



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**Metodología analítica para el análisis de
alternativas en la evaluación ambiental
estratégica y sus incertidumbres en la
toma de decisiones**

Tesis doctoral
Ramona Lidibert González González

Director
Dr. Javier Rodrigo Ilarri

Valencia, marzo de 2022

Con todo mi amor a:
Amariles, Sophia y Pavel
Por todo su amor y apoyo incondicional.
Sin ustedes este logro no hubiera sido posible.

Resumen

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) proporciona el marco para la articulación de los proyectos de forma coherente y respetuosa con el medio ambiente, condiciones sociales, políticas y económicas (Arce y Gullón, 2000) y aunque comúnmente se le conoce a la EAE como una herramienta, esta representa un proceso que puede mejorar la toma de decisiones y propiciar el desarrollo sostenible (Bidstrup y Hansen, 2014).

El análisis de alternativas es una de las áreas más débiles de la EAE, debido a que no se ha investigado suficientemente qué funciona y qué no en el desarrollo, evaluación y selección de alternativas. Estas investigaciones deben incluir enfoques sistemáticos para la identificación y el desarrollo de alternativas, para involucrar plenamente a las partes interesadas en su definición y evaluación, y proporcionar detalles suficientes al documentar el proceso de la selección (González et al., 2018). A estas debilidades se añade la dificultad de desarrollar una metodología que sea adaptable a diferentes contextos. Estos condicionantes han encauzado la construcción de la metodología desarrollada en esta tesis y así, lograr minimizar estas brechas, planteando un método analítico, simple y flexible.

La metodología denominada “Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales (ISAEA) y sus incertidumbres”, parte de la utilización de indicadores simples contruidos en base a las metas que se plantean en el instrumento evaluado en la EAE. Al construir los indicadores partiendo de los criterios de los propios objetivos o metas del Plan, Proyecto o Programa (PPP), se disminuye la complejidad y ambigüedad que típicamente existe en la construcción y/o selección de indicadores ambientales, pues queda

claro la dirección que debe seguirse en la construcción del indicador. Los criterios de construcción permiten optimizar la calidad del indicador, ya que el mismo describe el objetivo y, por ende, se manejan indicadores que son los adecuados para ese PPP en particular, es decir, adaptado al contexto preciso del PPP.

El ISAEA se complementa con un análisis de incertidumbre, que ofrece al tomador de decisiones herramientas completas para proceder a seleccionar con información cuantitativa, la alternativa que más conveniente para el PPP estudiado.

De este modo, la metodología propuesta proporciona un índice que representa en qué medida se acerca la alternativa a la meta planteada, aportando además una adaptación de los análisis de incertidumbre al uso de indicadores compuestos.

La experiencia de la aplicación de esta metodología en ambos de sus componentes principales, el ISAEA y el análisis de incertidumbre, deja de manifiesto la importancia de la cooperación abierta de la entidad promotora del PPP para garantizar el flujo de información y más importante aún, de información confiable.

Tras el desarrollo de la presente investigación se concluye que la metodología desarrollada aporta una herramienta valiosa, que puede ser utilizada de forma simple y a la vez permite reflejar las circunstancias propias del PPP. A la vez, la metodología ofrece resultados en un lenguaje matemático llano, fácilmente entendible para los tomadores de decisiones. La metodología que se aporta en esta investigación doctoral llega a minimizar una brecha en la temática de selección de alternativas en la EAE, ya que se basa en información cuantitativa y a la vez ha asumido un desafío pendiente en evaluaciones ambientales al incorporar el análisis de incertidumbre como un criterio de acompañamiento al ISAEA, que permite realizar una selección de alternativas estratégicas en base a criterios científicos.

Resum

L'Avaluació Ambiental Estratègica (AAE) proporciona el marc per a l'articulació dels projectes de forma coherent i respectuosa amb el medi ambient, condicions socials, polítiques i econòmiques (Arce i Gullón, 2000) i encara que comunament se li coneix a la AAE com una eina, aquesta representa un procés que pot millorar la presa de decisions i propiciar el desenvolupament sostenible (Bidstrup i Hansen, 2014).

L'anàlisi d'alternatives és una de les àrees més febles de la AAE, pel fet que no s'ha investigat prou què funciona i què no en el desenvolupament, avaluació i selecció d'alternatives. Aquestes investigacions han d'incloure enfocaments sistemàtics per a la identificació i el desenvolupament d'alternatives, per involucrar plenament a les parts interessades en la seva definició i avaluació, i proporcionar detalls suficients al documentar el procés de la selecció (González et al., 2018). A aquestes debilitats s'afegeix la dificultat de desenvolupar una metodologia que sigui adaptable a diferents contextos. Aquests condicionants han canalitzat la construcció de la metodologia desenvolupada en aquesta tesi i així, aconseguir minimitzar aquestes bretxes, plantejant un mètode analític, simple i flexible.

La metodologia anomenada "Índex de Selecció d'Alternatives Estratègiques Ambientals (ISAEA) i les seves incerteses", part de la utilització de indicadors simples construïts en base a les metes que es plantegen en el instrument avaluat en l'AAE. Al construir els

indicadors partint dels criteris dels propis objectius o metes de el Pla, Projecte o Programa (PPP), es disminueix la complexitat i ambigüitat que típicament existeix en la construcció i/o selecció d'indicadors ambientals, ja que queda clar la direcció que ha de seguir-se en la construcció de l'indicador. Els criteris de construcció permeten optimitzar la qualitat de l'indicador, ja que el mateix descriu el objectiu i, per tant, es manegen indicadors que són els adequats per a aquest PPP en particular, és a dir, adaptat al context precís de l'PPP.

L'ISAEA es complementa amb una anàlisi d'incertesa, que ofereix al prenedor de decisions eines completes per a procedir a seleccionar amb informació quantitativa, l'alternativa que més convenient per al PPP estudiat.

D'aquesta manera, la metodologia proposada proporciona un índex que representa en quina mesura s'acosta l'alternativa a la meta plantejada, aportant a més una adaptació de les anàlisis d'incertesa a l'ús d'indicadors com-llocs.

L'experiència de l'aplicació d'aquesta metodologia en tots dos dels seus components principals, l'ISAEA i l'anàlisi d'incertesa, deixa de manifest la importància de la cooperació oberta de l'entitat promotora de l'PPP per garantir el flux d'informació i, més important encara, d'informació amb-fiable.

Després de concloure la present investigació queda demostrat que la metodologia desenvolupada aporta una eina valuosa, que pot ser utilitzada de forma simple i alhora permet reflectir les circumstàncies pròpies de l'PPP. Alhora, la metodologia ofereix resultats en un llenguatge matemàtic pla, fàcilment comprensible per als prenedors de decisions. La metodologia que s'aporta en aquesta tesi doctoral arriba a minimitzar una bretxa en la temàtica de selecció d'alternatives a l'EAE, ja que es basa en informació quantitativa i alhora ha assumit un repte pendent en avaluacions ambientals a l'incorporar el anàlisi d'incertesa com un criteri d'acompanyament a l'ISAEA, que permet realitzar una selecció d'alternatives estratègiques en base a criteris científics.

Abstract

Strategic Environmental Assessment (SEA) provides the framework for the articulation of projects in a coherent and respectful way with the environment, social, political and economic conditions (Arce and Gullón, 2000). Although SEA is commonly known as a tool, it represents a process that can improve decision-making and promote sustainable development (Bidstrup and Hansen, 2014).

The analysis of alternatives is one of the weakest areas of SEA, because what works and what does not in the development, evaluation and selection of alternatives has not been sufficiently investigated. These investigations should include systematic approaches for the identification and development of alternatives, to fully involve stakeholders in their definition and evaluation, and provide sufficient detail when documenting the selection process (González et al., 2018). Besides these weaknesses, the difficulty of developing a methodology that is adaptable to different contexts appears. These conditioning factors have guided the construction of the methodology developed in this thesis and thus, manage to minimize these gaps, proposing an analytical, simple and flexible method.

The methodology called “Selection Index for Strategic Environmental Alternatives (ISAEA) and its uncertainties”, starts from the use of simple indicators built on the basis of the goals set out in the instrument evaluated by the SEA. By constructing the indicators based on the criteria of the objectives or goals of the Plan, Project or Program (PPP), the complexity and ambiguity that typically exists in the construction and/or selection of environmental indicators is reduced, since the direction to be followed in the construc-

tion of the indicator. The construction criteria allow optimizing the quality of the indicator, since it describes the objective and, therefore, indicators are used that are appropriate for that particular PPP, that is, adapted to the precise context of each PPP.

The ISAEA is complemented with an uncertainty analysis, which offers the decision maker complete tools to proceed to select with quantitative information, the most convenient alternative for the PPP studied.

Therefore, the proposed methodology provides an index that represents to what extent the alternative approaches the proposed goal, also providing an adaptation of the uncertainty analyzes to the use of composite indicators.

The experience of applying this methodology in both of its main components, the ISAEA and the uncertainty analysis, shows the importance of the open cooperation of the PPP promoter to guarantee the flow of information and, more importantly, reliable information.

After the development of this research, it is concluded that the developed methodology provides a valuable tool, which can be used in a simple way while allowing reflecting the circumstances of the PPP. At the same time, the methodology offers results in plain mathematical language, easily understood by decision makers. The methodology provided in this doctoral research minimizes a gap in the subject of selecting alternatives in SEA, since it is based on quantitative information and at the same time has assumed a pending challenge in environmental evaluations by incorporating the uncertainty analysis as an accompanying criterion to the ISAEA, which allows a selection of strategic alternatives based on scientific criteria.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Dr. Javier Rodrigo Ilarri. Durante estos estudios aprendí mucho de usted y aprovecho para expresarle mi admiración por su calidez humana y su capacidad científica. Gracias por guiarme y acompañarme en este proyecto. Usted ha sido un apoyo fundamental para alcanzar este logro.

Al Dr. J. Jaime Gómez Hernández y a los demás profesores y doctorandos del Grupo de Hidrogeología de la UPV. Gracias por permitirme estar con ustedes y por todo su apoyo.

Índice

Índice de figuras

Índice de tablas

Abreviaturas

1. Introducción y Justificación	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivo general y específicos	5
1.4. Descripción de capítulos	5
2. Estado del arte	9
2.1. Concepto de Evaluación Ambiental Estratégica. Diferencias con la Evaluación de Impacto Ambiental	9
2.2. Antecedentes de la EAE en el mundo.....	14
2.3. Aspectos legales referentes a la EAE en España y República Dominicana	17
2.3.1 Aspectos legales referentes a la EAE en España.....	17
2.3.2 Aspectos legales en la República Dominicana.....	21
2.4. EAE vínculos, procesos y limitaciones en la toma de decisiones	22

2.5.	Análisis de las alternativas, fases, debilidades y mejores prácticas	26
2.6.	Indicadores simples	31
2.7.	Indicadores compuestos	37
2.3.3	Metodología de Construcción de Indicadores Compuestos	39
2.8	Análisis de la incertidumbre	56
2.9	Índices existentes en el ámbito ambiental	59
3.	Situación de la evaluación ambiental estratégica en los países de Centroamérica y el Caribe	67
3.1.	Introducción	67
3.2.	Metodología	70
3.3	Descripción de los sistemas de gestión de evaluación ambiental estratégica	72
3.3.1.	Marco legal	72
3.3.2.	Operatividad/Procedimientos	76
3.4.	Posición de la EAE en los países de Centroamérica	78
4.	Metodología para el análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones	83
4.1.	Definición conceptual de la metodología	83
4.2.	Descripción de alternativa. Consideraciones generales	84
4.3.	Dimensiones ambientales	85
4.4.	Indicadores simples	88
4.5.	Normalización de datos, ponderación y agregación	88
4.6.	Incertidumbre	90
4.6.1.	Determinar las fuentes de incertidumbre para cada indicador de cada ISAEA	90
4.6.2.	Verificación de disponibilidad de datos	90
4.6.3.	Aplicación de técnicas de generación de incertidumbre	91
4.6.4.	Cálculo de incertidumbre por alternativa	91
4.7	Selección de alternativas	91
5.	Aplicación de la metodología para el análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones	93

5.1	Introducción.....	93
5.2	Plan Energético Nacional (PEN) de la República Dominicana 2004-2015 (PEN-2015).....	94
5.3	Descripción de Alternativas.....	96
5.3.1.	Sector Eléctrico	97
5.3.1.1.	Alternativa 1.1 - Incrementar la producción energía en base a carbón mineral.....	97
5.3.1.2.	Alternativa 1.2 - Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas natural.....	99
5.3.2.	Sector fuente de energía renovable	100
5.3.2.1.	Alternativa 2.1- Aumentar la producción de energía eólica	101
5.3.2.3.	Alternativa 2.3 - Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales.....	102
5.3.2.4.	Alternativa 2.4 - Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos	103
5.3.2.5.	Alternativa 2.5 - Incrementar el uso del biodiesel	104
5.3.3.	Uso racional de la energía	105
5.3.3.1.	Alternativa 3.1 - Incrementar el uso racional de la energía	105
5.4	Determinación de Dimensiones de Análisis	105
5.4.1.	Sector Generación Eléctrica.....	106
5.4.2.	Fuentes de energía renovable.....	107
5.4.3.	Uso Racional de la Energía (URE)	109
5.5	Metas u objetivos a alcanzar.....	109
5.6	Definición de indicadores	112
5.7	Obtención de los valores de los indicadores.....	115
5.7.1.	Indicadores Alternativa 1- Sector energía eléctrica	115
5.7.1.1.	Alternativa 1 – Indicador 1 - Estimaciones GEI por unidad de electricidad generada para carbón mineral y gas natural.....	115
5.7.1.2.	Alternativa 1 – Indicador 2 - Proporción de emisiones respecto a las emisiones totales del sistema del carbón mineral y gas natural.	116
5.7.1.3.	Alternativa 1 – Indicador 3 - Estructura de generación por tipo de combustible – carbón mineral y gas natural	116
5.7.1.4.	Alternativa 1 – Indicador 4 - Intensidad de emisiones respecto a la población – carbón mineral y gas natural.....	117

5.7.1.5 Alternativa 1 – Indicador 5 -Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral y gas natural.....	118
5.7.1.6 Alternativa 1 – Indicador 6 - Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbonos para carbón mineral y gas natural.....	118
5.7.2. Alternativa 2- Sector fuentes de energías renovables.....	119
5.7.2.1. Alternativa 2 – Indicador 1 - Proporción de emisiones GEI - energía eólica.....	119
5.7.2.2. Alternativa 2 – Indicador 2 - Proporción emisiones GEI por unidad de energía generada en base a la matriz de energía – energía eólica.....	120
5.7.2.3. Alternativa 2 – Indicador 3 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – energía eólica.....	120
5.7.2.4. Alternativa 2 – Indicador 4- Número de MW proyectados – energía eólica.....	121
5.7.2.5. Alternativa 2 – Indicador 5 -Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica.....	121
5.7.2.6. Alternativa 2 – Indicador 6 - Proporción de reducción de costos por bonos de carbono	122
5.7.2.7. Alternativa 2 – Indicador 7 -Número de hectáreas sembradas por año – etanol.....	123
5.7.2.8. Alternativa 2 – Indicador 8 -Número de galones anuales producidos de etanol.....	123
5.7.2.9. Alternativa 2 – Indicador 9 - Proporción de emisiones GEI – etanol	123
5.7.2.10. Alternativa 2 – Indicador 10 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – etanol	125
5.7.2.11. Alternativa 2 – Indicador 11 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol.....	125
5.7.2.12. Alternativa 2 – Indicador 12 - Número de MW proyectados – uso de residuos agrícolas y animales (RAA).....	126
5.7.2.13. Alternativa 2 – Indicador 13 - Proporción de emisiones GEI – uso de residuos agrícolas y animales (RAA).....	126
5.7.2.14. Alternativa 2 – Indicador 14 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía- uso de residuos agrícolas y animales (RAA) 127	
5.7.2.15. Alternativa 2 – Indicador 15 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales (RAA)	127

5.7.2.16.	Alternativa 2 – Indicador 16 - Número de MW proyectados – uso de residuos sólidos urbanos (RU).....	128
5.7.2.17.	Alternativa 2 – Indicador 17 - Proporción de emisiones GEI – uso de residuos sólidos urbanos (RU)	128
5.7.2.18.	Alternativa 2 – Indicador 18 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía- uso de residuos sólidos urbanos (RU)	129
5.7.2.19.	Alternativa 2 – Indicador 19 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos sólidos urbanos (RU)	129
5.7.2.20.	Alternativa 2 – Indicador 20 - Número de hectáreas sembradas por año- biodiesel	130
5.7.2.21.	Alternativa 2 – Indicador 21 - Número de galones anuales de biodiesel.....	130
5.7.3.	Alternativa 3 – Uso racional de la energía (URE)	130
5.7.3.1.	Alternativa 3 – Indicador 1 -Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta - URE	131
5.7.3.2.	Alternativa 3 – Indicador 2 - Proporción de reducción de emisiones GEI – URE.....	133
5.7.3.3.	Alternativa 3 – Indicador 3 - Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía URE	133
5.7.3.4.	Alternativa 3 – Indicador 4- Ahorro por bonos de carbono URE	134
5.8	Resultados del índice de selección de alternativas estratégicas ambientales (ISAEA)	135
5.8.1.	Resultados de la Alternativa 1- Sector energía eléctrica.....	135
5.8.2.	Resultados de la Alternativa 2- Sector fuentes de energías renovables.....	136
5.8.2.1.	Resultados de Energía eólica – Alternativa 2.1	137
5.8.2.2.	Resultados de Uso de Etanol – Alternativa 2.2.....	139
5.8.2.3.	Resultados del Uso de residuos agrícolas y animales (RAA) – Alternativa 2.3	140
5.8.2.4.	Resultados del Uso de residuos sólidos urbanos (RU) – Alternativa 2.4	140
5.8.2.5.	Resultados Uso del Biodiesel – Alternativa 2.5.....	141
5.8.3.	Alternativa 3 – Uso racional de la energía (URE)	142
5.9	Evaluación de las Incertidumbre de las alternativas.....	144

5.9.1. Identificación de fuentes de incertidumbres y dependencia.....	144
5.9.2. Disponibilidad de datos.	148
5.9.2.1. Fuente de datos.....	148
5.9.2.2 Supuestos del Plan.....	148
5.9.3. Cálculo de incertidumbres.....	151
5.9.3.1. Cálculo de incertidumbre para datos de emisiones de gases GEI.....	151
5.9.3.2. Cálculo de incertidumbre para supuestos del PEN-2015	154
5.9.4 Cálculo de incertidumbres por alternativas	156
5.10 Selección de alternativa.....	157
5.10.1. Resultados Selección de Alternativa 1- Subsector Energía Eléctrica	158
5.10.2. Resultados Selección de Alternativa 2 –Fuentes de Energías Renovables.....	159
5.10.3. Resultados Selección de Alternativa 3 – Subsector Uso Racional de la Energía (URE)	160
5.11 Recomendaciones para el “Plan Energético Nacional de la República Dominicana (PEN-2015)”	163
6. Resumen y conclusiones.....	165
7. Líneas de futura investigación	171
8. Contribuciones científicas	173
9. Referencias	175
10. ANEXO 1	187
11. ANEXO 2	209
12. ANEXO 3	211
13. ANEXO 4	223

Índice de figuras

Figura 2.1.- Niveles de evaluaciones ambientales	10
Figura 2.2.- Diferencia entre EIA y EAE.....	11
Figura 2.3.- Cronología de los eventos más relevantes en el desarrollo de la EAE.....	16
Figura 2.4.- Procedimiento para Evaluación Ambiental Estratégica Ordinaria en la formulación de la Declaración Ambiental Estratégica	19
Figura 2.5.- “Modelos teóricos – Sincronización de los procesos de toma de decisiones con la EAE”.....	23
Figura 2.6.- Principales limitaciones de la EAE	24
Figura 2.7.- Debilidades en la etapa de identificación y desarrollo de selección de alternativas	27
Figura 2.8.- Debilidades en la etapa de evaluación y comparación de selección de alternativas	27
Figura 2.9.- Debilidades en la etapa de selección y documentación de selección de alternativas	28
Figura 2.10.- Marcos (a) PSR (b) DSR (c) DPSIR	33
Figura 2.11.- Principios de producción estadística de Eurostat	44
Figura 2.12.- Prerrequisito y dimensiones de datos de calidad de DQAF	45
Figura 2.13.- Dimensiones de calidad del Marco de la OECD	46
Figura 2.14.- Dimensiones de calidad para la gestión estadística de indicadores compuestos.....	46
Figura 4.1.- Descripción gráfica del método ISAEA	84
Figura 4.2.- Niveles de acción para definición de las dimensiones ambientales	86
Figura 4.3.- Descripción gráfica de la selección de las dimensiones ambientales	87
Figura 4.4.- Descripción gráfica método de proximidad al objetivo.....	89
Figura 4.5.- Variación del ISAEA considerando los valores de incertidumbre	92
Figura 5.1.- Distribución Lognormal para las emisiones de gases GEI – Carbón mineral	151
Figura 5.2.- Distribución Lognormal para las emisiones de gases GEI – Gas natural	151
Figura 5.3.- Resultados modelación MonteCarlo para las emisiones de gases GEI – Carbón mineral	152

Figura 5.4.- resultados modelación MonteCarlo para las emisiones de gases GEI – Gas natural	152
Figura 5.5.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 1 subsector energía eléctrica	158
Figura 5.6.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 2 subsector fuentes de energías renovables.....	160
Figura 5.7.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 3 subsector uso racional de energía (URE)	162

Índice de tablas

Tabla 2.1.- Diferencia entre la EAE y la EIA	12
Tabla 2.2.- Principales métodos y herramientas utilizados en la evaluación de alternativas	30
Tabla 2.3.- Procedimiento de la metodología de validación de indicadores ambientales	35
Tabla 2.4.- Pros y contras de los indicadores compuestos	38
Tabla 2.5.- Métodos más comunes para procesos de normalización de datos. Ventajas y desventajas	48
Tabla 2.6.- Métodos más comunes para procesos de ponderación. Ventajas y desventajas	50
Tabla 2.7.- Métodos más comunes para procesos de agregación. Ventajas y desventajas	54
Tabla 2.8.- Ejemplos de fuente de incertidumbre en el proceso de toma de decisiones ambientales.....	57
Tabla 2.9.- Algunos índices en el ámbito ambiental	64
Tabla 3.1.- Antecedentes de acciones en la región de Centroamérica	69
Tabla 3.2.- Lista de instituciones y funcionarios de las encuestas procesadas	72
Tabla 3.3.- Leyes y reglamentos ambientales de los países evaluados	74
Tabla 3.4.- Resumen del componente legal/institucional para los países evaluados	75
Tabla 3.5.- Resumen del componente operatividad/procedimientos para los países evaluados	77
Tabla 5.1.- Alternativas del PEN-2015	96
Tabla 5.2.- Componentes de la Alternativa 3 – Incrementar el uso racional de la energía.....	97
Tabla 5.3.- Plan indicativo de expansión base a carbón mineral (en MW).....	97
Tabla 5.4.- Plan indicativo de expansión en base a ciclos combinados a gas natural (en MW).....	99
Tabla 5.5.- Proyectos eólicos contemplados en el Plan de Expansión.....	101
Tabla 5.6.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector generación eléctrica.....	106
Tabla 5.7.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector fuentes de energía renovables	108

Tabla 5.8.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector uso racional de la energía (URE)	109
Tabla 5.9.- Metas para alternativa 1	110
Tabla 5.10.- Metas para alternativa 2	111
Tabla 5.11.- Metas para alternativa 3	112
Tabla 5.12.- Criterios de valoración para selección de indicadores	113
Tabla 5.13.- Indicadores y dimensiones de análisis	114
Tabla 5.14.- Indicador Estimaciones GEI por unidad de electricidad generada para las alternativas 1.1. y 1.2.....	116
Tabla 5.15.- Indicador Proporción de emisiones respecto a las emisiones totales del sistema para las alternativas 1.1. y 1.2.....	116
Tabla 5.16.- Indicador Estructura de generación por tipo de combustible – carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2	117
Tabla 5.17.- Indicador Intensidad de emisiones respecto a la población – carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2	117
Tabla 5.18.- Indicador Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2	118
Tabla 5.19.- Indicador Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbonos para carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2.....	119
Tabla 5.20.- Indicador Proporción de emisiones GEI	120
Tabla 5.21.- Indicador Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada en base a la matriz de energía – energía eólica.....	120
Tabla 5.22.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía..	121
Tabla 5.23.- Indicador Número de MW proyectados	121
Tabla 5.24.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica	122
Tabla 5.25.- Indicador Proporción de reducción de costos por bonos de carbono.....	122
Tabla 5.26.- Indicador Número de hectáreas sembradas por año – etanol.....	123
Tabla 5.27.- Indicador Número de galones anuales producidos de etanol	123
Tabla 5.28.- Indicador Proporción de emisiones GEI – etanol.....	124
Tabla 5.29.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – etanol.....	125

Tabla 5.30.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol	125
Tabla 5.31.- Indicador Número de MW proyectados – uso de residuos agrícolas y animales	126
Tabla 5.32.- Indicador Proporción de emisiones GEI – uso de residuos agrícolas y animales	126
Tabla 5.33.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – uso de residuos agrícolas y animales	127
Tabla 5.34.- Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales	127
Tabla 5.35.- Indicador Número de MW proyectados – uso de residuos sólidos urbanos.....	128
Tabla 5.36.- Indicador Proporción de emisiones GEI – uso de residuos sólidos urbanos (RU).....	128
Tabla 5.37.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía– uso de residuos sólidos urbanos (RU).....	129
Tabla 5.38.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos sólidos urbanos (RU).....	129
Tabla 5.39.- Indicador Número de hectáreas sembradas por año- biodiesel.....	130
Tabla 5.40.- Indicador Número de galones anuales de biodiesel.....	130
Tabla 5.41.- Indicador Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta - URE.....	132
Tabla 5.42.- Indicador Proporción de reducción de emisiones GEI - URE	133
Tabla 5.43.- Indicador Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía URE	134
Tabla 5.44.- Indicador Ahorro por certificados en bonos de carbono URE.....	134
Tabla 5.45.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - alternativa 1.1	136
Tabla 5.46.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - alternativa 1.2	136
Tabla 5.47.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.1	138
Tabla 5.48.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.2	139
Tabla 5.49.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.3	140

