio lo tenían constituido por cuatro dimensiones: social, económica, ambiental e institucional. Abarcando alrededor un conjunto de IDS de 130 indicadores, los cuales se clasificaban en función de las características de impulso, estado y reacción (IER). Por consecuencia del excesivo número de indicadores que dificultaban la utilización de los mismos, se redujo a 58 indicadores, que se clasifican en cuatro dimensiones, 15 temas y 38 subtemas [19].

Desde 1999, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha venido desarrollando un conjunto IEDS que sean útiles para medir el progreso de una región o un país. Permitiendo la identificación de los indicadores energéticos principales y el desarrollo de la aplicabilidad de esta herramienta en varios países. Para lo cual, ha venido trabajando con líderes en estadísticas y análisis de la energía y medio ambiente, UNDESA, AIE, AEMA, EUROSTAT. Este proyecto se lo desarrollo en dos fases: [4] Primera fase (1999-2001): Se constituyó un conjunto de 41 indicadores energéticos del desarrollo sostenible los cuales fueron desarrollados y aceptados en 15 países. Para establecer la casualidad, fueron definidos temas subtemas y cruzamientos sistemáticos los cuales fueron expuestos en las CDS-9 [4]. Además, se realiza una mejora de los IEDS en aspectos importantes de accesibilidad, eficiencia energética, energía renovable, combustibles fósiles, tecnologías para energía nuclear, energía y transporte [2].

En Johannesburgo, al siguiente año, en la Cumbre Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo Sostenible se reafirmó la importancia del tema de energía. Aquí, se acordó facilitar el acceso de energía segura y accesible a los pobres, encaminados a impulsar un desarrollo sostenible. De igual manera se propuso generar cambios en las modalidades insostenibles de consumo de energía y producción [2].

Segunda fase (2002 – 2005): Se dio inicio en el año 2002 con un proyecto de investigación para efectuar el conjunto de indicadores energéticos del desarrollo sostenible en siete países. Estos siete países fueron escogidos por expertos de organizaciones que se encontraban interesados en políticas energéticas y en posibles estrategias energéticas futuras de sus países. El proyecto finalizó en el año 2005 en el cual se refinó aún más el conjunto original de indicadores [4]. En la actualidad, los IEDS construidos son únicamente para siete países que son: Brasil, Cuba, Eslovaquia, Lituania, México, Rusia y Tailandia [20].

## **CAPÍTULO III - DISEÑO DEL PROYECTO**

### **3.1. Indicadores Energéticos Del Desarrollo Sostenible**

Los Indicadores Energéticos para el Desarrollo Sostenible (IEDS) son estadísticas que permiten identificar los principales problemas del sector energético de un país o región. El objetivo de los IEDS es brindar información con la finalidad de ayudar a los países a diagnosticar si las políticas energéticas son seguras para tener un desarrollo sostenible [3].

Existen 30 indicadores, clasificados en tres dimensiones (social, económica y ambiental), estas se subdividen en 7 temas y 19 subtemas que se detallan a continuación.

#### **3.1.1. Dimensión Social**

Los indicadores energéticos del desarrollo sostenible en la dimensión social hacen referencia a la disponibilidad de servicios energéticos lo que se relaciona directamente con la pobreza, empleabilidad, educación, el desarrollo de la sociedad y cultura, la transición demográfica, la contaminación y salud [4].

La dimensión social se encuentra dividida en el tema de equidad y salud. Los indicadores de equidad se clasifican en tres subtemas: accesibilidad, asequibilidad y disparidades; el indicador de salud contiene el subtema de seguridad [2].

Por consiguiente, en la Tabla 3.1, se detallan cada uno de los 4 indicadores de la dimensión social.

Tabla 3.1: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión social [2].

Tema	Subtema	Indicador energético	
Equidad	Accesibilidad	SOC1	Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial
	Asequibilidad	SOC2	Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad.
	Disparidades	SOC3	Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados.
Salud	Seguridad	SOC4	Víctimas mortales de accidentes por producción de energía por la cadena de combustibles.

### 3.1.1.1. SOC1: Porcentaje de hogares (o de población) sin electricidad o energía comercial [2].

- a. **Finalidad:** Controlar los progresos de la accesibilidad a los servicios energéticos.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Los servicios de energía comercial son decisivos para suministro de alimentos, vivienda, agua, saneamientos, educación, salud y acceso a las comunicaciones. La falta de acceso a la electricidad impide el desarrollo económico.
- c. **Relación con otros indicadores:** Tiene cierta relación con el empleo de combustibles no comerciales, con los precios de la energía y con algunos indicadores de la dimensión social, como las disparidades en los ingresos, el porcentaje de ingresos gastado en electricidad, el nivel de ingresos en relación con el consumo de energía.
- d. **Definición e interpretación:** Este indicador se define como el porcentaje de población o de hogares sin acceso a la electricidad o energía comercial y por el porcentaje de hogares muy dependientes de energías no comerciales (carbón vegetal, leña, bagazo y residuos vegetales y animales).

### **3.1.1.2. SOC2: Porcentaje de ingresos de los hogares dedicado a combustibles y electricidad [2].**

- a. **Finalidad:** Suministrar una medida de la asequibilidad de la energía para el hogar medio y para la sección más pobre de los hogares.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Se debe examinar los ingresos, el capital, y la asequibilidad de servicios energéticos para toda la población.
- c. **Relación con otros indicadores:** Tiene cierta relación con el costo de la energía y con ciertos indicadores de la dimensión social, así como las disparidades en los ingresos, el porcentaje de viviendas sin acceso a la electricidad o dependientes de servicios de energía no comerciales y el nivel de ingresos en relación con el consumo de energía.
- d. **Definición e interpretación:** Corresponden a los gastos globales de energía comercial de las viviendas divididos por los ingresos totales disponibles o el consumo privado.

### **3.1.1.3. SOC3: Uso de energía en los hogares por grupo de ingresos y combinación de combustibles utilizados [2].**

- a. **Finalidad:** Proporcionar una medida de las desigualdades y de la asequibilidad energéticas además de suministrar una valoración de la cantidad de electricidad y de combustibles empleados por la población en relación con el nivel de ingresos.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Se debe examinar los ingresos, el capital, y la asequibilidad de servicios energéticos para toda la población.
- c. **Relación con otros indicadores:** Tiene cierta relación con el costo de la energía y con ciertos indicadores de la dimensión social, así como el porcentaje de viviendas sin acceso a la electricidad o dependientes de servicios de energía no comerciales, el porcentaje de ingresos usados en electricidad y combustibles.
- d. **Definición e interpretación:** Se define con el consumo de energía por combinación de combustibles en relación con el nivel de ingresos. El consumo de energía por vivienda corresponde el uso de energía final, incluidos los combustibles tradicionales o no comerciales.

#### **3.1.1.4. SOC4: Víctimas mortales de accidentes por producción de energía por la cadena de combustibles [2].**

- a. **Finalidad:** Diagnosticar el riesgo para la salud humana producto de los sistemas de energía y por las diversas cadenas de combustibles por energía producida.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Tienen relación con ciertas agresiones e impactos (extracción, transporte, uso y gestión de los desechos), que no excluyen los riesgos ambientales para la salud.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con ciertos indicadores de la dimensión económica, como producción y nivel de uso de energía, la combinación de combustibles. Se encuentra también ligado al porcentaje de hogares sin electricidad o muy dependientes de energías no comerciales.
- d. **Definición e interpretación:** Se define como el número total de víctimas por accidentes mortales por producción de energía y por la cadena de combustibles, para lo cual es preciso identificar los accidentes relacionados con la energía.

#### **3.1.2. Dimensión Económica**

Los países en crecimiento deberían contar con un suministro de energía seguro y de calidad para mejorar las posibilidades de que el desarrollo económico sea sostenible a lo largo del tiempo. Exclusivamente, todos los sectores de la economía (residencial, industrial, comercial, transporte, y servicios, etc.) necesitan contar con los servicios energéticos. Los indicadores económicos se dividen en dos temas: patrones de uso y producción, y seguridad. Los patrones de uso y de producción se subdividen en subtemas como uso global productividad global, eficiencia de suministro, producción y uso final. El tema de seguridad se subdivide en dos subtemas que son: importaciones y reservas estratégicas de combustibles [4].

Por consiguiente, en la Tabla 3.2, se detallan cada uno de los 16 indicadores de la dimensión económica.

Tabla 3.2: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión económica [2].

Tema	Subtema	Indicador energético	
<b>Patrones de uso y producción</b>	Uso global	ECO1	Uso de energía per cápita.
	Productividad global	ECO2	Uso de energía por unidad de PIB.
	Eficiencia del suministro	ECO3	Eficiencia de la conversión y distribución de energía.
		Producción	ECO4
	ECO5		Relación recursos/ producción.
	Uso final	ECO6	Intensidades energéticas de la industria.
		ECO7	Intensidades energéticas del sector agrícola.
		ECO8	Intensidades energéticas del sector de servicios y comercial.
		ECO9	Intensidades energéticas de los hogares.
		ECO10	Intensidades energéticas del transporte.
	Diversificación (Combinación de combustibles)	ECO11	Porcentajes de combustibles en la electricidad y energía.
		ECO12	Porcentaje de energía no basada en el carbono en la electricidad y energía.
		ECO13	Porcentaje de energías renovables en la electricidad y energía.
	Precios	ECO14	Precios de la energía de uso final por combustible.
<b>Seguridad</b>	Importaciones	ECO15	Dependencias de las importaciones netas de energía.
	Reservas estratégicas de combustible	ECO16	Reservas de combustibles críticos por consumo.

### 3.1.2.1. ECO1: Uso de energía per cápita [2].

- a. **Finalidad:** Medir el nivel de utilización de la energía sobre una base per cápita y reflejar los modelos de uso de energía, además de la intensidad energética agregada de una sociedad.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La energía desempeña una fuente esencial en el desarrollo económico y en la provisión de servicios vitales que mejoran la calidad de vida. La energía es totalmente indispensable para el desarrollo económico, la producción, el consumo y subproductos han implicado presión sobre el medio ambiente, por la contaminación que se genera.

- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con varios indicadores económicos, así como el uso de energía por unidad de PIB, la intensidad energética, los precios y las importaciones netas de energía; en el ámbito ambiental como las emisiones de gases de efecto invernadero, la generación de desechos y la calidad del aire, y en el ámbito social como el uso de energía de los hogares para cada grupo de ingresos.
- d. **Definición e interpretación:** El suministro total de energía primaria (carbón, petróleo, gas natural, crudo, energía nuclear, hidroeléctrica y otras energías renovables combustibles y no combustibles) y el consumo final total (CFT), que se refiere a la suma del consumo generado por los diferentes sectores de uso final y descarta la energía consumida o las pérdidas producidas en el proceso de transformación de la energía; son agregados clave en los balances de energía.

#### 3.1.2.2. ECO2: Uso de energía por unidad de PIB [2].

- a. **Finalidad:** Evidenciar las tendencias en el uso total de energía con respecto al PIB y expresar la relación existente entre el uso de la energía y el desarrollo económico.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El consumo de energía perjudica a la disponibilidad de recursos y al entorno a pesar de que la energía resulte de gran importancia para el desarrollo económico y social. La utilización de combustibles fósiles es la principal causa del cambio climático y de la contaminación atmosférica.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con indicadores de intensidad energética de los sectores, con indicadores de uso total de energía y en la dimensión ambiental con emisiones de GEI y emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- d. **Definición e interpretación:** La proporción entre la energía utilizada y el PIB señala la energía total que se está utilizando para apoyar los sectores social y económico. Además, representa la suma de la energía empleada en una amplia gama de actividades de producción y consumo. El ratio de la energía usada con respecto al PIB se designa como intensidad energética o intensidad energética agregada.



### 3.1.2.3. ECO3: Eficiencia de la conversión y distribución de energía [2].

- a. **Finalidad:** Medir la eficiencia de la conversión y distribución de energía, incluyendo las pérdidas originadas en la transmisión y distribución de electricidad y en el transporte y distribución de gas.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Existiendo una mejora en la eficiencia del suministro y la disminución de las pérdidas de energía durante los procesos de conversión y distribución establecen objetivos importantes del desarrollo sostenible para todos los países.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado con indicadores de la dimensión económica como el uso e intensidades de energía, la combinación de combustibles, y con indicadores de la dimensión ambiental como las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes de la atmósfera y la contaminación del agua y del suelo.
- d. **Definición e interpretación:** Este indicador engloba los siguientes aspectos: La eficiencia de los combustibles fósiles para la generación de electricidad, la eficiencia de la transmisión y distribución de la electricidad, la eficiencia de la distribución de gas y la eficiencia de la refinación de petróleo.

### 3.1.2.4. ECO4: Relación reservas/ producción [2].

- a. **Finalidad:** Medir la disponibilidad de las reservas de energía con respecto a la producción de combustibles.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La disponibilidad del suministro de combustibles energético desempeñan un papel importante para la sostenibilidad.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado con indicadores de producción y utilización anuales de energía, recursos, importaciones y precios.
- d. **Definición e interpretación:** Se define como una base para estimar los suministros futuros con respecto a la disponibilidad actual de la producción y reservas de energía. Además, las reservas comprobadas señalan los recursos que se han considerado exportables en condiciones económicas actuales y previstas con tecnología disponible.

### 3.1.2.5. ECO5: Relación recursos/ producción [2].

- a. **Finalidad:** Medir la disponibilidad de los recursos nacionales de energía (concentraciones de materiales sólidos, líquidos o gaseosos, de forma natural, situados en la corteza de la tierra o sobre ella), con respecto a la producción de petróleo.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El aspecto clave para la sostenibilidad es la disponibilidad y seguridad del suministro de combustibles energéticos.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a los indicadores de producción y uso anuales de energía, costos, importaciones y reservas.
- d. **Definición e interpretación:** Se incluye entre los recursos las reservas, los recursos suplementarios estimados y los recursos especulativos. Las reservas comprobadas son aquellas que son evaluados como explotables. Los recursos suplementarios estimados son los que se infiere que existen. Los recursos especulativos son aquellos que se piensa que existen. Se obtiene dividiendo los recursos energéticos totales de un combustible por la producción del combustible al final del año.

### 3.1.2.6. ECO6: Intensidades energéticas de la industria [2].

- a. **Finalidad:** Determina el uso total de energía del sector industrial y de ciertas industrias de un alto índice de consumo de energía, seleccionadas por el valor agregado correspondiente.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La disminución de la intensidad de los procesos industriales y el mejoramiento de la eficiencia energética son objetivos primordiales para el desarrollo sostenible. La mejora en la intensidad genera un desempeño más eficiente de los recursos energéticos y en disminución de los impactos ambientales negativos.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra ligado con los indicadores de intensidad energética en diferentes sectores (agricultura, servicios/comercial, transporte y residencial), vinculados todos ellos a indicador de uso agregado por unidad de PIB. También están relacionados a indicadores de uso de energía final y primaria y al consumo de electricidad. En la dimensión ambiental está

relacionado con las emisiones de GEI, a las emisiones contaminantes de la atmósfera y al agotamiento de los recursos energéticos.

- d. **Definición e interpretación:** La utilización de energía por unidad de valor agregado es una de la manera de evaluar las necesidades energéticas de la producción de manufacturas. Las industrias de alto consumo energético que se pueden examinar, figura la industria del acero y del hierro, los productos químicos, la refinación de petróleo, los metales no ferrosos, el cemento, la pulpa y el papel.

#### 3.1.2.7. ECO7: Intensidades energéticas del sector agrícola [2].

- a. **Finalidad:** Este indicador es una forma de evaluar la intensidad energética agregada en el sector agrícola, que puede emplearse para examinar tendencias, particularmente en el empleo de energías no comerciales y renovables.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** En el sector agrícola es indispensable la utilización de la energía. La disponibilidad de la energía resulta de gran importancia para mejorar la productividad agrícola y para mejorar la calidad de vida rural.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a un conjunto de indicadores de la intensidad energética en distintos sectores (transportes, servicios/comercial, manufacturas y residencial), empleando el uso de energía por unidad de PIB como un indicador de la intensidad energética. También está relacionado a indicadores como la energía no comercial, energía total y el consumo de electricidad. En la dimensión ambiental está ligado a las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de contaminantes atmosféricos.
- d. **Definición e interpretación:** El empleo de energía por unidad de valor agregado es una de las maneras de evaluar las necesidades energéticas por unidad de producto en el sector agrícola. El uso total de la energía tiene su principio en los insumos energéticos de todas las etapas de la producción y en los procesos de preparación del sector agrícola. Las actividades a mencionarse en este sector son: la preparación del suelo, la mecanización, la fertilización, el riego, la cosecha, etc. en las cuales estas etapas utilizan distintas formas de energía (eléctrica, térmica, mecánica).

### 3.1.2.8. ECO8: Intensidades energéticas del sector de servicios y comercial [2].

- a. **Finalidad:** Controlar las tendencias en el uso de energía en el sector servicios/comercial.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El sector de servicios no necesita tanta energía como el sector de manufacturas, y el crecimiento del sector en comparación con el sector de manufacturas favorece al descenso a largo plazo del ratio del uso total de energía en relación al PIB. Este exige una intensificación en la eficiencia energética en todos los sectores, con el propósito de disminuir la utilización global de energía y amenorar los impactos ambientales.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a un conjunto de indicadores de la intensidad energética en distintos sectores (transportes, agricultura, manufacturas y residencial), empleando el uso de energía por unidad de PIB como un indicador de la intensidad energética. También está relacionado a indicadores de la utilización total de energía y electricidad. En la dimensión ambiental está ligado a las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de contaminantes atmosféricos.
- d. **Definición e interpretación:** El empleo de energía por unidad de valor agregado en el sector servicios/comercial es una forma de evaluar las necesidades de energía y las tendencias energéticas en los edificios de servicios. Los edificios no abarcan solo los servicios públicos sino también los comerciales como instituciones educativas, oficinas, hospitales y puntos de venta al por menor. Analizar en forma agregada el uso de energía en los servicios constituye un reto, por motivo de las diferencias entre los tipos de edificios y a la amplia gama de actividades.

### 3.1.2.9. ECO9: Intensidades energéticas de los hogares [2].

- a. **Finalidad:** Controlar el uso de la energía en el sector de los hogares.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El sector de los hogares es un consumidor de energía con patrones de uso muy marcados. El mejoramiento de las eficiencias energéticas en este sector constituye una prioridad importante para muchos países, razón por la cual se traduce en una utilización más efectiva de los recursos energéticos y en una disminución de los impactos ambientales.

- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a un conjunto de indicadores de la intensidad energética en distintos sectores (transportes, agricultura, manufacturas), empleando el uso de energía por unidad de PIB como un indicador de la intensidad energética. También está relacionado a indicadores de la utilización total de energía y electricidad. En la dimensión ambiental está ligado a las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de contaminantes atmosféricos.
- d. **Definición e interpretación:** El consumo de energía en los hogares implica la energía empleada en los edificios residenciales, comprendidas las casas urbanas y rurales, los departamentos y casi todas las residencias (dormitorios y cuarteles). Los usos típicos de la energía figuran en la preparación de alimentos, la calefacción, el calentamiento del agua y un sinnúmero de dispositivos electrodomésticos.

#### **3.1.2.10. ECO10: Intensidades energéticas del transporte [2].**

- a. **Finalidad:** Medir la cantidad de energía utilizada para trasladar tanto personas como a bienes. El transporte es el principal consumidor de energía, sobre todo en forma de productos derivados del petróleo.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El transporte está al servicio del desarrollo social y económico a través de la distribución de servicios y bienes y a través de la movilidad personal.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a un conjunto de indicadores de la intensidad energética en distintos sectores (residencial, agricultura, manufacturas), empleando el uso de energía por unidad de PIB como un indicador de la intensidad energética. También está relacionado a indicadores de la utilización total de energía. En la dimensión ambiental está ligado a las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de contaminantes atmosféricos.
- d. **Definición e interpretación:** Los indicadores del transporte muestran la cantidad de energía utilizada para trasladar personas y productos. La distinción entre transporte e carga y de pasajeros es esencial para el análisis energético. No se incluye el transporte aéreo y marítimo internacional.

### 3.1.2.11. ECO11: Porcentajes de combustibles en la electricidad y energía [2].

- a. **Finalidad:** Facilitar el porcentaje de combustibles en el suministro total de energía primaria (STEP), consumo final total (CFT), la generación de electricidad y la capacidad de generación.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La composición del suministro energético es un elemento importante en la seguridad energética. La combinación energética correcta depende de una cartera muy diversificada de combustibles y fuentes de energía nacionales e importadas o comercializadas a escala regional. En la dimensión ambiental, la composición energética tiene algunos efectos importantes: contaminación atmosférica local o regional, el cambio climático mundial, uso del suelo para algunas actividades energéticas, riesgos de las cadenas de combustibles (explosiones, incendios, vertidos, etc.).
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado a la producción anual de combustibles, al uso anual de energía per cápita, a la duración de las reservas comprobadas de energía y a la dependencia de las importaciones netas de energía. También se encuentra vinculado a indicadores de la dimensión ambiental como los contaminantes atmosféricos las emisiones de GEI, la generación de desechos radiactivos y sólidos.
- d. **Definición e interpretación:** Este indicador separa el suministro energético por fuente de combustible con respecto al suministro total de energía primaria, el consumo final total y la generación de electricidad y la capacidad de generación. Los elementos de este indicador son el consumo de ciertos combustibles fósiles (petróleo, crudo, carbón, productos del petróleo, gas); electricidad primaria y calor. Se determina evaluando el ratio de producción de los combustibles energéticos específicos, respecto del uso o producción de energía total.

### 3.1.2.12. ECO12: Porcentaje de energía no basada en el carbono en la electricidad y energía [2].

- a. **Finalidad:** Medir el porcentaje de fuentes de energía no basadas en el carbono en el suministro de energía primaria y la generación de electricidad y capacidad de generación.

- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** De acuerdo a la dimensión económica, la composición del suministro de energía es de suma importancia en la seguridad energética. El aumento del porcentaje de combustibles no basados en el carbono disminuye las emisiones específicas, es decir las emisiones por unidad de energía total y de electricidad empleada.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con los porcentajes de combustibles (combinación energética) y de fuentes renovables en la producción de electricidad y energía.
- d. **Definición e interpretación:** Las fuentes no sustentadas en carbono incluye a las renovables, tanto no combustibles como combustibles y la generación nucleoelectrónica. Se consigue como el ratio entre las fuentes de energía no basadas en carbono y el STEP.

### 3.1.2.13. ECO13: Porcentaje de energías renovables en la electricidad y energía [2].

- a. **Finalidad:** Medir el porcentaje de fuentes de energía renovables en el suministro total de energía primaria, el consumo final total y en la generación de electricidad y capacidad de generación.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La generación de electricidad a partir de fuentes renovables, reviste una alta prioridad para el desarrollo sostenible, incluyendo la seguridad y diversificación del suministro de energía y la producción atmosférica.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado con los porcentajes que les corresponden a los combustibles (combinación energética) en la electricidad y energía y los porcentajes de combustibles no basados en el carbono. Se encuentra vinculados a indicadores de la seguridad de los suministros y la protección ambiental.
- d. **Definición e interpretación:** Las fuentes de energía renovable envuelven tanto las materias combustibles como las no combustibles. Entre las energías no combustibles se encuentran la energía geotérmica, la solar la eólica, la hidráulica, las olas y las mareas. Las energías renovables combustibles y desechos están constituidos por biomasa (etanol, vegetales, residuos, leña), productos animales,

desechos municipales (residuos producidos por los sectores comercial y residencial).

#### **3.1.2.14. ECO14: Precios de la energía de uso final por combustible [2].**

- a. **Finalidad:** Reflejar el precio final de los servicios energéticos pagado por los consumidores. El costo de la energía incentiva o desincentiva el consumo o la conservación, o las mejoras en la eficiencia.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La energía promueve principalmente el desarrollo social y económico. Los costos de la energía se pueden regular para internalizar los costos sociales y ambientales, gestionar la demanda y promover el desarrollo de energía renovable.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra vinculado con el uso anual de energía per cápita, la intensidad de la energía utilizada, la composición energética y en la dimensión ambiental con las emisiones de gases de efecto invernadero. También se encuentra relacionado a indicadores sociales como el porcentaje de ingresos de los hogares gastado en electricidad y combustibles.
- d. **Definición e interpretación:** Se define como el precio real abonado por los consumidores finales por los distintos servicios de energía. Los precios deberán incluir todas las tarifas usuales ligadas al suministro de energía al consumidor.

#### **3.1.2.15. ECO15: Dependencias de las importaciones netas de energía [2].**

- a. **Finalidad:** Medir el grado de dependencia de un país de las importaciones para hacer frente a las necesidades energéticas.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El objetivo que se desea alcanzar para mantener el desarrollo sostenible es mantener un suministro estable de energía. Para conseguir una sostenibilidad económica y social se debe contar con la seguridad energética que brinde disponibilidad física de los suministros para satisfacer la demanda.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionada con indicadores económicos, así como la producción nacional de energía y el consumo per cápita. También se encuentra vinculado a indicadores de disponibilidad de recursos.
- d. **Definición e interpretación:** Los componentes que constituyen este indicador son el suministro de energía primaria, las necesidades de combustibles (gas,



carbón, petróleo, etc.) y electricidad. La importación neta de energía se calcula como importaciones menos exportaciones, ambas medidas en equivalentes de petróleo.