Tabla 5.50.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.4.....	141
Tabla 5.51.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.5.....	141
Tabla 5.52.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 3.1.....	143
Tabla 5.53.- Resultados del ISAEA para cada alternativa.....	144
Tabla 5.54.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 1	145
Tabla 5.55.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 2	146
Tabla 5.56.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 3	147
Tabla 5.57.- Datos de emisiones de gases en t CO ₂	148
Tabla 5.58.- Respuestas enviadas y modificadas en el cuestionario de expertos	149
Tabla 5.59.- Justificación a las respuestas modificadas del cuestionario de experto ..	150
Tabla 5.60.- Resultados del cálculo de incertidumbre para datos de emisiones de gases GEI	154
Tabla 5.61.- Resultados del cálculo de incertidumbre para los supuestos del PEN	155
Tabla 5.62.- Resultados del cálculo de incertidumbre total para cada alternativa y su ISAEA	156
Tabla 5.63.- Resultado final para selección de alternativa- Alternativa 1 subsector energía eléctrica	158
Tabla 5.64.- Resultado final para selección de alternativa - Alternativa 2 subsector fuentes de energías renovables.....	160
Tabla 5.65.- Resultado final para selección de alternativa - Alternativa 3 uso racional de la energía (URE).....	161

Abreviaturas

ACP	Análisis Componentes Principales
AHP	<i>Analytic Hiererchy Process</i>
APC	Agencia Presidencial de Cooperación
BA	<i>Budget Allocation</i>
BOE	Boletín Oficial del Estado
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CEC	<i>Commission of the European Communities</i>
CEPE	Comisión Económica para Europa
CSIR	<i>Council for Scientific and Industrial Research</i>
BoD	<i>Benefit of the Doubt approach</i>
DPSIR	Fuerza motriz – Presión – Estado- Impacto- Respuesta
DQAF	<i>Data Quality Assessment Framework</i>
DSR	Fuerza motriz- Estado- Respuesta
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica
ECLAC	<i>Economic Commission for Latin America and the Caribbean</i>
EEA	Agencia Europea Ambiental
EEA	Evaluación de Efectos Acumulativos
EIA	Evaluación de Impactos Ambientales
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	<i>Environmental Performance Index</i>
EQI	<i>Environmental Quality Index</i>
ERAM	Estrategia Regional Ambiental Marco
ESI	<i>Environmental Sustainability Index</i>
EVI	<i>Environmental Vulnerability Index</i>
FCD	Factores Críticos de Decisión
FMI	Fondo Monetario Internacional
HE	Huella Ecológica
IAyH	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
ICSD	<i>Composite Sustainable Development Index</i>
IMECA	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
IMEXCA	Índice Mexicano de Calidad de Aire
MINAM	Ministerio de Medio Ambiente de Perú
MINAMBIENTE	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
NEPA	<i>National Enviromental Policy Act</i>
OAT	Ordenamiento Ambiental Territorial
ODECA	Organización de Estados Centroamericanos

OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
SEPA	<i>Scottish Environment Protection Agency</i>
PNUMA	Programa de las Naciones para el Medio Ambiente
PPP	Políticas – Planes - Programas
PSR	Presión – Estado - Respuesta
RECSA	Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica
SICA	Sistema de Integración Centroamericana
UE	Unión Europea
UICN	Unión Mundial para la Naturaleza
UNECE	<i>United Nations Economic Commissions for Europe</i>
US	<i>United States</i>

1. Introducción y Justificación

1.1. Introducción

La evaluación ambiental estratégica (EAE), nace de la necesidad de incorporar la evaluación ambiental a un nivel jerárquico más elevado que los proyectos, permitiendo que las consideraciones ambientales estén presentes desde la concepción misma de una política, plan o programa (PPP). Este planteamiento, aún confuso para algunos tomadores de decisiones, va más allá de aplicar juicios ambientales en un PPP. La verdadera fortaleza del concepto de la EAE radica en poder llevar los criterios del medio ambiente al desarrollo, concepción opuesta a las evaluaciones de impacto ambiental aplicadas a los proyectos, en los cuales se lleva el desarrollo al medio ambiente (Partidário, 2012), razón por la cual es típico en EIA realizar evaluaciones considerando escenarios con proyecto y sin proyecto.

Ciertamente la diversidad de los PPP es uno de los factores que no han permitido el avance en la generación de metodologías para la EAE, ya que, dentro de la EAE, no solo se realizan evaluaciones para diferentes sectores productivos, sino la propia naturaleza de las tres clases de documentos objeto de este tipo de evaluación ambiental, políticas, planes y programas, adicionan a la generación de metodologías un obstáculo de importancia a ser superado. Por ello, la EAE debe ser un flexible y adaptable. Si bien la EAE presenta aún muchos desafíos por superar, uno de estos radica en la selección de una adecuada alternativa, que no se defina por los intereses políticos de los tomadores de

decisión, sino que represente la opción más favorable para las circunstancias en las que se está formulando los PPP.

En la práctica, la selección de alternativas ha sido obtenida de forma cualitativa, condición que le ha incorporado subjetividad a los resultados de la selección y en otros casos, cuando se cuenta con aplicaciones cuantitativas, estas tienden a conllevar complejos procesos de modelado que dificultan su aplicación.

Actualmente en la selección de alternativas de la EAE se encuentran pautas como la necesidad de una alternativa denominada “no hacer nada o alternativa cero”, en algunos países exigidos por legislación, y de seleccionar la alternativa más “razonable”, lo que ciertamente no aporta informaciones precisas para la toma de decisión.

En este trabajo se presenta un método basado en el uso de indicadores compuestos relacionando estos con los objetivos del instrumento bajo análisis, una política, un plan o un programa. La aplicación del concepto de indicadores compuestos ha dado origen al ISAEA - Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales. Esta técnica permite conocidos los objetivos y las metas del PPP identificar las alternativas que le corresponden y cuáles de las alternativas son las que más se acercan a lograr las metas y los objetivos planteados.

La técnica contempla el uso de indicadores simples construidos en base a las metas, los cuales son contrastados con la distancia en base a los objetivos y posteriormente ponderados, para la obtención del índice.

La metodología de generación del ISAEA es una técnica sencilla, flexible y adaptable a los diferentes tipos de sectores y documentos de análisis. Los resultados pueden ser fácilmente interpretados por los tomadores de decisiones, quienes además del ISAEA como criterio de selección, poseen un análisis de incertidumbre para cada uno de los índices de cada una de las alternativas que permiten dilucidar cuál es, no tan solo la más adecuada, sino también la más conveniente, en función de los objetivos del organismo promotor del documento evaluado.

El análisis de incertidumbre contempla la identificación de las fuentes de incertidumbres, la posible dependencia entre estas, la determinación del tipo de información disponible para cada fuente y la posterior obtención del valor de la incertidumbre, por las técnicas convencionales.

Dentro de las ventajas de la metodología se resaltan, entre otras, las siguientes: permite identificar la ausencia de alternativas para obtener un objetivo, minimiza el sesgo que típicamente aporta la preselección por los criterios políticos o personales del tomador de decisión, es una metodología adaptable al contexto del sector al que pertenece la EAE y a los propósitos de esta.

1.2. Justificación

Las políticas, los planes y los programas (PPP) están basados en decisiones políticas y cualquier evaluación ambiental estratégica (EAE) que pretenda ser eficiente, debe hacer referencia a la lógica específica de la toma de decisiones (Caratti y Locascio, 2006). Los procesos de gobernanza y cultura política definen el éxito del desarrollo e implementación de una EAE.

En la gobernanza, los actores, los entornos institucionales o las estrategias políticas definen cómo el proceso de la EAE es entendido por los responsables políticos y los responsables de las tomas de decisiones. La EAE es un instrumento orientado a la sostenibilidad, lo que hace importante analizar el entorno de gobernanza para comprender, cómo la estrategia se debe implementar de una manera sostenible y cuáles pueden ser las condiciones de gobernanza necesarias para la implementación estratégica (Monteiro y Partidário, 2017).

Slunge y Trang (2014), en su análisis “*Retos para institucionalizar la EAE: El Caso de Vietnam*”, concluyen que las limitaciones institucionales identificadas son: capacitación inadecuada, directrices técnicas, los datos de referencias y recursos financieros, estos están estrechamente vinculadas a restricciones en niveles institucionales más alto, como motivos para no compartir información entre ministerios y restricciones severas al acceso a la información y la participación pública; indica que sin un conocimiento exhaustivo de estas limitaciones institucionales, existe el riesgo de que los intentos de mejorar el uso de la EAE estén mal dirigidos.

Un ejemplo claro de cómo influye la cultura política es el caso de los países asiáticos. La implementación de la EAE tiene como problema principal la limitada integración en la toma de decisiones estratégicas, debido a la naturaleza altamente política de planificación de políticas enmarcadas en el contexto cultural de estos países, tal es el caso de países como Tailandia, Filipinas, Bangladesh y Sri Lanka que se resisten a la adopción de la EAE (Victor y Agamuthu, 2014). En conclusión, la aplicación o no de la ejecución de los procesos de la EAE se ven condicionados al grado de la distancia del poder cultural tradicional de los países asiáticos (según la clasificación de Hofstede).

A todo lo anterior, se le adiciona la carencia de mecanismos analíticos para el desarrollo de la EAE, siendo el análisis de alternativa, de todas las etapas, uno de sus talones de Aquiles. Mucho se ha dicho sobre el bajo rendimiento de la etapa de las alternativas en la EAE, con una serie de revisiones prácticas actuales que destacan las deficiencias continuas en esta área (González et al., 2015).

Noble y Nwanekezie (2017) indican que David Geneletti sostiene que uno de los principales vacíos en la investigación actual de la EAE, es el desarrollo limitado de métodos analíticos que se adapten a planes, programas y políticas. Sugieren, además, que se requieren métodos y herramientas que sean adecuados para cada uno de los diferentes propósitos de la EAE.

Noble y Nwanekezie (2017) resaltan la necesidad de más investigación empírica para comprender e informar los impactos o resultados indirectos a largo plazo de la EAE más allá del objeto de la evaluación, es decir, las PPP. Propone a la comunidad científica una dirección más clara para complementar la EAE basada en la Impacto Ambiental (IA) con un enfoque más estratégico.

El análisis de alternativas es una de las áreas débiles de la EAE, debido a que se ha investigado o hecho poco para identificar claramente qué funciona y qué no en el desarrollo, evaluación y selección de alternativas. Estas investigaciones deben incluir enfoques sistemáticos para la identificación y el desarrollo de alternativas, para involucrar plenamente a las partes interesadas en su definición y evaluación, y para proporcionar detalles suficientes al documentar el proceso de la selección (González et al., 2015). Se requiere una discusión más detallada para el desarrollo de las alternativas. La pobre consideración de las alternativas en la EAE se ha reportado tanto en países no desarrollados como en países desarrollados (Mwamba y Montaña, 2016). Bidstrup y Hansen (2014) reiteran la necesidad de investigaciones adicionales sobre cómo comunicar y mejorar las alternativas ocultas (y en cierto sentido verdaderamente estratégicas) de varias realidades de la EAE.

Actualmente la práctica es generalmente desarrollar y documentar tres alternativas que sean “razonables”, pero no hay orientación que defina el término (González et al., 2015), añadiéndole más subjetividad a la etapa de análisis de alternativas.

La literatura sugiere tres fases en el proceso de análisis de alternativas: identificación y desarrollo, evaluación y comparación y selección de documentación (EPA, 2015).

Según González et al. (2015), existe la necesidad de proporcionar recomendaciones claras paso a paso para mejorar la práctica actual en las áreas marginales de la EAE, una de las cuales es la etapa de las alternativas. Estos deberían incluir enfoques sistemáticos para la identificación y desarrollo de las alternativas, para involucrar plenamente a las partes interesadas en su definición y evaluación, y proporcionar suficientes detalles al documentar el proceso de la selección de la alternativa, además indica que no existe una solución de “talla única” y que las diversas recomendaciones deben adaptarse a contextos de planificación específicos.

En cuanto a la incertidumbre en la EAE, este ha sido un tema recurrente en el desarrollo de sus etapas. Lee y Walsh (1992) señalaron que “garantizar que la incertidumbre se maneje satisfactoriamente” en cada etapa del proceso de evaluación “es probable que sea uno de los más significativos desafíos enfrentados al desarrollar e implementar un EAE” y vinculada la EAE a los estados futuros, es una parte inevitable de los procesos de evaluación (Larsen, Kørnø y Driscoll, 2013).

En la literatura sobre evaluación ambiental, la conceptualización de las incertidumbres en el contexto de la EAE aún debe elaborarse con mucho detalle, en contraste con la literatura más general sobre ciencias ambientales, llevándose a cabo poca investigación

empírica sobre cómo se experimentan y tratan las incertidumbres en la práctica de la Evaluación Ambiental (EA) (Bodde, Wel y Driessen, 2018).

El contexto en el que se enmarca esta investigación, se plantea una metodología práctica que permite el análisis de la selección de las alternativas, incorporando la valoración de la incertidumbre, para restar subjetividad al proceso, de manera que facilite la toma de decisión de la alternativa considerada más adecuada.

1.3. Objetivo general y específicos

De acuerdo con los planteamientos descritos anteriormente, el objetivo general de esta tesis es desarrollar una metodología analítica aplicable a la evaluación ambiental estratégica de planes y programas que justifique la selección de la alternativa más adecuada en función de los objetivos del instrumento evaluado.

Dentro de los objetivos específicos logrados con esta tesis doctoral se destacan:

- a) Compilar los estudios antecedentes referente a la selección de alternativas en la evaluación ambiental estratégica.
- b) Aportar información del estado actual de la aplicación de la EAE en algunos países de Centroamérica y el Caribe.
- c) Desarrollar una metodología que permita obtener una escala cuantificable en base a las características de las alternativas para la posterior toma de decisiones.
- d) Demostrar que la metodología es aplicable y genera resultados aplicables a los datos utilizados y coherentes con los objetivos del instrumento evaluado.

1.4. Descripción de capítulos

El contenido principal de la tesis está constituido por 9 capítulos, distribuidos como sigue: la sección inicial la componen los capítulos 1 y 2, en donde se describe la introducción y los objetivos, y el estado del arte respectivamente.

La sección del cuerpo principal de la tesis está constituida por los capítulos 3, 4 y 5, en estos se concentran los aportes científicos del trabajo. El capítulo 3 consiste en una investigación referente al estado actual de la aplicación de la EAE en algunos países de Centroamérica y el Caribe; el capítulo 4 contiene la metodología del Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales (ISAEA) y el análisis de incertidumbre; el capítulo 5 consiste en la aplicación de la metodología expuesta en el capítulo 4 para el Plan Energético de la República Dominicana del año 2015.

La sección final de la tesis está compuesta por el capítulo 6, 7, 8 y 9, en los cuales el capítulo 6 corresponde a las conclusiones de la metodología desarrollada; en el capítulo

7 se proponen líneas de futuras investigaciones; en el capítulo 8 se detallan las contribuciones científicas realizadas a lo largo de los estudios doctorales y el capítulo 9 corresponde a las referencias bibliográficas. A continuación, se presenta una breve descripción de los contenidos de los capítulos:

Capítulo 1 – Introducción y justificación. En este capítulo se instauran leves conceptos técnicos para iniciar con la inserción de cuál es el tema en análisis y la explicación de sustenta la necesidad del desarrollo de este tema, así como la descripción de cada uno de los contenidos de la tesis doctoral.

Capítulo 2 - Estado del arte. Inicia con descripciones conceptuales de la EAE y diferencias entre esta y la evaluación de impacto ambiental (EIA). Se presentan los antecedentes de la EAE a nivel mundial, así como los aspectos legales de la EAE en República Dominicana y España. Se plantean los vínculos de la EAE con los procesos y las limitaciones de esta en la toma de decisiones. Pasando luego a describir el análisis de alternativas, sus fases, debilidades y mejores prácticas. Finalmente, se describen los conceptos generales de los indicadores simples, se hace una amplia descripción de las técnicas para construir indicadores compuestos, se establecen los lineamientos técnicos en análisis de incertidumbres. Y por último se describen y resumen los resultados de las revisiones a múltiples índices existentes.

Capítulo 3 - Situación de la evaluación ambiental estratégica en países de Centroamérica y el Caribe. En este capítulo se presenta una investigación que muestra una panorámica conjunta de la situación actual en los sistemas de la EAE en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Panamá y República Dominicana.

Capítulo 4 - Metodología para el análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones. Se desarrolla en este capítulo la metodología de análisis cuantitativa que permite apoyar la toma de decisiones. En este capítulo se desarrolla y explica detalladamente los procesos para la obtención del “Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales (ISAEA)”, así como las técnicas para obtener los valores de incertidumbres aplicadas a indicadores.

Capítulo 5 - Aplicación de la metodología para el análisis de alternativa en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones. En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior en base al Plan Energético Nacional (PEN) de la República Dominicana 2004-2015. Una

característica de este capítulo es los elevados niveles de detalles en cada parte del proceso, con el objetivo de dejar explícito todas las consideraciones posibles de la nueva metodología desarrollada.

Capítulo 6 - Resumen y conclusiones. En este apartado se plantea la recapitulación de los puntos más relevantes tanto del proceso de aplicación de la metodología indicada en el capítulo anterior, como de los hallazgos técnicos observados para cada uno de esos procesos, se reseñan los aportes científicos de la metodología desarrollada, condensados al final en una lista de las ventajas.

Capítulo 7 - Líneas de futura investigación. Se proponen dos líneas de investigación. La primera línea de investigación se plantea a evaluación de los pasivos ambientales pueden abordarse desde el punto de la obtención de metas, en el ámbito de los EIA. La segunda línea de investigación consiste en considerar la aplicación del ISAEA y la incertidumbre, pero planteando además el riesgo en términos de que tan loguable puede ser la alternativa.

Capítulo 8 - Contribuciones científicas. En este apartado se detallan las actividades científicas y aportes realizados a la largo de los estudios doctorales como son: artículos científicos, posters y desarrollo de reglamentos para ministerios de medio ambiente.

Capítulo 9 - Referencias. En este apartado se presentan todas las referencias bibliográficas utilizadas para la realización de esta tesis doctoral.

2. Estado del arte

2.1. Concepto de Evaluación Ambiental Estratégica. Diferencias con la Evaluación de Impacto Ambiental

La evaluación ambiental estratégica (EAE) es considerada hoy “*día uno de los instrumentos más completos de ayuda a la decisión sobre iniciativas de desarrollo de amplio alcance con potenciales efectos sobre el medio ambiente*” (Oñate et al., 2002). Partidário (2012) la define como “un instrumento de marco estratégico que ayuda a crear un contexto de desarrollo hacia la sostenibilidad, al integrar cuestiones de medio ambiente y sostenibilidad en la toma de decisiones, evaluar opciones estratégicas de desarrollo y emitir directrices para ayudar la implementación”.

La EAE proporciona el marco para la articulación de los proyectos de forma coherente y respetuosa con el medio ambiente, condiciones sociales, políticas y económicas (Arce y Gullón, 2000) y aunque comúnmente se le conoce a la EAE como una herramienta, esta representa un proceso que puede mejorar la toma de decisiones y propiciar el desarrollo sostenible (Bidstrup y Hansen, 2014). La EAE facilita un “*enfoque proactivo para garantizar que las consideraciones ambientales y de sostenibilidad, se tengan en cuenta durante las primeras etapas de los procesos de la toma de decisiones estratégica*” (Tetlow y Hanusch, 2012) y posee un alcance pluralista, diversificado, multidisciplinario e intersectorial (Arce y Gullón, 2000).

El enfoque estratégico para la toma de decisión de la EAE se vincula a la evaluación de las políticas, los planes y los programas (PPP). Dado que los niveles estratégicos suelen presentar una mayor abstracción que los niveles posteriores, en los que el grado de detalle va concretándose de manera progresiva (Oñate et al., 2002) se hace necesario definir cada componente de la tríada PPP. Según Wood y Dejeddour (1992), “la política puede considerarse como inspiración y orientación para la acción, un plan como un conjunto de objetivos coordinados y cronometrados para implementar la política, y un programa como un conjunto de proyectos en un área particular”.

La práctica actual de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), no ha podido responder a la creciente complejidad de los diferentes sectores y no proporciona una toma de decisión global, sostenible y sólida (Partidário, 2014), “esta situación ha sido el argumento más fuerte que determino la necesidad de una EAE en sus primeros días (Lee y Walsh, 1992; Wood y Dejeddour, 1992)”.

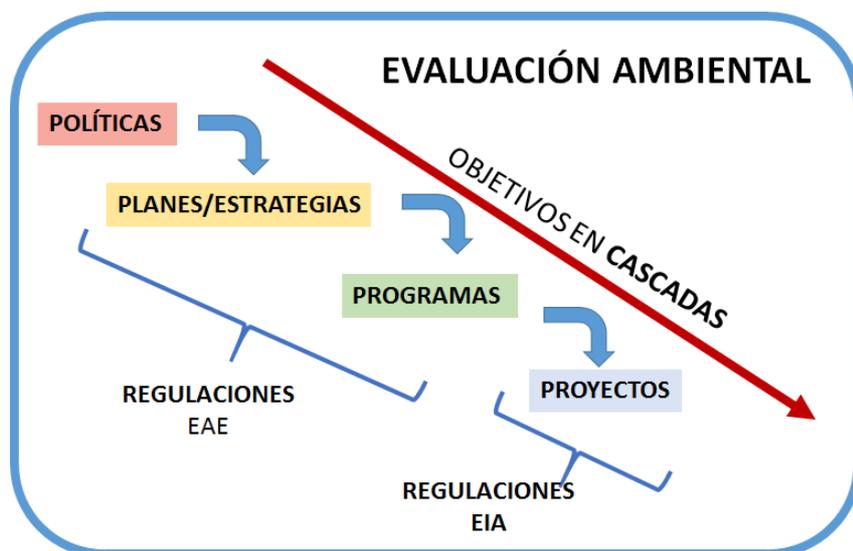


Figura 2.1.- Niveles de evaluaciones ambientales

La EAE y la evaluación de impacto ambiental (EIA) pueden entenderse como herramientas complementarias en la medida en que configuran un sistema de evaluación escalonado que corresponde al desarrollo en cascada y al escalonamiento jerárquico desde las políticas hasta los proyectos (Gómez Orea, 2007) (figura 2.1). La “EAE debe realizar la evaluación teniendo en cuenta que la EIA actuará como parte de su seguimiento” (Partidário, 2012).

En la EIA dado que es una evaluación individual de los proyectos no permite introducir alternativas integrales para garantizar la amplia trascendencia de los efectos al medio

ambiente. Mientras que la EAE, es un proceso que se ejecuta en paralelo con el proceso de toma de decisiones, incluida su preparación, en contraposición a solo proporcionar una declaración de impacto a tiempo para la decisión formal (Nilsson et al., 2009; Partidário, 2012).



Figura 2.2.- Diferencia entre EIA y EAE
(Partidário 2012, adaptado de CSIR, 1996)

La más común disimilitud entre una EAE y una EIA es que, la primera es la evaluación ambiental aplicada a las políticas, los planes y los programas y la segunda es la usada para los proyectos. Mientras que Partidário (2012) en base a la figura 2.2, explica que la principal diferencia entre la EIA y la EAE radica en que “la EIA centra los efectos del desarrollo en el medio ambiente y la EAE centra evaluar los efectos del medio ambiente en el desarrollo”.

El establecer las diferencias entre la EAE y la EIA, se utilizó, de hecho, como argumento principal para justificar las razones por las que se necesitaba la EAE (Partidário, 2014). Estas diferencias se localizan en la literatura existente en múltiples referencias (Wood y Dejeddour, 1992; Lee y Walsh, 1992; Arce y Gullón, 2000; Oñate et al., 2002; Bina, 2003; Alshuwaikhat, 2005; Gómez Orea, 2007; Partidário, 2012, 2014). En base a la tabla comparativa realizada por Partidário (2012) y completada con otros autores, se ha recopilado las más mencionadas diferencias entre EAE y EIA, las mismas mostradas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.- Diferencia entre la EAE y la EIA

Naturaleza de la acción	EAE	EIA	Referencia
	Estrategia, visión, conceptos	Acciones de construcción/Operación	
Atención	Momentos críticos de decisión (ventanas de decisión) junto con la decisión procesos	Productos de los procesos de decisión (resultados finales)	(Partidário, 2014)
Nivel de decisión	Políticas, planes	Proyecto	(Partidário, 2014)
Relación con la decisión	Facilitador	Evaluador, a menudo requisito administrativo	(Partidário, 2014)
Alternativas	Equilibrio espacial de ubicación, tecnologías, medidas fiscales, económico, social o físico estrategias	Ubicaciones alternativas específicas, diseño, construcción, operación	(Partidário, 2014)
Escala de impactos	Macroscópico, principalmente global, nacional, regional	Microscópico, principalmente local	(Partidário, 2014)
Alcance de los impactos	Los problemas de sostenibilidad, los problemas económicos y sociales pueden ser más tangibles que los problemas físicos o ecológicos.	Ambientales con enfoque de sustentabilidad, aspectos físicos o ecológicos, y también sociales y económicos.	(Partidário, 2014)
Escala de tiempo	Largo a mediano plazo	Medio a corto plazo	(Alshuwaikhat, 2005; Oñate et al., 2002; Partidário, 2014; Wood y Dejeddour, 1992)
Fuentes de datos clave	Informes sobre el estado del medio ambiente, Agenda 21 local, datos estadísticos, instrumentos de política y planificación	Trabajo de campo, análisis de muestras, datos estadísticos	(Partidário, 2014)
Datos	Principalmente descriptivo pero mezclado con cuantificable	Principalmente cuantificable	(Arce y Gullón, 2000; Bina, 2003; Partidário, 2014; Wood y Dejeddour, 1992)
Rigor de análisis (incertidumbre)	Menos rigor / más incertidumbre	Más rigor / menos incertidumbre	(Partidário, 2014)

Puntos de referencia de evaluación	Puntos de referencia de sostenibilidad (criterios y objetivos)	Restricciones legales y mejores prácticas	(Partidário, 2014)
Salidas	Brocha gorda	Detallado	(Partidário, 2014)
Percepción pública	Vago / distante	Más reactivo	(Partidário, 2014)
Post-evaluación	Otras acciones estratégicas o planificación de proyectos	Evidencia objetiva / construcción y operación	(Partidário, 2012, 2014)
Escala Espacial	Más amplia y algunas veces no definida	Definida y conocida	(Oñate et al, 2002; Wood y Dejeddour, 1992)
Tipo de enfoque	Proactiva	Reactiva	(Arce y Gullón, 2000; Bidstrup y Hansen, 2014; Gómez Orea, 2007; Oñate et al., 2002)
Efectos Acumulativos	Considerados	No considerados	(Alshuwaikhat, 2005; Gómez Orea, 2007; Lee y Walsh, 1992)
Tipo de proceso	Cíclico y continuo	Discreto, motivado por respuestas concretas de intervención	(Partidário, 2012)
Propósito a futuro	Plantea construir un futuro deseable, no conocerlo	Utiliza predicciones en base a eventos pasados	(Partidário, 2012)

(modificado de Partidário, 2014)

2.2. Antecedentes de la EAE en el mundo

La *National Environmental Policy Act* (NEPA US) en el año 1969 estableció un procedimiento común de evaluación ambiental, que era aplicado “*a todos los niveles desde el más estratégico hasta los proyectos*” (Gómez Orea, 2007). Esto consistió en la solicitud de la evaluación de las acciones de algunas agencias federales; significando la primera evaluación de Políticas, Planes y Programas (PPP), lo que representa el primer marco formal de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) (Tetlow y Hanusch, 2012).

En los estados miembros de la Unión Europea (UE) los sistemas de EAE se aplicaron a finales de los años 1980, en países como: los Países Bajos, Dinamarca y Reino Unido (Therivel, 2004). Es entonces cuando el término de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) queda formalmente introducido y popularizado (Noble y Nwanekezie, 2017). En el 1982, se crea la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, esta luego de múltiples encuentros, en el 1987 presenta el informe “*Nuestro Futuro Común*”, conocido como el Informe Brundtland, debido a que Gro Harlem Brundtland, ex primer ministra de Noruega, presidió la comisión (Bermejo, 2014).

Es en el informe Brundtland que aparece por primera vez el concepto de desarrollo sostenible, definido como la satisfacción de “*las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*”.

En septiembre del 2015, los estados miembros de las Naciones Unidas, luego de tres años de consultas, proclamaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 objetivos y 169 metas (ONU, 2018). Los objetivos de desarrollo propuestos son:

1. “*Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo*”.
2. “*Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible*”.
3. “*Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos para todas las edades*”.
4. “*Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos*”.
5. “*Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas*”.
6. “*Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*”.
7. “*Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos*”.
8. “*Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos*”.

9. *“Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación”.*
10. *“Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos”.*
11. *“Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”.*
12. *“Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles”.*
13. *“Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”.*
14. *“Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible”.*
15. *“Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica”.*
16. *“Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles”.*
17. *“Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible”.*

En el 2001, se crea una comisión especial de trabajo dentro de la segunda reunión de las partes del Convenio sobre Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en un contexto transfronterizo para complementar este Convenio con el desarrollo de un Protocolo sobre Evaluación Ambiental Estratégica, el cual estuvo disponible en mayo del 2003, en la ciudad de Kiev, Ucrania (UNECE, 2017). Es un Protocolo abierto a todos los miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), aunque fue negociado por *The United Nations Economic Commissions for Europe* (UNECE). El mismo entró en vigor el 11 de julio del 2010. De los requerimientos del Protocolo conocido como Protocolo de Kiev, se resumen solo los dos primeros puntos, estos son: para los planes y programas oficiales las partes deben evaluar las consecuencias ambientales, sin embargo, para las políticas y legislación que este aborda no exige la EAE como obligatoria, entre otros tantos requerimientos (UNECE, 2017).

Para el 2003 alrededor de 20 países habían instituido requisitos para la EAE (Therivel, 2004), mientras que, en el 2011 se registraban 60 países que aplicaban los sistemas de EAE (Tetlow y Hanusch, 2012). La evaluación de impactos ambientales (EIA) fue originalmente concebida para ser aplicada a todos los niveles y lo más temprano posible (Oñate et al., 2002). En la figura 2.3 se muestra la cronología de los eventos más relevantes en el desarrollo de la EAE.

A lo largo de la década de 1990 y principios de 2000 inicia el desarrollo de la práctica de la EAE, con principios y metodologías muy arraigadas de la EIA basados en proyectos (Tetlow y Hanusch, 2012, Noble y Nwanekezie, 2017).

La evolución en las investigaciones académicas ha permitido que la EAE cambie la visión de ser un proceso formal a uno más flexible y adaptable, evidenciándose en las

definiciones propias que los investigadores le han dado a la EAE, donde se comprueba que ha pasado de ser vista como una herramienta de tipo EIA para PPP, a un proceso para facilitar decisiones estratégicas hacia la sostenibilidad (Noble y Nwanekezie, 2017). En los últimos 25 años la EAE ha tenido una evolución significativa, aunque los esfuerzos se han dedicado a desarrollar la teoría (Bina, 2007) más que la práctica.



Figura 2.3.- Cronología de los eventos más relevantes en el desarrollo de la EAE

En América Latina el desempeño de la EAE es reseñado por varios autores para algunos países como son: Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú, (Margato y Sánchez, 2014; ECLAC, 2018; Rozas-Vásquez y Gutiérrez, 2018; Biehl et al., 2019) revelando que existe una marcada heterogeneidad en los niveles de avances legales y prácticos en la EAE (ECLAC, 2018; Biehl et al., 2019). La diversidad del componente legal entre estos países varía desde leyes generales como las existentes en Bolivia, Chile y Perú, esta última modificada por un decreto legislativo o una ley con ámbito de aplicación para una ciudad, como el caso de México para el Distrito Federal; leyes para un plan en específico, como es el caso de Colombia, con la aprobación del “Plan de Desarrollo Nacional 2003-2006” aprobado mediante la ley 812 del 2013 (ECLAC, 2018), pero carente de marco legal nacional o simplemente la ausencia de marco legislativo como Brasil, aunque cuenta con aplicación a niveles provinciales, en las provincias Bahía, Minas Gerais y São Paulo (Sánchez y Silva-Sánchez, 2008; Biehl et al., 2019).

La adopción de los procesos de la EAE ha estado marcada por mecanismos ralentizados en sus diferentes etapas, no siendo diferente esta situación para los países de la región de Centroamérica y el Caribe, los cuales poseen diferencias irrefutables en la aplicación de la EAE, que la existente en los países de América Latina mencionados. En el capítulo 3 se presenta la situación actual de los países de Centroamérica y el Caribe, en el cual se describen los niveles de avances en materia de EAE de los siguientes países: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Panamá y República Dominicana.

2.3. Aspectos legales referentes a la EAE en España y República Dominicana

2.3.1 Aspectos legales referentes a la EAE en España

Los aspectos legales que rigen la EAE en España, están contenidos en la Ley 21/2013 del 8 de diciembre referente a la evaluación ambiental. Los detalles se encuentran en el “Boletín Oficial del Estado (BOE) número 296 del 11 de diciembre del 2013, cuya referencia es BOE-A-2013-12913”. La Ley 21/2013 consta de tres títulos con un total de 64 artículos.

El Título I de principios y disposiciones refiere la EAE en los artículos 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13 y 16. El artículo 5 establece las siguientes definiciones referentes a la EAE las cuales son resumidas a continuación (BOE-A-12913, 2013):

- “Evaluación ambiental estratégica como la que procede de los planes o programas”.
- “Estudio ambiental estratégico, corresponde al estudio elaborado por el promotor del plan o programa”.
- “Declaración ambiental estratégica es el informe del órgano ambiental con el que finaliza la evaluación ambiental estratégica ordinaria”.
- “Informe ambiental estratégico, es el informe del órgano ambiental con el que finaliza la evaluación ambiental estratégica simplificada”.
- “El ámbito de aplicación queda indicado en el artículo 6, donde establecen las condiciones para la elaboración de una EAE ordinaria o simplificada. La primera se atribuye a los planes y programas y sus modificaciones, mientras que la segunda corresponde a los planes o programas con menores modificaciones, entre otras consideraciones respectivamente. Se excluyen de la elaboración de una EAE los planes y programas que correspondan a: defensa nacional o protección civil en caso de emergencias y los de tipo financiero o presupuestario, siempre considerando las repercusiones de estos planes a la Red Natura 2000, según el artículo 8”.

Se considera que la falta de emisión de la declaración ambiental estratégica o el informe ambiental estratégico no representa una evaluación ambiental favorable (artículo 10).

El artículo 12 explica “cómo proceder en caso de que el órgano ambiental y el órgano sustantivo posean discrepancias con respecto a cualquiera de los estudios de EAE o EIA realizados. Indica que el órgano sustantivo debe comunicar por escrito y con documentos de respaldo, las razones que motivan la discrepancia en un plazo de 30 días hábiles a partir de la publicación del estudio en cuestión en el BOE. Luego, el órgano ambiental tiene 30 días hábiles para responder. En caso de no dar respuesta se considera que mantiene su posición y pasa al órgano competente, que puede ser: la administración que haya tramitado el expediente, el consejo de ministros o el consejo de gobierno o el órgano que la comunidad autónoma determine”. Esta autoridad tiene 60 días hábiles para

dar respuesta. Luego del veredicto, el mismo debe ser publicado en el BOE o donde correspondan.

En cuanto a la relación con la evaluación de impactos ambientales, establece en el artículo 13 *“que esta no queda excluida de los proyectos que se deriven de la EAE y además, plantea que pueden incorporarse trámites y actos administrativos de procedimiento EAE en otros de evaluación ambiental, siempre y cuando no haya caducado el plazo del plan o programa o hayan pasado 4 años de la publicación de la declaración ambiental estratégica”*.

“Es necesario que el promotor de los estudios de EAE garantice que han sido realizados por personas con capacidad técnica suficiente en conformidad con las normas establecidas. Se requiere que los profesionales participantes en los estudios de EAE se identifiquen e indiquen titulación, según sea el caso y los estudios deben ser firmados por estos. Los autores son responsables del contenido y fiabilidad de los estudios de EAE, que sean generados o recabados de fuentes fuera de la Administración” (artículo 16).

El título II plantea *“el procedimiento para la evaluación ambiental estratégica ordinaria y para la evaluación ambiental estratégica simplificada en su capítulo 1. Estos procedimientos están contenidos entre los artículos 17 al 34. Entre los artículos 35 al 50 se detalla el procedimiento para las evaluaciones de impacto ambiental ordinaria y simplificada”*.

Los procedimientos para la evaluación ambiental estratégica ordinaria se han resumido y concluido en que la misma puede ser dividida en tres fases (figura 2.4):

- *“La primera fase inicia con la solicitud de inicio por parte del promotor del plan o programa. La misma concluye con la entrega del documento de alcance de la evaluación ambiental estratégica o una resolución de inadmisión. Esta fase tiene una duración total de 2 meses”*.
- *“La segunda fase inicia con el inicio de la elaboración del estudio de evaluación estratégica y concluye con la propuesta final del plan o programa. Esta fase tiene una duración total de 9 meses”*.
- *“La tercera fase inicia con el análisis técnico del expediente y concluye con la publicación del plan o programa. Esta fase tiene una duración total de 4 meses”*.

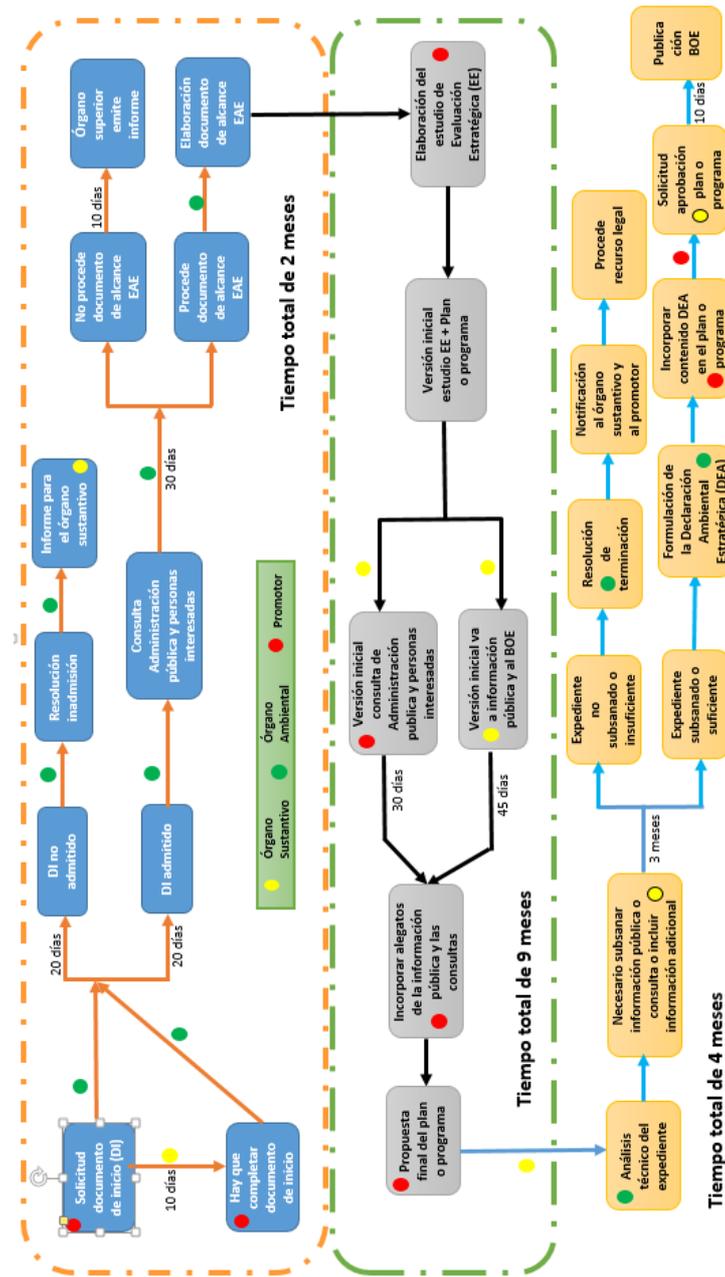


Figura 2.4.- Procedimiento para Evaluación Ambiental Estratégica Ordinaria en la formulación de la Declaración Ambiental Estratégica
Elaboración propia en base al BOE-A-2013-12913

Para la evaluación ambiental estratégica simplificada el procedimiento se ha resumido en dos fases:

- La primera fase inicia con una “*solicitud de inicio por parte del promotor del plan o programa*”. Luego el órgano sustantivo si considera que es necesario más información la solicita y luego de completada pasa al final de la fase con las consultas de la Administración pública y personas interesadas.
- La segunda fase inicia con la elaboración del Informe Ambiental Estratégico por parte del Órgano Ambiental, el cual puede determinar la necesidad de una Evaluación Ambiental Estratégica Ordinario o no encontrar efectos significativos en el plan o programa y pasa a realizar la publicación en el BOE. Esta fase concluye con la aprobación y publicación del plan o programa.

El título III contempla el seguimiento para “*las declaraciones ambientales estratégicas y los informes ambientales estratégicos, establece que los planes y programas que no sean de competencia estatal, el seguimiento será dado por el órgano sustantivo o el órgano que designe la comunidad autónoma*”. El promotor deberá realizar un “*informe de seguimiento*”. Mientras que el “*órgano ambiental participará en el proceso de seguimiento, pudiendo recabar o realizar las pruebas que considere*”. Para los planes y programas de competencia estatal, “*el órgano sustantivo y con acuerdo de la comunidad autónoma determinará que el seguimiento será realizado por el órgano competente de la comunidad autónoma*”.

A continuación, se resumen las disposiciones que aplican a la EAE. En la Disposición adicional primera se ordena una evaluación ambiental de los planes y programas que puedan afectar los espacios de la Red Natura 2000.

La Disposición transitoria primera establece que “*se aplicará esta ley a los planes, programas o proyectos que inicien su EAE o su EIA a partir de la entrada en vigor*” de ésta. Indica, además, que “*las declaraciones ambientales estratégicas realizadas con anterioridad a la ley deben modificarse y adaptarse a la misma, no tan solo las declaraciones ambientales estratégicas, sino las condiciones de estas*”. EAE vínculos, procesos y limitaciones en la toma de decisiones.

La disposición final séptima dispone que, en “*un plazo de un año las normas sectoriales reguladoras de la tramitación y la adopción o aprobación de los planes y programas deberán contemplar las disposiciones y los plazos establecidos en esta ley*”.

La disposición final novena dispone que en el ámbito de competencias del Estado y para los procedimientos de EAE y EIA en los que “*sea competente la Administración General del Estado, el Gobierno dictara las disposiciones necesarias para la ejecución y desarrollo de la ley*”. Indica que el Gobierno queda “*autorizado a modificar los anexos con el fin de actualizarlos referente a la normativa vigente, a la evolución científica y técnica, a las normas internaciones y el Derecho de la Unión Europea*”. Se hace mención

a modificaciones al anexo VI, “con el fin de adaptarlo al progreso técnico, científico y económico”.

En los anexos IV y VI se dispone el contenido del estudio ambiental y los criterios que se mencionan en el artículo 31 para determinar si un plan o programa debe someterse a una evaluación ambiental estratégica ordinaria.

2.3.2 Aspectos legales en la República Dominicana

La legislación en materia de medio ambiente para la República Dominicana se encuentra en la “ley-6400 o ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales”. La misma fue promulgada en agosto del año 2000. La ley 64-00 consta de IV títulos y 204 artículos. De los artículos vinculados con los mandatos legales de la EAE, se resumen los siguientes:

- En el artículo 16 se indican las definiciones básicas a efectos de la ley, encontrándose en el punto 27 la definición de evaluación ambiental estratégica como “un instrumento de evaluación ambiental de las políticas públicas, actividades y proyectos sectoriales para garantizar la incorporación de la variable ambiental en los distintos sectores de la administración pública”.
- En el artículo 38 se declara, entre otros, “la evaluación ambiental estratégica como un instrumento para la evaluación ambiental cuya finalidad es la de prevenir, controlar y mitigar los posibles impactos sobre el medio ambiente y los recursos naturales ocasionados por obras, proyectos y actividades”.
- El artículo 39 promueve “la evaluación de los efectos ambientales de las políticas, planes y programas de la administración pública, indicando que se debe seleccionar la alternativa de menor impacto negativo”. De igual modo promueve la realización de “un análisis de consistencia con la política nacional de medio ambiente y recursos naturales”. “Establece las responsabilidades de ejecución a cada una de las instituciones e indica que el hoy Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales emitirá las directrices¹ para las evaluaciones, aprobará y supervisará el cumplimiento de sus recomendaciones”.

¹ Como parte de las actividades transversales del doctorado, la doctoranda realizó una pasantía en el “Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, trabajando juntamente con el Departamento de Planificación y la Dirección de Normas y Estudios Ambientales”. El producto final de esta pasantía consistió en la preparación de las directrices para las evaluaciones ambientales estratégicas en la República Dominicana. Estas directrices se encuentran a la espera de la publicación oficial por parte del Ministerio.

2.4. EAE vínculos, procesos y limitaciones en la toma de decisiones

“La evaluación ambiental estratégica se define como la evaluación de los efectos ambientales probables de las Políticas, Planes y Programas (PPP)” (Victor y Agamuthu, 2014). La EAE es un marco estratégico que ayuda a crear un contexto de desarrollo hacia la sostenibilidad, mediante la integración de las cuestiones del entorno en la toma de decisiones evaluando las opciones de desarrollo estratégico y emitiendo directrices para ayudar la implementación (Partidário, 2012). La intención de la EAE es mover a la política (y PPP, en general) hacia resultados sostenibles (Brown y Therivel, 2000).

La naturaleza de la EAE se ve influenciada por: a) los tomadores de decisiones, ya que ordenan si la EAE debe o no implementarse como una herramienta para incorporar las preocupaciones ambientales en la planificación estratégica y la toma de decisiones (Verheem y Tonk, 2000) y b) el nivel en el que se produce la formulación de las PPP (Brown y Therivel, 2000).

Es muy importante que la EAE y los procesos de planificación y política compartan varias actividades, estableciendo una interconexión que es crucial para el éxito total de la EAE (Partidário, 2012). Esta interconexión, asegura una adecuada consideración de los impactos ambientales, riesgos y oportunidades desde las primeras etapas decisionales (Geneletti, 2011).

Partidário (2012) muestra cuatro modelos teóricos que describen la sincronización de los procesos de toma de decisión con la EAE, los cuales ha denominado: modelo de oportunidad única, modelo paralelo, modelo integrado y modelo centrado en la decisión, explicados en la figura 2.5

Si bien los países pueden agruparse en un solo modelo, los marcos de sus EAE no son similares debido a particularidades nacionales en las estructuras legales e institucionales, y los acuerdos de procedimientos (Brown y Therivel, 2000; Chaker, Chamas y Hatjian, 2006; Geneletti, 2011).

Una conclusión ineludible es que, debido a la diversidad de las PPP, ninguna metodología de EAE podrá aplicarse uniformemente a las diferentes tareas y éstas tendrán que ser adaptables a la existencia de las diferentes agendas, actores, discursos, requerimientos de conocimientos (Brown y Therivel, 2000; Verheem y Tonk, 2000; Geneletti, 2011). Dentro de este contexto Brown y Therivel (2000) plantean que “en vista de que ninguna metodología de EAE se aplicará a todas las acciones estratégicas y en todos los contextos sociopolíticos, se debe pensar en una serie de herramientas de EAE, de las cuales se puedan seleccionar las adecuadas para satisfacer las necesidades de las circunstancias particulares”.

Un ejemplo de la adaptabilidad del proceso de EAE para diferentes propósitos se evidencia en el uso de la EAE con el fin de incluir los servicios de ecosistemas a la planificación. Geneletti (2011) establece las etapas de planificación asociados con las actividades de la EAE y con ejemplos de acciones para incluir información relevante sobre los

servicios de los ecosistemas durante todo el proceso. Verheem y Tonk (2000) consideran un proceso de EAE de buena calidad si se puede explicar de qué modo la aplicación del proceso garantizará que se alcancen los objetivos.

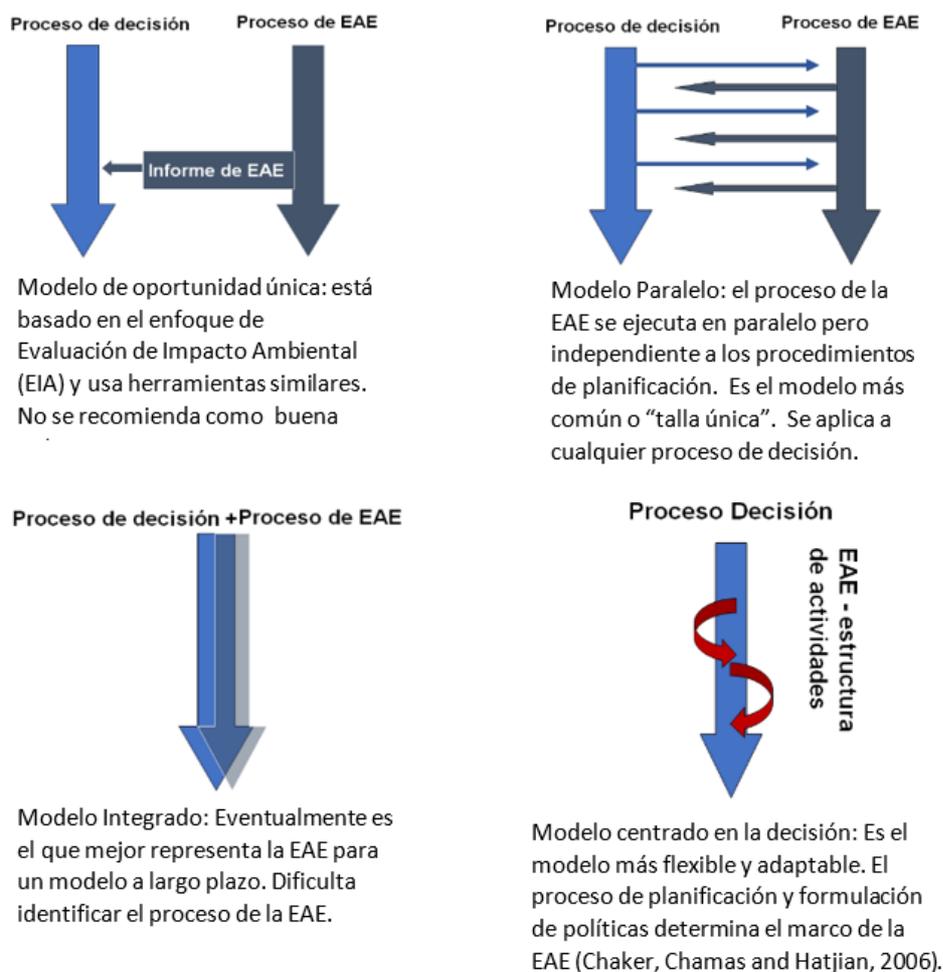


Figura 2.5.- "Modelos teóricos – Sincronización de los procesos de toma de decisiones con la EAE" (Partidário, 2011)

A pesar de la evolución que ha tenido la EAE, hoy en día existe una brecha inusual entre la teoría y la práctica. Se ha considerado que las razones para esta brecha pueden ser, entre otras: "la resistencia al cambio de los actores y los desafíos creados por sistemas complejos inevitables" (Lobos y Partidário, 2014). Las principales limitaciones de la EAE que se han identificado en la literatura científica (Bina, 2007; Gómez Orea, 2007;

Bidstrup y Hansen, 2014; Lobos y Partidário, 2014; Mwamba y Montaña, 2016) se pueden englobar en los bloques de la figura 2.6.