#### **3.1.2.16. ECO16: Reservas de combustibles críticos por consumo [2].**

- a. **Finalidad:** Medir la disponibilidad de las reservas nacionales de combustibles críticos, como el petróleo, en relación al consumo de combustible correspondiente.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Para generar la sostenibilidad es necesario contar con la disponibilidad y seguridad del suministro de combustibles.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con indicadores de producción y uso anual de energía, precios, recursos.
- d. **Definición e interpretación:** Sirve para estimar la seguridad del suministro de energía, al mostrar la relación entre las reservas actuales de combustibles críticos y los niveles de consumo. Las existencias de combustibles críticos, en particular de petróleo, y el consumo anual correspondiente generan una indicación de la seguridad del suministro energético.

#### **3.1.3. Dimensión Ambiental**

Los indicadores energéticos del desarrollo sostenible en la dimensión ambiental permiten medir el impacto de los sistemas energéticos en el entorno general, eso depende principalmente de la forma en que se produce y se utiliza la energía. Los indicadores ambientales se clasifican en tres temas: atmósfera, agua y tierra. La atmósfera se subdivide en subtemas de cambio climático, calidad del aire. El agua se divide en el subtema de calidad del agua. La tierra se subdivide en subtemas de la calidad de los suelos, bosques y generación de desechos sólidos [4].

Por consiguiente, en la Tabla 3.3, se detallan cada uno de los 10 indicadores de la dimensión ambiental.

Tabla 3.3: Indicadores energéticos del desarrollo sostenible de la dimensión ambiental [2].

Tema	Subtema	Indicador energético	
<b>Atmósfera</b>	Cambio climático	ENV1	Emisiones de GEI por la producción, per cápita y por unidad de PIB.
	Calidad del aire	ENV2	Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos.
		ENV3	Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de energía.
<b>Agua</b>	Calidad del agua	ENV4	Descargas de contaminantes en efluentes líquidos
<b>Tierra</b>	Calidad de los suelos	ENV5	Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica.
	Bosques	ENV6	Tasa de deforestación atribuida al uso de energía.
	Generación y gestión de desechos sólidos	ENV7	Relación entre desechos sólidos y las unidades de energía.
		ENV8	Relación entre los desechos sólidos adecuadamente evacuados.
		ENV9	Relación entre los desechos sólidos radiactivos y las unidades de energía producida
		ENV10	Relación entre los desechos sólidos radiactivos en espera de evacuación y el total de desechos sólidos radiactivos.

### 3.1.3.1. ENV1: Emisiones de GEI por la producción, per cápita y por unidad de PIB [2].

- a. **Finalidad:** Medir las emisiones totales generadas, per cápita y por unidad de PIB, de los tres principales GEI provenientes del uso de energía y producción, que poseen un impacto directo en el cambio climático.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La temperatura media de la superficie de la tierra incremento en un 0.6%, causante de la cantidad de concentraciones de gases generados en los sectores preindustrial, energéticos, agrícolas que han afectado a la composición química de la atmósfera.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con indicadores del ámbito económico, así como el uso de energía per cápita y por unidad de PIB, la generación de electricidad y el uso de energía primaria y final, la combinación de

combustibles. En el ámbito ambiental se encuentra vinculado con indicadores de las emisiones atmosféricas.

- d. **Definición e interpretación:** Los gases efecto invernadero favorecen en cierto grado al calentamiento global en función de su capacidad de absorción de calor y de su vida media en la atmosfera. Se interpreta como la cantidad de gases de efecto invernadero emitido al medio ambiente, originario únicamente del consumo de energía.

#### **3.1.3.2. ENV2: Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas [2].**

- a. **Finalidad:** Medir la situación del medio ambiente en términos de calidad del aire en zonas urbanas, además de facilitar una medida indirecta sobre la exposición a la que está sometida la población en cuestión de la salud y vegetación.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El mejoramiento de la calidad del aire resulta ser un aspecto representativo de la promoción de asentamientos humanos sostenibles razón por la cual un porcentaje creciente de la población habita en zonas urbanas. La concentración de industrias, tráfico, y la población ocasionan fuertes presiones sobre el medio ambiente local.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado a indicadores como la protección ambiental y la utilización de energía, el uso anual de energía per cápita y por unidad de PIB, la contaminación del suelo, el porcentaje de combustibles no basados en el carbono y las emisiones de contaminantes atmosféricos originarios de sistemas energéticos.
- d. **Definición e interpretación:** Al disponer de datos, este indicador se lo puede emitir en términos de una concentración anual media, un percentil, o la enésima media diaria más alta, sobre la base ya sea de un promedio horario o diario.

#### **3.1.3.3. ENV3: Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de energía [2].**

- a. **Finalidad:** Detectar la liberación de contaminantes atmosféricos provenientes de los sistemas energéticos.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El medio ambiente se ve afectado principalmente por el impacto de las actividades humanas de acuerdo con el nivel

de emisiones generadas. Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos se ven reflejados por los patrones de producción y la utilización de energía, de igual manera se encuentran afectadas por la lucha contra la contaminación y las normas nacionales de control.

- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con los indicadores de combinación de combustibles, consumo de combustible en el transporte y con el consumo anual per cápita.
- d. **Definición e interpretación:** Se define como las cantidades de contaminantes provenientes de actividades relacionadas con la energía, como el transporte y producción de electricidad. La contaminación atmosférica tiene su origen en las partículas transportadas por el aire y en los gases que, si alcanzan un nivel excesivo, resultan nocivos para la salud humana y ecosistemas.

#### **3.1.3.4. ENV4: Descargas de contaminantes en efluentes líquidos [2].**

- a. **Finalidad:** Controlar las descargas de contaminantes perjudiciales en lagos, ríos y mares procedentes de industrias energéticas, en especial de la extracción del petróleo y la minería del carbón.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** El agua dulce es un recurso escaso e indispensable en muchas partes del mundo, lo cual necesita ser utilizado con responsabilidad para mantener un abastecimiento de buena calidad a la larga.
- c. **Relación con otros indicadores:** Está relacionado con indicadores de producción y uso de energía, generación de electricidad y en la dimensión ambiental se encuentra vinculado con las emisiones de GEI y las emisiones de contaminantes atmosféricos.
- d. **Definición e interpretación:** Cantidad de contaminantes en efluentes líquidos descargados por las industrias energéticas y depende del tipo de tecnología y de la actividad. Para medir la calidad del agua, las operaciones pueden realizarse directamente en las descargas de los efluentes o aguas abajo en los cursos de agua, como mediad del impacto ambiental de la descarga.

### 3.1.3.5. ENV5: Zonas del suelo en las que la acidificación supera la carga crítica [2].

- a. **Finalidad:** Controlar las tendencias y el estado de la gravedad de la acidificación producida por la deposición seca y húmeda en un futuro para calcular los resultados ambientales de las normas nacionales de lucha contra la contaminación atmosférica.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** La vegetación tanto como la fauna acuática pueden sufrir grandes problemas producidos por la acidificación del suelo ya que los compuestos de azufre y nitrógeno se sientan fuera de la atmósfera en forma de lluvia ácida o deposición seca.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con indicadores de la dimensión ambiental como las emisiones contaminantes de la atmósfera procedentes de los sistemas energéticos, que contienen emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno.
- d. **Definición e interpretación:** La capacidad del medio ambiente para tolerar la precipitación ácida se mide por el concepto de carga crítica, que se acepta en la actualidad como base para tomar decisiones políticas sobre la disminución de las emisiones de azufre y nitrógeno.

### 3.1.3.6. ENV6: Tasa de deforestación atribuida al uso de energía [2].

- a. **Finalidad:** Exponer un cambio a lo largo del tiempo en la zona cubierta por las formaciones boscosas de un país o región, lo que podría destinarse a la utilización de leña para cubrir las necesidades energéticas.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Los bosques conforman uno de los ecosistemas más grandes y diversos del mundo. Estos generan varias funciones ecológicas, culturales y socioeconómicas en un gran número de países, como por ejemplo los productos de la madera, constituye el hábitat para la fauna, el filtrado de contaminantes y para la conservación del agua y de suelo.
- c. **Relación con otros indicadores:** Esta relacionando con indicadores de la dimensión económica como el consumo per cápita de energías renovables combustibles y de desechos, la participación de los biocombustibles en la

combinación energética. En el ámbito social como el porcentaje de hogares sin electricidad o energía comercial, o muy dependientes de energías no comerciales.

- d. **Definición e interpretación:** Este indicador no evalúa la tasa total de deforestación, lo que mide es la deforestación originada por la recolección de leña, destinados para procesos energéticos. Las definiciones se pueden encontrar en las Evaluaciones de los Recursos Forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

#### **3.1.3.7. ENV7: Relación entre desechos sólidos y las unidades de energía [2].**

- a. **Finalidad:** Suministrar información sobre el tipo y la cantidad de desechos sólidos generados anualmente por el sector energético.
- b. **Relación con el desarrollo sostenible:** Este sector genera por ejemplo desechos de la minería del carbón, desechos del procesamiento de los combustibles y combustión los cuales son originados desde la extracción de energía hasta su utilización final. Además, las grandes cantidades de desechos ocupan un espacio considerable los cuales perjudican el medio ambiente y el paisaje y pueden destruir los hábitats de la fauna.
- c. **Relación con otros indicadores:** Se encuentra relacionado con indicadores de la dimensión económica como la producción nacional y el uso de energía, la combinación energética y la intensidad energética, la eficiencia en el suministro de energía. Con la dimensión ambiental se encuentra vinculado con indicadores como el volumen de desechos sólidos que hay que tratar, la superficie ocupada por el vertido de residuos.
- d. **Definición e interpretación:** Es el ratio entre la generación de desechos sólidos del sector energético y la cantidad de energía primaria producida. Los desechos se definen como cualquier sustancia que el poseedor se desprende o intenta desprenderse. Se señala como algo sin valor comercial para el productor, lo que no excluye que signifiquen valiosos para otros.

#### **3.1.3.8. ENV8: Relación entre los desechos sólidos adecuadamente evacuados [2].**

- a. **Finalidad:** Valorar el grado de evacuación adecuada de los desechos sólidos del sector energético.

- b. Relación con el desarrollo sostenible: Las grandes cantidades de desechos ocupan un espacio considerable los cuales perjudican el medio ambiente y el paisaje y pueden destruir los hábitats de la fauna. Un almacenamiento y una evacuación inadecuados pueden originar la contaminación del agua y del suelo.
- c. Relación con otros indicadores: Se encuentra específicamente relacionado con el indicador relativo a la generación de desechos sólidos por unidad de energía producida. Está vinculado con indicadores de la dimensión económica como la producción nacional y el uso de energía per cápita, la intensidad y la combinación energéticas y la eficiencia del suministro de energía. Con la dimensión ambiental se encuentra vinculado con indicadores como el volumen de desechos sólidos que hay que tratar, la superficie ocupada por el vertido de residuos.
- d. Definición e interpretación: Es el ratio entre la generación de desechos sólidos del sector energético y la cantidad de los mismos que es llevada a plantas de tratamiento y evacuación. Los desechos sólidos del sector energético se reducen a los derivados directamente del funcionamiento normal del sector.

Los indicadores ENV 9 Y ENV 10 tratan acerca de la relación entre los desechos sólidos radiactivos y las unidades de energía producida y a la evacuación y el total de desechos sólidos radiactivos, los cuales no se desarrollarán en este trabajo razón por la cual Ecuador no tiene participación de energía nuclear en su matriz energética.

### **3.2. Índice de Sostenibilidad Energética**

La sostenibilidad energética se define como la estabilidad entre la seguridad energética, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, lo cual, en sí representaría las tres dimensiones estudiadas por la OIEA que son la económica, social y ambiental, para medir el desarrollo energético de un país. El desarrollo sostenible hace referencia principalmente al plano energético, ya que la energía es el factor importante que reside en el desarrollo de la sociedad [21]. El Consejo Mundial de la Energía con sus siglas (CME) y en inglés (WEC) ha venido desarrollando estrategias que sirvan de guía para todo el mundo, para lograr tener una energía sostenible y asequible. EL CME ha desarrollado el término de trilema energético que no es más de tratar de adquirir energía de manera segura, asequible y amigable con el medio ambiente. Los tres aspectos que se deben considerar para equilibrar el trilema energético son: la seguridad

energética, la igualdad energética y la sostenibilidad ambiental. Para mantener equilibrado la seguridad energética se debería tener una gestión adecuada del suministro de energía primaria procedente de fuentes extranjeras y nacionales. Además de poder satisfacer la demanda actual y futura. Para mantener una estabilidad en la igualdad energética se debería contar con un suministro asequible energético para abastecer a toda la población. Por último, para tener equilibrio con la sostenibilidad ambiental se debe contar con el suministro de fuentes renovables y con la reducción de energía provenientes del carbono. Con la finalidad de mantener un buen aire y agua de buena calidad [22].

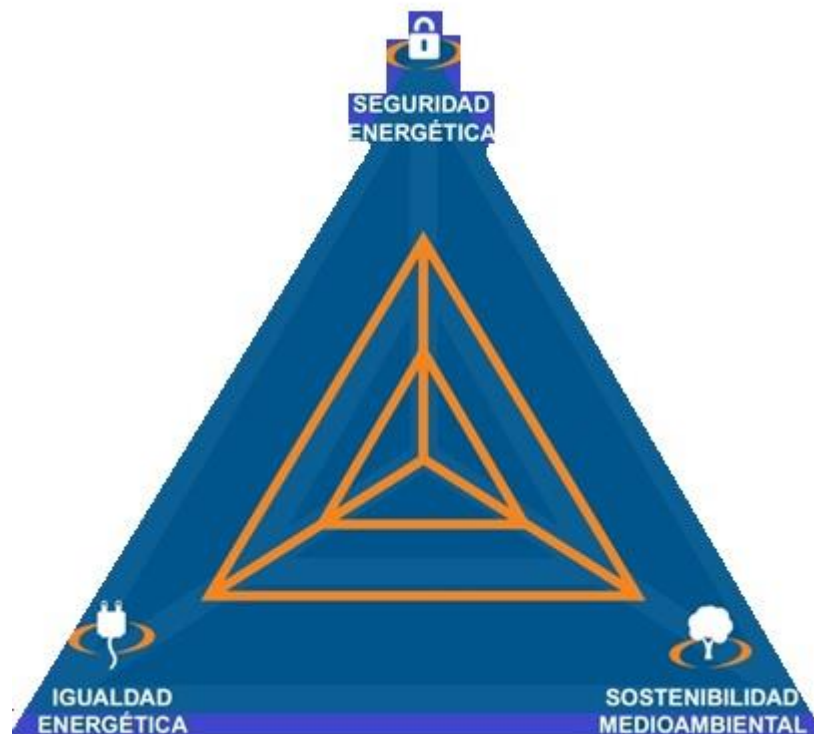


Figura 3.1: Trilema energético [22].

El Consejo Mundial de la Energía ha realizado un estudio entre 129 países analizando el trilema energético de cada uno de ellos. De modo que, los países energéticamente sostenibles hasta el año 2013 son Suiza, Dinamarca y Suecia alcanzando un balance AAA. Los países que cuentan con la más alta seguridad energética son: Canadá (1), Rusia (2), Dinamarca (3) y Bolivia (4). Por lo tanto, los países que cuentan con la igualdad energética más alta son: Estados Unidos (1), Canadá (2), Australia (3) y Luxemburgo (4). Finalmente, los países que cuentan la mayor sostenibilidad ambiental son: Dinamarca (1), Costa Rica (2), Albania (3) y Colombia (4). Sin embargo, el Ecuador se encuentra en la posición 35 de 129 países, teniendo un balance ABB, 25



en seguridad energética, 62 en igualdad energética y 28 en sostenibilidad ambiental. La estructura del Índice de Sostenibilidad se encuentra dividida por 6 dimensiones que agrupan a 22 indicadores los cuales se especifican en la Figura 3.2 [23].

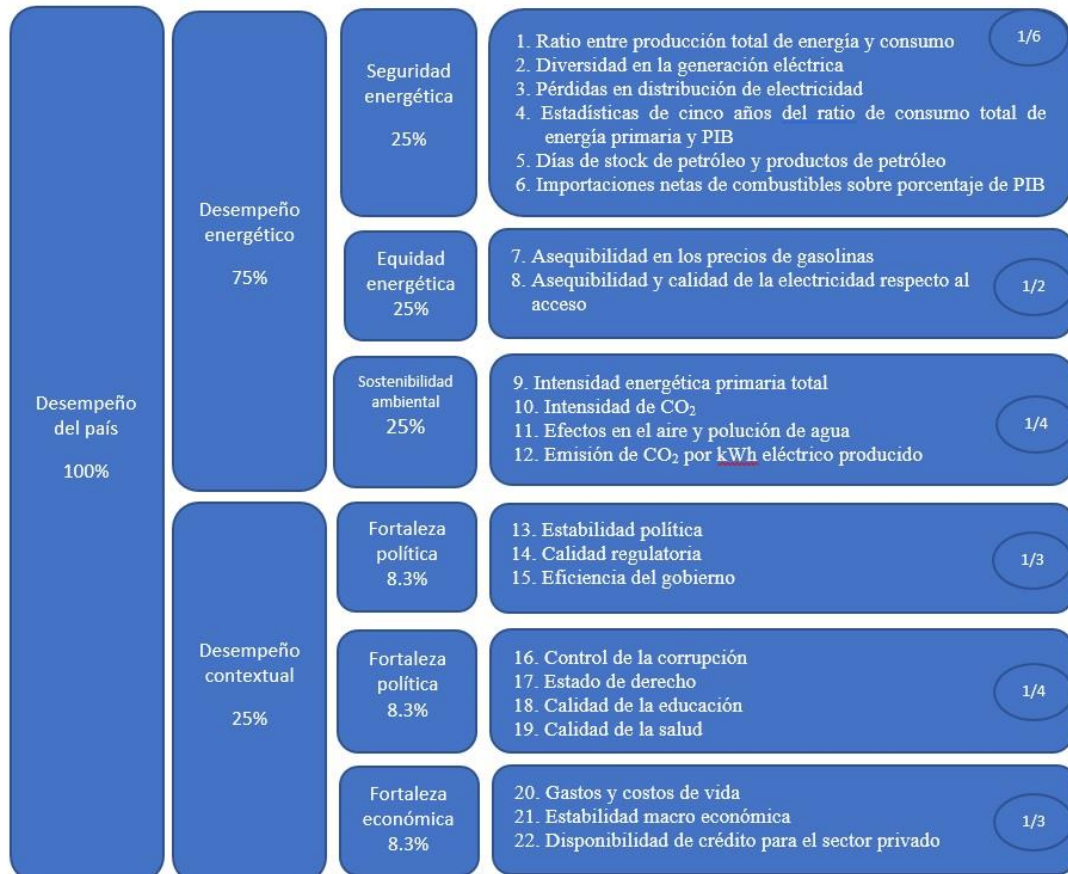


Figura 3.2: Estructura del Índice de Sostenibilidad Energética del CME [23].

### 3.3. Determinación de la Sostenibilidad

#### 3.3.1. Fuentes de información

La información primaria que se empleó para el desarrollo de este proyecto depende de fuentes estadísticas como: el Sistema de Información Energética Regional (SIER) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE); Base de datos y publicaciones de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); Datos de indicadores del desarrollo mundial del Banco Mundial; Revisión Estadística de la Energía del British Petroleum; Estadísticas del Índice de Sostenibilidad de Energía del Consejo Mundial de Energía, datos estadísticos de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) y Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

### **3.3.2. Estudio de la sostenibilidad energética de Ecuador**

Para poder determinar la sostenibilidad energética del Ecuador, primero se realizó la obtención de los indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS) que vienen dados por la Agencia Internacional de Energía (AIE), Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Eurostat y por la Agencia Europea de Medio Ambiente. Cabe resaltar que esta construcción de indicadores solo ha sido realizado y publicada para 7 países ( Brasil, Cuba, Lituania, México, Federación Rusa, Eslovaquia y Tailandia) [20]. A continuación, se realizó el diseño de un índice de sostenibilidad energética que permita relacionar la dimensión económica, social y ambiental en un solo indicador energético y de esta manera poder medir o analizar el desempeño de Ecuador con el resto de países de acuerdo a los indicadores seleccionados a continuación.

### **3.3.3. Indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS)**

En la sección 3.1 de este trabajo se indican de manera detallada los IEDS realizados por Agencia Internacional de Energía y las demás agencias internacionales. Ahora bien, para el Ecuador se desarrollaron 20 indicadores que fueron posibles construir por la disponibilidad de información de estadísticas energéticas. Es decir, 2 indicadores de la dimensión social, 14 indicadores económicos y 4 indicadores del ámbito ambiental. Con respecto a la dimensión social, en el tema de equidad se analizaron dos subtemas que son de accesibilidad y disparidades energéticas. En relación a la dimensión económica se analizó el tema de patrones de uso y producción de energía, que abarca los subtemas de uso global, productividad global, eficiencia del suministro, producción, uso final, diversificación y precios. De acuerdo al tema de seguridad energética se desarrolló los subtemas de importaciones y reservas estratégicas de combustibles. Finalmente, de acuerdo con la dimensión ambiental se desarrollaron indicadores con los temas de la atmósfera que abarcan subtemas de cambio climático y calidad del aire. En el tema de agua se estudió la calidad y en el tema de la tierra se analizó la calidad de los suelos. En la Figura 3.3 se describen los indicadores desarrollados en este proyecto.

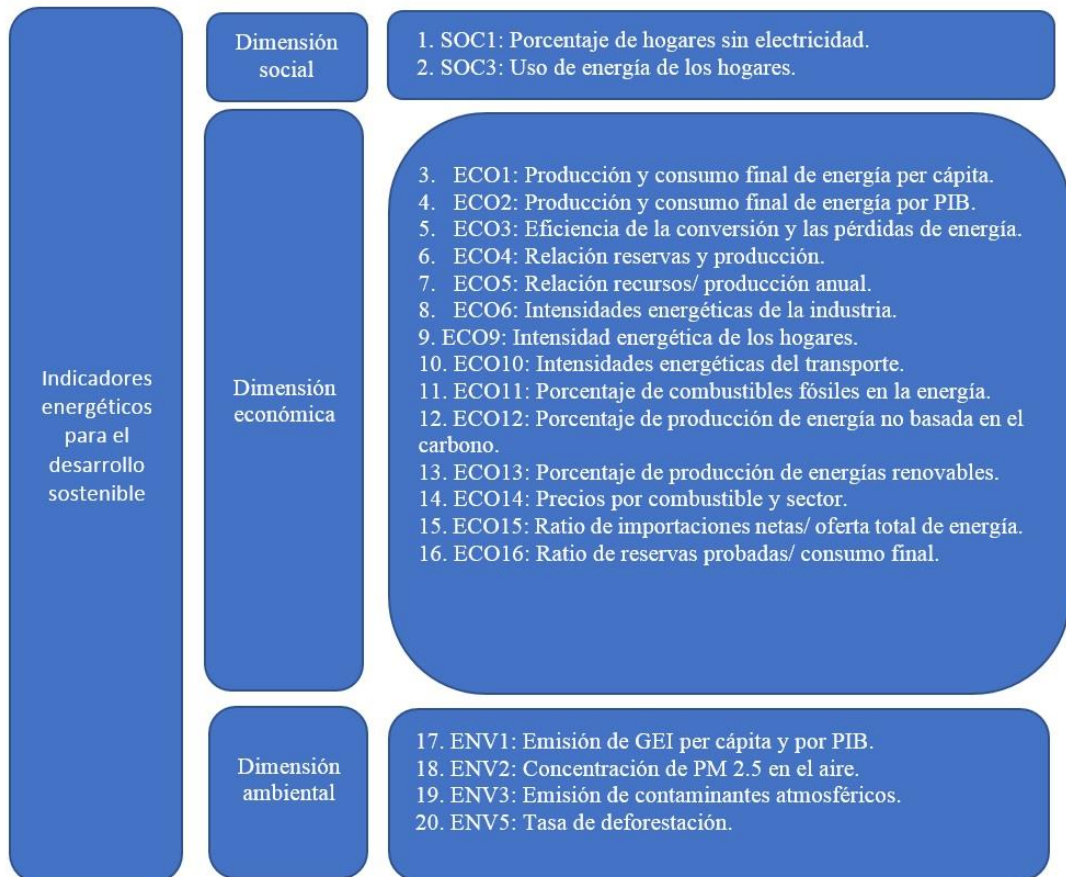


Figura 3.3: Indicadores Energéticos para el Desarrollo Sostenible.

### 3.3.4. Desarrollo del índice de sostenibilidad energética

El índice de sostenibilidad energética se desarrolla comparándolo con un estado de referencia. Como, por ejemplo un año, una política energética o indicadores energéticos que determinen el desarrollo sostenible. Por tanto, consiste en combinar la dimensión social, económica y ambiental en un solo índice, para de esta forma poder evaluar la sostenibilidad energética de una región o un país. El desarrollo del ISE consiste en 4 dimensiones, equidad energética, seguridad energética, sostenibilidad ambiental y desempeño económico dando un total de 20 indicadores. El 75% corresponde al desempeño energético y el 25% corresponde al desempeño contextual generando el 100% del desempeño del país, como puede verse en la Figura 3.4 [3].