Figura 2.6.- Principales limitaciones de la EAE

(Bina, 2007; Gómez Orea, 2007; Bidstrup y Hansen, 2014; Lobos y Partidário, 2014; Slunge y Trang, 2014; Victor y Agamuthu, 2014; Mwamba y Montaña, 2016; Noble y Nwanekezie, 2017)

1. **Institucionales.** Se registra la necesidad de la capacitación del personal de las instituciones que deben regular y/o aprobar los procesos de EAE, lo que conlleva a que los recursos financieros por la falta de conocimiento de este instrumento de planificación no se encuentren disponibles. Es muy común que, por las condiciones antes mencionadas, no existan directrices técnicas creadas para los procedimientos vinculados a este tipo de evaluaciones. Igualmente, se echa habitualmente en falta de un sistema de información organizado que permita identificar los datos de referencia existentes necesarios para ejecutar el procedimiento de la evaluación ambiental estratégica (Slunge y Trang, 2014).

2. **Metodologías.** El arraigo existente con las metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) derivan en metodologías muy complejas para la EAE, la cual necesita ser sencilla y flexible para poder generar resultados adaptables ante los tomadores de decisiones. De igual forma, se registra ausencia de investigación en el análisis de alternativas. La literatura científica plantea la necesidad de una discusión más detallada para el desarrollo de las alternativas. Un pobre análisis de alternativas en la EAE se ha reportado tanto en países no desarrollados como en países desarrollados (Mwamba y Montaña, 2016). Bidstrup y Hansen (2014) reiteran la necesidad de investigaciones adicionales sobre cómo comunicar y mejorar las alternativas ocultas (y, en cierto sentido, verdaderamente estratégicas) de varias realidades de la EAE. Noble y Nwanekezie (2017) resaltan la necesidad de más investigación empírica para comprender e informar los impactos o resultados indirectos a largo plazo de la EAE más allá del objeto de la evaluación, es decir, las PPP.
3. **Heterogeneidad de casos.** En EAE el ámbito temático es tan amplio que se dificulta la obtención de una metodología que permita aplicarse a diferentes propósitos. Los esfuerzos en investigación se han dedicado a desarrollar la teoría (Bina, 2007). Según Lobos y Partidário (2014), generando una brecha inusual entre la teoría y la práctica. Esta falta de investigación científica en el ámbito práctico limita la aplicación de la EAE, ya que se requieren métodos y herramientas que sean adecuados para cada uno de los diferentes propósitos de la EAE (Noble y Nwanekezie, 2017) o al menos sean adaptables a los diferentes temas y contextos.
4. **Alcance territorial no definido.** Es común la carencia de estatutos legales que permitan definir áreas de planificación, y enfoquen a todos los sectores a evaluar y trabajar en consonancia en el mismo ámbito territorial. Esta situación resulta en la duplicidad de esfuerzos, por considerar cada sector de planificación una determinada extensión territorial de actuación o intervención. Otro factor que promueve esta dualidad es la falta de comunicación entre los ministerios de los planes desarrollados por cada uno de ellos.
5. **Aspectos culturales.** Las características de gobernanza o cultura política interfieren en la aplicación y el éxito del proceso de desarrollo de la EAE. Debido a la naturaleza altamente política de planificación de políticas enmarcadas en el contexto cultural de los países (Victor y Agamuthu, 2014)
6. **Incertidumbre:** Las EAE están inevitablemente sometidas a un proceso de incertidumbre y riesgo. Esto se acrecienta por la complejidad y nivel de abstracción de las PPP, por los amplios plazos de planificación (Gómez Orea, 2007)

que cargan con la fluctuación de las condiciones ambientales, económicas y sociales, así como los cambios futuros en los modelos de producción.

En cuanto las limitaciones referentes a las metodologías, Brown y Therivel (2000) sugieren que en el desarrollo de las metodologías de la EAE el énfasis debe hacerse en el proceso y no en el producto (el informe) y que la mayor eficacia se logrará comenzando la EAE a principios de la formulación de las PPP.

2.5. Análisis de las alternativas, fases, debilidades y mejores prácticas

El análisis de alternativas es una de las áreas débiles de la EAE, debido a que se ha investigado poco para identificar claramente qué funciona y qué no en el desarrollo, evaluación y selección de alternativas. Estas investigaciones deben incluir enfoques sistemáticos para la identificación y el desarrollo de alternativas, para involucrar plenamente a las partes interesadas en su definición y evaluación, y proporcionar detalles suficientes al documentar el proceso de la selección (González et al., 2018).

Therivel (2004) resalta la importancia de la EAE en la etapa de análisis de las alternativas, indicando que, sin esta evaluación, las alternativas se enfocan en ser reactivas en vez de proactivas, con detalles a nivel de proyecto en lugar de alternativas estratégicas y una selección que es determinada por los criterios políticos.

Las alternativas son consideradas el núcleo central de la EAE y son un requisito en virtud de la legislación europea e internacional y acuerdos. Sirvan de ejemplo la Directiva 2001/42/CE (CEC, 2001) y el Protocolo Kiev sobre EAE (CEPE, 2003). La literatura especializada presenta el análisis de las alternativas como el talón de Aquiles del proceso de la EAE dada la carencia de investigación en esta área marginal (González et al., 2015). SEPA (2011) sugiere la necesidad de elaborar técnicas que permitan obtener alternativas que resulten de un proceso sistemático y transparente.

La literatura científica sugiere tres fases en el proceso de análisis de alternativas: identificación y desarrollo, evaluación y comparación y selección de documentación (EPA, 2015). De igual manera, González et al. (2018) reconocen las debilidades que se presentan en cada una de estas fases las cuales se presentan de forma sinóptica en las figuras 2.7 a la 2.9.

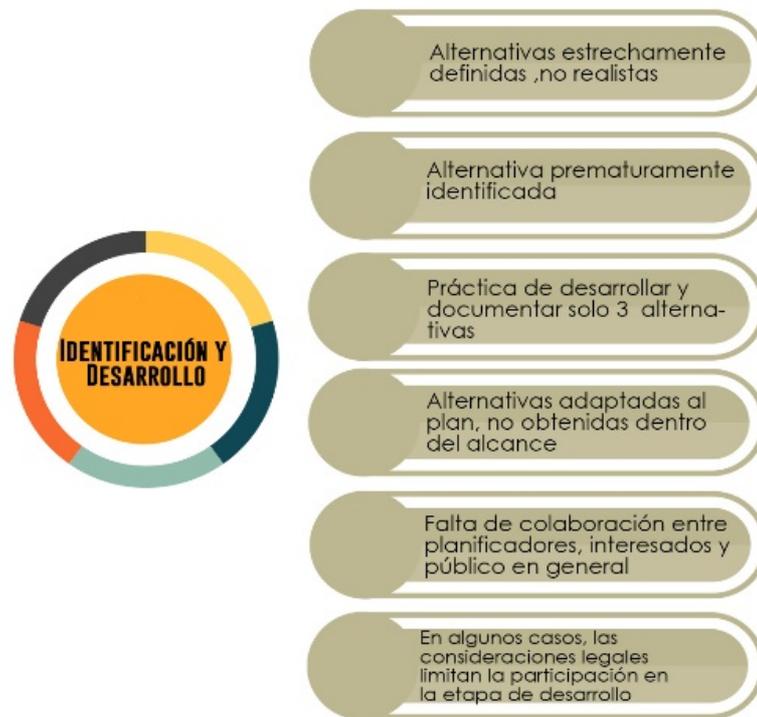


Figura 2.7.- Debilidades en la etapa de identificación y desarrollo de selección de alternativas



Figura 2.8.- Debilidades en la etapa de evaluación y comparación de selección de alternativas



Figura 2.9.- Debilidades en la etapa de selección y documentación de selección de alternativas

A la vista de las debilidades anteriores, existen detalles de buenas prácticas para cada una de las fases del proceso del análisis de alternativas siendo algunas de ellas las siguientes:

1) Análisis de escenarios tanto para evaluación como para selección de alternativas.

Esta técnica de desarrollo de escenarios se utiliza a menudo para comprender el posible estado de futuro de un sistema con o sin una acción estratégica propuesta y bajos diferentes supuestos de incertidumbres (Geneletti, 2011). La planificación de escenarios es un enfoque de estrategia centrado en el proceso, que difiere de los enfoques tradicionales, a menudo caracterizada como racionalista, que implica la búsqueda de la estrategia “óptima” o “evolutiva” (Van Der Heijden, 1996). Este mismo autor considera que el primer objetivo de la planificación de escenarios es la generación de proyectos y decisiones que son más robustas en una variedad de futuros alternativos. Hiltunen (2009) plantea que los escenarios tienen dos propósitos: primero prepararse para el futuro alternativo, dando una gama de posibilidades del futuro y en segundo lugar ayudar a innovar los futuros posibles rompiendo con los modelos mentales

2) Evaluación de opciones estratégicas

El modelo ST4S utiliza los factores críticos de decisión (FCD) (Partidário, 2012). El modelo ST4S posee un concepto fundamentalmente diferente a la práctica actual, pero es totalmente coherente con la teoría de la EAE. Además, cuenta con elementos claves que pueden ser evaluados con las herramientas, técnicas o métodos que decida el equipo practicante de la EAE. Este modelo metodológico posee tres etapas definidas a continuación, juntamente con sus objetivos:

1. Contexto y enfoque estratégico. Establece el marco de evaluación basado en la técnica de los “*factores críticos de decisión (FCD)* y define el alcance de la *EAE de modo integrado*”.
2. Caminos estratégicos para la sustentabilidad y directrices. Plantea las tendencias críticas, caminos opcionales, riesgos y oportunidades, así como los lineamientos y recomendaciones para lograr un desarrollo más sustentable.
3. Etapa continúa. Asegura que la EAE acompaña a los ciclos de decisión y planificación y seguimiento.

3) Principales métodos y herramientas utilizados en la evaluación de alternativas

El análisis para cada caso de las ventajas y desventajas se muestra en la tabla 2.2.

La literatura existente evidencia la carencia de mecanismos analíticos para el desarrollo de la EAE, siendo el análisis de alternativas uno de sus talones de Aquiles, como se ha dicho anteriormente. Actualmente, la práctica más común es desarrollar y documentar tres alternativas que sean “razonables”, pero no hay orientación que defina tal término (González et al., 2015), añadiendo más subjetividad a la etapa de análisis de alternativas.

La recopilación de la información científica existente en análisis de alternativas ha permitido enfocar nuestra investigación en miras a proporcionar criterios o estructuras para la definición de las alternativas, las cuales puedan ser fácilmente adaptables a cualquier ámbito territorial o temático y, en el mismo sentido, abordar la incertidumbre como un criterio de importancia para la selección de la alternativa más factible.

Tabla 2.2.- Principales métodos y herramientas utilizados en la evaluación de alternativas

Método / Herramienta	Descripción	Desventajas
Juicio de expertos	Es una herramienta en la cual un grupo de expertos multidisciplinarios examinan los efectos de las alternativas propuestas	Posee un potencial de sesgo dado las diferentes visiones de los expertos en las interpretaciones
Matrices	Permite establecer de forma sistemática cruces relevantes entre alternativas u objetivos versus objetivos ambientales o cualquier otro criterio considerado	No posee dimensiones espacio-temporales, debe ser complementada con mapeos
Evaluación Multicriterio (MCA)	Es una técnica que utiliza un conjunto de criterios ambientales ponderados, previamente definidos y asignándoles un peso o valor relativo de importancia	Los valores de los pesos son asignados subjetivamente y depende de la experiencia del técnico ejecutor
Mapeo de recursos ambiental	Se realiza la superposición de los mapas de ubicación y extensión con los de las alternativas y permite definir impacto significativos e identificar conflictos	Algunos factores ambientales no pueden ser mapeados y debe ser completado el análisis con otras técnicas
Modelación	Técnicas que tratan de cuantificar las relaciones causa-efecto mediante la reproducción de las condiciones ambientales. Permiten cuantificar impactos acumulativos.	Requerimiento de datos de entrada fiables. Alta inversión de tiempo y recursos

(modificado de González et al., 2015)

2.6. Indicadores simples

Los indicadores ambientales proporcionan una fuente importante de información para los responsables de la formulación de políticas y ayudan a orientar la toma de decisiones, así como a su seguimiento y evaluación (OECD, 1999), ya que, proporcionar información valiosa sobre temas complejos de una manera relativamente accesible (Niemeijer y de Groot, 2008).

En la evaluación ambiental estratégica el indicador debe entenderse como un concepto más amplio, que en la práctica podría denominarse índice o matriz (Gao et al., 2017). La EAE busca incorporar las consideraciones ambientales en una etapa inicial de las políticas, planes y programas, de ahí que los indicadores sean una herramienta para predecir los efectos y posteriormente comunicarlos. Según Gao et al. (2017), los resultados de su trabajo arrojaron que el uso de indicadores ayuda a aumentar el impacto de la EAE en la planificación, al coordinarse con planes del nivel superior. A continuación, se realiza una revisión de la literatura de los indicadores en el marco de las evaluaciones ambientales. En un apartado posterior se exponen los procesos para generar indicadores compuestos.

“Un indicador es una medida cuantitativa o cualitativa derivada de una serie de hechos observados que puede revelar la posición relativa en un área determinada y, cuando se mide en el tiempo, puede señalar la dirección de cambio”. En el contexto del análisis de políticas a nivel nacional e internacional los indicadores son útiles para identificar tendencias en el desempeño y las políticas y llamar la atención sobre cuestiones particulares.

Existen básicamente tres niveles de agrupaciones de indicadores:

1. Los conjuntos de indicadores individuales representan un menú de indicadores o estadísticas independientes. Esto puede interpretarse como un primer paso para almacenar la información cuantitativa existente.
2. Los indicadores temáticos son indicadores individuales que se agrupan en torno a un área específica o tema de análisis. Este enfoque requiere identificar un conjunto básico de indicadores que estén vinculados o relacionados entre sí de alguna manera. Por lo general, se presentan individualmente en lugar de sintetizarse en un compuesto (por ejemplo, midiendo la economía de la información de la OECD).
3. Los indicadores compuestos se forman cuando los indicadores temáticos se compilan en un índice sintético y presentado como una única medida compuesta (Freudenberg, 2003).

Los indicadores ambientales *“reflejan tendencias en el estado del medio ambiente, y monitorean el progreso realizado en el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental”* (Smeets y Weterings, 1999). Como tales, los indicadores ambientales se han vuelto indispensables para los responsables políticos (Smeets y Weterings, 1999; Kørnøv

y Hvidtfeldt, 2003; Donnelly et al., 2006,2007; Geneletti et al., 2007,2011; Niemeijer y de Groot, 2008; Gao et al., 2017).

Los tres propósitos principales de los indicadores ambientales en la relación con la formulación de políticas son: (Smeets y Weterings, 1999)

1. Suministrar información sobre problemas medioambientales, con el fin de permitir a los responsables políticos valorar su seriedad.
2. Apoyar el desarrollo de políticas y el establecimiento de prioridades, identificando factores que causan presión sobre el medio ambiente.
3. Monitorear los efectos de las respuestas políticas.

Los indicadores en las evaluaciones ambientales estratégicas se usan normalmente para describir y monitorear la línea base ambiental (Therivel, 2004). Además, pueden utilizarse como una herramienta poderosa para sensibilizar al público sobre temas ambientales (Smeets y Weterings, 1999). Los indicadores ofrecen a los gobiernos y organizaciones orientaciones en la elección de diferentes escenarios de sostenibilidad (Mayer, 2008), proporcionando “*información sobre las fuerzas motrices, los impactos y las respuestas políticas, todo lo cual es una estrategia común para fortalecer el apoyo público a las medidas políticas*” (Smeets y Weterings, 1999).

Según la Agencia Europea Ambiental (EEA, 2005) se define un indicador como “*una medida, generalmente cuantitativa, que puede utilizarse para ilustrar y comunicar fenómenos complejos de manera simple, incluidas las tendencias y el progreso a lo largo del tiempo*”. Además, señala que “*un indicador proporciona una pista para un asunto de mayor importancia o hace perceptible una tendencia o fenómeno que no es detectable de inmediato. Un indicador es un signo o síntoma que hace que algo se conozca con un grado razonable de certeza. Un indicador revela, proporciona evidencia y su importancia se extiende más allá de lo que realmente se mide a un fenómeno de interés más grande*”.

La EEA presenta un conjunto básico de 37 indicadores descriptivos, concebidos para 6 temas que abordan las prioridades políticas de la Unión Europea (UE). Entre ellos se encuentran “*indicadores sobre contaminación del aire y agotamiento de la capa de ozono, cambio climático, residuos, agua biodiversidad y medio ambiente terrestre*”. Además, la lista de indicadores de la EEA contempla cuatro sectores: agricultura, energía, transporte y pesca.

La Organización para el desarrollo económico y la cooperación (OECD) contempla un conjunto de 50 indicadores ambientales para temas que reflejan las preocupaciones ambientales de los países que conforman la OECD. Adicionalmente, ha definido una lista reducida de indicadores que se utilizan para comunicar la información al público en general y permitir una mayor comprensión de los tomadores de decisiones (OECD, 2004).

La EEA utiliza como marco conceptual la fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR) y la OECD usa el marco presión-estado-respuesta (PSR). Estos, juntamente con el marco de fuerza motriz-estado-respuesta (DSR), son considerados los más comunes (figura 2.10). En estas cadenas causales los desarrollos sociales y económicos se consideran fuerzas impulsoras que ejercen presión sobre el medio ambiente, conduciendo a cambios en el estado del ambiente y éste posteriormente impactos en la salud humana, sistemas y materiales ecológicos que pueden provocar una respuesta social que retroalimente de las fuerzas motrices, presiones o el estado o a los impactos directos (Niemeijer y de Groot, 2008).

Los indicadores dados por la OECD y la EEA poseen ligeras diferencias en los criterios utilizados al establecer las listas que pueden apuntar a diferencias sutiles en función del conjunto de indicadores. Para que estos indicadores pudieran ser utilizados en EAE es necesario modificar la escala y llevarla a escala europea o a la de OECD, ya que la mayoría se han llevado a cabo a nivel local y, por tanto, no son aplicables en EAE (Donnelly et al., 2007). Tanto los objetivos como los indicadores de la EAE deben ser de la escala apropiada, ya que no tiene sentido utilizar datos a nivel nacional como indicador de tendencias a nivel local o viceversa (Therivel, 2004).

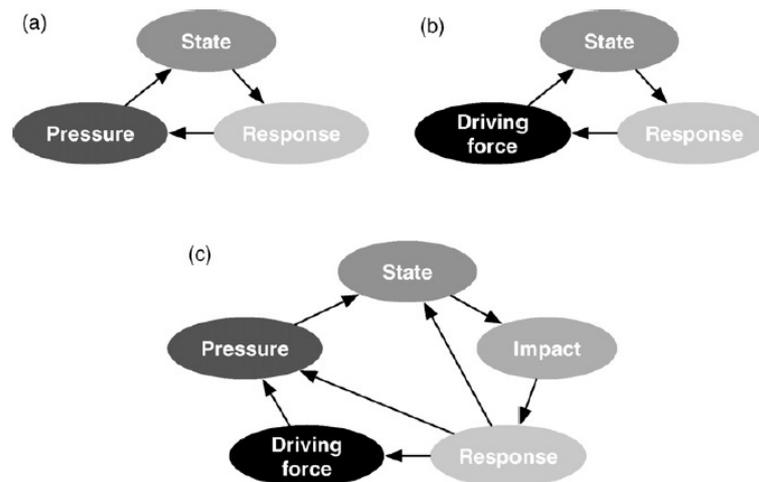


Figura 2.10.- Marcos (a) PSR (b) DSR (c) DPSIR
(Niemeijer y de Groot, 2008)

La literatura científica consultada muestra que el hecho de no considerar las limitaciones de los indicadores en cuanto a su escala temporal y espacial, agregación de indicadores, ponderaciones y sesgos apropiados en el diseño, se reflejaría posteriormente en la toma de decisiones, lo que provocaría problemas en el medio ambiente y la sostenibilidad a largo plazo (Mayer, 2008; Niemeijer y de Groot, 2008; Gao et al., 2014).

Debido a la naturaleza multifuncional de los indicadores ambientales, su desarrollo y selección se ha convertido en un proceso relativamente complejo (Kurtz et al., 2001). Según Niemeijer (2008), los indicadores son a menudo seleccionados basándose en prácticas históricas y regulaciones o en la “evaluación intuitiva de expertos”. Este mismo autor evalúa ocho publicaciones y realiza una lista con 34 criterios, de los cuales solo 3 de los listados pertenecen a la interrelación de los indicadores. El estudio le permite concluir que la mayoría de los indicadores son desarrollados con un enfoque sobre criterios para indicadores individuales y no sobre criterios que los relacionen entre sí. En base a esta conclusión, resalta la carencia de metodologías que definan claramente los criterios para la selección de los indicadores y propone una técnica basada en DPSIR (denominada eDPSIR), la cual permite seleccionar el indicador en base a abordar las complejidades del mundo real mirando redes causales en las que múltiples cadenas causales interactúan y se interconectan.

De igual manera, van Oudenhoven (2018) resalta la importancia de seleccionar indicadores apropiados y sintetiza en base a la literatura existente y su experiencia 16 criterios para evaluar los servicios de los ecosistemas organizándolos en tres categorías: credibilidad, prominencia y legitimidad. Además, adicionó el criterio de viabilidad, con el fin de facilitar la aplicación práctica del mecanismo de selección.

Por otra parte, la comunidad científica ha puesto también su interés en analizar las limitaciones que presentan los indicadores al no ser validados (Kurtz et al., 2001; Bockstaller y Girardin, 2003; Cloquell-Ballester et al., 2006; Donnelly et al., 2007; Aveline et al., 2009). Los indicadores han sido desarrollados para muchos propósitos diferentes debido a la variedad de los problemas ambientales, la complejidad de los datos y la necesidad de decisiones de gestión (Kurtz et al., 2001). En cualquier caso, la metodología de elaboración y desarrollo de los indicadores debe ajustarse a estándares científicos, lo que implica un procedimiento de validación (Bockstaller y Girardin, 2003; Aveline et al., 2009).

Conociendo la falta de enfoques para la validación, Bockstaller y Girardin (2003) elaboraron un enfoque metodológico para la validación de indicadores ambientales. Su propuesta contempla la verificación de tres condiciones que los autores consideran necesarias para confirmar que el indicador está ajustado a estándares científicos. El procedimiento es el siguiente (tabla 2.3):

1. Comprobar que el indicador esté diseñado científicamente: validación de diseño. Se utiliza la revisión por pares y el juicio de expertos. Este es un primer nivel de validación y debe considerarse como un requisito mínimo para la validación del indicador.
2. Comprobar que proporciona información relevante: validación de salida. Se propone comparar los resultados de los indicadores con resultados de modelación, en caso de no tener disponibilidad de datos observados, la comparación

puede realizarse con el valor de otros indicadores o con un conjunto de datos basado en juicio de expertos.

3. Comprobar si es útil y utilizado por los usuarios finales: validación de uso final. Tiene como objetivo conocer la utilidad del indicador como punto de referencia en la toma de decisiones. Se aplican encuestas a los usuarios que permiten reconocer debilidades o fortalezas de lo que comunica el indicador a los usuarios. Se considera crucial establecer vínculos interactivos con los grupos de usuarios involucrados en la realización de la evaluación de riesgos ambientales, a fin de proporcionar una retroalimentación a los usuarios sobre cómo mejorar el indicador.

Tabla 2.3.- Procedimiento de la metodología de validación de indicadores ambientales

No.	Etapas	Técnicas	Detalles	
1	Validación del diseño del indicador	1.1 Revisión por pares y juicio de expertos	Requisito mínimo para la validación del indicador	
2	Validación de Salida	2.1 Límites de objetividad	Prueba visual	Útil para poner en evidencia el posible sesgo del modelo.
			Procedimiento estadístico	Resultados más objetivos. Autores proponen limitar la validación a mecanismos descriptivos (no inferenciales).
			Juicio Expertos	Expertos analizan los datos del modelo y los del mundo. Considerado un complemento más de validación.
		2.2 Aplicación a indicadores	Validación mediante comparación	Define un área de probabilidad. Presentan dos técnicas de definición del área, la cual es elegida dependiendo si se evalúa un impacto potencial o un procedimiento cualitativo.
Validación global de expertos	Se utiliza un panel de experto para valorar la relevancia del indicador.			
3	Validación de uso final	3.1 Ejecución de encuestas a los usuarios de los indicadores	Tiene el objetivo de verificar la utilidad del indicador como punto de referencia para la toma de decisiones. La encuesta permite identificar debilidades y fortalezas del indicador al ser utilizado.	

(Bockstaller y Girardin, 2003)

Esta metodología fue aplicada (Aveline et al., 2009) para evaluar un indicador y los subindicadores de MERLIN, un método de evaluación desarrollado por asesores agrícolas franceses. El primer paso de la metodología confirmó que los supuestos y los subindicadores de MERLIN son científicamente sólidos, aunque la ponderación de los subindicadores suscitó preguntas. El segundo paso de validación dio resultados aceptables para un subindicador (EQUIF) pero la prueba MERLIN resaltó la necesidad de datos experimentales adicionales para la validación. El último paso confirmó que el indicador es considerado útil por los tomadores de decisiones, pero reveló que en algunos casos es adaptado en función de la situación, dando como resultado la elaboración de una guía de usuario que evita las adaptaciones circunstanciales por parte de los usuarios.

Además de la metodología de Bockstaller y Girardin (2003) detallada anteriormente, Cloquell-Ballester (2006) diseñó la metodología para validación de indicadores ambientales denominada “Metodología 3S”. En ella se incorpora el componente de participación pública al proceso de validación que consta de 3 etapas complementarias entre sí, aumentando la credibilidad del indicador a medida que superan las diferentes etapas de validación. El núcleo de la validación es evaluar el desempeño de los nuevos indicadores, en base a tres puntos de vista fundamentales: coherencia conceptual, coherencia operacional y utilidad. A continuación, se describe brevemente las etapas de esta metodología:

1. *Sui Validatio* (autovalidación). Esta etapa es ejecutada por el equipo de trabajo, con el fin de reflexionar sobre el desempeño correcto de los nuevos indicadores diseñados y evitar inconsistencias conceptuales y errores operacionales, además de asegurar la documentación correcta de los nuevos indicadores.
2. *Scienciatitis validatio* (validación científica). Se utiliza el juicio de expertos independientes para proporcionar rigor y objetividad al nuevo diseño de indicadores.
3. *Societatis validatio* (validación social). Incorpora la participación pública, ayudando a mantener niveles altos de transparencia en los procesos.

Donnelly (2007) plantea un esquema para ayudar a seleccionar con éxito indicadores ambientales para uso en la EAE. El equipo de trabajo estaba compuesto por representantes de cada uno de los cuatro campos ambientales: biodiversidad, agua, aire y factores climáticos, junto con expertos y profesionales de la EAE, expertos en planificación, académicos, representantes de las autoridades locales, diversas agencias ambientales y consultores en materia ambiental. El desarrollo de los trabajos se centró en los siguientes aspectos:

1. Revisión de los criterios de selección de indicadores ambientales ya existentes para determinar su transferibilidad al proceso de la EAE. De trabajos anteriores se habían previamente identificado indicadores para las áreas a estudiar. El objetivo era identificar los indicadores que no estaban claros y/o eran innecesarios y establecer si debían agregar o no nuevos indicadores a la lista registrada con anterioridad.
2. Proporcionar un conjunto de criterios para la selección de indicadores ambientales específicamente para el proceso de la EAE. Los grupos de trabajo prepararon un conjunto de criterios para los indicadores desarrollados para cada receptor ambiental, realizando una síntesis de los cuatro en conjunto. Estos criterios permitirán identificar los indicadores ambientales apropiados para garantizar una EAE rigurosa y robusta.
3. Presentar una metodología para evaluar el indicador habiendo seleccionado el criterio. Para la evaluación se empleó un formato matriz, donde los indicadores ambientales se enumeran en el eje vertical y los criterios en el eje horizontal. Esto

permite de un vistazo, evaluar qué criterios están cubiertos por indicadores particulares, permitiendo identificar brechas y si algún indicador no cumple con la mayoría de los criterios puede ser descartado, luego de analizar las consideraciones por las cuales fue elegido.

El resultado de la aplicación de esta metodología permitía optimizar la cantidad de indicadores ambientales requeridos para la EAE y centrar el proceso de recopilación de datos de referencia y el posterior monitoreo del entorno, incluyendo una reducción de costos y la maximización de los recursos (Donnelly et al., 2007).

2.7. Indicadores compuestos

Los indicadores compuestos fueron definidos por Schuschny y Soto (2009) “*como una representación simplificada que busca resumir un concepto multidimensional en un índice simple (unidimensional)*”. Para Saisana y Tarantola (2002) “*los indicadores compuestos se basan en subindicadores que no tienen una unidad significativa común de medición y no existe una forma obvia de ponderar estos subindicadores*”.

“*Los indicadores compuestos son mucho más fáciles de interpretar que tratar de encontrar una tendencia común en muchos indicadores*” (Singh et al., 2009; Paruolo et al., 2013) y ofrecen información para llamar la atención sobre algunas cuestiones (Nardo et al., 2008).

Según Gallopín (1997), la característica más importante de los indicadores en comparación con otras formas de información es la relevancia a la política y la toma de decisiones. Estos son cada vez más importantes dentro del discurso sobre comparar el desempeño de países, regiones o instituciones (El Gibari et al., 2019) así como en formulación de políticas (Singh et al., 2009). Lo anterior también es debido a que tienen como objetivos resumir, enfocar y condensar la complejidad dinámica del ambiente (Nardo et al., 2008).

Los indicadores compuestos, que son índices sintéticos de indicadores individuales, se están desarrollando en una variedad de desempeño económico y áreas de políticas (Freudenberg, 2003). La utilización de indicadores compuestos es una técnica utilizada en una amplia gama de campos, incluyendo medio ambiente, economía, sociedad o desarrollo tecnológico (Nardo et al., 2008). Según Freudenberg (2003,) “*los indicadores compuestos seguirán desarrollándose debido a su utilidad como herramienta de comunicación y, en ocasiones, con fines analíticos*”. Varios autores resaltan el aumento que ha existido de los índices o indicadores compuestos en las últimas dos décadas (Paruolo et al., 2013; Becker et al., 2016; Saisana y Saltelli, 2016; Nardo et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009; Freudenberg, 2003; Munda y Nardo, 2005).

Un resumen de los pros y los contras de los indicadores compuestos es presentado por Saisana y Tarantola (2002) y mostrado a continuación (tabla 2.4).

Tabla 2.4.- Pros y contras de los indicadores compuestos

PROS

Los indicadores compuestos se pueden utilizar para resumir problemas complejos o multidimensionales, en vista de apoyar a los tomadores de decisiones.

Los indicadores compuestos proporcionan una imagen completa.

Pueden ser más fáciles de interpretar que intentar encontrar una tendencia en muchos indicadores separados.

Facilitan la tarea de clasificar países en cuestiones complejas.

Los indicadores compuestos pueden ayudar a atraer el interés público, al proporcionar una figura resumida con la que para comparar el desempeño entre países y su progreso a lo largo del tiempo.

Los indicadores compuestos podrían ayudar a reducir el tamaño de una lista de indicadores o incluir más información dentro del límite de tamaño existente .

CONTRAS

Los indicadores compuestos pueden enviar mensajes de política engañosos y no sólidos si no están bien contruidos o son malinterpretados.

El análisis de sensibilidad se puede utilizar para probar indicadores compuestos para robustez.

Los resultados simples de "panorama general" que muestran los indicadores compuestos pueden invitar a los políticos a dibujar conclusiones políticas simplistas.

Los indicadores compuestos deben usarse en combinación con los subindicadores para sacar conclusiones políticas sofisticadas.

La construcción de indicadores compuestos implica etapas en las que se debe emitir un juicio: selección de subindicadores, elección del modelo, indicadores de ponderación y tratamiento de los valores perdidos, etc .

Estos juicios deben ser transparentes y basarse en principios estadísticos sólidos.

Podría haber más margen para los Estados miembros sobre indicadores compuestos que sobre indicadores.

La selección de subindicadores y ponderaciones podría ser el objetivo de un desafío político.

Los indicadores compuestos aumentan la cantidad de datos necesarios, porque los datos son necesarios para todos los subindicadores y para un análisis estadísticamente significativo.

(Saisana y Tarantola, 2002)

Los desarrolladores de indicadores compuestos deben enfrentarse a un grado justificable de escepticismo por parte de los estadísticos, economistas y otros grupos de usuarios (Nardo et al., 2008). Dentro de las críticas realizadas, la literatura resalta las siguientes:

- “la correcta selección de las variables que lo compondrán, la comparabilidad del indicador compuesto en diversas situaciones, la generalización excesiva, el contrapeso que se produce entre variables de diferentes naturalezas (Schuschny y Soto, 2009)”.
- “la falta de transparencia de algunos indicadores existentes, especialmente en lo que se refiere a metodologías y datos básicos (Nardo et al., 2008)”.
- “el mayor problema es la falta de datos relevantes (Freudenberg, 2003)”.

En la práctica, es difícil imaginar que el debate sobre el uso de indicadores compuestos alguna vez se resuelva (Saisana et al., 2005). Schuschny y Soto (2009) “establecen que la controversia a favor o en contra de su uso probablemente siga abierta”.

A pesar de estas supuestas deficiencias, los indicadores compuestos “son útiles para proporcionar a los expertos, las partes interesadas y los tomadores de decisiones” (Saisana y Saltelli, 2016) y además los siguientes:

- dirección de los desarrollos.
- comparación entre lugares, situaciones y países.
- evaluación del estado y la tendencia en relación con los objetivos y metas.
- advertencia temprana.
- identificación de áreas de acción.
- anticipación de las condiciones y tendencias futuras y
- el canal de comunicación para el público en general y los tomadores de decisiones.

2.3.3 Metodología de Construcción de Indicadores Compuestos

En el proceso de construcción de los indicadores es importante tener en cuenta que, al parecerse a los modelos matemáticos, su construcción se debe más a la destreza del modelador que a las reglas científicas universalmente aceptadas (Nardo et al., 2008).

La metodología de construcción de indicadores compuestos ha sido definida por Nardo et al. (2008) en las siguientes etapas:

1. Marco teórico

“Lo que está mal definido es probable que esté mal medido”

“Proporciona la base para la selección y combinación de variables en un indicador compuesto significativo bajo un principio de adecuación al propósito”. Para lograr esto se recomienda:

- *“Obtener una clara comprensión y definición del fenómeno multidimensional a medir”.*
- *“Estructurar los distintos subgrupos del fenómeno (si es necesario)”.*
- *“Compilar una lista de criterios de selección para las variables subyacentes, por ejemplo, entrada, procesos, salidas”.*

2. Selección de datos

“Un indicador compuesto es ante todo la suma de sus partes”.

Esta etapa se basa en la solidez analítica, la mensurabilidad, la cobertura del país y la relevancia de los indicadores para los fenómenos que se mide y la relación entre ellos. Es necesario considerar el uso de variables indirectas cuando los datos sean escasos (en este paso se prevé la participación de expertos y partes interesadas). Para lograr esto se recomienda:

- *“Verificar la calidad de los indicadores disponibles”.*
- *“Discutir las fortalezas y debilidades de cada indicador seleccionado”.*
- *“Crear una tabla resumen de las características de los datos”.*

3. Imputación de datos faltantes

“La idea de imputación podría ser seductora y peligrosa”

Esta etapa es necesaria para proporcionar un conjunto de datos completo. Para lograr esto se recomienda:

- *“Estimar los valores perdidos”*
- *“Proporcionar una medida de la confiabilidad de cada valor imputado”*
- *“Discutir la presencia de valores atípicos en el conjunto de datos”*

4. Análisis Multivariado

“Analizar la estructura subyacente a los datos sigue siendo un arte”

Para el análisis multivariado debe estudiarse *“la estructura general del conjunto de datos, evaluar su idoneidad y orientar las opciones metodológicas posteriores”*. Para lograr esto se recomienda:

- *“Comprobar la estructura subyacente de los datos a lo largo de las dimensiones principales”.*
- *“Identificar grupos de indicadores o grupos de países estadísticamente similares y brindar una interpretación de los resultados”.*
- *“Comparar la estructura determinada estadísticamente del conjunto de datos con el marco teórico y discutir las posibles diferencias”.*

5. Normalización

“Evite sumar manzanas y naranjas”

La normalización debe realizarse para hacer comparables las variables. Para lograr esto se recomienda:

- *“Seleccionar procedimientos de normalización adecuados que respeten el marco teórico como las propiedades de los datos”.*
- *“Discutir la presencia de valores atípicos en el conjunto de datos, ya que pueden convertirse en puntos de referencia no deseados”.*
- *“Hacer ajustes de escala, si es necesario”.*
- *“Transformar los indicadores muy sesgados, si es necesario”.*

6. Ponderación y agregación

“La importancia relativa de los indicadores es motivo de controversia”

Tanto *“la ponderación y la agregación deben hacerse siguiendo las líneas del marco teórico subyacente”*. Para lograr esto se recomienda:

- *“Seleccionar los procedimientos de ponderación y agregación adecuados que respeten el marco teórico y las propiedades de los datos”.*
- *“Discutir si deben tenerse en cuenta los problemas de correlación entre indicadores”.*
- *“Discutir si se debe permitir la compensación entre indicadores”.*

7. Análisis de incertidumbre y sensibilidad

“El análisis de sensibilidad se puede utilizar para evaluar la solidez de los indicadores compuestos”

El objetivo de esta etapa es *“evaluar la solidez del indicador compuesto en términos de, por ejemplo, el mecanismo para incluir o excluir un indicador, el esquema de normalización, la imputación de datos faltantes”*. Para lograr esto se recomienda:

- *“Considerar un enfoque de modelos múltiples para construir el indicador compuesto y, si están disponibles, escenarios conceptuales alternativos para la selección de los indicadores subyacentes”.*
- *“Identificar todas las posibles fuentes de incertidumbre en el desarrollo del indicador compuesto y acompañar las puntuaciones compuestas y los rangos con límites de incertidumbre”.*
- *“Realizar análisis de sensibilidad de la inferencia (supuestos) y determinar qué fuentes de la incertidumbre es más influyente en las puntuaciones y/o rangos”.*

8. Volver a los datos

“Reconstruir indicadores compuestos puede ayudar a ampliar su análisis”

Volver a los datos es necesario para revelar los principales impulsores de un buen o mal desempeño general. *“La transparencia es primordial para un buen análisis y formulación de políticas”*. Para lograr esto se recomienda:

- *“Perfilar el desempeño del país a nivel de indicador para revelar qué está impulsando el indicador compuesto resultados”*.
- *“Para verificar correlación y causalidad (si es posible)”*.
- *“Identificar si los resultados de los indicadores compuestos están demasiado dominados por pocos indicadores y explicar la importancia de los subcomponentes del indicador compuesto”*.

9. Vínculo con otros indicadores

“Los indicadores compuestos se pueden vincular a otras variables y medidas”

Esta etapa busca *“correlacionar el indicador compuesto (o sus dimensiones) con los indicadores existentes (simples o compuestos), así como para identificar vínculos a través de regresiones”*. Para lograr esto se recomienda:

- *“Correlacionar el indicador compuesto con otras medidas relevantes, teniendo en cuenta los resultados de análisis de sensibilidad”*.
- *“Desarrollar narrativas de los datos conductores en que se basan los resultados”*.

10. Visualización de resultados

“Un gráfico bien diseñado puede hablar más fuerte que las palabras”

“La visualización de resultados debe recibir la atención adecuada, dado que la visualización puede influir (o ayudar a mejorar) la interpretación”. Para lograr esto se recomienda:

- *“Identificar un conjunto coherente de herramientas de presentación de presentación para la audiencia objetivo”*.
- *“Seleccionar la técnica de visualización que comunica más información”*.
- *“Presentar los resultados del indicador compuesto de manera clara y precisa”*.

Varios autores han utilizado las etapas anteriores, a excepción de las últimas tres etapas, para explicar la técnica de los indicadores compuestos (Schuschny y Soto, 2009) o evaluar críticamente los métodos aplicados en las etapas (Saisana y Tarantola, 2002; Freudenberg, 2003). De igual forma a continuación se muestran para las etapas 1 a la 7 los principales métodos y/o criterios aplicados:

A. Marco teórico

Se recomienda categorizar el contexto del análisis y comprender el fenómeno a medir (Schuschny y Soto, 2009). El marco teórico debe dar una clara idea al lector de lo medido (Nardo et al., 2008) y si este (lo que interesa medir) recibe beneficio del uso de indicadores compuestos (Saisana y Tarantola, 2002). Saltelli (2007), señala la necesidad de un marco conceptual explícito para el índice.

Por subjetivo e impreciso que sea el marco teórico, *“implica el reconocimiento de la multidimensionalidad del fenómeno a medir y el esfuerzo de precisar los aspectos singulares y su interrelación”* (Nardo et al., 2005). *“Estos se pueden dividir en varios subgrupos, los cuales no necesitan ser estadísticamente independientes entre sí, y los vínculos existentes deben describirse teórica o empíricamente en la mayor medida posible”* (Nardo et al., 2008). Se necesita una idea política clara de qué subindicadores son relevantes para el fenómeno a medir. No existe una forma totalmente objetiva de seleccionar (Saisana y Tarantola, 2002). Se debe involucrar a expertos y partes interesadas en la mayor medida posible (Nardo et al., 2008)

Finalmente, el marco teórico debe contemplar la descripción de los criterios de selección con el objetivo *“de determinar si un indicador se debe incluir o no en el índice compuesto en cuestión. Debe ser lo más preciso posible y describir el fenómeno que se mide, es decir, entrada, salida o proceso”* (Nardo et al., 2008).

B. Selección de variables e indicadores simples

Idealmente, las variables deben seleccionarse en la base de solidez analítica, mensurabilidad, relevancia para el fenómeno que se mide, y la relación entre sí (Freudenberg, 2003). Se necesita una idea política clara de qué subindicadores son relevantes para el fenómeno que se va a medir, ya que no existe una forma totalmente objetiva de seleccionar subindicadores relevantes (Saisana y Tarantola, 2002; Freudenberg, 2003; Singh et al., 2009). Saltelli et al. (2004), indican que el punto es que la subjetividad no sea antiética, mientras Nardo et al. (2008) puntualizan que es necesario hacer concesiones al construir un indicador compuesto, lo que considera esencial es la transparencia de esos compromisos. Por ello, *“el proceso de selección debe ser documentando mediante la construcción de metadatos”* (Schuschny y Soto, 2009).

Nardo et al. (2008) establecen que el desarrollo de un marco de calidad para los indicadores compuestos no es una tarea fácil pues depende tanto la calidad de los datos como de la solidez de los procedimientos utilizados en la construcción, y definen la calidad como *“aptitud para el uso”* en términos de las necesidades del usuario. Este mismo autor establece que las características de calidad más importantes dependen de las perspectivas, necesidades y prioridades de los usuarios, que varían entre grupos de usuarios.

Es importante destacar una *“gran limitación que presenta el diseño de un indicador compuesto y que consiste en la probable ausencia de estadística básica con la que alimentar*

el indicador a proponer” (Freudenberg, 2003; Saltelli et al., 2004; Nardo et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009). Sin embargo, un punto que es resaltado en la literatura es que la calidad no se equipara con la precisión de la información estadística, sino más bien en que los indicadores encajen con el concepto que se está midiendo (Nardo et al., 2008).

Se ha trabajado mucho en los últimos años para aplicar el concepto de calidad a los datos estadísticos (OECD, 2012). En lo referente a medir el marco de calidad de las informaciones estadísticas, existen marcos entre los que podemos mencionar los desarrollados por Eurostat, el Fondo Monetario Internacional (FMI), OECD (Nardo et al., 2008), Statistics Canada y otras oficinas nacionales de estadística (ONE) (OECD, 2012).

“El Código de Buenas Prácticas de las Estadísticas Europeas es la piedra angular del marco común de calidad del sistema Estadístico Europeo. Se trata de un instrumento auto regulador que se basa en 16 principios, que abarcan el entorno institucional, los procesos estadísticos y la producción estadística” (Eurostat, 2017). Los principios del 11 al 15, mostrados en la figura 2.11, se corresponden con los principios de la producción estadística.

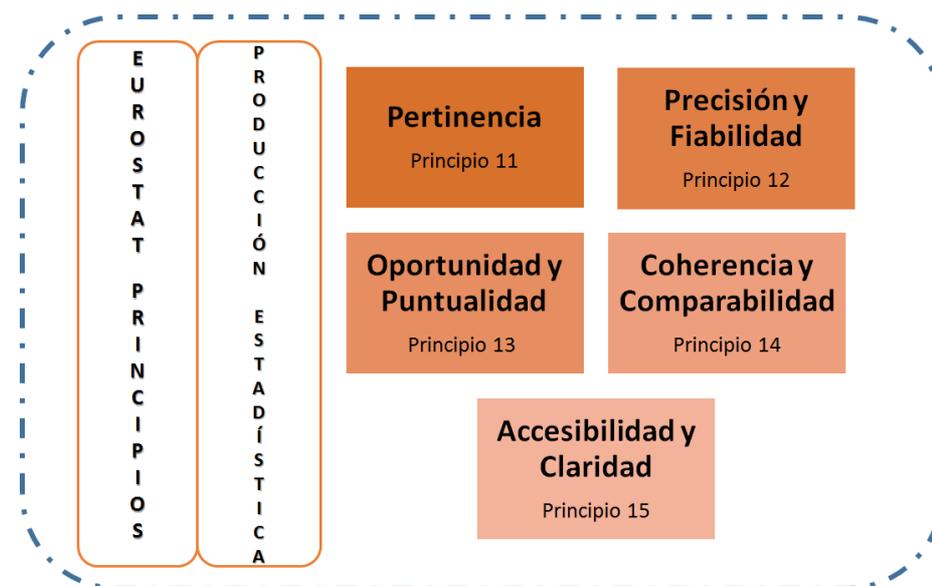


Figura 2.11.- Principios de producción estadística de Eurostat (modificada de Eurostat, 2017)

El marco de evaluación de calidad de los datos o *Data Quality Assessment Framework* (DQAF) del FMI evalúa la observancia de mejores prácticas de recopilación y difusión de datos de acuerdo con un conjunto de prerequisites y cinco dimensiones de datos de calidad. Para cada dimensión identifica entre tres y cinco elementos de buenas prácticas, y para cada elemento, varios indicadores relevantes (Mrkaic, 2010). En la figura 2.12 se

muestra el conjunto de prerrequisitos, las cinco dimensiones de calidad y los elementos de buenas prácticas para el marco DQAF.



Figura 2.12.- Prerrequisito y dimensiones de datos de calidad de DQAF (modificada de Mrkaic, 2010)

Para una organización internacional, la calidad de las estadísticas difundidas depende de dos aspectos: la calidad de las estadísticas nacionales recibidas y la calidad de los procesos internos de recopilación, procesamiento, análisis y difusión de datos y metadatos (OECD, 2012). Existen algunas similitudes entre lo hecho por la OECD en el desarrollo de su propio marco de calidad y las características de los indicadores compuestos, que como se había indicado con anterioridad, su calidad depende de dos aspectos: la calidad de los datos básicos y la calidad de los procedimientos utilizados para construir y difundir el indicador compuesto (Nardo et al., 2008). La OECD considera la calidad en términos de siete dimensiones: relevancia, precisión, credibilidad, oportunidad, accesibilidad e interpretación y coherencia. Además, se indica que es importante considerar el factor de rentabilidad, aunque no es éste estrictamente una dimensión de calidad. (OECD, 2012) (figura 2.13).

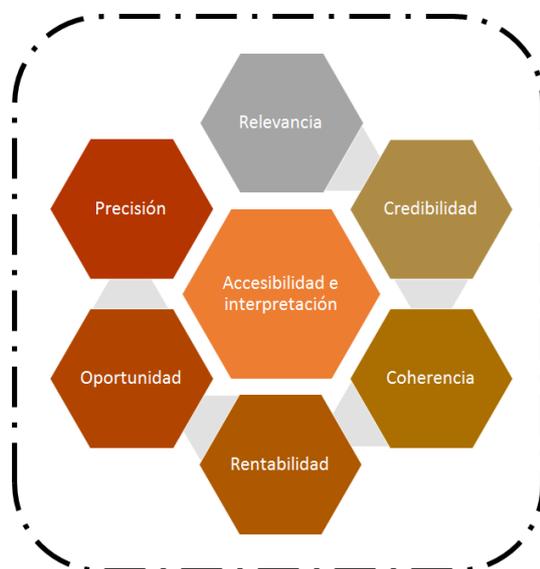


Figura 2.13.- Dimensiones de calidad del Marco de la OECD (modificada de OECD, 2012)

Nardo et al. (2008) plantean un enfoque de marco de calidad para los indicadores compuestos. Para fines de gestión estadística, utiliza dimensiones basadas en los marcos del FMI, Eurostat y la OECD, con el objetivo de maximizar la calidad general del resultado final en la selección de datos básicos. Las dimensiones seleccionadas son: relevancia, precisión, oportunidad, accesibilidad, interpretación y coherencia (figura 2.14). El marco de calidad para la evaluación de los procesos técnicos propuesto por este autor para los indicadores compuestos consiste en evaluar de forma matricial las dimensiones de calidad mencionadas versus cada una de las fases de construcción del indicador compuesto (Nardo et al., 2008).



Figura 2.14.- Dimensiones de calidad para la gestión estadística de indicadores compuestos (modificada de Nardo et al., 2008)

C. Normalización

Una circunstancia común que se encuentra al construir un índice ambiental es la variedad de unidades de medida en las que se pueden expresar las variables ambientales (Freudenberg, 2003; Ebert y Welsch, 2004; Jacobs et al., 2004; Schuschny y Soto, 2009; El Gibari et al., 2019). Debido a esto, las variables deben estandarizarse o normalizarse antes de agregarse a indicadores compuestos (Freudenberg, 2003) y así evitar la congregación de variables de unidades de medidas distintas y la aparición de fenómenos dependiente de la escala (Schuschny y Soto, 2009).

Dependiendo del objetivo para el cual se haya construido el indicador compuesto y las propiedades de los datos (Nardo et al., 2008), *“puede ser necesario estandarizar el valor de alguna variable siguiendo el patrón de unidades adoptado por una unidad de análisis considerada como “de referencia”* (Schuschny y Soto, 2009). La selección de un método adecuado, sin embargo, no es trivial y merece especial atención a eventuales ajustes de escala (Ebert y Welsch, 2004) o transformación o indicadores muy sesgados (Nardo et al., 2008).

Dentro de los métodos más comunes para el proceso de normalización de datos se encuentran los mostrados en la tabla 2.5, donde se exponen su aplicación, ventajas y desventajas.