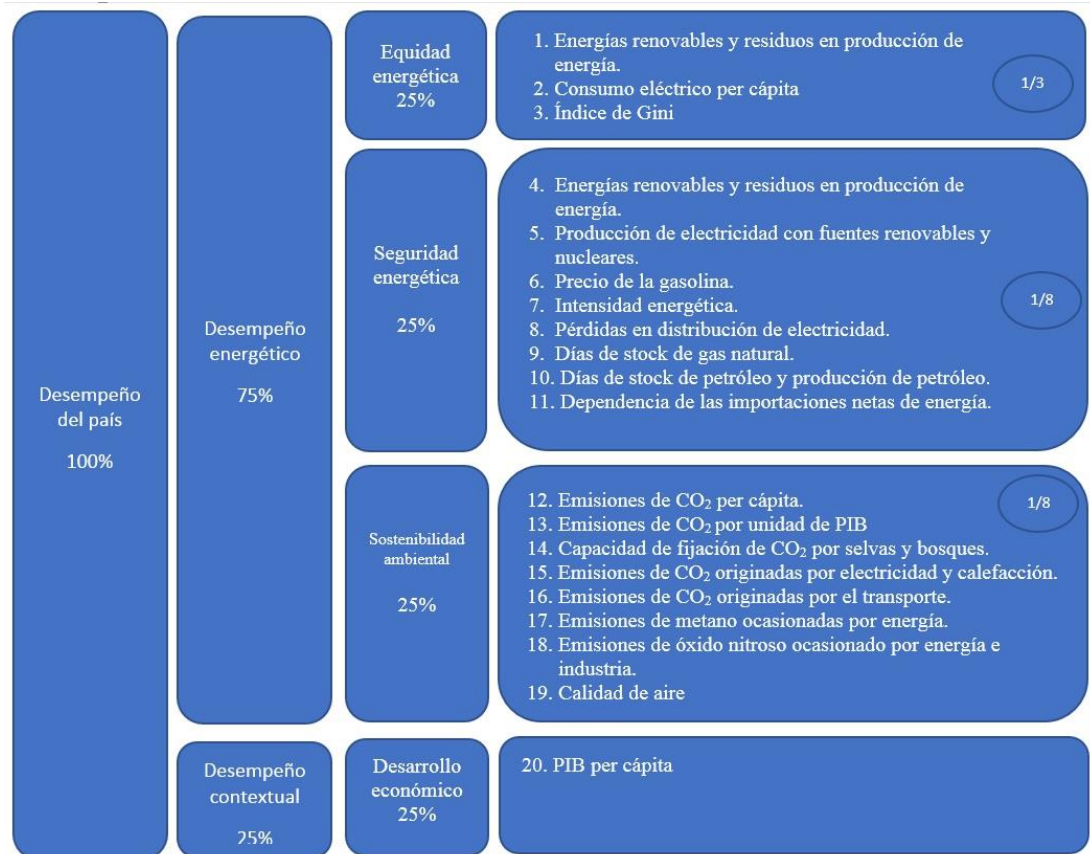


Figura 3.4: Esquema del desarrollo del índice de sostenibilidad energética [3].

Luego de interpretar los indicadores a emplearse, se prosigue a determinar un estado de referencia el cual se lo puede desarrollar por medio de los datos de los indicadores encontrados. Luego de haber obtenido el valor de referencia, se tiende a normalizar cada uno de los diferentes indicadores  $E_n$ , a cantidad  $I_n$  entre 0 y 10. El valor 1 es la mínima sostenibilidad, el valor 10 es la máxima sostenibilidad energética y 0 es el país que no posee la suficiente información. Cabe resaltar que para obtener la normalización de los indicadores energéticos se utilizó la ecuación 3-1 que es de tendencia lineal [3].

$$I_n = \frac{P_s - P_{ns}}{E_{rs} - E_{rns}} E_n + A \quad (3-1)$$

Donde:

$I_n$ : indicador energético normalizado

$P_s$ : valor máximo de sostenibilidad (10)

$P_{ns}$ : valor mínimo de sostenibilidad (1)

$E_{rs}$ : estadística de referencia sostenible

$E_{rns}$ : estadística de referencia no sostenible

$E_n$ : estadística normalizar

A: constante [3]

Una vez que se normaliza las estadísticas  $E_n$  se realiza la ponderación de las tres dimensiones estudiadas  $D_n$  equidad energética, seguridad energética y sostenibilidad ambiental, por la ecuación 3-2 [3].

$$D_n = \sum_{n=1}^n \frac{1}{n} \cdot I_n \quad (3-2)$$

Donde:

$D_n$ : dimensión analizada

n: número de indicadores que conforman la dimensión

Y por último para obtener el índice de sostenibilidad energética (ISE) se consigue al examinar tanto el desempeño energético, configurado por la equidad energética, la seguridad energética y la sostenibilidad ambiental con el desarrollo económico que se encuentra analizado por el PIB per cápita, por la ecuación 3-3 [3].

$$ISE = \sum_{n=1}^n \frac{1}{n} \cdot D_n \quad (3-3)$$

En la Tabla 3.4 se indica el estado de referencia o energéticamente sostenible

Tabla 3.4: Estado de referencia o sostenible energéticamente.

Dimensión	Indicador	Máxima sostenibilidad energética (10)	Mínima sostenibilidad energética (1)	Ecuación lineal de normalización
Equidad energética	Acceso a la electricidad	100%	0%	$I_n = 0,09. E_n + 1$
	Consumo eléctrico per cápita	53.832 kWh/hab <sup>A</sup>	39 kWh/hab <sup>B</sup>	$I_n = 0,0002. E_n + 0,9935$
	Índice de Gini	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
Seguridad energética	Energía renovables y residuos en producción de energía	100%	0%	$I_n = 0,09. E_n + 1$
	Producción de electricidad con fuentes renovables y nucleares	100%	0%	$I_n = 0,09. E_n + 1$
	Precio de gasolina por litro	0,01 US\$/litro <sup>C</sup>	3,33 US\$/litro <sup>D</sup>	$I_n = -2,7108. E_n + 10,02$
	Intensidad energética	0,030 ktep/ US\$ 2011 <sup>E</sup>	0,539 ktep/ US\$ 2011 <sup>F</sup>	$I_n = -4,51. E_n + 10,26$
	Pérdidas de electricidad	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
	Años de reservas de gas natural	100 años <sup>G</sup>	4,1 años <sup>H</sup>	$I_n = 0,0938. E_n + 0,615$
	Años de reservas de petróleo	100 años <sup>I</sup>	0,81 años <sup>J</sup>	$I_n = 0,0907. E_n + 0,926$
	Dependencia de importaciones de energía	-1058 % <sup>K</sup> 0 % <sup>M</sup>	-1 % <sup>L</sup> 100 % <sup>N</sup>	$I_n = -0,0085. E_n + 0,99$ $I_n = -0,09. E_n + 10$ <sup>P</sup>
Sostenibilidad ambiental	Emisión CO <sub>2</sub> per cápita	0,028 t CO <sub>2</sub> /hab <sup>Q</sup>	40,46 t CO <sub>2</sub> /hab <sup>R</sup>	$I_n = -0,222. E_n + 10$
	Emisión CO <sub>2</sub> por unidad de PIB	0,049 kg CO <sub>2</sub> / US\$ 2010 <sup>S</sup>	3,93 kg CO <sub>2</sub> / US\$ 2010 <sup>T</sup>	$I_n = -2,319. E_n + 10,11$
	Emisión CO <sub>2</sub> de electricidad	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
	Emisión CO <sub>2</sub> de transporte	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
	Capacidad de fijación de CO <sub>2</sub> <sup>AA</sup>	98,28 % <sup>AC</sup>	0,00053 % <sup>AB</sup>	$I_n = 0,0916. E_n + 1$
	Emisión CH <sub>4</sub> de energía	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
	Emisión de N <sub>2</sub> O de energía e industria	0%	100%	$I_n = -0,09. E_n + 10$
	Concentración de PM <sub>2.5</sub>	3,44 µg/m <sup>3</sup> <sup>U</sup> 50,0 µg/m <sup>3</sup> <sup>W</sup>	51,0 µg/m <sup>3</sup> <sup>V</sup> 107,30 µg/m <sup>3</sup> <sup>X</sup>	$I_n = -0,189. E_n + 10,65$ <sup>Y</sup> $I_n = -0,157. E_n + 17,85$ <sup>Z</sup>

- <sup>A</sup> Valor correspondiente al consumo eléctrico per cápita de Islandia en el año 2014 [11].
- <sup>B</sup> Valor correspondiente al consumo eléctrico per cápita de Haití en el año 2014 [11].
- <sup>C</sup> Valor correspondiente al precio de gasolina por litro de Venezuela en el año 2014 [11].
- <sup>D</sup> Valor correspondiente al precio de gasolina por litro de Eritrea en el año 2014 [11].
- <sup>E</sup> Valor correspondiente a la intensidad energética de Sudán del Sur en el año 2014 [11].
- <sup>F</sup> Valor correspondiente a la intensidad energética de la República Democrática del Congo en el año 2014 [11].
- <sup>G</sup> Valor correspondiente a los años de reserva de gas natural de Angola, Irán, Iraq, Kuwait, Libia, Mozambique, Nigeria, Qatar, Eslovaquia, Turkmenistán, Emiratos Árabes, Venezuela y Yemen al año 2015 [24].
- <sup>H</sup> Valor correspondiente a los años de reserva de gas natural de Hungría al año 2014 [24].
- <sup>I</sup> Valor correspondiente a los años de reserva de petróleo de Venezuela, Canadá, Iraq, Irán, Libia, Siria al año 2014 y 2015 [25].
- <sup>J</sup> Valor correspondiente a los años de reservas de petróleo de Cuba al año 2014 [25].
- <sup>K</sup> Valor correspondiente al % de importación de energía de Sudán del Sur del año 2014 [11].
- <sup>L</sup> Valor correspondiente al % de importación de energía de un exportador neto mínimo.
- <sup>M</sup> Valor correspondiente al % de importación de energía neutro.
- <sup>N</sup> Valor correspondiente al % de importación de energía de Curasao y Gibraltar al año 2014 [11].
- <sup>O</sup> Ecuación lineal correspondiente a los países exportadores netos de energía, el mayor valor negativo de importación de energía consigue la ponderación 10 y el valor de -1 % consigue la ponderación de 6 [3].
- <sup>P</sup> Ecuación lineal correspondiente a los países importadores netos de energía, el valor neutro de importación (0) consigue la ponderación de 5 y el mayor valor de importación neta de energía recibe la ponderación de 1 [3].
- <sup>Q</sup> Valor correspondiente a la emisión de CO<sub>2</sub> per cápita de Burundi en el año 2013 [11].
- <sup>R</sup> Valor correspondiente a la emisión de CO<sub>2</sub> per cápita de Qatar en el año 2013 [11].
- <sup>S</sup> Valor correspondiente a la emisión de CO<sub>2</sub> por PIB de Chad en el año 2013 [11].
- <sup>T</sup> Valor correspondiente a la emisión de CO<sub>2</sub> por PIB de Mongolia en el año 2013 [11].
- <sup>U</sup> Valor correspondiente a la emisión de PM<sub>2.5</sub> de Kiribati del año 2015 [11].
- <sup>V</sup> Valor correspondiente al valor inmediato superior de PM<sub>2.5</sub> que origina problemas a la salud de las personas [26].
- <sup>W</sup> Valor correspondiente al valor de PM<sub>2.5</sub> que origina problemas a la salud de las personas (respiratorias y visuales) [26].
- <sup>X</sup> Valor correspondiente a la emisión de PM<sub>2.5</sub> de Qatar en el año 2015 [11].
- <sup>Y</sup> Ecuación lineal correspondiente para los países emisores de PM<sub>2.5</sub> entre 3,44 µg/m<sup>3</sup> hasta 50 µg/m<sup>3</sup>.
- <sup>Z</sup> Ecuación lineal correspondiente para los países emisores de PM<sub>2.5</sub> entre 51 µg/m<sup>3</sup> hasta 107,30 µg/m<sup>3</sup>.
- <sup>AA</sup> La capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> se refiere al porcentaje de área selvática cubierto por un país.
- <sup>AB</sup> Valor correspondiente al porcentaje de área selvática de Groenlandia en el año 2015 [11].
- <sup>AC</sup> Valor correspondiente al porcentaje de área selvática de Surinam en el año 2015 [11].

### 3.4. Análisis e Interpretación

#### 3.4.1. Indicadores Energéticos Del Desarrollo Sostenible Del Ecuador

Los países que se utilizaron en los indicadores energéticos del desarrollo sostenible son aquellos que comprenden los Estados Asociados del MERCOSUR, principalmente Chile, Colombia y Perú. Además, se tomó un estado parte como Venezuela ya que se constituyó en el primer estado latinoamericano en adherir al tratado constitutivo en 2006. Los Estados Partes fundadores del MERCOSUR y signatarios del Tratado de Asunción son Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

##### 3.4.1.1. Dimensión Social

En relación con el tema de equidad y respecto al subtema de accesibilidad, se examinó el indicador SOC1, que se refiere al porcentaje de hogares sin acceso a la electricidad. Para lo cual, en Ecuador, en el año 2015, el 2,82% de los hogares no tiene acceso a la electricidad; valor que ha ido disminuyendo al paso del tiempo en 7,68%, 6,65%, 5,78% y 3,10% en los años 2005, 2007, 2009 y 2012 respectivamente, ver Figura 3.5. No obstante, como puede verse en la Figura 3.6, Ecuador tiene el tercer mayor porcentaje de hogares sin electricidad, superado por Colombia y Perú que poseen 3,04% y 6,70% de población sin acceso a la electricidad respectivamente al año 2015. Sin embargo, Venezuela y Chile son los países que cuentan con la menor cantidad de población sin electricidad representando el 1,10% y 0,35% de los hogares.



Figura 3.5: Población sin acceso a electricidad Ecuador 2005-2015 [27].



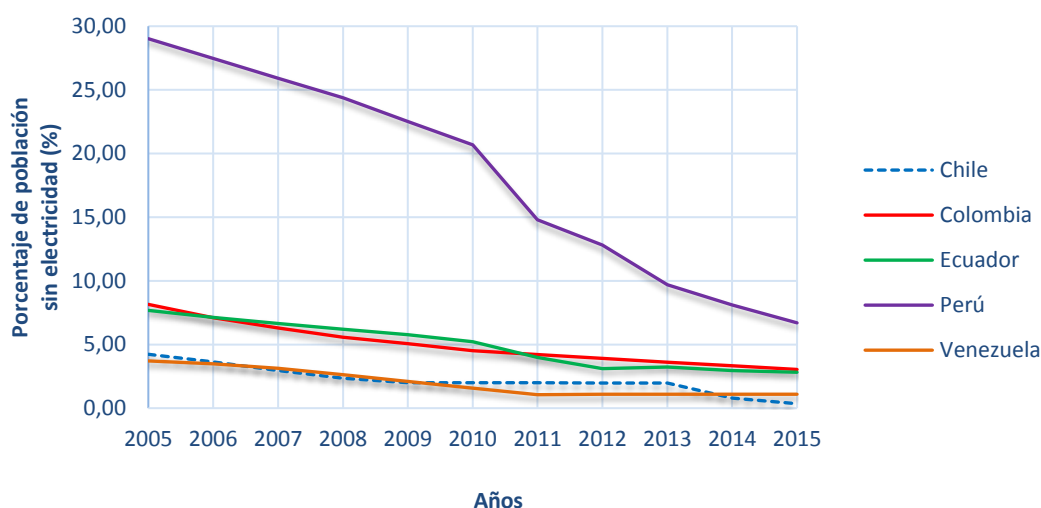


Figura 3.6: Población sin acceso a electricidad 2005-2015 [27].

Respecto al subtema de disparidades, el indicador SOC3 analiza el uso de energía en los hogares por combinación de combustibles utilizados. Para el año 2015, se puede notar que en el Ecuador el 53% de la energía consumida por el sector residencial es proporcionada por el gas licuado de petróleo GLP, seguido por la electricidad con 33%, la leña con el 14% y por último el kerosene / jet fuel con el 0,002%. En cuanto al uso del gas licuado de petróleo, se puede observar que ha venido aumentando en forma progresiva desde el año 2005 con 4.536,86 kbep hasta el año 2015 con 6.289.13 kbep. Este energético es el más empleado en el sector residencial. La electricidad, en cambio, ha tenido un aumento del 53,44% con respecto al año 2005, llegando a alcanzar en el año 2015 un valor de 4292,41 kbep, debido al cambio de la matriz energética y al impulso del gobierno en la implementación de cocinas de inducción. Además, reduciendo en sí los aranceles y el precio de la electricidad debido a las nuevas centrales hidroeléctricas que entrarían en funcionamiento. A pesar que esta medida no ha sido aceptada en la gran mayoría de la ciudadanía, se espera en el tiempo poder aumentar esta cifra para poder reemplazar el gas licuado de petróleo cuyo subsidio le cuesta al Estado 800 millones de dólares al año. De igual manera, esta medida puede reducir la contaminación ambiental por el uso de GLP. Por lo contrario, la leña es el energético que ha ido disminuyendo en el sector residencial, alcanzado en el año 2015 una cifra de 1.534,041 kbep. De igual manera, el kerosene/ jet fuel, a pesar que no ha tenido un gran impacto en el sector residencial, ha disminuido de 6,01 kbep a 0,21 kbep en los años 2005 y 2015 respectivamente, como puede verse en la Figura 3.7.

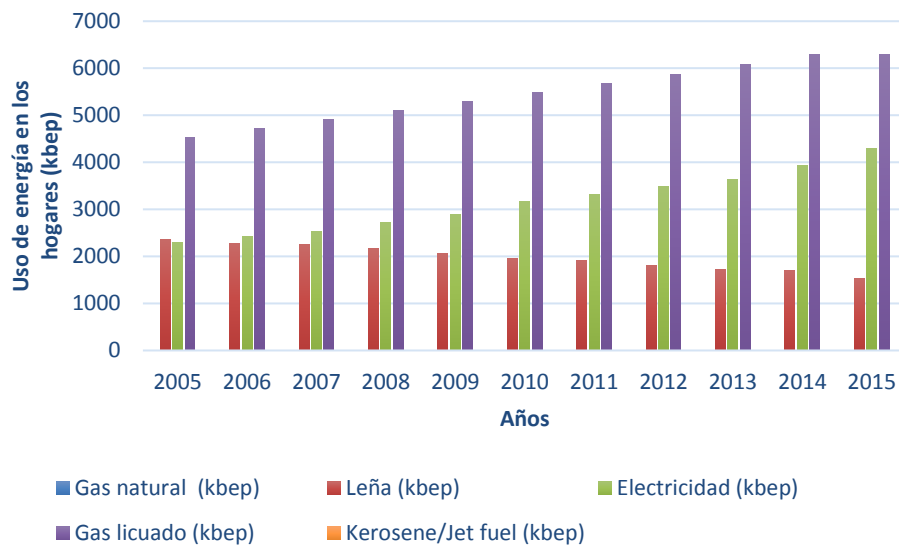


Figura 3.7: Uso de energía en los hogares del Ecuador 2005-2015 [27].

Ecuador es el tercer país que mayor consume gas licuado de petróleo en el sector residencial, superado por Venezuela y Chile, ver en la Figura 3.8. Ahora bien, el uso continuo del gas licuado petróleo constituye el mayor emisor de CO<sub>2</sub> en el sector residencial, para el año 2015 alcanza un valor de 2.148,36 Gg como puede verse en la Figura 3.9.

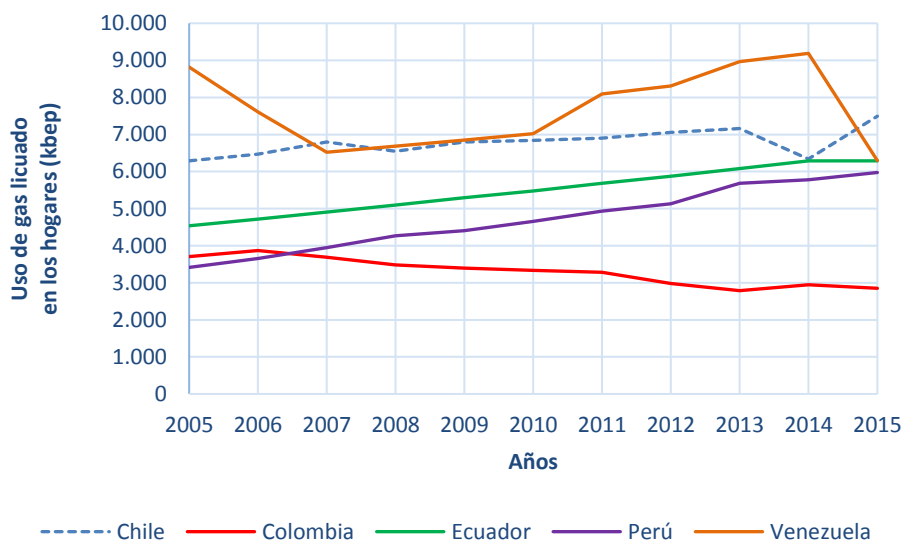


Figura 3.8: Uso de gas licuado en los hogares 2005-2015 [27].

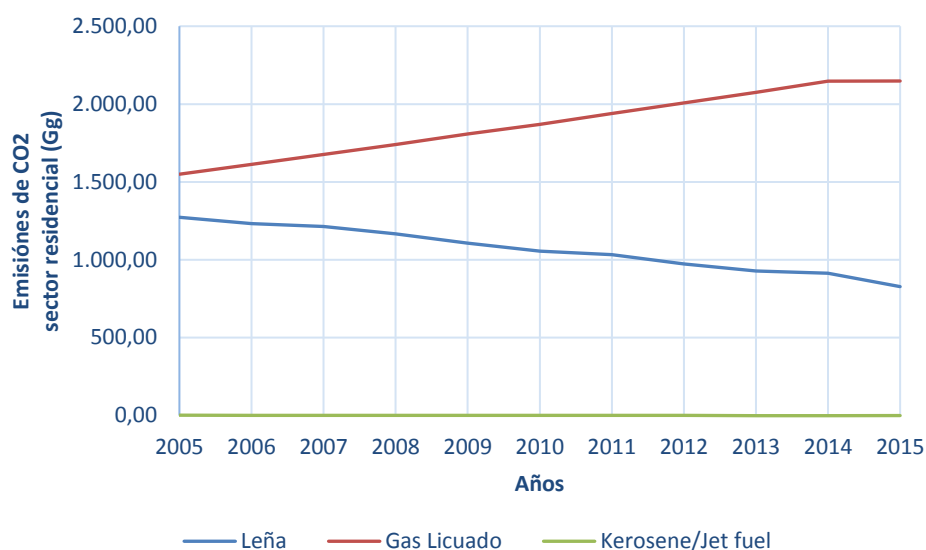


Figura 3.9: Emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de energía del Ecuador 2005-2015 [27].

### 3.4.1.2. Dimensión económica

De acuerdo a la dimensión económica, el tema de patrones de uso y producción de energía en relación al subtema de uso global, analiza el indicador ECO1. El cual, determina que en Ecuador la producción de energía per cápita entre los años 2005 y 2015 tiene valores entre 20,39 bep/hab y 17,95 bep/hab. Por otra parte, el consumo de energía per cápita en el mismo período posee valores entre 4,42 bep/hab y 5,61 bep/hab, como se puede ver en la Figura 3.10.

A partir del año 2005 hasta el 2014, la producción de energía ha sido superior al consumo de energía. Lo que significa que el Ecuador cumple sin ningún problema con la demanda de energía. De acuerdo a los datos encontrados, es de suma importancia que la producción sea mayor al consumo de energía, ya que convierten al país seguro energéticamente. En cuanto al consumo y producción de energía secundaria per cápita en el Ecuador se observa que a partir del año 2009 supera el consumo a la producción, como puede verse en la Figura 3.11. Por este motivo se debe a la importación de ciertos derivados de petróleo. La producción e importación de diésel es de 31% y 69%, de gasolinas es 40% y 60% y de GLP es de 17% y 83% respectivamente [8].

En relación con los demás países, Ecuador es el tercer país con menor producción de energía per cápita, superado por Colombia y Venezuela. Mientras que Chile y Perú cuentan con la menor cantidad de producción de energía, ver Figura 3.12. Sin embargo,

es el tercer país con menor consumo de energía per cápita, superado por Colombia y Perú, ver Figura 3.13.

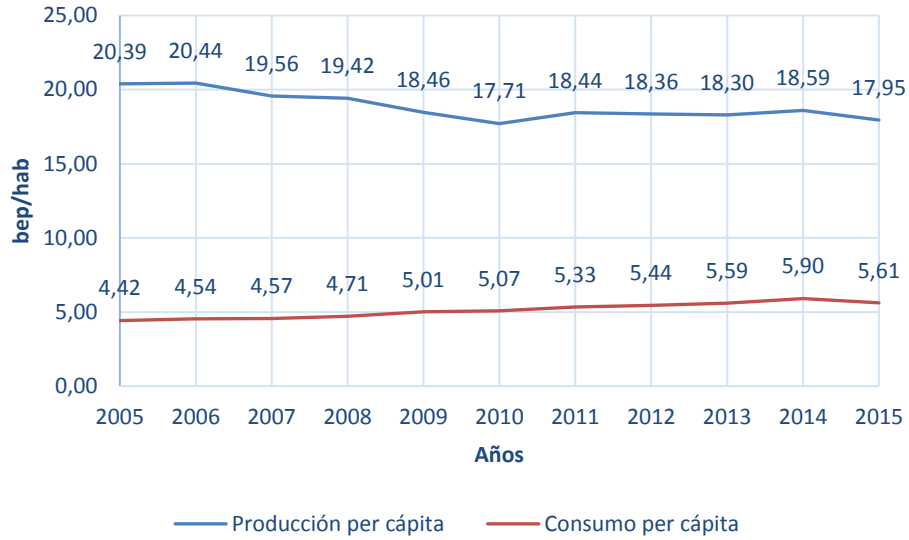


Figura 3.10: Consumo y producción per cápita del Ecuador 2005-2015 [11, 27].

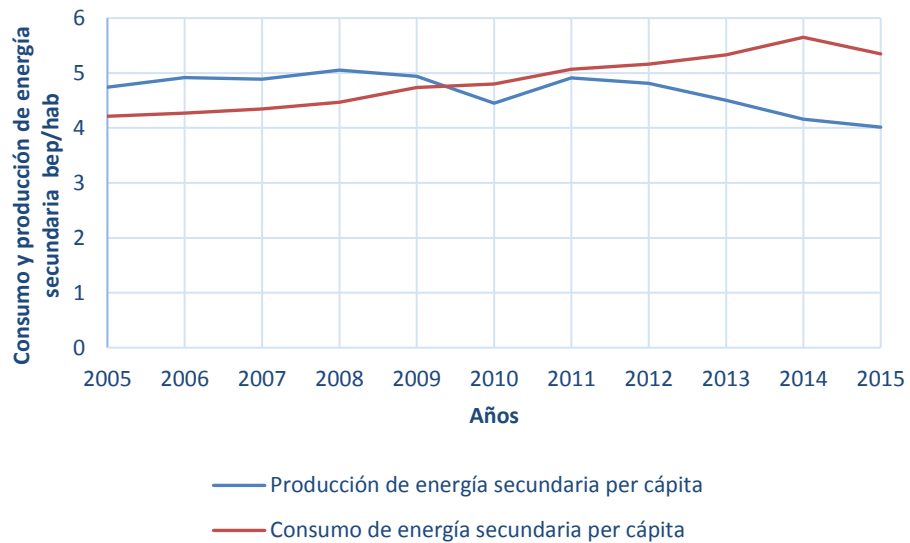


Figura 3. 11: Consumo y producción de energía secundaria per cápita del Ecuador 2005-2015 [11, 27].

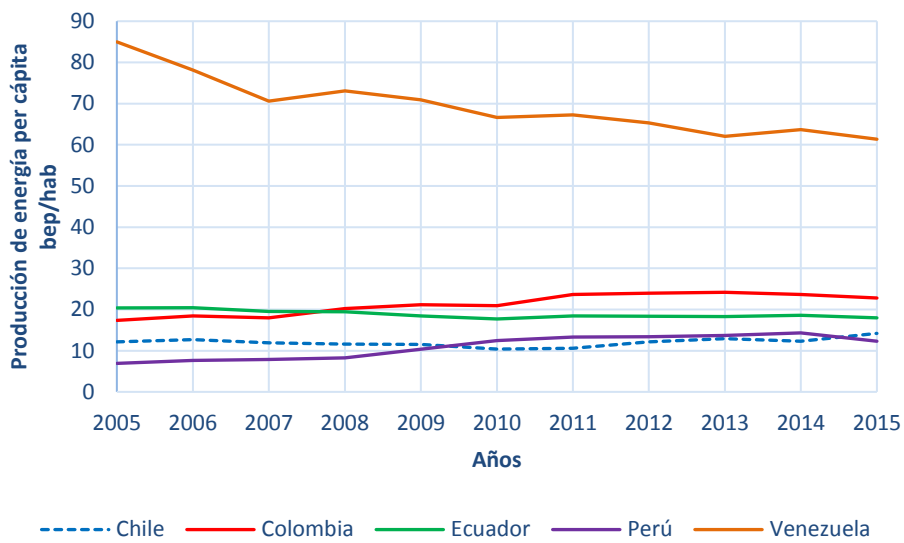


Figura 3.12: Producción de energía per cápita 2005-2015 [11, 27].

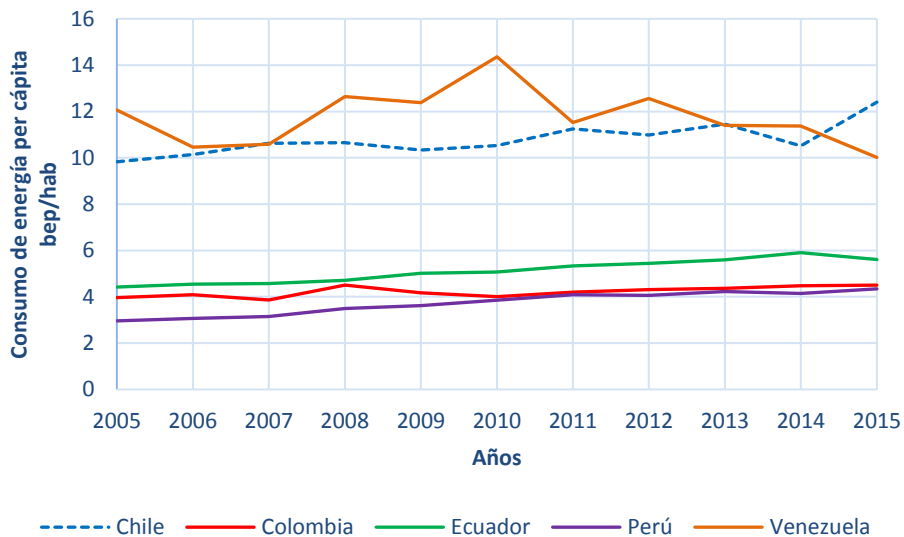


Figura 3.13: Consumo de energía per cápita 2005-2015 [11, 27].

De acuerdo al consumo de energía eléctrica per cápita, Ecuador tiene el tercer menor consumo de los países estudiados, con valores entre 799,96 kWh/hab y 1333,15 kWh/hab entre 2005 y 2013. Sin embargo, Perú y Colombia poseen el menor consumo eléctrico per cápita. El mayor consumo de energía eléctrica per cápita puede intervenir en el desarrollo de un país mejorando así el acceso a servicios provenientes de la electricidad y el estilo de vida, ver Figura 3.14.

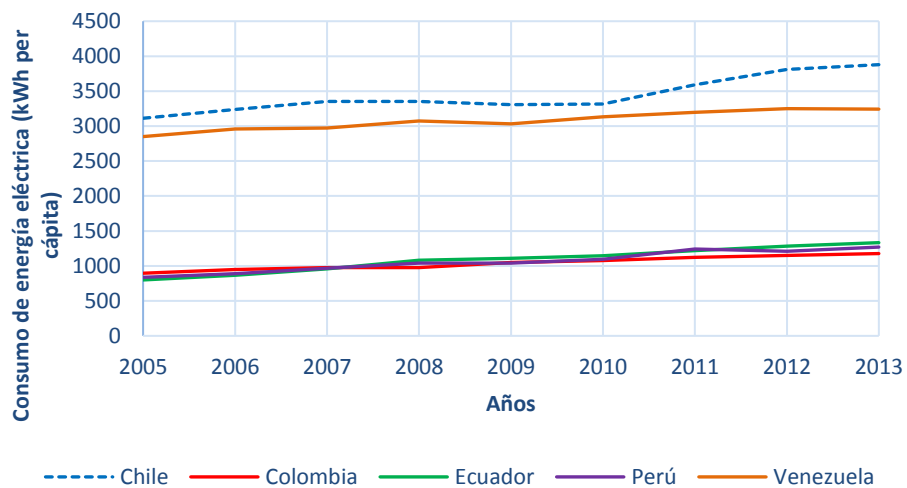


Figura 3.14: Consumo de energía eléctrica per cápita 2005-2013[11].

En cuanto al subtema de productividad global de la energía, se determina al indicador ECO2 como la producción y consumo de energía por unidad de PIB. Ecuador a partir del año 2005 y 2015, el ratio de producción de energía en relación al PIB (MUS\$ a precios actuales) obtuvo cifras de 6,75 kbep/MUS\$ y 0,90 kbep/MUS\$ a precios actuales. Por otra parte, el consumo por unidad de PIB en los mismos años comprendía cifras entre 1,46 kbep/MUS\$ y 0,90 kbep/MUS\$ a precios actuales, ver Figura 3.15. Lo que indica que el Ecuador en cuanto a la producción total de energía por PIB es superior al consumo total de energía por PIB, este indicador se debe a que existe una alta producción de petróleo. Tomando como referencia el consumo y producción de energía secundaria por PIB en el Ecuador se observa que a partir del año 2009 supera el consumo a la producción, razón que se la indica en el indicador ECO1, como puede verse en la Figura 3.16.

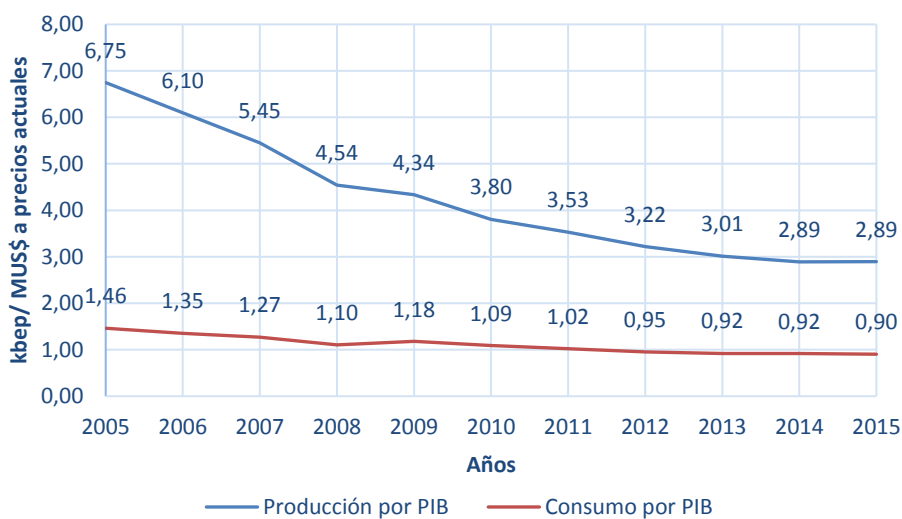


Figura 3.15: Consumo y producción de energía por PIB del Ecuador 2005-2015 [11, 27].

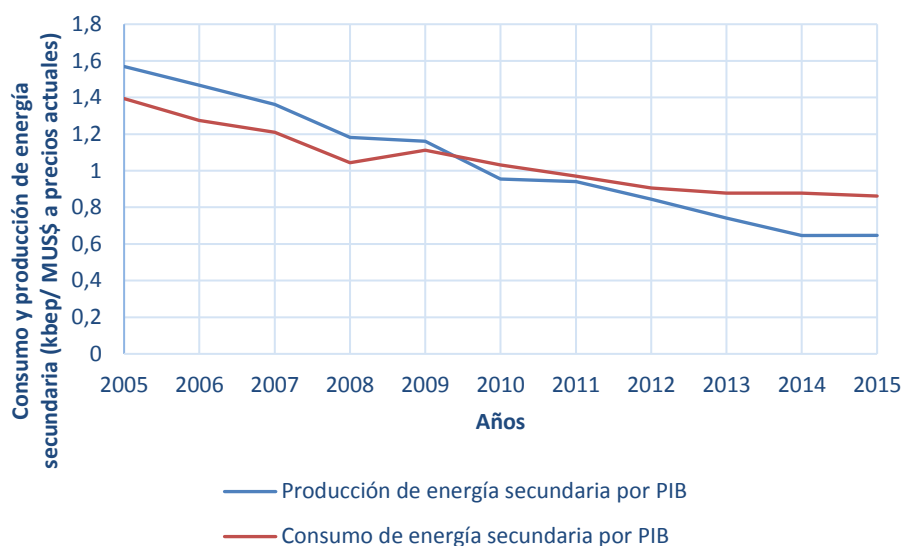


Figura 3. 16: Consumo y producción por PIB de energía secundaria del Ecuador 2005-2015 [11, 27].

Ahora bien, Ecuador es el tercer país con mayor producción de energía respecto al PIB, superado por Colombia y Venezuela, ver Figura 3.17. Así mismo, se encuentra entre los países que mayor consume energía por PIB, entre ellos Chile y Venezuela. Por debajo se encuentra Colombia y Perú, como puede verse en la Figura 3.18.

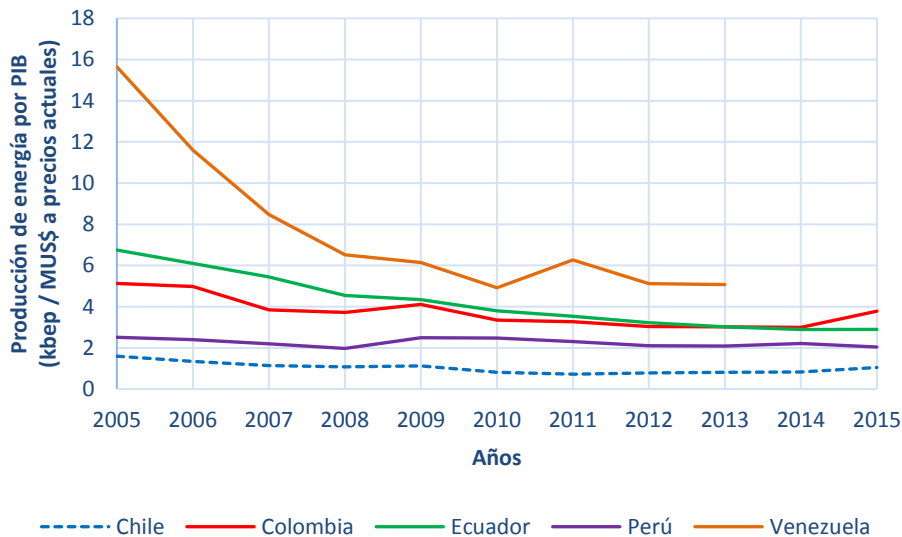


Figura 3.17: Producción de energía por PIB 2005-2015 [11, 27].

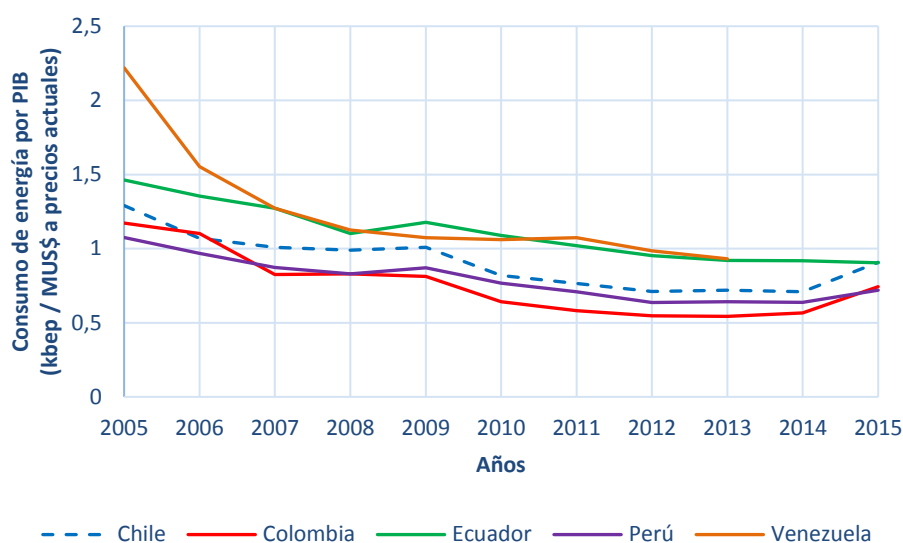


Figura 3.18: Consumo de energía por PIB 2005-2015 [11, 27].

Respecto al subtema de eficiencia del suministro, el indicador ECO3 estudia la eficiencia de la conversión y las pérdidas en la distribución de la energía. El Ecuador comprende una eficiencia del 80% en la conversión de hidroenergía en electricidad al año 2015. Según se indica en el Manual de Estadísticas energéticas de OLADE debido a la ausencia de datos de caudales hídricos. En cuanto a la transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución, Ecuador es el cuarto país con menores pérdidas, con el 12,95% en 2013, superado únicamente por Venezuela con 20,80% y por debajo se encuentra Colombia con 11,76%, Perú con 10,51% y el país con menor pérdidas es Chile con 6,69%, todos analizados al año 2013, como se puede mostrar en la Figura 3.19 y Figura 3.20.

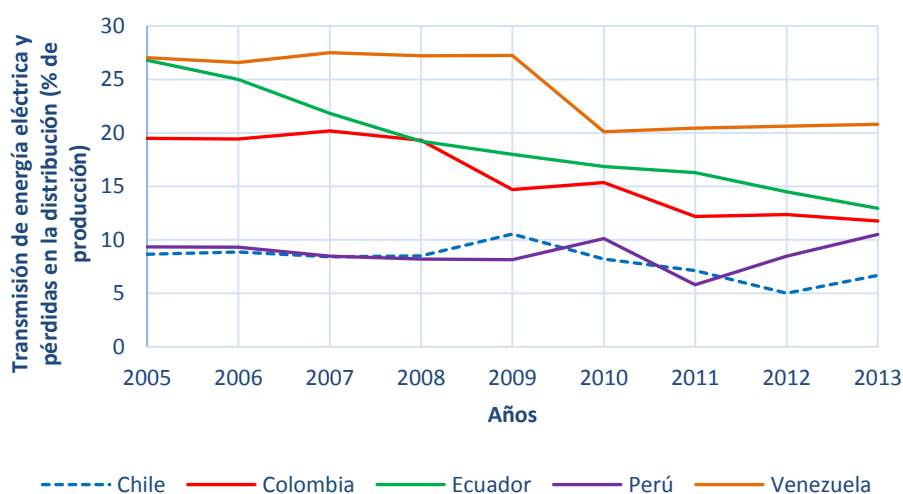


Figura 3.19: Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución 2005-2013 [11].



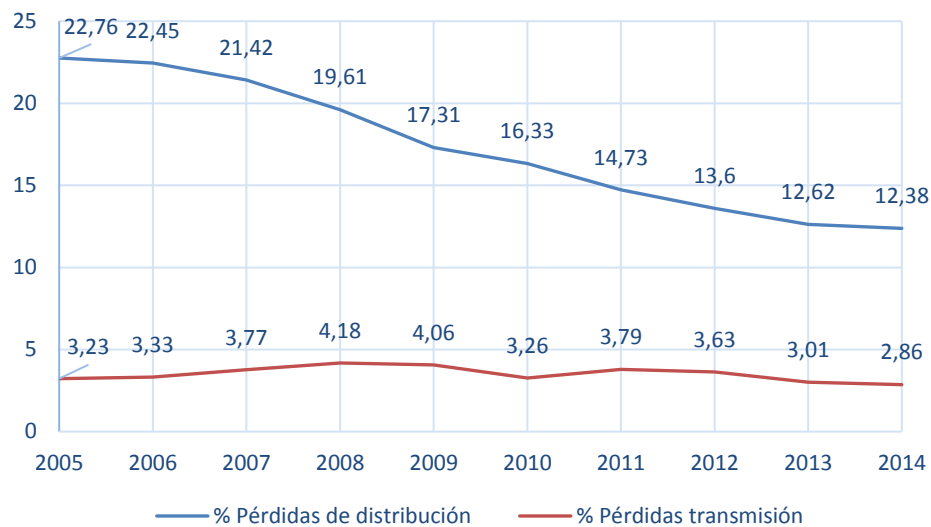


Figura 3.20: Pérdidas de distribución y transmisión del Ecuador 2005-2014 [8].

Con respecto al subtema de producción, el indicador ECO4 analiza la relación reservas/ producción, el cual se encarga de medir la disponibilidad de combustibles como el petróleo y el gas natural en años. Esta medida contribuye en un aspecto importante para determinar la sostenibilidad de un país de acuerdo a la disponibilidad del suministro de combustibles. En primer lugar, se obtiene la relación reservas y producción de petróleo del Ecuador, en el cual, en los años 2006, 2009, 2012 y 2015 se tiene una disponibilidad de 32,50; 36,83; 45,48 y 38,50 años de reservas y producción respectivamente. El aumento de reservas y producción a partir del año 2009 se debe la perforación de nuevos pozos y a la repotenciación de los campos petroleros. Ecuador es el segundo país con mayor número de años de reservas y producción de petróleo únicamente superado por Venezuela que tiene 310 años, ya que este país comprende el 17,9 de reservas probadas de crudo del mundo. A continuación, le sigue Perú, Chile y Colombia con reservas de 22,34; 5,69 y 5,30 años respectivamente al año 2015, ver Figura 3.21. En segundo lugar, se obtendrá la relación reservas y producción de gas natural, en el Ecuador las reservas en los años 2006, 2009, 2012 y 2015 son de 3,99; 4,51; 9,70 y 6,62 años respectivamente. Existe un incremento de gas natural hasta el año 2002 gracias a que EP Petroecuador aumentaría la producción de 62 a 85 millones de pies cúbicos por día en el campo Amistad. Sin embargo, el Ecuador es el país con menor cantidad de reservas y producción de gas natural, superado por Colombia, Perú, Chile y Venezuela con 9,19; 13,05; 48,73 y 104,41 años respectivamente, ver Figura 3.22.

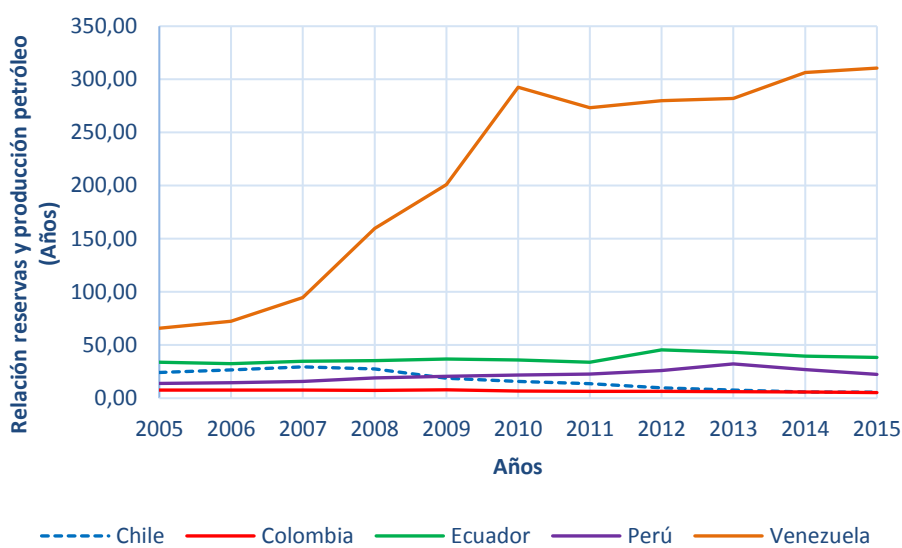


Figura 3.21: Relación reservas y producción de petróleo 2005-2015 [27].

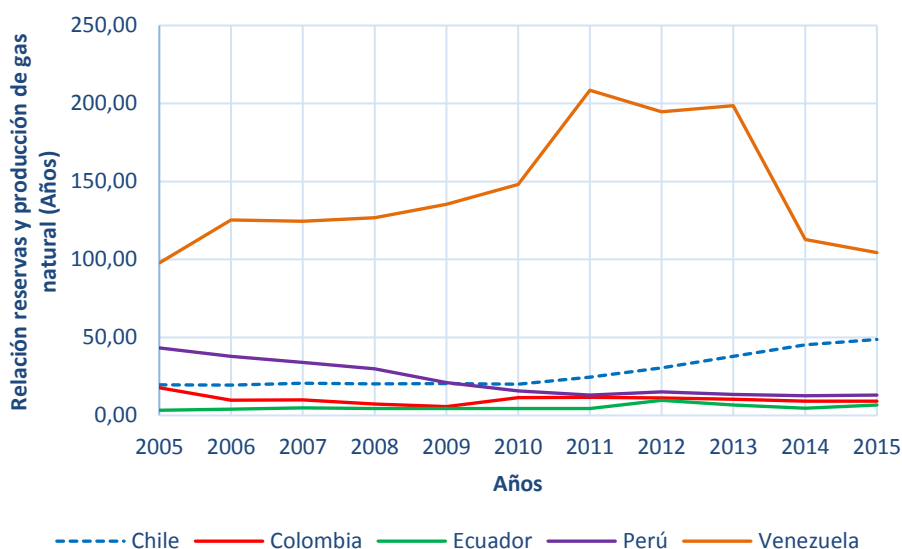


Figura 3.22: Relación reservas y producción de gas natural 2005-2015 [27].