Tabla 2.5.- Métodos más comunes para procesos de normalización de datos. Ventajas y desventajas

Método	Ventaja	Desventaja
Ordenamiento de indicadores entre unidades de análisis (clasificación o rankings)	El indicador compuesto se crea mediante una suma o un promedio de las clasificaciones.	No se ve afectado por valores atípicos y permite seguir el desempeño de lo medido a lo largo del tiempo.
		No permite medir el desempeño en términos absolutos, porque se pierde información sobre los niveles. Además, no es posible extraer diferencias en el rendimiento de las unidades, debido a que no hay medida de la distancia entre los valores de los indicadores.
Estandarización (puntajes Z)	Impone una distribución normal estándar a cada indicador. (media = 0 ; desviación estándar= 1)	Los valores de cada unidad de análisis quedan estandarizados respecto de una misma distribución. Evita, al agregar todas las variables, la presencia de distorsiones debidas a las diferencias entre las medias de los indicadores.
		Los indicadores con valores extremos tienen un mayor efecto sobre el indicador compuesto, lo que pudiera no ser deseable, dependiendo el objetivo para el cual fue diseñado el indicador compuesto.
Re-escalamiento (min-máx.)	La estandarización se basa en el rango. Atribuye valores a los indicadores que pueden estar entre [0,1] o [0,100] , en base a los valores extremos mínimo y máximo.	Normaliza los indicadores para que tengan un rango idéntico. Es un método sólido cuando hay muchos valores atípicos.
		Los valores extremos o atípicos podrían distorsionar el indicador transformado. Depende más del valor de las ponderaciones que los valores no escalados.
Distancia a una unidad de análisis de referencia	Mide la posición relativa de un indicador dado con respecto a un punto de referencia.	El resultado es invariante siempre y cuando se mantenga el valor de referencia.
		Si las referencias son basadas en valores extremos podrían ser valores atípicos poco fiables.
Escala categórica	Asigna una puntuación a cada indicador. Las categorías pueden ser numéricas o cualitativas. A menudo se basa en los percentiles de la distribución del indicador entre las unidades de análisis.	Es útil para representa información cualitativa en rangos relativamente cuantificables.
		Tiende a producir la pérdida sustancial de información cuantitativa que podría ser relevante, por ejemplo, acerca de la dispersión de las magnitudes. Tiene sensibilidad a los valores atípicos. Elección arbitraria de umbrales. Sensibilidad a la ponderación.
Categorización de los valores por encima o por debajo de la media	Los valores se transforman de modo que los valores alrededor de la media reciben 0 y los que están por encima o por debajo de cierto umbral, reciben 1 y -1 respectivamente.	Es un método más robusto para datos atípicos.
		Se critica la arbitrariedad del nivel del umbral y la omisión de la información del nivel absoluto.
Empleo de tasas o porcentajes de variación	El valor de cada indicador es la diferencia entre el año actual y el año anterior dividido entre el año anterior.	Es un método factible cuando los datos longitudinales sean disponibles y los indicadores se miden de la misma manera a lo largo del tiempo
		Este método suaviza eficazmente la variabilidad cíclica.

(modificada de Freudenberg, 2003; Jacobs, Smith y Goddard, 2004; Nardo et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009)

D. Ponderación

La influencia del método de estandarización o normalización en los resultados de los indicadores compuestos parece limitada. Las ponderaciones asignadas a los indicadores individuales, por el contrario, influyen fuertemente en el índice general (Saisana y Tarantola, 2002; Freudenberg, 2003; Schuschny y Soto, 2009; El Gibari et al., 2019).

Paruolo et al. (2013) indican que la ponderación no es una medida de importancia de la variable, pero se puede utilizar para revelar la importancia relativa del objetivo de los indicadores individuales. Munda (2005) afirma que el uso de ponderaciones con valoraciones de criterio ordinales origina procedimientos de agregación no compensatorios y da las ponderaciones el significado de coeficientes de importancia.

Varios autores describen las técnicas más comunes para obtener los pesos de las variables (Saisana y Tarantola, 2002; Freudenberg, 2003; Jacobs, Smith y Goddard, 2004; Mondéjar-Jiménez y Vargas-Vargas, 2008; Nardo et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009). De entre la variedad de métodos identificados los hay desde muy sencillos a otros con procedimientos más complejos. Cox et al. (1992) argumentan a favor de esquemas de ponderación y métodos de análisis simples indicando que *“los argumentos en contra del uso de métodos multivariados formales y las ponderaciones complejas asociadas son esencialmente que la interpretación se hace menos directa y, lo que es más importante, que la base para determinar las ponderaciones, por muy bien definida que este en términos estadísticos formales, de ninguna manera garantiza que sea significativa”*.

El establecimiento de estos pesos parece ser un problema importante del cual depende el resultado final del análisis (Freudenberg, 2003). Por ello *“la metodología de agregación debe ser claramente explicitada y de fácil y transparente reproducción”* (Schuschny y Soto, 2009). Los métodos expuestos en la literatura con sus ventajas y desventajas se presentan de forma resumida en la tabla 2.6.

Tabla 2.6.- Métodos más comunes para procesos de ponderación. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Análisis Multivariado (Análisis de componentes principales y el análisis factorial)	
Son procedimientos muy utilizados para sintetizar información contenida en un número elevado de indicadores. En los indicadores compuestos es utilizado para: (i) para identificar la dimensión del fenómeno (ii) agrupar los indicadores, y (iii) definir las ponderaciones	
<ul style="list-style-type: none"> •Compone variables de acuerdo con su posible mutua de asociación •Captura conjuntamente la información común que poseen las variables. •Son apropiadas para fijar la relación de estas variables en subindicadores asociados a las componentes o factores obtenidos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las correlaciones no se corresponden necesariamente con los vínculos del mundo real y las relaciones subyacentes entre los indicadores y los fenómenos que se están midiendo. •Los pesos que se obtienen (es decir los coeficientes de las combinaciones lineales) pueden ser negativos. •Es muy sensible a la incorporación de información y la presencia de datos atípicos (que introducen variabilidades espurias en el conjunto de datos). •Tiende a minimizar la contribución de variables que poseen una evolución distinta de los demás indicadores. •Sólo pueden aplicarse cuando se está en presencia de correlaciones significativas.
Beneficio del enfoque de la duda (DBO)	
En este método el indicador compuesto es definido como la relación entre el desempeño real del elemento evaluado y su desempeño de referencia.	
<ul style="list-style-type: none"> • El indicador es sensible a las prioridades de las políticas nacionales, en el sentido de que las ponderaciones se determinan endógenamente por los resultados observados (este es un segundo enfoque útil cuando no se puede obtener la mejor información completa sobre las verdaderas prioridades de las políticas). • El punto de referencia no se basa en límites teóricos, sino en una combinación lineal de mejores desempeños observados. • Útil en el ámbito de las políticas, ya que los responsables políticos no podían quejarse de una ponderación injusta: cualquier otro esquema de ponderación habría generado puntuaciones compuestas más bajas. • Dicho índice podría "generar incentivos" en lugar de "castigar" a los países rezagados. • Las ponderaciones, al revelar información sobre las prioridades políticas, pueden ayudar a definir compensaciones, superando las dificultades de las combinaciones lineales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin imponer restricciones a las ponderaciones (excepto la no negatividad), es probable que muchos de los países tengan un puntaje de indicador compuesto igual a 1 (muchos países en la frontera). • Puede suceder que exista una multiplicidad de soluciones que hagan indeterminado el conjunto óptimo de ponderaciones (es probable que esto suceda cuando $CI = 1$). • Es probable que el índice recompense el estatus quo, ya que para cada país el problema de maximización otorga mayor peso a las puntuaciones más altas. • El mejor intérprete (aquel con un compuesto igual a uno) no verá su progreso reflejado en el compuesto (que permanecerá aplazado en 1). Esto se puede solucionar imponiendo un punto de referencia externo.
Modelos de componentes no observados	
Se supone que los indicadores individuales dependen de una variable más un término de error.	
<ul style="list-style-type: none"> • Los pesos no dependen de restricciones ad hoc. • La confiabilidad y solidez de los resultados dependen de la disponibilidad de datos suficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Con indicadores individuales altamente correlacionados, podría haber problemas de identificación. • Recompensa la ausencia de valores atípicos, dado que las ponderaciones son una función decreciente de la varianza de los indicadores individuales. • Si cada elemento evaluado tiene un número diferente de indicadores individuales; los pesos son específicos del elemento.

Ventajas	Desventajas
Asignación de presupuesto (BAP)	
A expertos en un tema se les piden que asignen un “presupuesto” de cinco puntos al conjunto de indicadores, basado en su experiencia y juicio subjetivo sobre la importancia relativa de los respectivos indicadores. Posee cuatro fases: (i) Selección de expertos; (ii) asignación de presupuesto a los indicadores individuales; (iii) cálculo de pesos; (iv) Iteración de la asignación presupuestaria hasta alcanzar la convergencia (opcional)	
<ul style="list-style-type: none"> • La ponderación se basa en la opinión de expertos y no en manipulaciones técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ponderación de la fiabilidad. Las ponderaciones pueden reflejar condiciones locales específicas (por ejemplo, en problemas ambientales), por lo que la ponderación experta puede no ser transferible de un área a otra.
<ul style="list-style-type: none"> • Es probable que la opinión de los expertos aumente la legitimidad del compuesto y cree un foro de discusión en el que se forme un consenso para la acción política. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asignar un presupuesto determinado a un número demasiado grande de indicadores puede generar un estrés cognitivo grave para los expertos, ya que implica un pensamiento circular. Es probable que el método produzca inconsistencias para varios indicadores superiores a 10. • Es posible que la ponderación no mida la importancia de cada indicador individual, sino más bien la urgencia o la necesidad de intervención política en la dimensión del indicador individual en cuestión (por ejemplo, más ponderación en las emisiones de ozono si el experto considera que no se ha hecho lo suficiente para abordarlas). • Se debe tener especial cuidado en la identificación de la población de expertos de la cual extraer una muestra, estratificada o no.
Opinión pública	
Consiste en la aplicación de encuestas de opinión, donde se les pide a las personas que expresen su grado de preocupación sobre los problemas, medido por los indicadores básicos.	
<ul style="list-style-type: none"> • Trata temas de la agenda pública. • Permite que todas las partes interesadas expresen sus preferencias y crea un consenso para la acción política. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implica la medición de “preocupación”. • Podría producir inconsistencias al tratar con un gran número de indicadores. • Existe cierto grado de ponderación antes de que el público dé sus puntos de vista (mucho, poco, justo, etc.) a medida que se toman decisiones sobre las puntuaciones. Por tanto, los autores de la encuesta ya han influido en las ponderaciones posteriores.

Ventajas	Desventajas
Proceso de jerarquía analítica (AHP)	
Mide la disposición a renunciar a una variable dada a cambio de otra. El núcleo de AHP es una comparación ordinal de atributos por pares.	
<ul style="list-style-type: none"> • Puede utilizarse tanto para datos cualitativos como cuantitativos. • La transparencia del material compuesto es mayor. • La ponderación se basa en la opinión de expertos y no en manipulaciones técnicas. • Es probable que la opinión de los expertos aumente la legitimidad del compuesto y cree un foro de discusión en el que formar un consenso para la acción política. • Proporciona una medida de la inconsistencia en las respuestas de los encuestados. Si el índice de inconsistencia es bajo no afecta drásticamente los pesos (0.1, aunque es aceptable un valor de 0.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un gran número de comparaciones por pares y, por lo tanto, puede ser costoso desde el punto de vista computacional. • Los resultados dependen del conjunto de evaluadores elegidos y el escenario del experimento.
Análisis conjunto (CA)	
El objetivo del análisis conjunto es determinar qué combinación de un número limitado de atributos es el más preferido por un grupo de encuestados. Se establecen escenarios alternativos. Para cada escenario puede ser un conjunto dado de valores para los indicadores individuales. Luego, la preferencia se descompone relacionando los componentes individuales (los valores conocidos de los indicadores individuales de ese escenario) con la evaluación. Utiliza análisis estadístico para tratar los datos y se basa en la opinión de personas (expertos, políticos, ciudadanos).	
<ul style="list-style-type: none"> • Las ponderaciones representan compensaciones entre los indicadores. • Tiene en cuenta el contexto sociopolítico y los valores de los encuestados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita una función de utilidad preespecificada e implica compensación. • Depende de la muestra de encuestados elegidos y de cómo se enmarcan las preguntas. • Requiere una gran muestra de encuestados y es posible que cada encuestado deba expresar una gran cantidad de preferencias. • El proceso de estimación es bastante complejo.
Análisis envolventes de datos (DEA)	
Permite identificar aquellas unidades de análisis que mejor desempeño tienen y a partir de allí establecer un indicador global a partir del cual se evalúan las demás unidades.	
<ul style="list-style-type: none"> • Muy útil para agrupar en un solo indicador el comportamiento de numerosas variables. • Establece para cada unidad de análisis una comparación del desempeño en relación con otra que si bien tiene un comportamiento hipotético. • Es el método que empíricamente mejor se desempeña, a la vez que resulta ser el mejor si se emplea como medida de comparación, ya que, surge de una combinación lineal de los casos de mejor desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dado que es un método matemáticamente sofisticado, hasta cierto punto puede ser visto como una caja negra que sustituye la opinión de los expertos mediante la aplicación realizada por el analista y por eso, en parte se pierde transparencia, algo por cierto, importante al momento de comunicar los resultados obtenidos. • Las unidades que conforman la frontera poseerán un valor del indicador igual a 1, lo que puede dificultar el análisis de sus progresos en el desempeño per se.

Ventajas	Desventajas
Distancia al objetivo	
Consiste en computar las necesidades de intervenciones de política y la urgencia por resolver los problemas a través del cálculo de la distancia a objetivos a ser alcanzados. Es posible considerar como factor de ponderación al cociente entre el valor de la variable y el objetivo que se le plantea alcanzar para esta.	
<ul style="list-style-type: none"> •Este enfoque es técnicamente factible cuando existe una base bien definida para una determinada política, como un plan de política nacional o una referencia similar documentos. 	<ul style="list-style-type: none"> •En algunos casos puede no ser viable la definición del objetivo en relación con las variables consideradas.
Ponderación mediante análisis de regresión	
Suponiendo que las variables independientes del modelo lineal son las variables que hemos seleccionado para componer el indicador sintético y que la variable dependiente representa un objetivo global a ser alcanzado por cada unidad de análisis.	
<ul style="list-style-type: none"> •Es útil para cuantificar el efecto relativo de cada objetivo de política, representado por cada variable, y los objetivos globales a ser alcanzados. •Es bueno para validar un conjunto de factores de ponderación calculados a partir de otra técnica 	<ul style="list-style-type: none"> •Se supone que las variables tienen un comportamiento lineal en relación con el objetivo planteado y que éstas deberían ser independientes entre sí puesto que si hay multicolinealidad el análisis se torna deficiente.

(modificado de Nardo et al., 2008 y ampliado con datos de Saisana y Tarantola, 2002; Freudenberg, 2003; Jacobs et al., 2004; Pérez et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009; El Gibari et al., 2019)

E. Agregación

Una vez determinados los factores de ponderación (pesos) hay que agregar todas las variables o subindicadores en un indicador sintético. *“En aquellos casos en que el método de ponderación utilizado no establece de manera natural un método de agregación subsecuente”* (Schuschny y Soto, 2009).

La cuestión fundamental en la agregación es la compensación de los indicadores, que se define como compensar la dimensión de cualquier indicador con un superávit adecuado en la dimensión de otro indicador. Las reglas para agregar indicadores compuestos pueden ser compensatorias o no compensatorias (Talukder et al., 2017)

Existe controversia sobre si es necesario agregar o no las variables para obtener los indicadores compuestos. Estos pensamientos disímiles son señalados por quien indica *“existe una división fundamental en la literatura sobre indicadores entre quienes optan por agregar variables en un indicador compuesto y quienes no lo hacen. En efecto, esta decisión divide a la comunidad de investigadores de indicadores en dos campos. Los agregadores creen que, por dos razones principales, el valor es combinar indicadores de alguna manera para producir un resultado final. Primero, creen que una estadística resumida de este tipo puede capturar la realidad y es significativa. En segundo lugar, hacen hincapié en que los resultados finales son extremadamente útiles para atraer el interés de los medios y, por lo tanto, la atención de los responsables de la formulación de políticas. Los no agregadores creen que uno debe detenerse una vez que se ha creado*

un conjunto apropiado de indicadores y no dar el paso más allá de producir un índice compuesto. Su principal objeción a la agregación es lo que ven como la naturaleza arbitraria del proceso de ponderación mediante el cual se combinan las variables”.

Las técnicas de agregación más representativas identificadas en la literatura son mostradas en la tabla 2.7, señalando ventajas y desventajas.

Tabla 2.7.- Métodos más comunes para procesos de agregación. Ventajas y desventajas

Ventajas	Desventajas
Suma de rankings	
El método más simple de agregación de toda la información. Consiste en sumar, para cada unidad de análisis, el orden o ranking que posee cada una de las p variables, en relación con el resto de las unidades de análisis	
<ul style="list-style-type: none"> •Es simple. •La supuesta independencia que se logra respecto de los datos atípicos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Tiende a perderse información acerca del valor absoluto de las variables que componen el indicador.
Conteo de las variables que superan o exceden una referencia dada	
Contabilizar el número de indicadores que están por debajo o encima de valores de referencia preestablecidos.	
<ul style="list-style-type: none"> •No se ve afectado por la presencia de datos atípicos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Se pierde información de la magnitud que pueden poseer las variables.
Media aritmética ponderada	
Es el método de agregación lineal más extendido. Consiste en la suma de indicadores individuales ponderados y normalizados. Es deseable que los indicadores sean independientes entre sí.	
<ul style="list-style-type: none"> •Es el método más ampliamente conocido. 	<ul style="list-style-type: none"> •Impone restricciones sobre la naturaleza de los indicadores individuales. •La obtención de un indicador compuesto significativo depende de la calidad de los indicadores individuales subyacentes y de su unidad de medida. •Las agregaciones aditivas tienen implicaciones importantes para la interpretación de los pesos.
Promedio geométrico ponderado	
También llamado índice de privación. Es igual al método anterior, pero considerando la media geométrica.	
<ul style="list-style-type: none"> •Es un punto medio entre la compensación y la no compensación. •Tiene en cuenta las diferencias de rendimiento entre las dimensiones •Permite que los datos no comparables medidos en una escala de razón se puedan agregar de manera significativa, siempre que los indicadores sean estrictamente positivos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Elimina preocupaciones relacionadas con la interacción y la compensación entre los indicadores.

Ventajas	Desventajas
Comparación entre ambas aproximaciones	
Consiste en obtener tanto la agregación lineal como geométrica y plantear comparaciones entre estas.	
<ul style="list-style-type: none"> • Un cambio marginal en cualquier variable tendrá un mayor efecto, sobre el valor del indicador, si se agrega geoméricamente. 	
Aproximaciones multicriterio	
Cuando se utilizan numerosas variables para evaluar un conjunto de unidades de análisis y se desea establecer un ordenamiento o ranking para analizar sus desempeños relativos, es más que probable que algunas de las variables favorezcan el desempeño de algunas unidades de análisis, mientras que otras crean un cierto conflicto acerca de la forma de realizar el ordenamiento. Para subsanar este inconveniente, se puede apelar a aproximaciones multicriterio .	
<ul style="list-style-type: none"> • Supera algunos de los inconvenientes que presentan las agregaciones aritméticas o geométricas, como la posible compensación frente a cambios. • Es posible trabajar simultáneamente con información cuantitativa y cualitativa que no necesita ser normalizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible aparición de situaciones cíclicas en las que no se llegue a una conciliación. • No considera la magnitud de las variables, haciendo que proporciones como "mayor que" o "mucho mayor que" tengan similar sentido.
Enfoque multi- criterio no compensatorio	
Se utiliza para que las ponderaciones se interpreten como "coeficientes de importancia" (la mayor ponderación se coloca en la "dimensión" más importante).	
<ul style="list-style-type: none"> • Superar algunos de los problemas planteados por agregaciones aditivas o multiplicativas, p. Ej. Dependencia de preferencias, el uso de diferentes escalas de razón o intervalo para expresar el mismo indicador y el significado de las compensaciones tomadas en las ponderaciones. • Es posible tratar la información cualitativa y cuantitativa de forma conjunta. • No necesita ninguna manipulación o normalización para asegurar la comparabilidad de los indicadores individuales podría producir la misma clasificación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluyen la dependencia de alternativas irrelevantes, es decir, la posible presencia de ciclos / inversión de rango (el mismo problema resaltado para AHP con indicadores). • La información sobre la intensidad de preferencia de las variables nunca se utiliza: aunque la diferencia entre los valores de un indicador para dos países puede ser bastante grande, una diferencia muy pequeña también

(modificada de Nardo et al., 2008; Schuschny y Soto, 2009; Talukder et al., 2017; El Gibari et al., 2019)

2.8 Análisis de la incertidumbre

Dado que la calidad de un modelo depende de la solidez de sus supuestos. Una buena práctica de modelado requiere que el modelador proporcione una evaluación de la confianza del modelo, evaluando las incertidumbres asociadas con el proceso de modelado y las elecciones subjetivas tomadas (Nardo et al., 2008).

Se considera un elemento importante de transparencia que los indicadores compuestos se presenten acompañados de análisis de incertidumbre estadística (Barclay et al., 2019) lo cual contribuye dentro de una EAE a una evaluación ambiental más confiable. La literatura sugiere que las incertidumbres a menudo no son bien abordadas (Bodde et al., 2018; (Cardenas y Halman, 2016; Maier et al., 2008; Thissen y Agusdinata, 2008).

El objetivo del análisis de incertidumbre es estudiar la distribución de la salida que es inducida por distribuciones de probabilidad en las entradas (Kennedy y O'Hagan, 2001). Según Geffray et al. (2018), la estimación se basa en técnicas de propagación de incertidumbre y plantea de manera resumida los pasos siguientes como los principales para la aplicación de la propagación de la incertidumbre:

- a) Identificar los parámetros de entrada del modelo sujeto a incertidumbre
- b) Describir el conocimiento sobre las variables mediante funciones de densidad de probabilidad.
- c) Generar una muestra a partir de la distribución original.
- d) Ejecutar el código de computadora para este conjunto de valores.
- e) Aplicar métodos estadísticos para calcular los valores de las cantidades de interés.

En el proceso de la toma de decisiones ambientales, se asocian varias formas de incertidumbre a cada uno de los pasos del proceso. Estas incertidumbres son las vinculadas a los datos, a los modelos y a la intervención humana (Maier et al., 2008) (tabla 2.8). En la práctica, la configuración del análisis dependerá de qué fuentes de incertidumbre y supuestos considera el analista relevante para una aplicación en particular (Nardo et al., 2008; Walley, 1996; Zimmermann, 1999).

Tabla 2.8.- Ejemplos de fuente de incertidumbre en el proceso de toma de decisiones ambientales

<p>Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Error de medición <p>Tipo de instrumento - Calidad y frecuencia de calibración del instrumento - Lectura y registro de datos - Transmisión y almacenamiento de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de datos registrados • Longitud del registro de datos • Tipo de análisis / procesamiento de datos • La forma en que se presentan los datos
<p>Modelos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Método de modelado utilizado <p>Tipo, calidad y extensión del registro de datos disponibles - Método de calibración y datos utilizados - Método de validación y datos utilizados - Variabilidad de entrada</p>
<p>Humanos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento, experiencia y pericia del modelista • “Influencia” política e importancia percibida de las partes interesadas • Fuerza del argumento presentado por las partes interesadas • Valores y actitudes de gerentes / tomadores de decisiones • “Clima” político actual

(Maier et al., 2008)

En cuanto a la descripción de las variables mediante funciones de densidad de probabilidad hay que dejar constancia de que, “*cuando todo el conjunto de datos está disponible, los analistas deben ajustar los datos para corregir cualquier sesgo conocido en los datos o valores atípicos*” (McMurray, Pearson y Casarim, 2017). Sin embargo, “*cuando no todo el conjunto de datos está disponible, el analista debe confiar en la comprensión de la fuente de los datos subyacentes, así como cualquier métrica disponible asociada al valor estimado*” (McMurray et al., 2017).

Un aspecto importante en el modelado de la incertidumbre es el método para procesar esa información incierta (Zimmermann, 1990). La revisión de literatura efectuada muestra que los principales métodos para obtención de la incertidumbre son el método Monte

Carlo (MC) (Becker et al., 2016; Geffray et al., 2018; Hofer, 1998; McMurray et al., 2017; Nardo et al., 2008; Strong et al., 2010; Saisana et al., 2005; Saltelli et al., 2004) y cálculo del límite de tolerancia (TL) (Geffray et al., 2018; Hofer, 1998).

En el método Monte Carlo las cantidades se estiman ejecutando el código de computadora múltiples veces (Geffray et al., 2018). El método proporciona formas extremadamente poderosas de abordar problemas realista que no son susceptibles de solución mediante técnicas analíticas (Dunn y Shultis, 2012). “*Las simulaciones Monte Carlo se ejecutan utilizando algoritmo que generan valores estocásticos basados en funciones de densidad de probabilidad de los datos, con el objetivo de producir distribuciones que representan la probabilidad de diferentes estimaciones*” (McMurray et al., 2017). Este método se basa firmemente en dos teoremas matemáticos: la ley de los grandes números y el teorema del límite central (Dunn y Shultis, 2012).

Parra-Michel y Martínez (2007) describen los pasos para la modelación con el método Monte Carlo como sigue: “*tratamos de elegir una distribución de probabilidad (PDF) para las entradas que más se acerque a los datos conocidos o que mejor representa las lecturas del instrumento de medición bajo las siguientes condiciones:*

- *El modelo de medición debe ser una función continua con respecto a las cantidades de entrada q y para las cantidades de salida p .*
- *Las PDF debe ser también continuas y monomodales de tal manera que el mejor estimado para p_n pueda asociarse fácilmente a la PDF.*

Una vez establecidas las PDF para cada cantidad de entrada, se realiza una simulación en base al modelo de medición: primero, se genera un valor aleatorio representativo para cada cantidad de entrada p_n , de acuerdo con la PDF asignada. Por ejemplo, si el mejor valor estimado para una cantidad de entrada es 3.5 y se le asigna una PDF rectangular en el intervalo ± 2 , un número aleatorio comprendido en el intervalo $[3.3, 3.7]$ será utilizado para representar p_n . De acuerdo con el modelo de medición se obtiene un vector con cantidades de salida q . Tras repetir suficientemente este procedimiento, cerca de $N=10000$ veces, se puede obtener q_N vectores de salida y se podrá observar el comportamiento de cómo las cantidades de entrada afectan a las cantidades de salida. Cuanto mayor sea el número de simulaciones N , mejor se observará un intervalo bien determinado en el cual se encuentra la cantidad de salida del mensurando. Los datos generados a partir de la simulación de Monte Carlo se pueden representar como distribuciones de probabilidad asociados al modelo de medición del mensurando”.