El indicador ECO5 analiza la relación recursos/producción, la cual se calcula dividiendo la oferta total de petróleo para la producción de petróleo en el mismo año. El objetivo es medir la disponibilidad de los recursos con respecto a la producción de energía, este resultado está dado por años. En el Ecuador puede observarse que el ratio en el año 2005 era de 0,35 años. Este valor se debe a que aproximadamente el 65% del petróleo es exportado lo cual equivale a 125.946,73 kbep . La producción total de petróleo es 194.453,53 kbep. En el año 2009, se distingue el valor más alto registrado hasta el 2015, razón por la cual en este año existe un incremento en la producción de petróleo y una disminución en la exportación. Para el año 2015, el Ecuador alcanza un ratio de 0,26 años en el cual se tiene una producción de 198.526,97 kbep y una

exportación de petróleo de 146.619,69 kbep, ver Figura 3.23. Sin embargo, el Ecuador es el tercer país con el mayor ratio de recursos/producción superado al año 2015 por Perú y Chile con 2,45 y 22,77 años. Chile posee un ratio alto ya que la producción de petróleo es sumamente baja y en lugar de exportar petróleo este país lo importa.

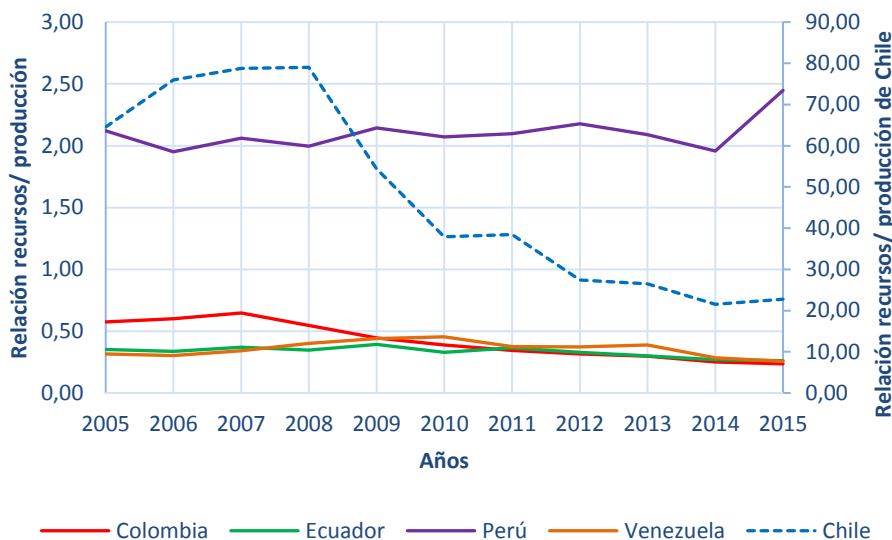


Figura 3.23: Relación recursos /producción 2005-2015 [27].

De acuerdo al uso final de la energía, el indicador ECO6 analiza las intensidades energéticas de la industria. Por lo que se refiere a Ecuador, posee en los años 2005, 2008, 2011 y 2014 unas intensidades de 1,95; 1,94; 2,21 y 2,28 bep/ US\$ miles 2007, respectivamente, ver Figura 3.24. El Gobierno cuenta con un proyecto para optimizar el desempeño energético del sector industrial, en el cual se aplicarían estándares nacionales de gestión de energía, como es el caso de aplicar conceptos primordiales de la norma ISO 50001. LA Organización Internacional de Normalización genera estrategias de gestión para mejorar la eficiencia energética, la reducción de precios y mejorar la eficiencia energética para organizaciones del sector público y privado [29]. Esto sería de gran importancia en el sector industrial ya que aumentaría la competitividad de ciertas empresas, además de contratar personal industrial sensibilizados sobre la importancia que se debe tener en la eficiencia energética. Este proyecto sería financiado con recursos del presupuesto institucional del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), con la cooperación técnica no reembolsable del FMMA y la ONUDI. [30]

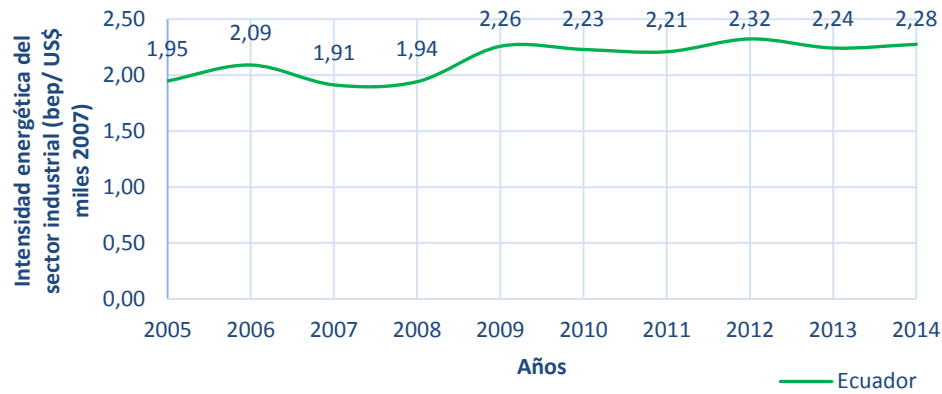


Figura 3.24: Intensidad energética del sector industrial Ecuador 2005-2014 [8, 27].

El indicador ECO9 analiza la intensidad energética de los hogares. En el Ecuador, la intensidad energética se ha mantenido constante durante los años 2005 y 2014 con un valor de 1,00 bep/ US\$ miles 2007, ver Figura 3.25. El Gobierno Nacional de Ecuador cuenta con algunos proyectos que ayudan a disminuir la intensidad energética del sector residencial como es el caso de la sustitución de focos incandescentes por ahorradores. Con la finalidad de reducir la demanda de energía y potencia del Sistema Eléctrico Nacional. Este proyecto contó con la sustitución de 6 millones de focos incandescentes. Los cuales además de disminuir el consumo eléctrico, ayudarían al cuidado de nuestro planeta ya que la producción de energía eléctrica que se emplea origina el gas carbónico CO<sub>2</sub>. Cabe destacar que en el año 2007, se instalaron 150 mil focos ahorradores en hogares de bajos recursos económicos del país [31]. Además, cuenta con un programa para la renovación de equipos de consumo energético ineficiente, como es el caso de la sustitución de 330.000 refrigeradoras a nivel nacional de consumo ineficiente o que tengan mayor de 10 años de empleo por otras de alta eficiencia [30].

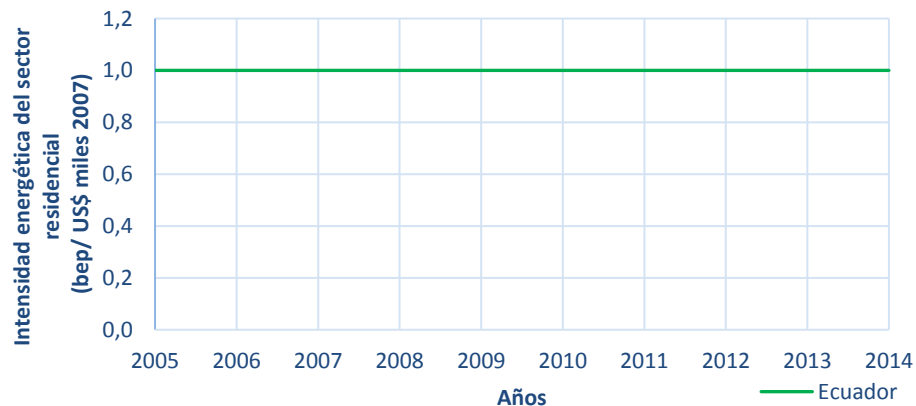


Figura 3.25: Intensidad energética del sector residencial Ecuador 2005-2014 [8, 27].

El indicador ECO10 presenta las intensidades energéticas del transporte. Ecuador posee en los años 2005, 2008, 2011 y 2014 valores de 9,62; 8,60; 9,47 y 9,28 bep/ US\$ miles 2007 respectivamente, siendo el sector que mayor intensidad genera. Lo que indica que el consumo energético es mayor al valor agregado que genera. Esto se debe al incremento que existe del parque automotor, tanto público como privado y a la utilización de carreteras que son un medio para transportar productos en lugar de emplear el ferrocarril o vía marítima, ver Figura 3.26. Para el año 2015, el energético que más consumo tiene es el diésel, representando el 19.533,69 kbep. En este caso, el 94% es demandado por el transporte de carga, lo que incluye a camiones hasta 15 toneladas, camiones de más de 15 toneladas, trailers, volquetas y tanqueros. El 75% corresponde a carga pesada, el 19% a carga liviana y el 6% sobrante representa al uso de buses y furgonetas de pasajeros. El segundo energético más utilizado es la gasolina con 18.907,56 kbep, en la cual el 49% es empleado por autos jeeps, taxis y motos, el 25% por camiones de carga pesada, el 24% por camionetas de carga liviana y el 2% por furgoneta de pasajeros y buses [8]. Un programa que cuenta el Ecuador para reducir la intensidad energética del sector del transporte es el Plan Renova que consiste en la chatarrización de vehículos que tengan una antigüedad mínima de 10 años o que hayan superado su vida útil, especialmente público o que brinden algún servicio, lo cual ayudaría al medio ambiente eliminando el parque automotor viejo que mayor contaminación produce.

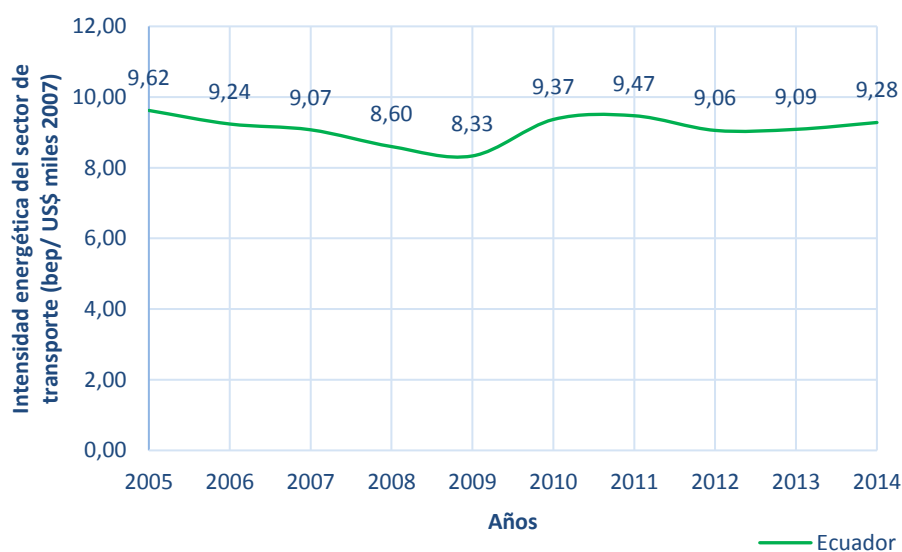


Figura 3.26: Intensidad energética del transporte Ecuador 2005-2014 [8, 27].

Los indicadores ECO11, ECO12 Y ECO13 se relacionan con el subtema de diversificación de fuentes energéticas que hace relación con la combinación de combustibles utilizados. El indicador ECO11 mide los porcentajes de combustibles fósiles en la energía y electricidad, el consumo final y la generación eléctrica. En Ecuador, la producción total de energía por fuentes fósiles está dada por el petróleo, hidroenergía, gasolina, diésel, gas natural, gas licuado, kerosene y fuel oil. Entre los años 2005 y 2015, el petróleo representó el energético que mayor suministro de energía produce, alcanzando valores de 90,45% hasta 88,23%, respectivamente. A continuación, le sigue el fuel oil, diésel, la hidroenergía, la gasolina, el kerosene y el gas licuado con porcentajes al año 2015 de 7,54%, 4,80%, 4,51%, 3,35%, 1,18%, y 0,51%, respectivamente, como se puede ver en la Figura 3.27. En cuanto al porcentaje de consumo final de energía en combustibles fósiles el diésel es el energético que mayor porcentaje alcanza. Al año 2005 tiene un consumo de 38.11% y al año 2015 posee un consumo de 38.01%. A continuación, se encuentra a la gasolina, fuel oil, gas licuado y kerosene con porcentajes al año 2015 de 27,94%, 16,73%, 9,27% y 3,06%, respectivamente, como puede verse en Figura 3.28. Por último, la generación de electricidad con fuentes fósiles, predomina el petróleo con porcentajes al año 2005 y 2015 de 33,54% y 38,14%. Al año 2010 se produce la mayor cantidad de generación eléctrica alcanzando un valor de 43,28%. Luego se encuentra el gas natural con porcentajes al año 2005 y 2015 de 11,35% y 12,88%, ver Figura 3.29.

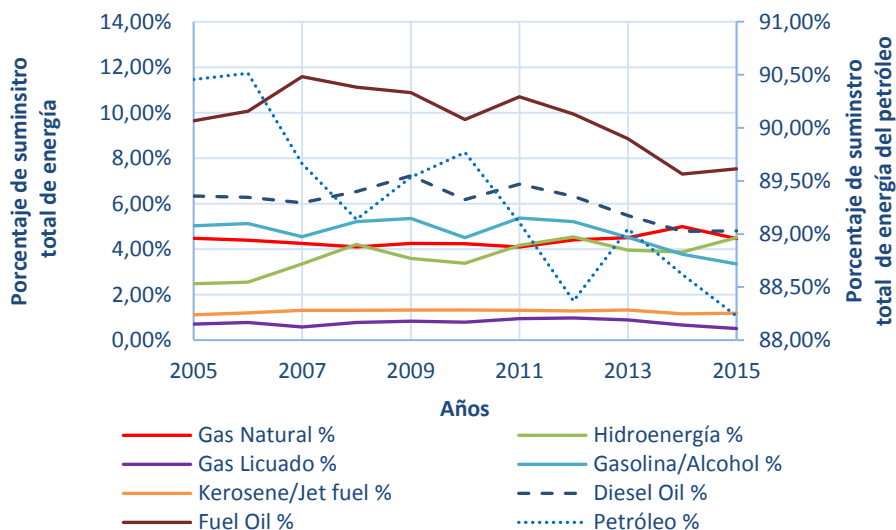


Figura 3.27: Producción total de energía por fuentes fósiles de Ecuador 2005-2015 [27].

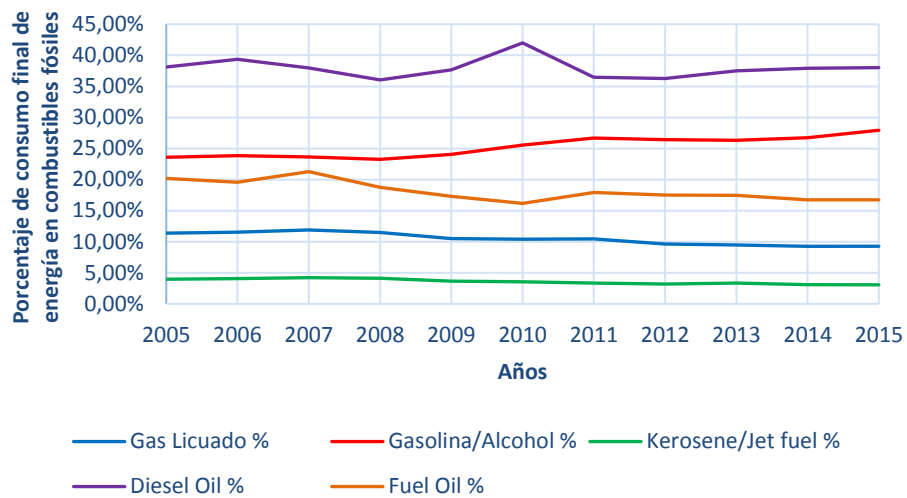


Figura 3. 28: Consumo final de energía con fuentes fósiles Ecuador 2005-2015 [27].

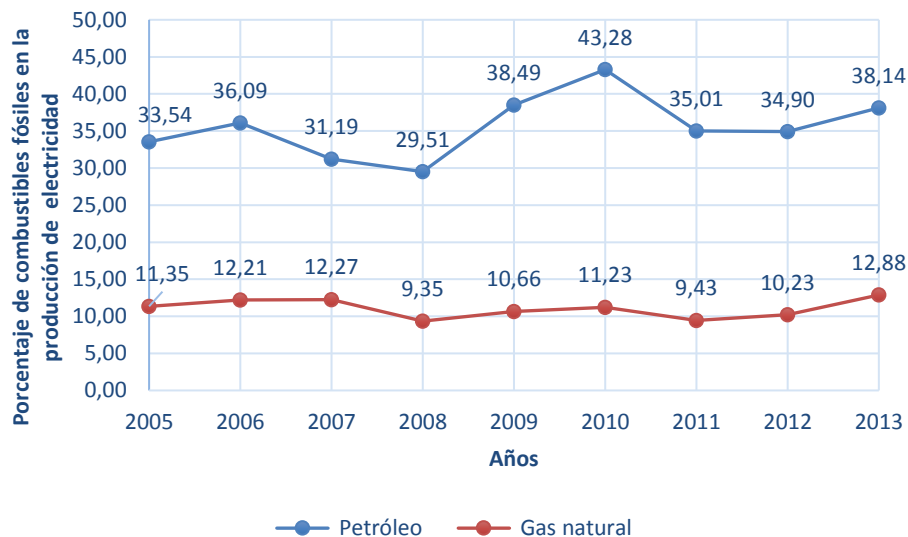


Figura 3.29: Generación de electricidad con fuentes fósiles Ecuador 2005-2013 [11].

El indicador ECO12 mide el porcentaje de energía no basada en el carbono en la energía y electricidad, como por ejemplo: la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica y nuclear. En el Ecuador, únicamente se utilizan dos tipos de fuentes de energía no basada en el carbono como es el caso de la hidroenergía y otras primarias que corresponde a la energía solar y eólica. A partir del año 2005 hasta el año 2015, la energía que predomina es la hidroenergía con el 2,48% y 4,51%. En el año 2012, se produce el mayor porcentaje de energía alcanzando el 4,54%. Además, el Ecuador tendría asegurada su energía por las ocho centrales hidroeléctricas que están en proceso de construcción como son: Coca Codo Sinclair , Toachi Pilatón, Sopladora, San Francisco, Mazar, Quijos, Delsitanisagua y Manduriacu [32]. A partir del año 2013, existe un aumento del 0,02% de la generación de la electricidad por medio de energía

primaria como es eólica y al año 2015, alcanza un porcentaje de generación del 0,04% como puede verse en a Figura 3.30. La energía primaria tuvo un gran aporte por la construcción del Parque Eólico Villonaco que se encuentra instalado en la provincia de Loja con una capacidad instalada de 16,5 MW de potencia. Este cuenta con 11 aerogeneradores que producen 1,5 MW cada uno, resultando el primer proyecto eólico en el Ecuador continental y con una velocidad de 12,7 m/s que es la más alta a nivel mundial y a una altitud de 2700 msnm [33].

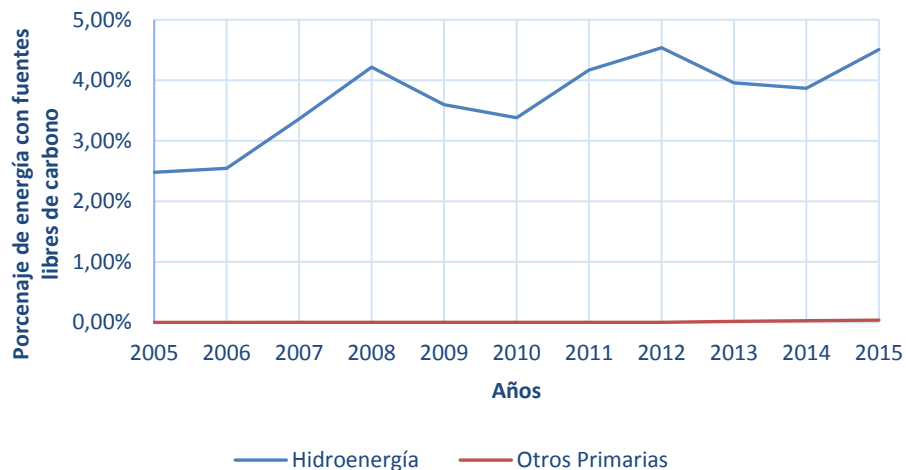


Figura 3.30: Generación de electricidad con fuentes fósiles del Ecuador 2005-2015 [27].

El indicador ECO13 describe el porcentaje en la producción total de energías renovables en la energía y electricidad. En Ecuador, la aportación de las energías renovables es sumamente baja, excluyendo a la hidroenergía que ha ido aumentando progresivamente entre 2,48% y 4,51% en los años 2005 y 2015 (ver ECO 12). A continuación, se encuentra la producción de la caña de azúcar y derivados la cual ha venido tomando impulso en los últimos años. La producción del biocombustible espera hasta el año 2020 producir 800 millones de litros de alcohol por la siembra de semillas de caña de azúcar. Este plan es impulsado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (Magap). Estos sembríos se encuentran ubicados en La Troncal, El Triunfo, Milagro, Yaguachi, Simón Bolívar y Naranjito, en la región costera del país lo cuales se espera extender el sembrío a 1200 hectáreas. Este programa, tiene como finalidad despachar a todas las gasolineras el combustible Ecopaís. En el año 2013 únicamente fueron despachados 136 millones de litros de gasolina Ecopaís para gasolineras de Guayaquil. Además, ha ahorrado al Ecuador 14 millones de dólares con el uso de la gasolina Ecopaís reduciendo la contaminación del medio ambiente por medio de las emisiones de dióxido de carbono. Cabe mencionar



que este combustible es bajo en azufre y tiene mayor octanaje, entre 85 y 88 octanos [34]. La producción de caña de azúcar ha venido aumentando a partir del año 2005 hasta el 2015 con porcentaje entre 1,35% y 1,94%, respectivamente. En tercer lugar, se obtiene la fuente renovable producida por la leña, la cual ha venido disminuyendo a través del tiempo. Por ejemplo, el sector residencial es el energético que menos se utiliza no obstante en ciertas partes del sector rural se la sigue utilizando. Por último, la energía primaria como eólica y solar tiene un bajo porcentaje en su producción alcanzando al año 2015 el 0,04%. (ver también ECO 11), ver Figura 3.31.

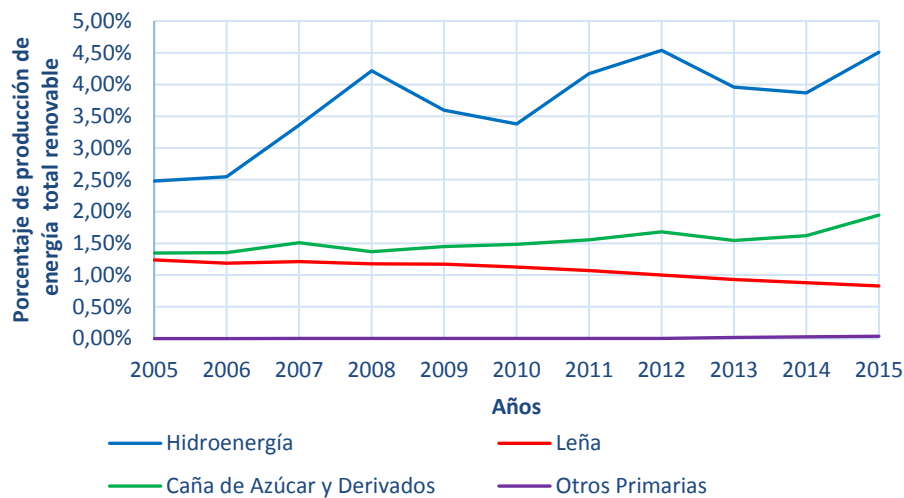


Figura 3.31: Porcentaje de producción de energía total renovable del Ecuador 2005-2015 [27].

Además, realizando un análisis con los demás países, se puede indicar en la Figura 3.32 el porcentaje de producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica El Ecuador ocupa el tercer lugar con un valor al año 2013 de 1,52% y al año 2005 con un valor de 0,81%, se encuentra superado por Colombia y Chile que alcanzan valores de 3,14% y 8,65%. Por debajo esta Perú con un valor de 1,48%, todos estos datos al año 2013 respectivamente, mientras que Venezuela no cuenta con producción de energía con fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica.

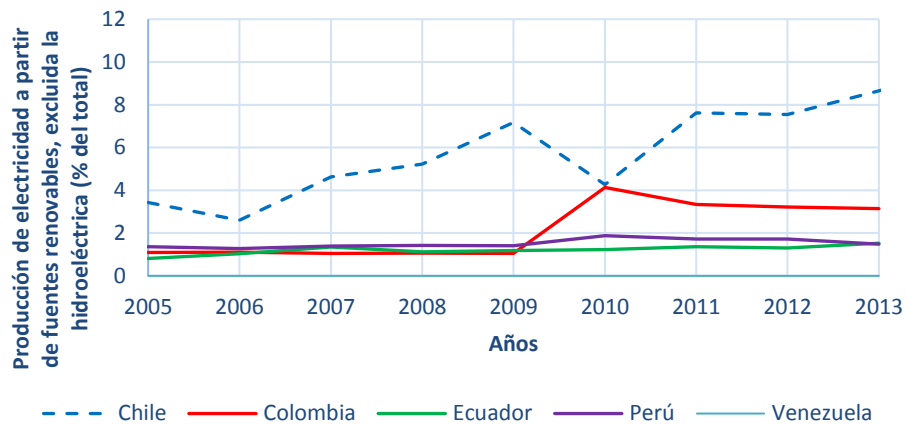


Figura 3.32: Producción de electricidad a partir de fuentes renovables. 2005-2013 [11].

En relación con el subtema de precios, se analiza el indicador ECO14 en el cual se determina el precio de la energía de uso final por combustible y sector. En este aspecto, se puede determinar los precios con y sin impuesto de los combustibles que se emplean en los sectores industrial, residencial y por transporte en el periodo del año 1996 hasta el 2005. Se puede identificar que entre los años 1999 y 2000 se origina un cambio precipitado en los costos. Esto se debe a que en este año se produjo la dolarización que hizo que el sucre se devaluara en casi dos tercios su valor. Alcanzando un cambio de 25000 sucres por un dólar creando en el país inestabilidad monetaria, crisis y pobreza en el Ecuador. En el sector industrial se puede determinar los costos del fuel oil, en el cual el precio al consumidor entre los años 1996, 2000 y 2003 son de 18,91; 6,08 y 29,36 US\$/bbl respectivamente. Manteniendo el precio del año 2003 constante hasta el año 2005. El precio del fuel oil sin impuesto en los mismos años alcanzo valores de 16,88; 5,43 y 26,04 US\$/bbl, respectivamente, manteniendo este precio hasta el año 2005, ver Figura 3.33.

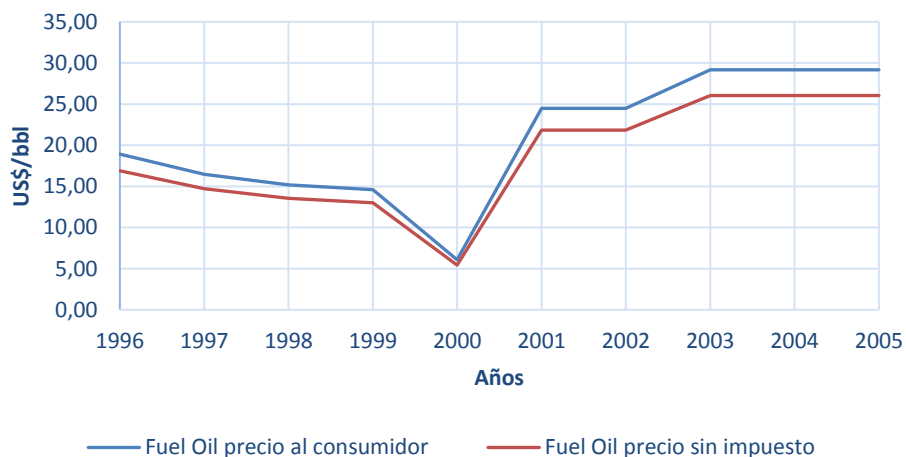


Figura 3.33: Precio del Fuel Oil en el sector industrial del Ecuador 1996-2005 [27].

En el sector residencial se determina los costos con y sin impuesto del gas licuado y del kerosene, obteniendo que el kerosene alcanza costos más altos en relación al gas licuado de petróleo. El precio del kerosene a precio del consumidor en los años 1996, 1999, 2000, 2001 y 2004 son de 47,57; 35,42; 12,81; 31,05 y 37,83 US\$/bbl, respectivamente, manteniendo constante el precio hasta el año 2005. De igual manera, se describe los precios del kerosene sin impuesto en los mismos años obteniendo costos de 42,48; 31,63; 11,43; 27,72 y 33,78 US\$/bbl, respectivamente. Alcanzando una diferencia promedio del costo de 3,63 US\$/bbl. En cambio, los precios del gas licuado al consumidor en los mismos años son de 6,42; 22,58; 6,56; 10,49 y 10,49 US\$/bbl, respectivamente, manteniéndose desde el año 2001 hasta el año 2005 con un precio de 10,49 US\$/bbl. Por último, los precios del gas licuado sin impuesto son de 5,74; 20,16; 5,85; 9,36 y 9,36 US\$/bbl, respectivamente, manteniendo una diferencia promedio de 1,07 US\$/bbl. De igual forma, el precio del gas licuado sin impuesto se ha mantenido constante desde el año 2001 hasta el año 2005, como se puede mostrar en la Figura 3.34.

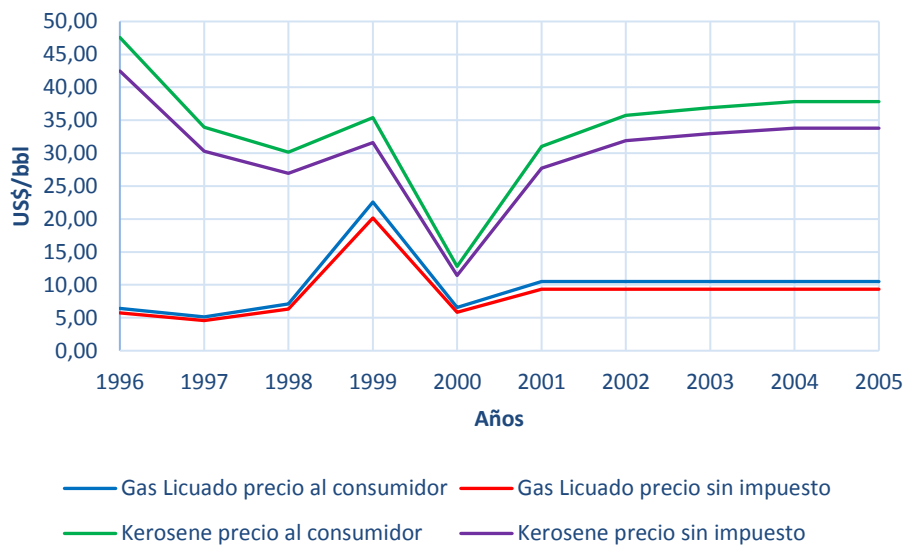


Figura 3.34: Precios de combustibles en el sector residencial del Ecuador 1996-2005 [27].

En el sector de transporte se determina los precios de combustibles al consumidor y sin impuesto del diésel oil, gasolina regular, gasolina premium y jet fuel. De igual manera se realiza un análisis en los años 1995, 1999, 2000, 2001 y 2005 que resultan los años críticos e importantes. De acuerdo a los precios al consumidor, en primer lugar, se tiene con el costo más alto a la gasolina premium con 55,58; 56,18; 29,62, 51,74 y 70,56 US\$/bbl, respectivamente.. En segundo lugar, se encuentra la gasolina

regular con 47,58; 41,11; 19,01; 39,98 y 54,99 US\$/bbl, respectivamente. En tercer lugar se encuentra el jet fuel con 31,36; 32,17; 14,71; 44,22 y 48.92 US\$/bbl, respectivamente. Por último, se encuentra el diésel oil alcanzando precios de 47,55; 35,42; 12,81; 31,05 y 37,83 US\$/bbl, respectivamente, ver Figura 3.35. Por el otro lado, los precios de los combustibles sin impuestos analizado a los mismos años son: la gasolina premium con 50,05; 50,16; 26,45; 46,20 y 63,00 US\$/bbl, respectivamente. La gasolina regular con 42,84; 36,70; 16,97; 35,70 y 49,09 US\$/bbl, respectivamente. El jet fuel con 28,24; 28,72; 13,14; 39,48; 43,68 US\$/bbl, respectivamente. Finalmente el diésel oil con 42,84; 31,63; 11,43; 27,72 y 33.78 US\$/bbl, respectivamente, como puede verse en la Figura 3.36. La diferencia promedio en los precios de los diferentes combustibles son: gasolina premium con 6,07 US\$/bbl, gasolina regular con 4,79 US\$/bbl, jet fuel con 4,01 US\$/bbl y diésel oil con 3,73 US\$/bbl,

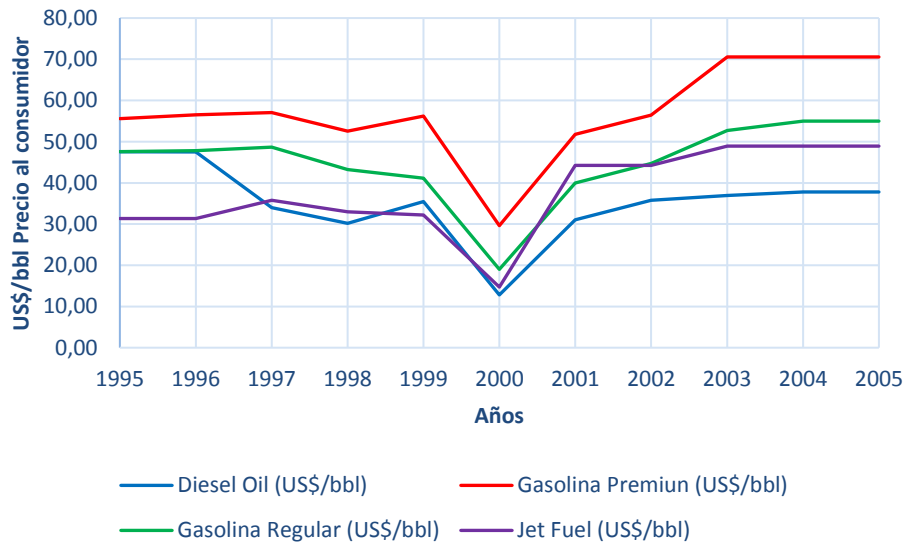


Figura 3.35: Precio de la energía de uso final por combustible en el sector de transporte del Ecuador 1996-2005 [27].

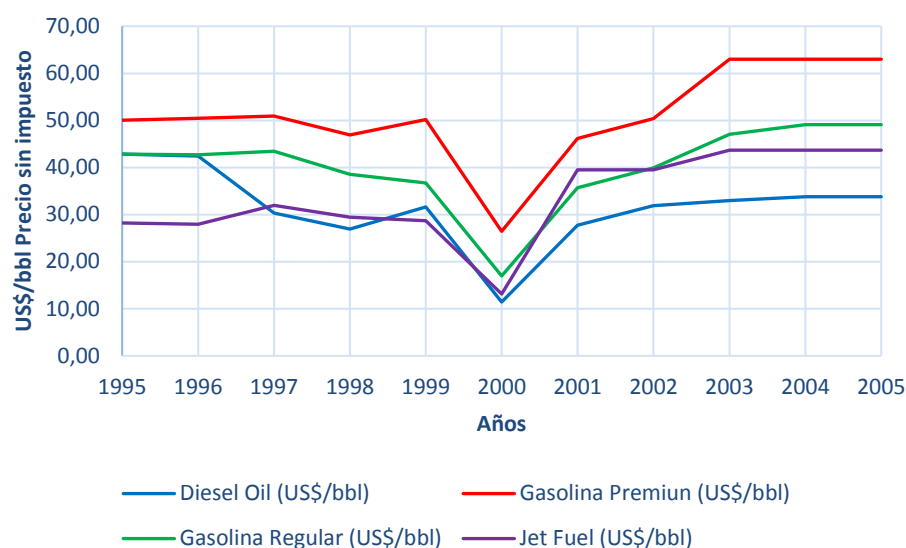


Figura 3.36: Precio de la energía de uso final por combustible en el sector de transporte del Ecuador 1995-2005 [27].

Respecto al tema de seguridad energética y al subtema de importaciones, se analiza el indicador ECO15 en el cual se describe la dependencia de las importaciones de energía. El cual se calcula dividiendo el ratio de las importaciones netas de energía sobre la oferta total. El Ecuador es un importador neto de energía, el cual posee un ratio al año 2015 de 0,43; al año 2014 se obtuvo la mayor dependencia energética alcanzado un valor de 0,44 y el año 2005 cuenta con la menor dependencia energética con un valor de 0,26. En relación a los países de nuestro estudio, Ecuador es el segundo país que cuenta con la mayor dependencia energética, superado únicamente por Chile con un valor de 0,61 al año 2015 y de 0,80 al año 2005. Los países que cuentan con la menor dependencia energética son los países de Venezuela, Colombia y Perú que en el año 2015 alcanzan valores de 0,027; 0,075 y 0,232, respectivamente, como puede observarse en la Figura 3.37. Los derivados de petróleo es la principal fuente que genera la dependencia energética, dado principalmente por el sector de transporte convirtiéndole como un país seguro energéticamente como se puede ver en el indicador ECO10 y ECO11.

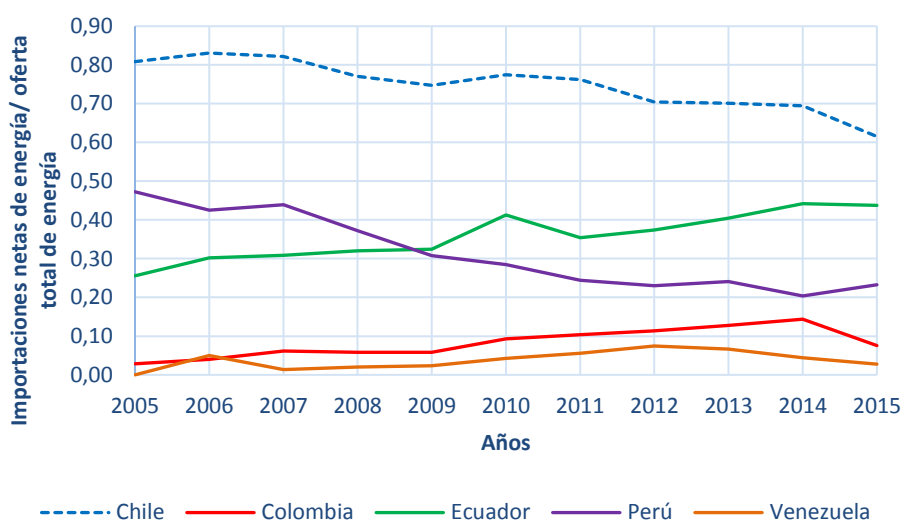


Figura 3.37: Dependencia de las importaciones netas de energía 2005-2015 [27].

Por último, de acuerdo al subtema de reservas estratégicas de combustibles, el indicador ECO16 describe las reservas de combustibles críticos por consumo del combustible correspondiente, en relación a reservas probadas de petróleo. El Ecuador en el año 1972 tiene unas reservas de 1500 Mbbl y para el año 2015 posee unas reservas de 7632 Mbbl, valor que ha ido aumentando a lo largo del tiempo. Además, el Ecuador es el segundo país con las más altas cantidades de reservas superado únicamente por Venezuela que cuenta al año 2015 con 300878 Mbbl, como puede verse en la Figura 3.38. Los países que cuentan con las menores cantidades de reservas probadas de petróleo al año 2015 son Chile, Perú y Colombia con valores de 15, 473 y 2002 Mbbl. En cuanto a lo que se refiere a reservas / consumo el Ecuador posee hasta el año 2015 un valor de 30,54 años y en el año 2006 con un valor de 29,07 años, ver Figura 3.38.

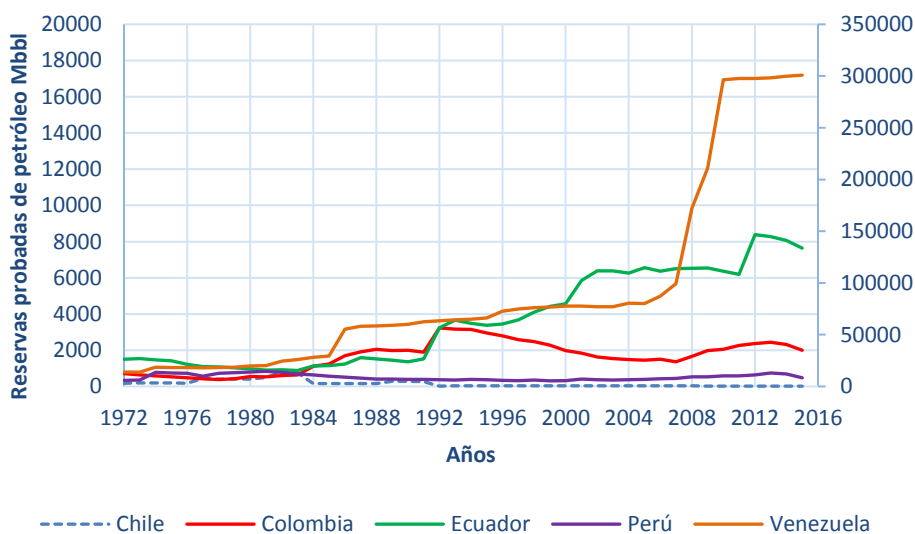


Figura 3.38: Reservas probadas de petróleo 2005-2015 [27].

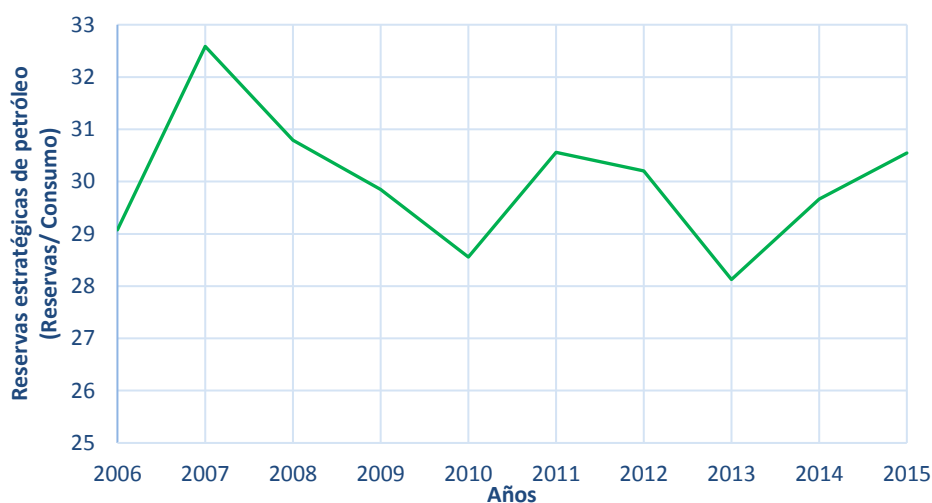


Figura 3.39: Reservas estratégicas de petróleo del Ecuador 2006-2015 [35].

### 3.4.1.3. Dimensión ambiental

De acuerdo a la dimensión ambiental, se estudia el tema atmósfera, con el subtema de cambio climático, en el cual el indicador ENV1 mide las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el uso de energía per cápita y por unidad de PIB. En Ecuador, las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita entre los años 2005 y 2012 se encontraban entre valores de 2,20 t CO<sub>2</sub>/hab y 2,64 t CO<sub>2</sub>/hab, respectivamente. Se puede distinguir que en los últimos años ha existido un aumento de las emisiones provocado principalmente por el consumo del gas licuado de petróleo en el sector residencial (ver SOC 3), incremento en las intensidades energéticas del país (ver ECO6, ECO7, ECO8, ECO9, ECO10), y el aumento en producción de electricidad a base del petróleo (ver ECO11). En relación a las emisiones de metano CH<sub>4</sub>, entre el año 2005 hasta el año 2012 se mantuvieron valores entre 1,10 t CO<sub>2</sub> eq/hab hasta 1,023 t CO<sub>2</sub> eq/hab. Por otra parte, el óxido nitroso N<sub>2</sub>O se ha sostenido entre 0,33 t CO<sub>2</sub> eq/hab y 0,35 t CO<sub>2</sub> eq/hab, resultando que las emisiones de GEI más elevadas en el país es del CO<sub>2</sub>, como puede observarse en la Figura 3.40. En relación a los países, Ecuador es el tercer país con menos emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, superado por Colombia y Perú, ver la Figura 3.41.

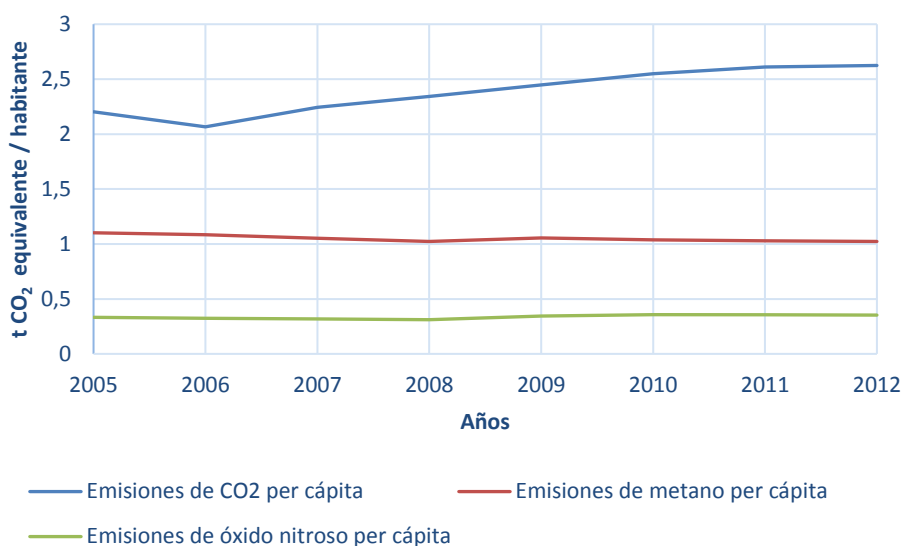


Figura 3.40: Emisiones de GEI per cápita del Ecuador 2005-2012 [11].

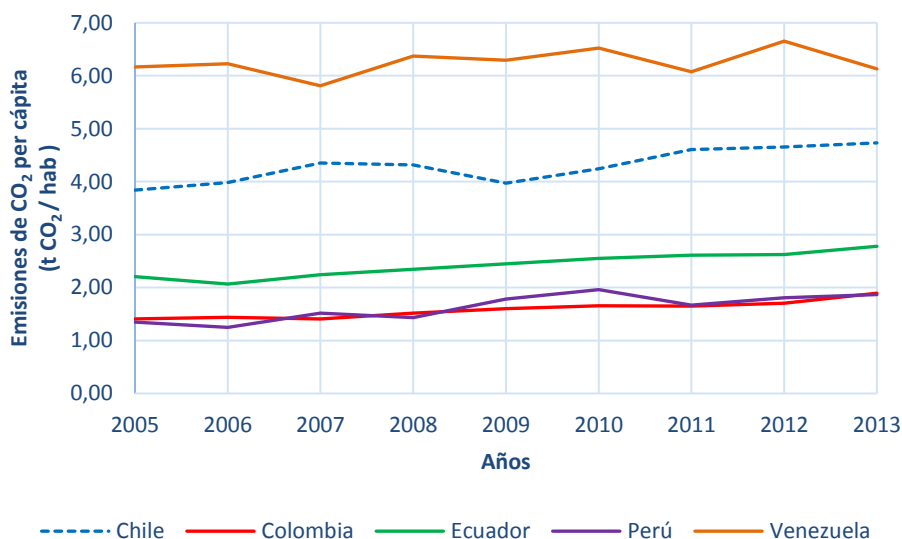


Figura 3.41: Emisiones de CO2 per cápita 2005-2013 [11].

Las emisiones por unidad de PIB del Ecuador resultan ser menores que las emisiones per cápita producidas, en el cual las emisiones de CO<sub>2</sub> permanecen entre valores de 0,729 kg CO<sub>2</sub> / PIB US\$ a precios actuales en el año 2005 hasta 0,46 kg CO<sub>2</sub> / PIB US\$ a precios actuales en el año 2012, las emisiones de metano CH<sub>4</sub> por unidad de PIB se encuentran entre 0,364 kg CO<sub>2</sub> eq / PIB US\$ a precios actuales hasta 0,179 kg CO<sub>2</sub> eq / PIB US\$ a precios actuales, notándose una ligera disminución de emisiones hasta el año 2012, y finalmente las emisiones de óxido nitroso por unidad de PIB N<sub>2</sub>O se encuentran entre 0,109 kg CO<sub>2</sub> eq / PIB US\$ a precios actuales y 0,061 kg CO<sub>2</sub> eq / PIB US\$ a precios actuales hasta el año 2012 como se puede mostrar en la Figura 3.42.



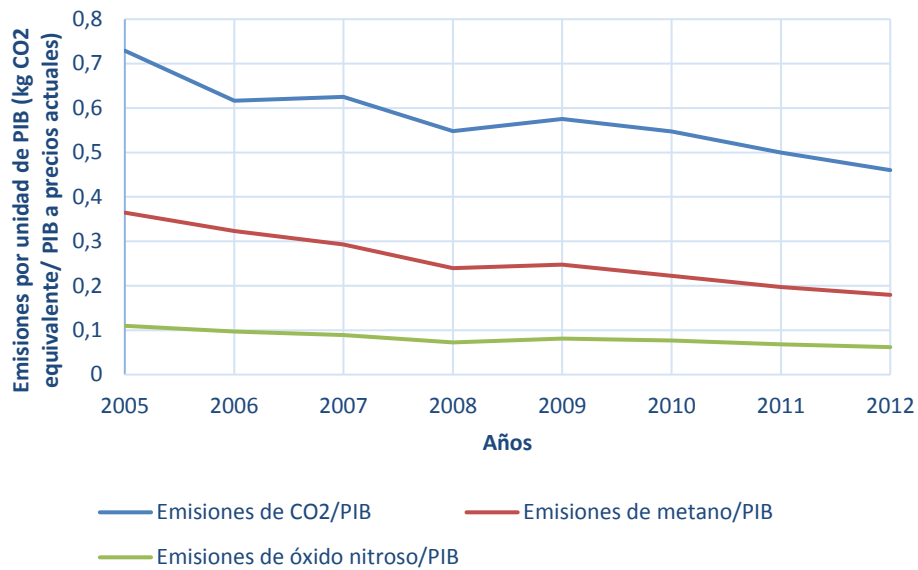


Figura 3.42: Emisiones de GEI por PIB del Ecuador 2005-2012 [11].