Alternativamente, el procedimiento de cálculo del límite de tolerancia (TL) permite el cálculo de los límites de los cuantiles de población o de una cierta proporción de una población de interés (Geffray et al., 2018). Estos límites se obtienen de tal manera que, al menos, un determinado porcentaje (P) de la población pueda estar dentro de estos límites con cierto grado de confianza (Rajagopalan, 2004).

Los límites de tolerancia que caracterizan a los extremos de una población, tiene dos tipos directos de aplicaciones prácticas (Nickens, 1998):

1. Proporcionar información sobre dónde es probable que se concentre la población muestreada.
2. Predecir el número de observaciones de una muestra futura de la misma población, que probablemente caiga en la misma región.

Para familias de distribuciones de probabilidad con una forma de distribución conocida, las regiones de tolerancia estadística pueden construirse normalmente con muestras muy pequeñas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que con muestras pequeñas las regiones de tolerancia construidas son demasiado grandes y, por lo tanto, inadecuadas en la práctica para la distribución normal con ambos parámetros desconocidos (Jílek, 1982). En este método, las estimaciones se proporcionan con un nivel de confianza y pueden obtenerse con una inversión computacional mucho menor, respecto al método Monte Carlo.

2.9 Índices existentes en el ámbito ambiental

En los últimos años, la investigación internacional se ha centrado en el desarrollo de indicadores compuestos principalmente para comparaciones entre países del progreso económico, social, ambiental y/o sostenible de las naciones de manera cuantitativa (Krajnc y Glavič, 2005). “*La proliferación de la producción de indicadores compuestos por las principales organizaciones internacionales es un síntoma claro de su importancia política y relevancia operativa en la formulación de políticas*” (Munda, 2005). Dada su importancia, se han seleccionado 10 índices vinculados al ámbito ambiental (tabla 2.8), los cuales son descritos brevemente a continuación.

1. Índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA)

El índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA) “*es una escala arbitraria, normalizada entre cero y 500, que permite a la población interpretar el grado de peligrosidad que exhibe la atmosfera en un tiempo y lugar dados*” (Vázquez, 2006). Considera seis contaminantes: “*monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), partículas suspendidas totales (PST) y partículas respirables (PM10)*” (Schuschny y Soto, 2009). El IMECA “*tuvo su antecesor el IMEXCA, el cual comenzó a publicarse desde fines del 1977*” (Vázquez, 2006).

El IMECA utiliza ecuaciones de transformación para cada contaminante. “*El índice se construye una vez realizada la transformación por medio de una de las formas más simples de agregación, consistente en tomar el máximo valor de entre los seis disponibles y comparado con umbrales previamente definidos, que permiten determinar acciones concretas de política en materia de contaminantes atmosféricos*” (Schuschny y Soto, 2009).

2. Índice de comportamiento ambiental (EPI - *Environmental Perfomance Index*)

El índice de comportamiento ambiental (EPI) “*es un indicador compuesto construido para ser una herramienta que facilite la medición de los esfuerzos de protección ambiental realizados por las naciones*” (Schuschny y Soto, 2009).

Según Esty et al. (2008), este índice abarca 25 indicadores elegidos a través de una revisión amplia de la literatura científica ambiental, la consulta en profundidad con un grupo de asesores científicos en cada categoría de políticas, la evidencia de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, la Perspectiva Ambiental Global-4 y otras evaluaciones, debates de política ambiental en torno a acuerdos ambientales multilaterales y juicio de expertos. Cada indicador se basa en una consideración de salud ambiental o ciencia ecológica. Los criterios de selección de los indicadores se basan en las características de relevancia, orientación al desempeño, transparencia y calidad de datos. Para cada indicador, se identifica una meta relevante a largo plazo de salud pública o sostenibilidad del ecosistema. Posee una matriz de 149 países y para cada uno de ellos y para cada indicador se calcula un valor de proximidad al objetivo en función de la distancia entre los resultados actuales de un país y el objetivo de la política.

3. Índice de sostenibilidad ambiental (ESI - *Environmental sustainability index*)

Ha sido desarrollado con la colaboración del Foro Económico Mundial (Ginebra), Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra, Universidad de Columbia y Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven (Jha y Murthy, 2003). El ESI “*mide el impacto, las respuestas y vulnerabilidad humana ante cambios en el medio ambiente, así como la capacidad social de lidiar con el estrés ambiental y la contribución de cada nación a la gestión global*” (Schuschny y Soto, 2009).

Saisana y Tarantola, (2002) indican que este índice fue desarrollado para 122 países. Las puntuaciones del ESI se basan en un conjunto de 22 subindicadores, cada uno de los cuales combina de dos a seis variables. En total se consideran 67 variables. Los indicadores y las variables se eligieron mediante una revisión cuidadosa de la literatura ambiental y los datos disponibles combinados con amplias consultas y análisis. El ESI se calcula tomando el promedio de los 22 indicadores estandarizados y luego convirtiendo este valor en un percentil normal estándar.

4. Huella ecológica (HE)

La huella ecológica se basa en los requisitos cuantitativos de tierra y agua para mantener un nivel de vida (nacional) hasta el infinito asumiendo ciertas mejoras de eficiencia. La relación entre los recursos necesarios y los recursos disponibles se interpreta como una

medida de la sostenibilidad ecológica. Las relaciones superiores a uno se consideran insostenibles, es decir, los niveles de vida contemporáneos violarían los principios del desarrollo sostenible (Singh et al., 2009).

“Partiendo del supuesto de que cada categoría de energía y materia consumida, y de producción de residuos requiere de cierta capacidad productiva o absorbente de un área finita de agua o tierra, el índice cuantifica para cada actividad, esa área que sumada refleja el área total necesaria para soportar el consumo y la producción total de cierta población, y que comparada con el área total productiva de esa población, permite evaluar si ese nivel de consumo y generación de residuos puede ser sostenible en el tiempo” (Schuschny y Soto, 2009).

El cálculo de la HE se basa en datos de las estadísticas nacionales de consumo. Por lo tanto, el HE se basa principalmente en la normalización (ya que cualquier consumo se convierte en uso de la tierra). La ponderación está bastante implícita en el parámetro de conversión y la agregación se realiza sumando todas las necesidades de tierra y agua (Singh et al., 2009).

5. Índice de desarrollo sostenible compuesto (*Composite sustainable development index - ICSD*)

El propósito del ICSD es dar una expresión tanto simplificada como cuantificada para una composición más compleja de varios indicadores (Krajnc y Glavič, 2005). El índice de desarrollo sostenible compuesto sirve para rastrear la información integrada sobre el comportamiento económico, ambiental y social de la actuación con el tiempo (Singh et al., 2009).

El ICSD evalúa la sostenibilidad en base al comportamiento a lo largo de las tres dimensiones de la sostenibilidad (económica, ambiental y social) (Krajnc y Glavič, 2005). Los indicadores normalizados se asociaron en tres subíndices de sostenibilidad y finalmente se compusieron en un indicador general del comportamiento de una actividad. Esto se aplicó determinando el impacto del indicador individual en la sostenibilidad general utilizando el concepto de proceso de jerarquía analítica (Singh et al., 2009).

6. Preocupación por los problemas ambientales de Parker (*Concern about environmental problems*)

El índice propuesto por Parker tiene como objetivo medir la preocupación del público sobre determinados problemas ambientales (Saisana y Tarantola, 2002). Se consideran once indicadores, cuatro relacionados con problemas del aire (óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, dióxido de carbono y partículas), dos indicadores asociados con problemas de agua (baños y fertilizantes) y cinco indicadores relacionados con el paisaje (cambio de población, nuevas viviendas, turismo, tráfico y residuos) (Singh et al., 2009).

El procedimiento y los métodos son resumidos por Saisana y Tarantola, (2002): “Cada indicador se normaliza dividiendo su valor en cada año por su valor para el año para el que está disponible por primera vez. Las ponderaciones de los subindicadores se derivan de encuestas de opinión pública. La medida de preocupación para cada indicador (problema) se calcula multiplicando la proporción de personas que dijeron estar muy preocupadas por 3, una “cantidad justa” por 2 y “no mucho” por 1. Las proporciones multiplicadas son sumadas y finalmente divididas por 100. Las ponderaciones se normalizan aún más para sumar 1. El indicador compuesto es la suma de las ponderaciones normalizadas multiplicadas por los indicadores normalizados correspondientes. Si falta un subindicador, no se aplica el peso de este indicador y los pesos restantes se normalizan para que siempre sumen 1”.

7. Environmental policy performance index

El indicador “compuesto tiene como objetivo monitorear la tendencia de la presión ambiental total en los Países Bajos e indicar si la política ambiental va en la dirección correcta o no” (Singh et al., 2009). “Se combinan seis indicadores temáticos (compuestos por varios indicadores simples), incluyendo: (a) cambio de clima, (b) acidificación, (c) eutrofización, (d) dispersión de sustancias tóxicas, (e) eliminación de desechos sólidos, y (f) perturbación de olores y ruidos” (Singh et al., 2009)

Saisana y Tarantola (2002) resumen la metodología como sigue: “Se siguen dos enfoques independientes para la escala de los indicadores temáticos la división por los correspondientes: a) niveles de sostenibilidad y b) metas de política para cada indicador temático. Esto da como resultado una unidad común (es decir, equivalentes de presión ambiental, EP_{eq}) para expresar la presión ambiental dentro de los temas. El indicador compuesto para cada año se calcula como la suma de los seis temas equivalentes adimensionales”.

8. Índice de respeto al medio ambiente (Index of environmental friendliness)

Es un índice de respeto al medio ambiente que conecta diez problemas ambientales con las actividades económicas (Kang et al., 2002). El alcance del modelo está diseñado para cubrir los problemas ambientales clave del efecto invernadero, el agotamiento del ozono, la acidificación, la eutrofización, el efecto ecotoxicológico, el agotamiento de los recursos, la fotooxidación, la biodiversidad, la radiación y el ruido (Singh et al., 2009).

Saisana y Tarantola, (2002) resumen la metodología como sigue: “Los datos iniciales, expresados como datos de presión, se convierten primero en índices de problemas utilizando factores de equivalencia. Luego, los índices de problemas se normalizan sobre la base de las presiones totales nacionales. Para determinar las ponderaciones de los 11 componentes del índice, se llevó a cabo en Finlandia un estudio piloto integral sobre preferencias sociales. La valoración de las preocupaciones ambientales fue realizada

por 52 representantes de actores de la toma de decisiones ambientales. Para el estudio de valoración se utilizó el método de comparación por pares y los resultados se analizaron con el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). El Índice general de respeto al medio ambiente es la suma ponderada de los once índices de problemas normalizados”.

9. Índice de calidad ambiental (*Environmental quality index – EQI*)

Fue desarrollado con el propósito de mejorar la estimación de la calidad ambiental en general, analizando la relación entre las condiciones ambientales y la salud humana. Originalmente se desarrolló un EQI para todos los condados de los Estados Unidos. El EQI utiliza indicadores del entorno químico, natural, construido y social. El EQI se compone de cinco dominios ambientales: (1) aire, (2) agua, (3) tierra, (4) construido y (5) socio-demográfico (US-EPA, 2014).

Singh et al. (2009) resumen la metodología como sigue: “*Los principales factores ambientales se seleccionan y definen sobre la base de la teoría de la utilidad multiatributo y una evaluación numérica realizada mediante la aplicación de la metodología Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) (Saaty, 1980). Una suma ponderada de todos los factores ambientales forma el llamado índice de calidad ambiental (EQI), que proporciona una estimación del impacto ambiental general de cada alternativa (Bisset, 1988). Cada factor ambiental se interpreta como una función de utilidad lineal, que asume valores en el rango 0-10. A las funciones de utilidad se les asigna ponderaciones según la importancia de cada factor ambiental, y la suma ponderada es el índice de calidad ambiental para el que se busca un máximo*”.

10. Índice de vulnerabilidad ambiental (*Environmental vulnerability index - EVI*)

El Índice de Vulnerabilidad Ambiental (EVI) está basado en un marco teórico que identificó tres aspectos de la vulnerabilidad: los riesgos para el medio ambiente (naturales y antropogénicos), la capacidad innata del medio ambiente para hacer frente a los riesgos (resiliencia) y la integridad del ecosistema (la salud o condición del medio ambiente como resultado de impactos pasados) (Kaly et al., 1999).

El EVI se basa en 50 indicadores para estimar la vulnerabilidad del medio ambiente de un país a choques futuros. De estos, 32 son indicadores de peligros, 8 de resistencia y 10 que medir el daño (Kaly et al., 2004). La escala de EVI para la normalización oscila entre un valor de 1 (que indica alta resiliencia / baja vulnerabilidad) y 7 (que indica baja resiliencia / alta vulnerabilidad) (Singh et al., 2009). Los 50 indicadores reciben la misma ponderación y luego se agregan mediante una media aritmética (Kaly, Pratt y Mitchell, 2004).

Tabla 2.9.- Algunos índices en el ámbito ambiental

Índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA)	
Número de subindicadores	6
Estandarización / Normalización	Aplica ecuaciones de transformación para cada contaminante.
Ponderación	Aplica las normas de la calidad del aire y los niveles de posible daño como efecto de la contaminación.
Agregación	Se selecciona el máximo valor de entre los seis disponibles
Índice de desempeño ambiental (EPI- Environmental performance index)	
Número de subindicadores	16
Estandarización / Normalización	100= el mejor 0= el peor
Ponderación	ACP + Expertos
Agregación	Promedios ponderados
Índice de sostenibilidad ambiental (ESI- Environmental sustainability index)	
Número de subindicadores	76
Estandarización / Normalización	Z-score
Ponderación	Pesos iguales
Agregación	Promedio
Huella ecológica (HE)	
Número de subindicadores	6
Estandarización / Normalización	Transformación en km ²
Ponderación	Pesos iguales
Agregación	Sumatoria
Índice de desarrollo sostenible compuesto (Composite sustainable development index -ICSD)	
Número de subindicadores	3 categorías; 38 indicadores
Estandarización / Normalización	Distancia del máximo y mínimo
Ponderación	AHP
Agregación	Pesos promedios
Preocupación por los problemas ambientales de Parker (Concern about environmental problems)	
Número de subindicadores	11
Estandarización / Normalización	Dividir el valor de cada año por el valor del año, para el que cada indicador está disponible por primera vez
Ponderación	Ponderaciones derivadas de encuestas de opinión pública
Agregación	Suma de ponderaciones normalizadas multiplicadas por los indicadores normalizados correspondientes

Environmental policy performance index	
Número de subindicadores	6 indicadores temáticos (compuestos por varios indicadores simples)
Estandarización / Normalización	División por los correspondientes (a) niveles de sostenibilidad y (b) metas de política
Ponderación	Pesos iguales
Agregación	Sumatoria
Índice de respeto al medio ambiente (Index of environmental friendliness)	
Número de subindicadores	11
Estandarización / Normalización	Normalización de los índices de problemas dividiendo el índice de problemas sectoriales por el valor del índice de problemas nacionales
Ponderación	Las ponderaciones subjetivas de los índices de problemas normalizados se determinan a partir de expertos mediante el proceso de jerarquía analítica
Agregación	Suma ponderada
Índice de calidad ambiental (Environmental quality index – EQI)	
Número de subindicadores	Basado en la teoría de la utilidad de atributos múltiples
Estandarización / Normalización	[0, 10], función de utilidad lineal
Ponderación	AHP
Agregación	Promedio ponderado
Índice de vulnerabilidad ambiental (Environmental vulnerability index- EVI)	
Número de subindicadores	50
Estandarización / Normalización	Objetivo = 1, peor = 7
Ponderación	Pesos iguales
Agregación	Promedio

(modificado de Schuschny y Soto, 2009; Singh et al., 2009)

3. Situación de la evaluación ambiental estratégica en los países de Centroamérica y el Caribe²

3.1. Introducción

Los sistemas de EAE se aplican desde la década de 1980 en los Países Bajos, Dinamarca y Reino Unido (Therivel, 2004). Es para esta fecha que el termino EAE queda formalmente introducido y popularizado (Noble y Nwanekezie, 2017). Para las décadas de 1990 y 2000 despunta la práctica de la EAE (Tetlow y Hanusch, 2012; Noble y Nwanekezie, 2017). En el 2011, se registran 60 países que contaban con un sistema de EAE, dentro los cuales solo Canadá y Estados Unidos correspondían al continente americano (Tetlow y Hanusch, 2012).

En América Latina, la utilización de técnicas de EAE es reseñado por varios autores para algunos países como son: Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, México y Perú, (Margato y Sánchez, 2014; ECLAC, 2018; Rozas-Vásquez y Gutiérrez, 2018; Biehl et al., 2019) revelando que existe una marcada heterogeneidad en los niveles de avances legales y prácticos en la EAE (ECLAC, 2018; Biehl et al., 2019). La diversidad del componente

² Este capítulo corresponde al trabajo escrito y publicado en el artículo “Advances in Implementing Strategic Environmental Assessment (SEA) Techniques in Central America and the Caribbean Sustainability” 2020, 12(10), 4039; <https://doi.org/10.3390/su12104039>.

legal entre estos países varía desde leyes generales como las existentes en Bolivia, Chile y Perú, esta última modificada por un decreto legislativo o una ley con ámbito de aplicación para una ciudad, como el caso de México para el Distrito Federal; leyes para un plan en específico, como es el caso de Colombia, con la aprobación del “Plan de Desarrollo Nacional 2003-2006” aprobado mediante la ley 812 del 2013 (ECLAC, 2018), pero carente de marco legal nacional o simplemente la ausencia de marco legislativo, como Brasil, aunque cuenta con aplicación a niveles provinciales, en las provincias Bahía, Minas Gerais y São Paulo (Sánchez y Silva-Sánchez, 2008; Biehl et al., 2019).

La experiencia en América Latina pone en evidencia que la existencia de los componentes legales, no garantizan que la implementación de la EAE conduzca a integrar los criterios de sostenibilidad a los instrumentos evaluados, ya sean políticas o planes, tal es el caso de Perú y Brasil, este último específicamente en la provincia de São Paulo. En Perú, las EAE desarrolladas responden a exigencias de acuerdos bilaterales entre sectores y a las agencias de desarrollo, a pesar de contar con lineamientos legales, siendo esto el resultado de la no obligatoriedad de la elaboración de las EAE, hasta antes del 2016 (Biehl et al., 2019). Con la resolución ministerial 175-2016 se aprueban los criterios y mecanismos para la implementación de la EAE, contemplando la naturaleza obligatoria de la EAE, los procedimientos y las responsabilidades tanto del promotor como de la autoridad ambiental, los niveles de alcance, entre otras consideraciones (MINAM, 2016).

En Brasil, la provincia de São Paulo las EAE se ejecutan con el fin de cumplir requisitos de financiamientos. La inexistencia de marcos institucionales y procesales limita el adecuado desarrollo de las evaluaciones. Este atasco en el avance de la SEA resulta de la carencia de apoyo político para hacer obligatoria la ejecución de las EAE (Montaño et al., 2014). La primera SEA fue realizada al programa de infraestructura vial Rodoanel (Sánchez y Silva-Sánchez, 2008). Los resultados de la valoración de las autoridades fueron conducidos con los criterios usados para una EIA; la misma fue aprobada a pesar de presentar omisiones tales como: análisis de alternativas, valoración de impactos acumulativos y debilidad en la respuesta a los resultados de la participación pública, siendo esto una consecuencia de la falta de directrices de procedimientos de valoración de la EAE. (Sánchez y Silva-Sánchez, 2008) y de la ausencia de competencias en materia de EAE de los técnicos evaluadores. Los niveles de práctica en Brasil se circunscriben a programas sectoriales como el mencionado y proyectos de largo plazo. En cuanto a la experiencia, la literatura indica la existencia de pocos casos de SEA principalmente en programas de turismo, energía e infraestructura (Montaño et al., 2014).

Sin embargo, Chile muestra mejoras sustanciales en su sistema de EAE. Para el 2010 las EAE se concebían con arraigo a la EIA, se centraban en aspectos formales y de procedimientos del producto final, se basaba en la aplicación de *check list* de los aspectos legales y existía desconocimiento de los conceptos básicos de SEA. En el 2015, conforman guías de orientación, se aplica por primera vez a la política Nacional de Planificación Espacial (2017), establecen el proceso de la EAE por etapas y contaban con respaldo de la alta

gerencia, esto último permitió, además de lo antes mencionado, proporcionar capacitación que transformó el proceso existente a un modelo de pensamiento estratégico, (Rozas-Vásquez y Gutiérrez, 2018).

La adopción de los procesos de la EAE ha estado marcada por mecanismos ralentizados en sus diferentes etapas, no siendo diferente esta situación para los países de la región de Centroamérica y el Caribe, los cuales poseen diferencias irrefutables en la aplicación de la EAE, que la existente en los países de América Latina mencionados. Desde mediados del siglo XX en Centroamérica existen evidencias de múltiples esfuerzos para formalizar los instrumentos en materia de evaluaciones ambientales, entre estos se resaltan la creación de: la Organización de Estados Centroamericanos (ODECA) en 1951, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) en el 1991, el Sistema de Integración Centroamericana (SICA) en el 1991 (CCAD, 2002; UICN, 2002), así como acuerdos, planes de acción, entre otros resumidos en la tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Antecedentes de acciones en la región de Centroamérica

Proponentes	Lugar	Fecha	Acuerdo propuesto
Reunión de ministros de relaciones exteriores de Centroamérica	El Salvador	1951	Se firma el documento la Carta de San Salvador, la cual da origen a la Organización de Estados Centroamericanos (ODECA)
Cumbre de presidentes	El Salvador	1989	Se crea la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD)
IX Reunión de presidentes centroamericanos	Honduras	1991	Se firma el Protocolo de Tegucigalpa, el cual da origen al Sistema de la integración Centroamericana (SICA). Formalmente entra en funcionamiento en el 1993.
Foro de ministros de Centroamérica y El Caribe	Cuba	1995	Impulsar las EIA en América Central y El Caribe. Este acuerdo fue reforzado en Buenos Aires en el 1996
Comisión Permanente del Medio Ambiente del Parlamento Latinoamericano (Parlatino)	-	1995	Elaboración por parte del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) de una ley modelo en EIA,
Presidentes de los países Centroamericanos	-	1996	Acuerdo Regional sobre Impactos Ambientales en las Actividades Humanas. Este documento no fue firmado y a la fecha no hay una nueva versión.
Ministros de medio ambiente y recursos naturales		2002	Firman el 'Acuerdo para el fortalecimiento de los sistemas de evaluación de impacto ambiental en Centroamérica'

(CCAD, 2002; UICN, 2002)

El CCAD “*fue constituido con la misión de desarrollar un régimen regional de cooperación e integración ambiental que contribuya a mejorar la calidad de vida de las poblaciones de sus estados miembros*” (CCAD, 2014). Los estados miembros se encuentran agrupados mediante el SICA, el cual fue creado por los países de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, incorporándose Belice en el año 2000 y República Dominicana en el 2013 (SICA, 2019).

Para el 2002, la CCAD había reconocido la necesidad de una herramienta con enfoque más holístico que un EIA, planteando dos instrumentos de evaluación estratégica para gran escala: la evaluación de efectos acumulativos (EEA) y la evaluación ambiental estratégica (EAE). Estas se diferencian en que, la primera se consideró para la valoración de los impactos regionales y la segunda para la evaluación de las PPP y ordenamiento ambiental territorial (OAT). Inclusive proponen el desarrollo de manuales de referencia para estos instrumentos de evaluación de impactos (CCAD, 2002).

Actualmente el CCAD trabaja con la ‘Estrategia Regional Ambiental Marco 2015-2020 (ERAM)’ la cual tiene “*como objetivo promover la integración ambiental de la región para el desarrollo económico y social de sus pueblos, articulando esfuerzos y potenciando los recursos disponibles*” (CCAD, 2014).

Con el creciente interés de las autoridades regionales en la utilización de la técnica de la EAE, se presenta en este capítulo la panorámica conjunta de la situación actual de los sistemas de la EAE en los países de la región Centroamericana y del Caribe. Además, procura responder a la brecha de información existente en la acogida e implementación del uso de la EAE para esta región. La discusión se centra en los puntos comunes de la exitosa aplicación o no en el uso de la EAE, llegando a la recopilación de las características de la EAE en la región y las brechas más relevantes generadas por el presente trabajo. Además, se destacan los puntos comunes, virtudes y desafíos de los sistemas de EAE y las propuestas de acciones de implementación necesaria e inmediata en la región.

3.2. Metodología

La investigación realizada estuvo dirigida a conocer los detalles de la aplicación de la EAE en la región Centroamericana y del Caribe. La selección de los países a evaluar se basó en los países que pertenecen al Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), constituido por: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana (SICA, 2019), de estos se han excluido Belice, Honduras y Nicaragua debido a la falta de información. El levantamiento de información responde a dos bloques:

1. Trabajo de campo. Las informaciones se obtuvieron en base a entrevistas cara a cara y cuestionarios fundamentados en preguntas meramente abiertas y exploratorias a funcionarios de los diferentes ministerios y/o organismos gubernamentales que tienen a cargo el manejo de la aplicación del sistema de EAE. Los cuestionarios y en-

entrevistas fueron realizadas entre el 27 al 28 de julio de 2018, enviando los cuestionarios por correo electrónico. Las instituciones y la posición de los encuestados para cada país se muestran en la tabla 3.2. El cuestionario distribuido contó con 11 preguntas tanto para el componente legal/institucional como para el de procedimientos. De las 11 preguntas del componente de procedimientos las últimas 6 preguntas no fueron respondidas en la generalidad de los casos, debido a que cuestionaban etapas del estudio de EAE que aún no es implantado como son: análisis de alternativas, determinación de las incertidumbres, costos asociados a la realización de los estudios de EAE, entre otras. Las respuestas fueron complementadas con datos obtenidos de los documentos aportados por cada país en el foro de especialistas de EAE de los países del SICA. Luego de transcritas, los cuestionarios fueron enviados a los funcionarios para confirmar la información. Las entrevistas fueron llevadas a cabo en el “Foro de intercambio de experiencias con países de la región centroamericana sobre evaluación ambiental estratégica (EAE) adelantada por Colombia”, siendo el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (Minambiente) el anfitrión. Bajo el patrocinio de la Agencia Presidencial de Cooperación (APC-Colombia), participando la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) como entidad demandante en la región. De igual manera se contó con la participación del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y con la maestra María Partidário, del Instituto Técnico de Lisboa, como experta internacional en el tema de EAE.