Cabe destacar que el Ecuador es el segundo país con mayor cantidad de emisiones por PIB producidas superado únicamente por Venezuela, ver Figura 3.43.

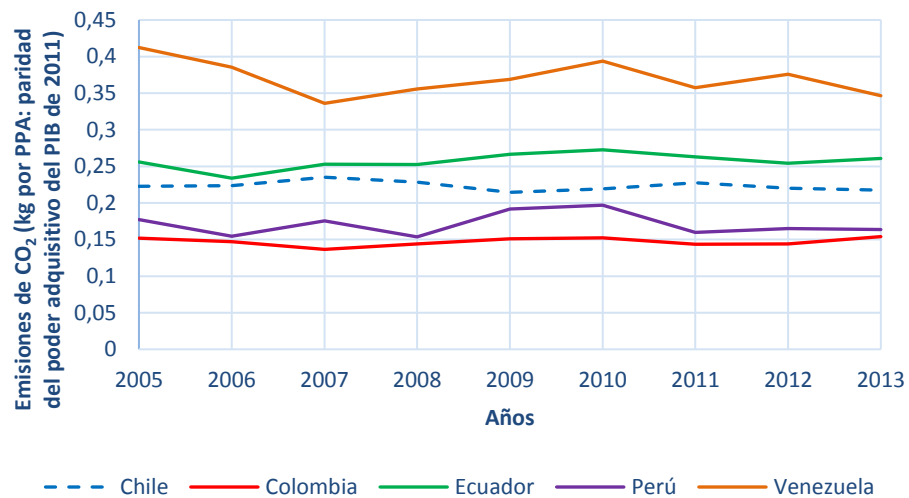


Figura 3.43: Emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB 2005-2013 [11].

En cuanto al subtema de calidad del aire relacionado al tema anterior, se analiza el ENV2, el cual se encarga de medir las concentraciones ambientales de contaminantes en el aire. Este indicador se encarga de analizar la concentración de material particulado 2,5  $\mu\text{m}$  (PM 2,5) los cuales se encuentran en el polvo que es esparcido por el viento que tienen diámetros entre 2,5 y 10 micrómetros. Para lo cual, la EPA recomienda que las concentraciones ambientales no deberían sobrepasar de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ya que provocaría problemas, respiratorios, cardiacos y pulmonares. En Ecuador, la

concentración de PM<sub>2,5</sub> no supera el límite máximo alcanzando emisiones de 13,9 µg/ m<sup>3</sup> en el año 2010 y de 12,5 µg/ m<sup>3</sup> en el año 2015, ver Figura 3.44.

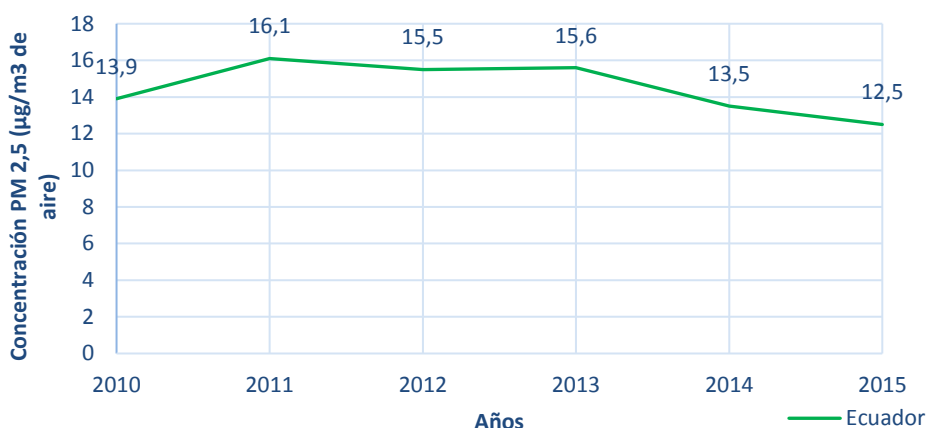


Figura 3.44: PM 2.5 contaminación del aire, exposición media anual 2010-2015 [11].

Con respecto al subtema calidad del aire, el ENV3 hace relación a indicadores que determinen las emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de sistemas energéticos y del sector transporte. En este caso, se analiza las emisiones de sustancias acidificantes como por ejemplo el óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y, por otro lado, los compuestos orgánicos volátiles (COV), NO<sub>x</sub>, monóxido de carbono (CO). El Ecuador no dispone de información acerca de las emisiones producidas por el sector de transporte, únicamente de las emisiones producidas por las centrales eléctricas que tuvieron entre el año 2005 y 2015 emisiones de 29,37 kt SO<sub>2</sub> y 48,48 kt SO<sub>2</sub>, ver Figura 3.45.

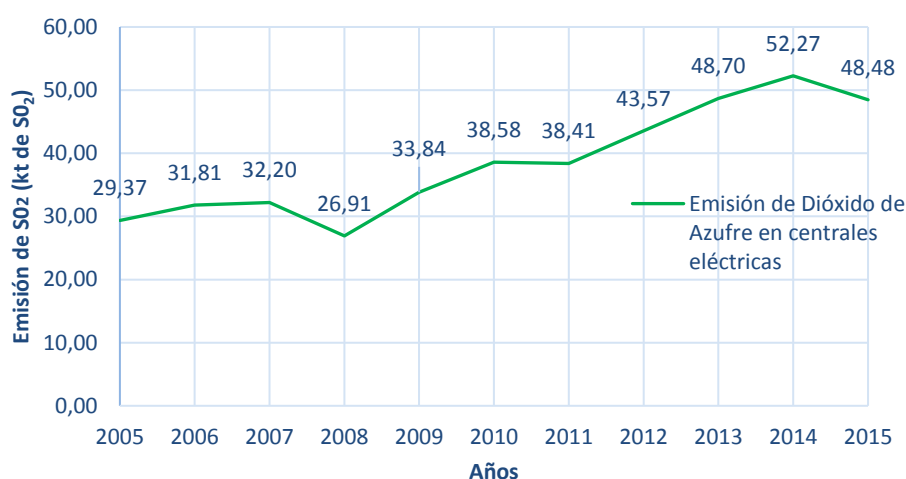


Figura 3.45: Emisión de SO<sub>2</sub> en centrales eléctricas Ecuador 2005-2015 [27].

Por lo que se refiere a las emisiones de óxido de nitrógeno NO<sub>x</sub>, en el Ecuador se producen este tipo de emisiones tanto en centrales eléctricas como en el sector de

transporte, originado principalmente por la quema de combustibles fósiles, por lo cual se puede distinguir que el sector de transporte origina la mayor cantidad de emisiones entre el año 2005 y 2015 con valores de 123 kt NO<sub>x</sub> y 177 kt NO<sub>x</sub>; en cambio las emisiones producidas por las centrales eléctricas cuenta con valores de 17 kt NO<sub>x</sub> y 28 kt NO<sub>x</sub>, como se indica en la Figura 3.46.

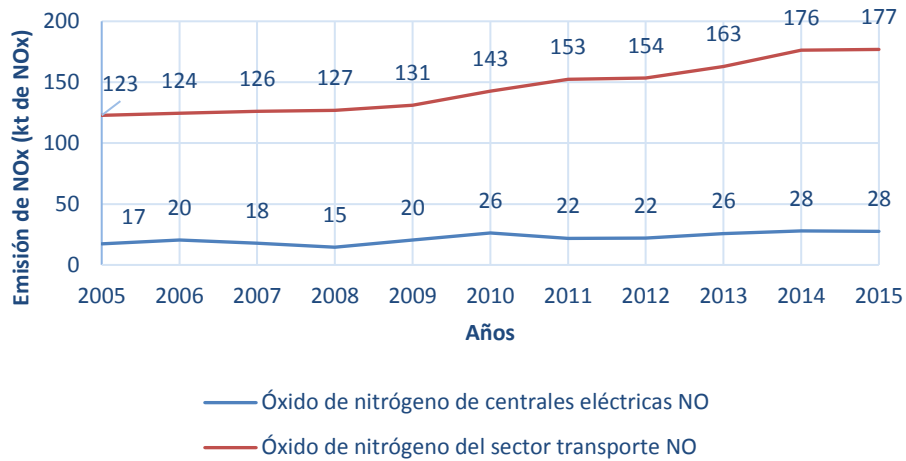


Figura 3.46: Emisión de NO<sub>x</sub> en centrales eléctricas y sector de transporte Ecuador 2005-2015 [27].

Acerca de las emisiones de hidrocarburos (compuesto orgánico volátil COV), en Ecuador el sector de transporte es el que más emisiones genera en comparación con las centrales eléctricas, entre los años 2005 y 2015 las emisiones de COV del sector de transporte varían entre 2,88 kt COV y 4,54 kt COV; sin embargo las centrales eléctricas han comprendido valores entre 2,03 kt COV y 0,38 kt COV notándose una ligera disminución a lo largo del tiempo, como puede verse la Figura 3.47.

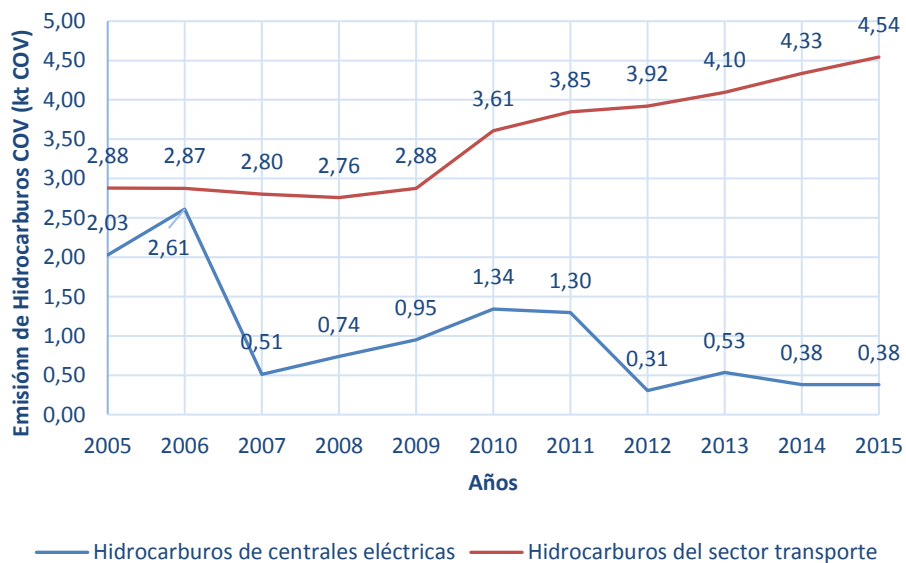


Figura 3.47: Emisión de hidrocarburos COV en centrales eléctricas y sector transporte Ecuador 2005-2015 [27].

El siguiente punto son las emisiones de monóxido de carbono CO, en el cual se puede apreciar que el sector de transporte es el que mayor cantidad de emisiones produce en comparación con las centrales eléctricas, entre los años 2005 y 2015 las emisiones del sector de transporte han estado entre 474 kt CO y 881 kt CO, mientras que en las centrales eléctricas se encuentran valores comprendidos entre 56 kt CO y 13 kt CO valor que ha ido disminuyendo a través del tiempo, ver Figura 3.48.

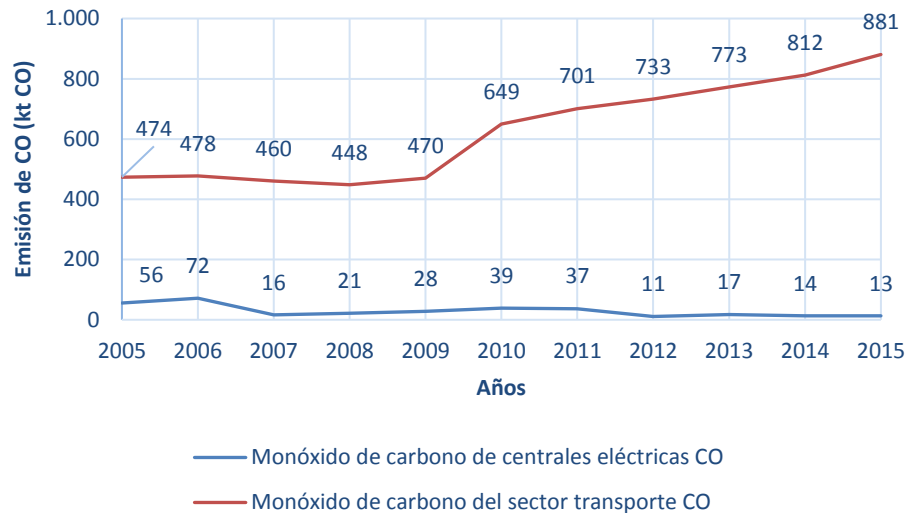


Figura 3.48: Emisión de CO en centrales eléctricas y sector de transporte Ecuador 2005-2015 [27].

Por último, se analiza el tema de tierra, relacionado al subtema de bosques, el indicador ENV6 indica la tasa de deforestación atribuida al uso de energía, en la Figura 3.49 se indica la tasa anual de cambio en base a la tasa de deforestación en la cual se observa que entre los años 2000, 2008 y 2014 se tiene valores de -0,65%, -0,58% y -0,37%, respectivamente, valor que ha ido disminuyendo considerablemente a lo largo del tiempo.



Figura 3.49: Tasa anual de cambio de deforestación Ecuador 2000-2014 [36].

En la Figura 3.50 se indica el promedio anual de deforestación y hasta el año 2014 se tiene un valor de 47497 ha/año, en comparación con el año 2000 que tiene un promedio de 92742 ha/año se diferencia una notable reducción en la deforestación, motivo principal que el uso de leña ha ido disminuyendo en el tiempo ver SOC1.

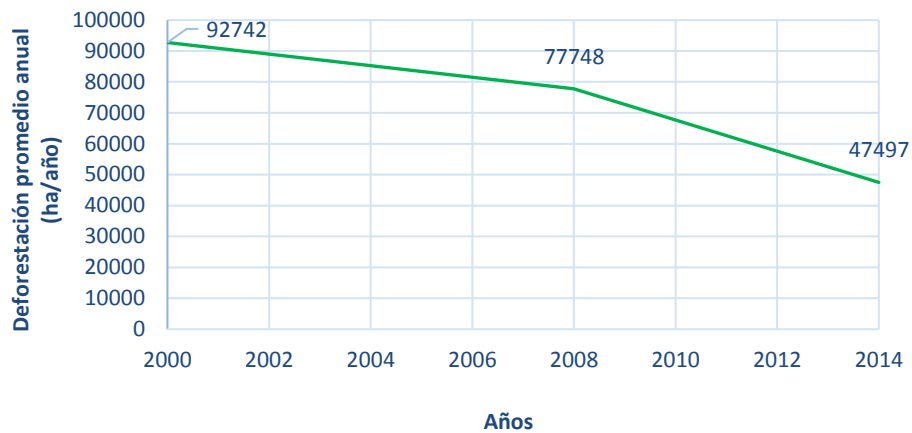


Figura 3.50: Promedio anual de deforestación (ha/año) Ecuador 2000-2014 [36].

A continuación de haber elaborado los indicadores energéticos del desarrollo sostenible en las tres dimensiones antes mencionadas, se pueden apreciar ciertas características del sector energético del Ecuador. En primer lugar, en cuanto al desarrollo social y equidad energética, en Ecuador el 2,82% de la población no posee acceso a la electricidad, La población rural que vive en pobreza depende más del uso de la leña para preparar sus alimentos y para iluminación. Indicador que ha ido disminuyendo esperando reducir aún más el porcentaje de población que no cuenta con electricidad. Se puede notar una pequeña desigualdad social en este aspecto. La otra característica del sector energético de Ecuador es la seguridad energética con la que cuenta el país, ya que en la actualidad ha ido mejorando el % de pérdidas tanto en distribución como en transmisión alcanzando valores de 12,38% y 2,86%. Resultando eficiente en cuanto al sector de electricidad. En cuanto a reservas/ producción de petróleo el país tiene una reserva importante de 38 años hasta el año 2015, motivo por el cual se podría incrementar el nivel de refinación para obtener un petróleo de mejor calidad. En relación a los recursos renovables con los que cuenta el Ecuador, la energía eólica y solar en cuanto a la producción de energía total renovable alcanza un valor de 0,04%. Lo cual resulta sumamente bajo y se debería aprovechar de mayor manera y mejorar su potencial para ser un país energéticamente seguro.

Por último, se toma en cuenta la sostenibilidad ambiental como otra característica del sector energético. Se puede distinguir que el sector de transporte es el sector que más

contamina en relación a las centrales eléctricas y que las emisiones de CO se encuentran en aumento debido a la combustión incompleta de los compuestos carbonados y por las emisiones que origina el parque automotor. En cuanto a las concentraciones de material particulado el Ecuador se encuentra por debajo del límite establecido por EPA lo que resulta beneficio para la salud de las personas.

### 3.4.2. Índice de Sostenibilidad Energética de Ecuador

El siguiente índice de sostenibilidad energética se lo realiza tomando en cuenta los temas del trilema energético que son la equidad energética, seguridad energética y sostenibilidad ambiental, el cual se lo construye normalizando los indicadores reales, los cuales han sido basados en el año más reciente en este caso del año 2015. Así mismo se muestra el análisis de la sostenibilidad de Ecuador y su comparación con 4 países los cuales pueden observarse en anexos.

#### 3.4.2.1. Equidad energética

La dimensión de equidad energética está constituida por 3 indicadores los cuales miden el porcentaje de la población con acceso a la electricidad, el consumo eléctrico per cápita y el índice de Gini. Se obtuvieron los datos de Ecuador en el año 2014 y 2015 sobre estos indicadores y se encuentran normalizados contra el estado de referencia por las ecuaciones lineales determinadas en la Tabla 3.4 y las ecuaciones (3.1) y (3.2).

Tabla 3.5: Equidad energética del Ecuador.

	<b>Población con acceso a electricidad (%)</b>	<b>Consumo eléctrico per cápita (KWh/hab)</b>	<b>Índice de Gini</b>	<b>Total</b>
<b>Indicador real</b>	97,18 <sup>+</sup>	1380,62*	45,4*	-
<b>Indicador normalizado (0-10)</b>	9,74	1,26	5,91	5,63

+ Fuente de datos: [27].

\* Fuente de datos: [11].

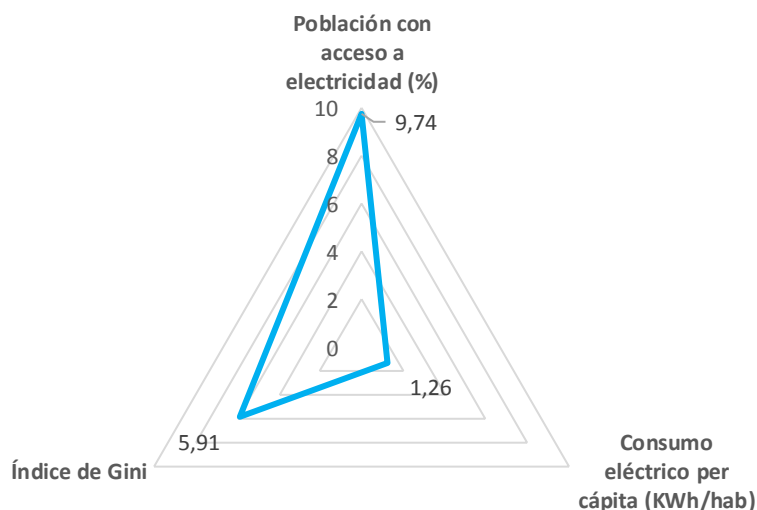


Figura 3.51: Índice de equidad energética de Ecuador.

En la Figura 3.51 se desarrolló el índice de equidad energética del Ecuador en el cual se puede notar que el consumo eléctrico per cápita alcanza un valor de 1,26 KWh/ hab, sin embargo, la población utiliza distintas fuentes de energía (leña, carbón, gas licuado de petróleo) para suplir las necesidades de su entorno, además los programas gubernamentales de eficiencia energética han concientizado el consumo energético en la población. Respecto a este indicador el Ecuador ocupa el tercer lugar superado por Chile y Venezuela y por debajo se encuentra Perú y Colombia; en cuanto al indicador del índice de Gini tiene una calificación medianamente satisfactoria, el cual indica que la distribución del ingreso entre individuos se aleja de una distribución equitativa, esto se debe por las diferentes clases sociales que existe en el país. Y finalmente el indicador que mide la población con acceso a la electricidad es altamente satisfactorio alcanzando el 9.74% de la población que cuenta con electrificación, a pesar que este índice es alto no logra satisfacer las necesidades de toda la población como lo muestran los otros indicadores. En cuanto a la equidad energética, el Ecuador ocupa el tercer lugar de cinco países con un valor de 5,63/10,00 superado por Chile (5,73) y Venezuela (5,74), y por debajo en cambio se encuentra Perú (5,56) y Colombia (5,39).

#### 3.4.2.2. Seguridad energética

La dimensión económica o en este caso conocido como seguridad energética se encuentra formada por 8 indicadores, como son, la aportación de energías renovables y residuos en la producción total de energía; la producción de electricidad con fuentes renovables y nucleares; el costo de la gasolina; la intensidad energética; las pérdidas

de electricidad en transmisión y distribución; las reservas de gas natural; las reservas de petróleo; y la dependencia de importaciones de energía. En la Tabla 3.6 se distinguen los indicadores mencionados anteriormente y normalizados de Ecuador de los años más actuales.

Tabla 3.6: Seguridad energética de Ecuador.

	Energías renovables y residuos en la producción total de energía (%)	Producción de electricidad con fuentes renovables y nucleares (%)	Precio de la gasolina (PPA US\$/L)	Intensidad energética (ktep/ US\$ 2011)	Pérdidas de electricidad en transmisión y distribución (%)	Reservas de gas natural (años)	Reservas de petróleo (años)	Dependencia de importación de energía (%)	Total
<b>Indicador real</b>	5,61 *	49,16*	0,6*	0,081 *	12,92*	18,2 <sup>+</sup>	40,3 <sup>-</sup>	-114,71*	
<b>Indicador normalizado (0-10)</b>	1,50	5,42	8,39	9,89	8,83	2,32	4,58	1,96	5,33

\* Fuente de datos: [11].

+ Fuente de datos: [24].

- Fuente de datos: [25].

En cuanto a la participación en energías renovables y residuos en la producción total de energía el país alcanza una calificación deficiente a nivel mundial de 1,50/10,00 en el cual constituyen la biomasa sólida, líquida, el biogas, los residuos municipales e industriales, en este caso la biomasa es cierta materia vegetal que luego de un proceso de transformación se convierte en combustible, como es el caso de la caña de azúcar que en los últimos años está siendo ocupada para elaborar la gasolina Ecopaís; la calificación de la producción de electricidad con fuentes renovables alcanza un valor medianamente satisfactorio en nuestro indicador de 5,42, la mayor parte el 47,13% está constituido por la energía hidráulica y el 2,03% se encuentra formado por la energía solar y eólica con la que cuenta el país; el precio de la gasolina posee una calificación altamente satisfactorio al usuario, ya que su producción es mayor que la exportación generando una oferta total favorable para el país, además de contar con métodos convencionales para la extracción de petróleo lo cual disminuye el precio por su facilidad; Ecuador en cuanto a reservas de petróleo tiene una calificación de 4,58 que resulta medianamente satisfactoria a nivel mundial, pero se debería aumentar su capacidad de producción y refinación para mejorar la seguridad energética, en cuanto a reservas de gas natural tiene una calificación de 2,32 que es poca satisfactoria motivo



por el cual se deberían explorar y explotar nuevos yacimientos ya que es un productor relativamente pequeño a nivel mundial; a pesar que el Ecuador es un país exportador neto de energía cuenta con una calificación deficiente, este se calcula como el uso de energía menos la producción, como puede verse en la Figura 3.52. Ecuador está ubicado en tercer lugar de cinco países según este análisis, con una calificación de 5,33/10,00 y se encuentra superado por Chile (6,06) y Venezuela (7,14), por debajo se encuentra Perú (5,06) y Colombia (4,99), ver Anexo A.

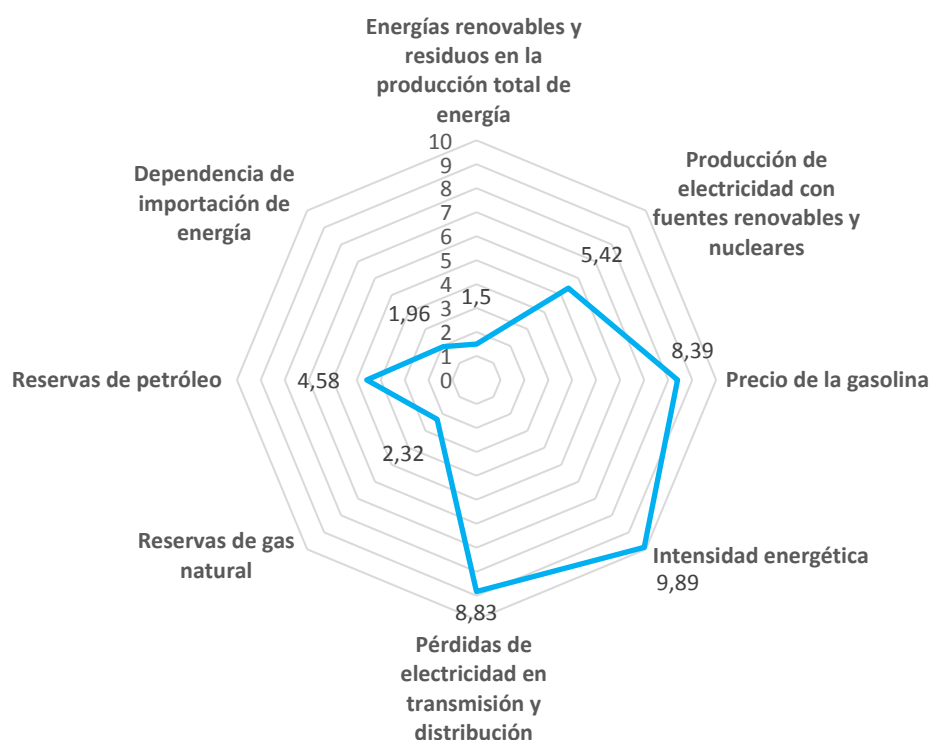


Figura 3.52: Índice de seguridad energética de Ecuador.

### 3.4.2.3. Sostenibilidad ambiental

La dimensión ambiental o también mencionada como sostenibilidad ambiental se encuentra constituida por 8 indicadores que son las emisiones per cápita, emisiones por unidad de PIB, capacidad de fijación de CO<sub>2</sub>, emisiones de CO<sub>2</sub> electricidad y calefacción, emisiones CO<sub>2</sub> por sector de transporte, emisiones de CH<sub>4</sub> por el sector de energía, emisiones de N<sub>2</sub>O por sector de energía e industria y partículas suspendidas (PM<sub>2,5</sub>). En la tabla 3.7 se encuentran detallados los indicadores reales y normalizados de Ecuador.

Tabla 3.7: Sostenibilidad ambiental de Ecuador.

	Emisiones per cápita (tCO <sub>2</sub> /hab	Emisiones por unidad de PIB (kg CO <sub>2</sub> / PPA US\$2010	Capacidad de fijación de CO <sub>2</sub> por parte del territorio cubierta por selva (%)	Emisiones de CO <sub>2</sub> electricidad y calefacción (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> sector transporte (%)	Emisiones CH <sub>4</sub> sector energía	Emisiones N <sub>2</sub> O sector energía e industria	PM 2,5 suspendidas (µg/m <sup>3</sup> )	Total
<b>Indicador Real</b>	2,77*	0,53*	50,5*	26,46*	41,67*	22,72*	3,88*	12,84*	
<b>Indicador normalizado (0-10)</b>	9,38	8,88	5,62	7,61	6,24	7,95	9,65	8,22	7,94

\* Fuente de datos: [11].

En relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB, las emisiones de óxido nitroso en el sector de energía e industria al igual que las partículas suspendidas (PM2,5) alcanzan una calificación altamente satisfactoria a nivel mundial, por lo contrario, las emisiones de CO<sub>2</sub> por el sector de transporte, las emisiones de CO<sub>2</sub> en cuanto a electricidad y calefacción, las emisiones de metano en el sector de energía alcanza una calificación satisfactoria debido a la cantidad del parque automotor que existe en el país ya que en los últimos años aumento el 57%, y en cuanto a las capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> que se refiere al área selvática con la que cuenta el Ecuador alcanzó una calificación medianamente satisfactoria a nivel mundial, como puede verse en la Figura 3.53.

Según este estudio el Ecuador ocupa el segundo puesto de cinco países superado únicamente por Colombia (8,00), por debajo se encuentra Perú (7,80), Venezuela (7,44) y Chile (7,35); indicando que el Ecuador tiene un alto índice de sostenibilidad ambiental obteniendo las menores cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> Y N<sub>2</sub>O producidas y teniendo una buena calidad del aire que no sobrepasa el límite establecido por EPA que es de 50 µg /m<sup>3</sup>.

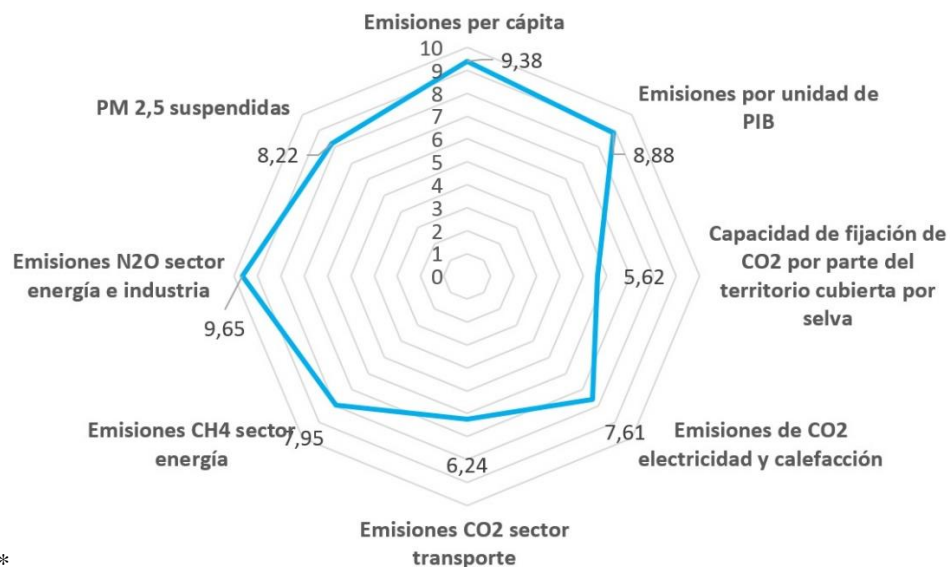


Figura 3.53: Índice de sostenibilidad ambiental de Ecuador.

#### 3.4.2.4. Desempeño económico

El desempeño económico se encuentra descrito por el PIB per cápita el cual es el producto interno bruto dividido por la población a mitad de año, en este análisis el desempeño económico cumple con un rol del 25% del total de la sostenibilidad energética, y el estado de referencia para su normalización se encuentra señalado por una ecuación lineal en la Tabla 3.8. La Tabla 3.9 indica el desempeño del Ecuador con el indicador del PIB per cápita (a precios actuales) real y el normalizado

Tabla 3.8: Estado de referencia del desempeño económico.

Dimensión	Indicador	Máxima sostenibilidad energética (10)	Mínima sostenibilidad energética (5)	Ecuación lineal de normalización
Desempeño económico	PIB per cápita	102.831,3 (US\$ a precios actuales/hab) <sup>A</sup>	285,70 (US\$ a precios actuales/hab) <sup>B</sup>	$I_n = 5 \times 10^{-5} \cdot \text{En} + 4,986$

<sup>A</sup> Valor correspondiente al PIB per cápita de Luxemburgo en el año 2016 [11].

<sup>B</sup> Valor correspondiente al PIB per cápita de Burundi en el año 2016 [11].

Tabla 3.9: Desempeño económico de Ecuador.

	PIB per cápita (US\$ a precios actuales/ hab)
Indicador real	5.969,0*
Indicador normalizado (5-10)	5,28

\*Fuente de datos: [11].

En cuanto al desempeño económico el Ecuador ocupa el 4 puesto de los 5 países analizados superado por Perú (5,29), Venezuela (5,59) y Chile (5,67), por debajo se encuentra Colombia (5,27); el cual influye que el Ecuador tenga una menor sostenibilidad energética, para el año 2015 el Ecuador sufre un decrecimiento del PIB per cápita en un -1,34% [11]. Por último, luego de haber obtenido cada uno de los índices del trilema energético se procede a ponderarlos con el desempeño contextual y a obtener el índice de sostenibilidad energética mediante la ecuación (3-3), ver la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Sostenibilidad energética de Ecuador.

Equidad energética	Seguridad energética	Sostenibilidad ambiental	Desempeño económico	Sostenibilidad energética
5,63	5,33	7,94	5,25	6,04

Ecuador se encuentra calificado según este análisis con un índice de sostenibilidad energética de 6,04/10,00, para lo cual a pesar de tener un índice medianamente satisfactorio de desempeño económico ocupa el tercer puesto de cinco países, superado por Chile (6,20) y Venezuela (6,47), y por debajo se encuentra Perú (5,97) y Colombia (5,91). En la Figura 3.54 se indica el desempeño energético de Ecuador, donde se puede distinguir que el país tiene una calificación satisfactoria en cuanto a sostenibilidad ambiental, sin embargo, cuenta con una calificación medianamente satisfactoria en cuanto a equidad energética y seguridad energética por lo cual debería mejorar.

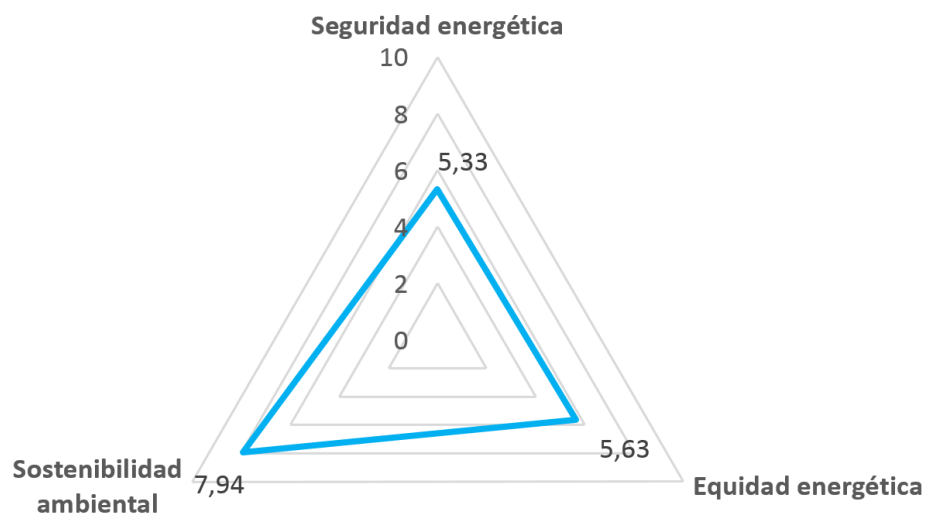


Figura 3.54: Sostenibilidad energética de Ecuador

## CAPÍTULO IV - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Para la elaboración de los indicadores energéticos para el desarrollo sostenible y el índice de sostenibilidad del Ecuador se utilizaron varias bases de datos estadísticas que proporcionaron información. En el mayor de los casos se utilizó información correspondiente a los años 2014 y 2015, como es el caso del Sistema de Información Energética Regional (SIER) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), datos de Indicadores del Desarrollo Mundial del Banco Mundial, y del Consejo Mundial de Energía (WEC). Para la normalización del indicador de reservas de gas natural se emplearon los datos que proporcionan el Consejo Mundial de Energía que hacen referencia únicamente a los años de reserva con los que cuenta el país al 2015, pese a que SIER contaba con las estadísticas de reservas/ producción de gas natural en años, se encontraban valores desacordes, por tal motivo se emplearon los datos proporcionados por el Consejo Mundial de Energía. De la misma manera, para determinar el ratio de las reserva / producción de petróleo, se empleó la información actualizada del WEC.

Según los análisis de IEDS e ISE, Ecuador obtiene un índice de sostenibilidad energética de 6,04/10,00 el cual lo califica como satisfactorio y se ubica en el lugar número tres de cinco países analizados. Su solidez se encuentra dada por la sostenibilidad ambiental, presenta como debilidad la equidad y seguridad energética. En la dimensión social del desarrollo sostenible o equidad energética, Ecuador tiene un índice de 5,63/10,00 lo que lo posiciona en tercer puesto de cinco países analizados. El mayor aporte que existe en este índice es el porcentaje de población que no tiene acceso a la electricidad alcanzando un valor de 2,82%, Por tal motivo, el 14% de la energía consumida por el sector residencial se encuentra dada por la leña, principalmente en áreas pobres y rurales, sin embargo el resto de la población urbana. El 53% de la energía consumida por los hogares se encuentra dada por el gas licuado de petróleo y electricidad con el 33%. En cuanto al consumo eléctrico per cápita ocupa

el tercer puesto de los cinco países estudiados con 1380,62 KWh/hab, que indica la calidad de vida de los países. en el Índice de Gini, Ecuador ocupa el segundo puesto de los cinco países estudiados con un valor de 45,4 (valor adimensional) teniendo una equidad mejor en comparación con los otros países, a pesar que un índice de Gini de 0 representa una equidad perfecta.

Ecuador con respecto a dimensión económica o conocida también como seguridad energética posee un índice de 5,33/10,00, lo que lo ubica en el puesto tres de los cinco países analizados. Cuenta con una reserva importante de petróleo de 40,3 años de reservas / producción al 2015, motivo por el cual el país debería aumentar su capacidad de producción y refinación. De este modo puede reducir la capacidad de importación de energía, en cuanto al gas natural se debería aumentar igualmente su capacidad de producción ya que únicamente produce 0,6 Bcm y cuenta con 10,9 Bcm de reservas probadas al año 2014 teniendo así un ratio de reservas/ producción de 18,2 años. de igual manera, la matriz de energía primaria por consumo de combustible, las energía renovables (eólica y solar) representan el 2,03% ya que no se ha enfatizado por completo en este tipo de energía al igual que en la energía geotermia; existiendo un incentivo mayor por el Estado Nacional en la producción de energía renovable el país se convertiría en un país más seguro energéticamente.

Con respecto a la dimensión ambiental o la sostenibilidad ambiental, Ecuador alcanza un índice de 7,94/10,00, resultando el segundo país entre los cinco analizados, originado principalmente por las bajas emisiones de CO<sub>2</sub> generadas al igual que las emisiones de N<sub>2</sub>O. Además de poseer una buena calidad de aire ya que alcanza los 12,84 µg/m<sup>3</sup>, no sobrepasa los 50,0 µg/m<sup>3</sup> anuales que la EPA recomienda.

## **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda consolidar con instituciones nacionales de estadísticas energéticas para obtener la información más actual para la determinación de los indicadores energéticos del desarrollo sostenible al igual que para el índice de sostenibilidad energética conocer la situación actual y real del país y de esta manera poder identificar las áreas que necesitan mayor interés y poder lograr el desarrollo sostenible y mejorar la equidad, la seguridad y la sostenibilidad ambiental del país.

Se recomienda utilizar un marco institucional que es un conjunto de normas empleadas como base para la realización de estadísticas para la eficiencia energética, así mismo aumentar la producción y refinación de derivados de petróleo y de esta manera disminuir las importaciones de energía, explorar y explotar nuevos yacimientos de gas natural al igual que aumentar su producción, continuar con los programas que ha desarrollado la Dirección Nacional de Eficiencia Energética del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) que ayudan al sector residencial e industrial y aumentar la producción de energía por medio de energía renovable para generar mayor seguridad energética y poder lograr el 100 % de población que cuente con electricidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica, «Indicadores del desarrollo energético sostenible,» [En línea]. Available: [https://www.iaea.org/sites/default/files/indicators\\_sp.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/indicators_sp.pdf).
- [2] Organismo Internacional de Energía Atómica, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, Agencia Internacional de la Energía EUROSTAT Y Agencia Europea de Medio Ambiente, «Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y Metodologías,» 2008. [En línea]. Available: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf).
- [3] S. Meléndez, «Análisis e Interpretación de indicadores energéticos para el desarrollo sostenible de Guatemala,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00179.pdf>.
- [4] Vera, I., Langlois, L., & Rogner, H., Indicators for Sustainable Energy Development: An initiative by the International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria: Blackwell Publishing, 2005.
- [5] Khaled Ben Abdallah, Mounir Belloumi, Daniel de Wolf, «Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector,» 10 May 2013. [En línea]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113002256>.
- [6] B. Chen, Q. Yang, J. S. LI, G. Q. Chen, «Decoupling analysis on energy consumption, embodied GHG emissions and economic growth - The case study of Macao,» January 2017. [En línea]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116305184>.
- [7] R. Robles, «Eficiencia Energética Sostenible: Método para la toma de decisiones,» Marzo 2012. [En línea]. Available:



<http://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/7190/548.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [8] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/balance-energetico/>.
- [9] El Comercio, «Petroecuador exportará 190.000 barriles de fuel Oil N.4,» 30 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/petroecuador-exportara-barriles-fuel-oil.html> .
- [10] British Petroleum, «Statistical Review of World Energy,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.
- [11] Banco Mundial, «Indicadores del desarrollo mundial,» 03 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://datos.bancomundial.org/>.
- [12] Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), «Plan Maestro de Electrificación 2013-2022,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/vol1-Resumen-Ejecutivo-PME-2013-2022.pdf>.
- [13] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), «Balance Nacional de Energía Eléctrica,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>.
- [14] World Commission on Environment and Development (WCED), Our Common Future, New York: Oxford University Press, 1987.
- [15] G. Gallopín, Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistemático, Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas, 2003.

- [16] Davidsdottir, B., & Basoli, D, Measuring Sustainable Energy Developmente (SED), Lissabon: Internatinal Society of Industril Ecology, 2009.
- [17] A. Galante, «Protocolo de Kioto y desarrollo sostenible,» 2011. [En línea]. Available: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16032/1/cuadbiod34\\_03.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16032/1/cuadbiod34_03.pdf).
- [18] B. Davidsdottir, «Sustainable Energy Develoment: Iceland as a Case Study.,» 2007. [En línea]. Available: [http://aceee.org/files/proceedings/2007/data/papers/24\\_3\\_097.pdf](http://aceee.org/files/proceedings/2007/data/papers/24_3_097.pdf).
- [19] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Economic and Social Affairs (UNDESA), Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies., New York, 2007.
- [20] International Atomic Energy Agency, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Energy Indicators for Sustainable Developmente: Country studies on Brazil, Cuba, Lithuania, Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand., Vienna: IAEA, 2006.
- [21] CEGESTI, «La sostenibilidad energética,» 2015. [En línea]. Available: [http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion\\_289\\_150615\\_es.pdf](http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_289_150615_es.pdf).
- [22] Consejo Mundial de la Energía, «La red de líderes del sector energético que promueve el suministro y uso sostenible de la energía en beneficio de todos,» 2014. [En línea]. Available: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC\\_16\\_page\\_document\\_21.3.14\\_ES\\_FINAL.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/04/WEC_16_page_document_21.3.14_ES_FINAL.pdf).
- [23] World Energy Council, «Energy Sustainability Index,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/2013-Energy-Sustainability-Index-VOL-2.pdf>.

- [24] World Energy Council, «World Energy Resources Natural Gas 2016,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Natural\\_Gas\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Natural_Gas_2016.pdf).
- [25] World Energy Council, «World Energy Resources Oil,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Oil\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Oil_2016.pdf).
- [26] Environmental Protection Agency, «Particle Pollution and Your Health,» September 2003. [En línea]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1001EX6.txt>.
- [27] Base de datos Sistema de Información Energética Nacional SIER, «Estadísticas Energética ALC,» 2015. [En línea]. Available: <http://sier.olade.org/consultas/sistema-numericos.aspx?ss=2>.
- [28] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), «Base de Datos y Publicaciones Estadísticas,» 2016. [En línea]. Available: [http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/buscador.asp?idioma=e&string\\_busqueda=CONCENTRACION](http://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/buscador.asp?idioma=e&string_busqueda=CONCENTRACION).
- [29] Organización Internacional de Normalización, «Gana el desafío de la energía con ISO 50001,» 2011. [En línea]. Available: [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso\\_50001\\_energy-es.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso_50001_energy-es.pdf).
- [30] X. Rodríguez, «Eficiencia Energética y Desarrollo Sostenible en el Ecuador,» 21 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.econintsa.ec/eficiencia-energetica-y-desarrollo-sostenible-en-el-ecuador/>.
- [31] EL TELÉGRAFO, «Utilización de focos ahorradores,» 30 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/columnistas/1/utilizacion-de-focos-ahorradores>.

- [32] EL UNIVERSO, «7 de 8 hidroeléctricas con fecha de entrega en el 2016,» 18 Febrero 2015. [En línea]. Available:  
<http://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/18/nota/4564726/7-8-hidroelectricas-fecha-entrega-2016>.
- [33] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Villonaco Proyecto de Generación,» 02 Enero 2013. [En línea]. Available:  
<http://www.energia.gob.ec/villonaco/>.
- [34] EL TELÉGRAFO, «Caña de azúcar propicia cambio de matriz energética del país,» 06 Octubre 2013. [En línea]. Available:  
<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/cana-de-azucar-propicia-cambio-de-matriz-energetica-del-pais>.
- [35] Index mundi, «Petróleo - reservas comprobadas (metros cúbicos),» 01 Enero 2014. [En línea]. Available:  
<http://www.indexmundi.com/g/r.aspx?c=ec&v=98&l=es>.
- [36] Ministerio del Ambiente. Sistema Único de Información Ambiental, «Tasa de Deforestación,» 2015. [En línea]. Available:  
<http://snia.ambiente.gob.ec:8090/indicadoresambientales/pages/indicators.jsf>.
- [37] Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador AIHE, «EL PETRÓLEO EN CIFRAS,» 2012. [En línea]. Available:  
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00065.pdf>.

## ANEXO A: ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Tabla A.1: Índice de Sostenibilidad Energética

País [ISO]	Sostenibilidad energética	Rank de sostenibilidad energética	Seguridad energética	Rank de seguridad energética	Equidad energética	Rank de equidad energética	Sostenibilidad ambiental	Rank de sostenibilidad ambiental	PIB per cápita (US\$ a precios actuales/ hab)
Venezuela [ISO]	6,47	1	7,14	1	5,74	1	7,44	4	<b>12237,22</b>
Chile [CHL]	6,2	2	6,06	2	5,73	2	7,35	5	<b>13792,9</b>
<b>Ecuador [ECU]</b>	<b>6,04</b>	<b>3</b>	<b>5,33</b>	<b>3</b>	<b>5,63</b>	<b>3</b>	<b>7,94</b>	<b>2</b>	<b>5969</b>
Perú [PER]	5,97	4	5,22	4	5,56	4	7,80	3	<b>6045,7</b>
Colombia [COL]	5,91	5	4,99	5	5,39	5	8,00	1	<b>5805,6</b>

## ANEXO B: REFERENCIAS DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD

Tabla B.1: Referencias de información utilizada para el ISE

<b>Indicador</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Año de referencia</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Fuente</b>
Porcentaje de población con acceso a electricidad	Equidad energética	2015	SIER	[21]
Consumo eléctrico per cápita	Equidad energética	2014	IDM	[6]
Índice de Gini	Equidad energética	El más actual	IDM	[6]
Porcentaje de energías renovables y residuos en producción de energía	Seguridad energética	El más actual	IDM	[6]
Producción de electricidad con fuentes renovables y nuclear	Seguridad energética	El más actual	IDM	[6]
Precio de gasolina para el usuario	Seguridad energética	2014	IDM	[6]
Intensidad energética (Consumo energía /PIB)	Seguridad energética	El más actual	IDM	[6]
Pérdidas de electricidad en transmisión y distribución	Seguridad energética	2014	IDM	[6]
Reservas estratégicas de gas natural	Seguridad energética	El más actual	WEC	[20]
Reservas estratégicas de petróleo	Seguridad energética	2015	SIER	[21]
Dependencia de importación de energía	Seguridad energética	El más actual	IDM	[6]
Emisiones CO <sub>2</sub> per cápita	Sostenibilidad ambiental	2013	IDM	[6]
Emisiones CO <sub>2</sub> por PIB	Sostenibilidad ambiental	2014	IDM	[6]
Porcentaje de area selvática	Sostenibilidad ambiental	2015	IDM	[6]
Porcentaje de emisiones CO <sub>2</sub> de electricidad y calefacción	Sostenibilidad ambiental	2014	IDM	[6]
Porcentaje de emisiones CO <sub>2</sub> transporte	Sostenibilidad ambiental	2014	IDM	[6]
Porcentaje emisiones CH <sub>4</sub> sector energía	Sostenibilidad ambiental	2008	IDM	[6]
Porcentaje emisiones N <sub>2</sub> O sector energía e industria	Sostenibilidad ambiental	2008	IDM	[6]
Partículas suspendidas PM <sub>2,5</sub>	Sostenibilidad ambiental	2015	IDM	[6]

**ANEXO C: TABLA DE CRITERIO PARA DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE INDICADORES**

Tabla C.1: Tabla de criterio para analizar el ISE.

Altamente satisfactorio	8-10
Satisfactorio	6-8
Medianamente satisfactorio	4-6
Poco satisfactorio	2-4
Deficiente	0-2