2. Información existente. Ha consistido en la revisión del estado del arte de artículos científicos publicados para los países del SICA en temas de EAE, utilizando como criterio de búsqueda el término “evaluación ambiental estratégica” e incorporando al final el nombre del país. Los hallazgos se circunscriben al documento del Banco Mundial ‘Evaluación ambiental estratégica del banco mundial’ de 2012, dedicando el capítulo 7 a la región de América Latina y El Caribe y la publicación de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (ECLAC) de 2018, donde desglosan en el capítulo IV, el uso de la evaluación ambiental estratégica como instrumento de gestión estratégica para 18 países. Además, se han utilizado las documentaciones de las páginas web de las instituciones gubernamentales y regionales.

La descripción de la operatividad de los sistemas se realizó con el conocimiento de las siguientes características: existencia de legislación y normativas, responsabilidades de ejecución dentro del sistema de EAE, sectores de desarrollos, existencia de metodología, autorizaciones o criterios de aprobación de los estudios de EAE y capacidades profesionales locales.

Tabla 3.2.- Lista de instituciones y funcionarios de las encuestas procesadas

País	Institución	Posición /cargo encuestado
Costa Rica	Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA)	Jefe departamento de Evaluación Ambiental Estratégica
El Salvador	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Especialista en Evaluación Ambiental Estratégica
Guatemala	Ministerio de Ambiente y Recursos naturales	Asesor ambiental
Panamá	Ministerio de Ambiente	Dirección de Política Ambiental
República Dominicana	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Dirección de Planificación- Dirección de Normas e Investigaciones ambientales

3.3 Descripción de los sistemas de gestión de evaluación ambiental estratégica

A continuación, se presentan los detalles de las características del marco institucional y legal, además de los procedimientos acatados por los entes rectores ambientales y la aplicación metodológica aplicada para la EAE, considerado estos dos últimos puntos como operatividad /procedimientos.

3.3.1. Marco legal

Para los países estudiados en la región Centroamericana y del Caribe, las ordenanzas legales ambientales datan de finales de la década de los 90, exceptuando Guatemala cuya ley fue promulgada en el 1986. En las legislaciones ambientales de Guatemala y Panamá, en inicio no fue considerada la EAE como un instrumento de gestión ambiental. Estas legislaciones han sido objeto de enmiendas que le ha permitido ir adaptando los componentes a los compromisos internacionales asumidos por cada país, así como incorporando puntos requeridos en base a los avances científicos en estas áreas.

En Costa Rica mediante “*el decreto ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC se decreta el Reglamento general sobre los procedimientos de evaluación de impacto ambiental (EIA), en el cual en su artículo 3 punto 37 se define el concepto a manejar como EAE, planteando el capítulo VII (artículos 62 al 67) lineamientos muy precisos para dar paso a un proceso operativo concreto*”.

En cuanto El Salvador, presenta un marco legal organizado, el cual denota madurez del sistema. El instrumento legal es la Ley de Medio Ambiente promulgada el 2 de marzo del 1998 bajo el decreto 233, definiendo en el artículo 5 la EAE y estableciendo esta como un instrumento de evaluación ambiental dentro del sistema de evaluación ambiental en el artículo 16 y especificando en el artículo 17 responsabilidades y acciones generales a ejecutar en lo concerniente a este instrumento.

El Salvador además cuenta dentro de su documentación legal para EAE con el Reglamento General del Medio Ambiente publicado el 21 de marzo del 2000, el cual en los artículos 14,15, 16 y 17 define las atribuciones de las autoridades ambientales, las obligaciones del titular del documento, ambas relacionadas con la evaluación ambiental, así como en el artículo 16 detalla el contenido del informe de la EAE y la presentación y aprobación de los informes, son tratados en el artículo 17. Adicional a este reglamento, el proceso operativo de la ejecución de las evaluaciones ambientales de la EAE está dirigido por los procedimientos presentados en los documentos: Emisión de directrices y evaluación del informe “*de la EAE (EAM-EIA-PR-01) y el de Supervisión al cumplimiento de los lineamientos de las recomendaciones a la EAE (EAM-EAE-PR-02), ambos de fecha 18 de enero del 2017*”.

De los países evaluados, Guatemala y Panamá son los únicos que en el momento de promulgar su instrumento legal ambiental no fue considerada la evaluación ambiental estratégica. Guatemala “*posee ley ambiental desde el 28 de noviembre del 1986, publicada bajo el decreto 68-86, mientras que, el acuerdo gubernativo 137 de fecha 11 de julio del 2016 publica el Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (RECSA) en el cual se define e instruye de las responsabilidades del ente rector y de los promotores del documento a evaluar, en el artículo 29. En cuanto a Panamá, su ley ambiental data del 1 de julio del 1998, Ley 41-98 y posterior a esto, es considerada la EAE al reglamentar el artículo 5 de la ley de medio ambiente mediante el decreto ejecutivo 4 del 1 de febrero del 2017. Todo ello justifica que es El Salvador el país de la región que más ampliamente ha integrado la EAE en su legislación y la ha hecho operativa*”

En la República Dominicana la legislación ambiental nace “*el 18 de agosto del 2000 con la ley general de medio ambiente (64-00)*”, la cual define el concepto de la EAE en el artículo 16, punto 27 y es considerada en el artículo 38, como un instrumento dentro del proceso de evaluación ambiental; otorgándole en el artículo 39 la aplicación específica, además de conferir las respectivas responsabilidades de ejecución para el desarrollo de un proceso operativo. En este último artículo citado, se ordena la creación de las directrices que guiarán el proceso de evaluación de EAE, de estas existe un borrador desde noviembre del 2018, pendiente de aprobación definitiva.

Los instrumentos legales y los artículos que promueven la aplicación de la EAE en cada país se detallan en la tabla 3.3.

Estas legislaciones ambientales dentro de sus mandatos de ejecución y responsabilidad de la EAE, así como las autorizaciones que debe emitir el ente rector ambiental, posterior a la revisión de la EAE, muestran una amplia heterogeneidad. La ejecución de evaluaciones ambientales estratégicas es considerada de carácter obligatorio para El Salvador y República Dominicana, mientras que en Costa Rica la exigencia de la ejecución se aplica solo a planes de ordenamiento territorial, normado bajo el decreto 32967 que complementa el decreto 31849, antes mencionado. A diferencia de los anteriores en Panamá es de carácter voluntario. En Guatemala no está indicado.

Las legislaciones de El Salvador, Panamá Guatemala y República Dominicana indican de forma explícita la responsabilidad de ejecución de la EAE por parte del titular del instrumento a evaluar. Para Costa Rica no está señalado en su ordenanza. En la tabla 3.4 se presenta un resumen de lo expuesto en este punto.

Tabla 3.3.- Leyes y reglamentos ambientales de los países evaluados

País	Instrumento Legal	Fecha promulgación	Artículos referidos a la EAE	Reglamento
Costa Rica	Decreto Ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC	28 de junio 2004	Artículo 3, punto 37, artículos del 62 al 70	Reglamento general sobre los procedimientos de evaluación de impacto ambiental (EIA)
El Salvador	Ley del Medio Ambiente (Decreto 233)	2 de marzo 1998	Artículo 17	Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente de fecha 21 de marzo 2000. Artículos 14, 15,16 y 17.
Guatemala	Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente decreto no. 68-86	28 de noviembre del 1986	No considera la EAE, solo en el reglamento	Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (RECSA). Acuerdo gubernativo 137-2016. Fecha 11 de julio de 2016. Artículo 29
Panamá	Ley general de medio ambiente. Ley 41-98	1 de julio del 1998	La ley no considera la EAE. Esta evaluación es contemplada en el decreto Ejecutivo 4 de 1 de febrero de 2017, reglamenta el artículo 5 de la ley de medio ambiente	
República Dominicana	Ley general de medio ambiente. Ley - 64-00	18 de agosto 2000	Artículos 16 punto 27, 38 y 39	Directrices en proceso de revisión

Tabla 3.4.- Resumen del componente legal/institucional para los países evaluados

Característica	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Panamá	República Dominicana
EAE legislada	No se realiza por ley sino por Decreto Ejecutivo, es el N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC, los temas de EAE se señalan en el Art. 3, punto 37 y en el Capítulo 7 (artículos 62 al 70). Sin embargo, desde el punto de vista práctico, se reglamentó solamente un ejercicio denominado EAE para planes de ordenamiento territorial, quedando sin norma vigente que aplicar las políticas, planes y programas.	Sí, Art. 17 de la Ley del Medio Ambiente y Arts. 14, 15, 16 y 17 del Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente	Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente Decreto no. 68-86. La EAE es considerada en el reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (RECSA). Acuerdo gubernativo 137-2016. Fecha 11 de julio de 2016. Artículo 29	Sí, en la Ley 41 de 1 de julio de 1998, (Ley General del Ambiente, Rep. de Panamá) “Que comprende las reformas aprobadas por las leyes: 18 de 2003; 44 de 2006; 65 de 2010 y 8 de 2015. Se establece entonces la EAE como instrumento de gestión ambiental en la República de Panamá en su título II, cap. 1, Art. 5	Ley 64-00 en sus artículos 16, 38 y 39
Existencia de reglamentos y/o directrices	No existe	Poseen directrices	Solo el RECSA, no cuenta con directrices	Reglamento del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (en el 2009) se incluye el: “Título XII Evaluación Ambiental Estratégica de	Existe un borrador de directrices no publicado

				los Planes y Programas”.	
Obligatorio realizar EAE	Solo para ordenamiento territorial	Obligatorio	No lo indica	Voluntario	Obligatorio
Responsabilidad de Ejecución	No está definido	Del titular del instrumento a evaluar Se emite	Del titular del instrumento a evaluar	Del titular del instrumento a evaluar	Del titular del instrumento a evaluar
Permisos emitidos luego de la evaluación del documento	No está definido	una resolución de aprobación del informe	No está definido	No emite ningún tipo de licenciamiento	No está definido
Estructura del ente rector para apoyar las EAE	No existe	Dirección de Evaluación	No existe	Dirección de Planificación	No existe

3.3.2. Operatividad/Procedimientos

La encuesta aplicada identifica que a pesar de la poca experiencia en el desarrollo de las EAE's, los países estudiados poseen un elemento en común en sus estructuras jerárquicas, al ubicar las unidades técnicas de apoyo en EAE cerca de los tomadores de decisiones. Tanto Costa Rica, El Salvador y Panamá, poseen una estructura administrativa/técnica que se encarga del proceso de la EAE, las dos primeras concebidas como direcciones de evaluación, mientras que Panamá maneja la operatividad de los procesos desde una dirección de planificación. Actualmente, Guatemala y República Dominicana no poseen estructura orgánica para la EAE. Sin embargo, en la República Dominicana cuando fue concebida su ley ambiental 64-00, en el primer organigrama poseían un departamento de EAE dentro de la dirección de evaluación ambiental, que estuvo operando hasta el 2004.

En los países con existencia de unidades operativas, estas son las encargadas de emitir los términos de referencia que servirán de guía para la elaboración de la EAE. En El Salvador, la dirección de evaluación emite las directrices que se adecuan al tipo de PPP. En el desarrollo de la metodología, solo exigen que la misma sea basada en mecanismos de sostenibilidad ambiental, iguales requerimientos son aplicados en Costa Rica. Mientras que Guatemala, Panamá y República Dominicana, no poseen lineamientos de metodología a aplicar.

De acuerdo con los resultados de las encuestas, las experiencias en los países evaluados se enfocan en los sectores de biocombustible, energía, minero metálico, zonas costeros marinas para El Salvador; ordenamiento territorial que son los exigidos en términos legales en Costa Rica; áreas protegidas y vida silvestre en Panamá; energía en República Dominicana, existiendo además, un documento de EAE en el sector saneamiento, elaborado con principios arraigados a una EIA; mientras que en Guatemala no se identificaron

en este levantamiento EAE, sin embargo, la revisión de literatura indica que en el 1997 se realizó un proyecto piloto denominado “Participación privada en infraestructura” (World Bank, 2012).

Al abordar a los encuestados-entrevistados en lo referente a la elección de cuales PPP requiere la aplicación de una EAE, se obtuvo la información que en Panamá “se aplican criterios de pertenencia sobre algún tipo de recurso natural que tiene prioridad e importancia en la vida nacional” ; como se ha indicado por temas legales Costa Rica aplica la EAE solo a los planes de ordenamiento territoriales, mientras, que los demás países no tienen establecido criterios para definir los instrumentos que deben ser evaluados con técnicas ambientales estratégicas.

En el tema del licenciamiento u otorgamiento de autorizaciones, se observa un pobre desarrollo de la operatividad en esta parte del proceso de la EAE, ya que luego de la evaluación del documento de la EAE, solo Costa Rica y El Salvador emiten una resolución de aprobación del informe, mientras que en los demás países no hay ningún tipo de permiso o documentación definida que avale la satisfacción o no de la EAE por parte de las autoridades ambientales.

En cuanto a la existencia de capacidad técnica local, si bien ha sido considerada en algunas legislaciones la creación de listas de consultores certificados en EAE, aún no poseen ninguno de los países evaluados un registro de consultores locales para la ejecución de los trabajos de la EAE. Tampoco fue posible obtener evidencias de un proceso de seguimiento de algunas de las EAE ejecutadas. En la tabla 3.5 se presenta un resumen de lo expuesto en este punto.

Tabla 3.5.- Resumen del componente operatividad/procedimientos para los países evaluados

Característica	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Panamá	República Dominicana
Tipos de Proyectos Desarrollados	En SETENA no ha registrado EAE para PPP. Existen registros de 153 casos de planes de ordenamiento territorial que han elaborado estudios ambientales bajo principios de EAE, siendo el 90% de ellos, planes reguladores	Política en bio-combustible, política energética, sector minero metálico, Estrategia de Desarrollo en franjas costero marinas	No tienen proyectos desarrollados.	Instrumentos relacionados con Áreas Protegidas y Vida silvestre	Plan Energético Nacional. Además existe una "EAE" para el sector saneamiento, con metodologías arraigadas a la EIA

Determinación de los instrumentos que requieren EAE	Solo planes de ordenamiento territorial por términos legislativos	No están establecidos	No están establecidos	Aplican criterios de pertinencia sobre algún tipo de recurso natural que tiene prioridad e importancia en la vida nacional	No están establecidos
Metodología exigida o propuesta	No poseen	Emiten directrices adecuadas a la PPP y solicitan metodología basada en la sostenibilidad ambiental	No poseen	No poseen	No poseen
Consultores certificados por el ente rector ambiental	No tienen lineamientos establecidos para EAE ni lista de consultores certificados	No tienen lineamientos establecidos para EAE ni lista de consultores certificados	No poseen, a pesar de que está incluido en el RECSA.	No poseen. Se encuentran trabajando esas exigencias	No hay lineamientos establecidos legalmente ni existe para evaluaciones estratégicas lista de consultores certificados

3.4. Posición de la EAE en los países de Centroamérica

El trabajo realizado permitió visualizar claramente la posición de la EAE y su desarrollo en los países analizados. Las características de estos sistemas se pueden resumir, a pesar de la heterogeneidad de los niveles de avances en la región, en tres puntos relevantes.

- Importancia dada al componente legal. “Uno de los rasgos distintivos de la experiencia en EAE, es que cada país ha generado su propio instrumento” (Cervantes et al., 2012). Actualmente, en cada uno de los marcos legales valorados existe la figura de la EAE, en estos dejan claramente definido el concepto, lo consideran como un instrumento de aplicación ambiental y en algunos casos definen quien ejecutará el estudio de la EAE. Para la puesta en marcha de un sistema de EAE estas especificaciones resultan beneficiosas, debido a que, el significado de la EAE es potencialmente muy amplio y al menos que esté limitado por la legislación, la regulación o algún tipo de acuerdo mutuo, su propósito y alcance pueden ser fácilmente malinterpretados (Sánchez y Silva-Sánchez,

2008). Los mecanismos legales en la región demuestran que no es necesario la existencia de un mandato legal o reglamentario para la aplicación y el desarrollo de un sistema de EAE, en especial en aquellos países que decretan estas evaluaciones como obligatorias y presentan un vacío importante en los progresos en temas de EAE. Según el Banco Mundial, sin la existencia de una base legal no existe incentivo para el uso de los recursos públicos en la aplicación de la EAE (World Bank, 2012). Sin embargo, el presente levantamiento de información nos hace disentir de lo anterior, quedando evidenciado que la voluntad de los tomadores de decisión es el conductor imprescindible para la puesta en marcha del sistema de EAE. Verheem y Tonk (2000), refieren a los tomadores de decisión y a los políticos como ‘los grupos que deciden si la EAE debe implementarse o no...’. Como ejemplo a esto, está Panamá, donde la elaboración de una EAE es voluntaria, sin embargo, existen varios EAE realizados y por el contrario, en República Dominicana es de carácter obligatorio y en 19 años de existencia de legislación ambiental, solo se ha realizado una EAE, bajo metodología propia de estas, , mientras que El Salvador posee un sistema de evaluación funcional y operativa con una mirada estratégica, debido a la capacitación de un año y media recibida y auspiciada por los tomadores de decisión, hecho que marca la diferencia con los demás países valorados. Por lo tanto, si los tomadores de decisiones no son receptivos a otros valores (ambientales) durante la toma de decisiones, el uso y la influencia de la EAE disminuirá (van Doren et al., 2013) y la EAE se utilizaría solo para llenar vacíos de implementación (Stoeglehner et al., 2009). En ese sentido, es necesario promover el conocimiento de la EAE entre los tomadores de decisiones, con el objetivo de que exista la capacidad o el interés de estos, en hacer que los avances de la EAE estén en consonancia con sus requerimientos legales.

- Metodologías no especificadas. La pobre experiencia en la región no ha permitido el desarrollo de metodologías adaptables a los diferentes contextos de PPP y circunstancias de gobernanza. Tan solo El Salvador y Costa Rica indican lineamientos metodológicos en base a criterios de sostenibilidad, existiendo en los documentos guías de El Salvador indicaciones del contenido del informe de la EAE referidos a los aplicados en Europa. Dada la variabilidad de los PPP no es posible tener una metodología “talla única” (González et al., 2015), sin embargo, los desarrollos de planificación de los PPP se ven influenciados por el contexto de las realidades sociales y económicas de un país y de los compromisos internacionales adquiridos por los países y los de la región.
- Brechas en los mecanismos de respuesta finales de los entes rectores y de seguimiento, además de las limitadas capacidades técnicas locales. Una vez en los componentes de ejecución de los estudios de EAE, es transparentado el efecto de la carencia de experiencia local. Las respuestas de las instituciones gubernamentales responsables de valorar los estudios de EAE denotan falta de procedimientos para comunicar los resultados de la revisión, a excepción de El Salvador

y Costa Rica. De los países evaluados no fue posible la identificación de mecanismos de seguimiento puestos en práctica, observándose infrecuente la etapa de continuidad y el efecto de la EAE a los proyectos dependiente de los PPP. Con la aplicación de estos procedimientos se obtiene evaluación del cumplimiento de la EAE, pero no es valorado el impacto que la EAE (Acharibasam y Noble, 2014) tiene en el desarrollo de los programas, dada la carencia del seguimiento a la aplicación de los resultados de la evaluación estratégica. En cuanto a los profesionales de EAE locales, no existe un listado oficial de los mismos, a pesar de constar en la legislación el requerimiento de la creación de este tipo de listados, poseen listados para especialistas de la EIA, pero está ausente para los de la EAE. En algunos países de América Latina para poder lograr cerrar esta brecha se han auxiliado de la experiencia internacional hasta generar capacidades locales.

La experiencia en América Latina pone en evidencia que la existencia de los componentes legales no garantiza que la implementación de la EAE conduzca a integrar los criterios de sostenibilidad a los instrumentos evaluados, ya sean políticas o planes. Esto es evidente en el funcionamiento de los sistemas de gestión de la EAE en Chile y El Salvador, los cuales poseen una característica común, que ha sido la responsable del avance exitoso de esos sistemas. Tanto Chile como El Salvador han recibido apoyo de los tomadores de decisiones y esto se ha traducido en un aumento de la capacidad de respuesta de sus sistemas de gestión de EAE. Estos dos países poseen legislación en materia de la EAE, sin embargo, la implementación de los sistemas solo fue posible cuando los decisores comprendieron la importancia de la aplicación de las EAE para hacer realidad el desarrollo con criterios de sostenibilidad. Tanto Chile como El Salvador son ejemplos del impacto positivo que representa contar con el apoyo de los tomadores de decisión para el avance de los sistemas de EAE. Para ilustrar un caso opuesto citamos la situación de la República Dominicana, donde ha existido la EAE como instrumento de evaluación ambiental desde que se promulgó la legislación, sin embargo, la carencia de apoyo de las altas gerencias ha obstaculizado el avance del sistema de gestión, estando en estos momentos involucionando con respecto a sus inicios.

Los sistemas de EAE de Chile y El Salvador poseen rasgos distintivos con respecto a países que poseen legislación y realizaron estudios de EAE, pero sin obtener resultados de estrategias sostenibles. Estos rasgos peculiares, Chile y El Salvador los adquirieron posterior al apoyo de los decisores. Los mismos se resumen a continuación:

- Capacitación. Recibieron capacitación en materia de EAE, que permitió obtener un sistema con miras al pensamiento estratégico y no con el objetivo de simples cumplimientos legales.
- Reglamentación. Conformación de directrices y lineamientos de orientación en los cuales han desarrollado en detalle las etapas del proceso de la EAE.
- Divulgación de conceptos. Conocimiento de los conceptos de la EAE y las responsabilidades legales de los proponentes de los estudios de la EAE.

El sistema de gestión de la EAE de la provincia de São Paulo en Brasil es una referencia de los resultados que arroja un sistema de gestión cuando carece de capacitación, reglamentación y conocimiento de los conceptos de EAE. Finalmente, las consecuencias de la carencia de un esquema estratégico repercuten en los proyectos que se derivan de los planes y políticas sin EAE con criterios de sostenibilidad, y en las evaluaciones ambientales (EIA) requeridas por las exigencias legales.

La literatura existente no cuenta con información detallada de cada uno de los sistemas de evaluación ambiental estratégica de estos países, otorgando una clara y relevante característica de novedad a la información presentada en este capítulo y permitiendo por primera vez, conocer información precisa y detallada de los propios gobiernos del nivel de desarrollo actual en materia de EAE para los países Centroamericanos y del Caribe. Además de la originalidad de la información presentada, cabe resaltar que es un documento que comprende un escrutinio pormenorizado, que lo convierte en una herramienta útil para la toma de decisiones de las autoridades regionales, quienes han mostrado un interés creciente en la implementación de la EAE para su región y a la vez, minimiza la brecha de información existente en la gestión de evaluación ambiental estratégica para la región.

Los resultados de este trabajo muestran una región carente de ejecución práctica de los mecanismos de evaluación y seguimiento. Sin embargo, se ha observado un interés marcado por poseer legislación en materia de EAE, lo que es un punto para destacar, debido a que es más sencillo conducir a los tomadores de decisiones a promover la ejecución de estas evaluaciones dada la exigencia legal, reiterando que la ejecución es meramente voluntad de los tomadores de decisión. Esta fortaleza se evidencia en todos los países de la región.

De los cinco países de la región analizados, se identifica a El Salvador como el país de la región que más ampliamente ha integrado la EAE en su legislación y la ha hecho operativa. Panamá requiere de esfuerzos para ampliar las regulaciones que ofrezcan detalles del funcionamiento operativo, ya que carece de directrices particulares para la ejecución de los procesos de la EAE. Costa Rica presenta un posicionamiento muy básico al limitar el sector de aplicación, el cual se encuentra anclado a las recomendaciones de la CCAD del 2002 cuando indicaron con distinción la aplicación de las EAE a los temas de ordenamiento territorial. En Guatemala y la República Dominicana se necesita consolidar tanto su parte legal como la operativa, la cual se identificó ausente. Un aspecto común en todos los países excepto en El Salvador es la carencia de una metodología que permita proporcionar alternativas comprensibles y logrables, así como técnicas para la selección de la más adecuada a los contextos regionales.

Los sistemas de evaluación ambiental cambian con el tiempo, así como las variaciones regionales, esto influenciado por los contextos sociales (Cherp, 2001), económicos y tecnológicos. Sin embargo, la CCAD ha planteado desde el 2002 la ruta precisa a seguir en cuanto a EAE. Obviamente, está enfocada a los criterios de la evaluación ambiental de ese momento, hoy en día se observa más consolidada por la experiencia de casi dos

décadas de investigaciones y trabajo. Las principales debilidades de los sistemas de gestión estratégica esbozados en el punto anterior requieren de la propuesta inmediata de exigencias para toda la región, como los indicados a continuación:

- Homogenizar el marco legal. Instaurar criterios regionales a cubrir en las legislaciones, regulaciones y en sus aplicaciones. Concientizar a los tomadores de decisiones en la importancia de dar cumplimiento a la legislación y los aportes significativos que se obtienen con la ejecución de las EAE.
- El fortalecimiento de las capacidades locales. La creación de acuerdos regionales en el intercambio de experiencias, que consistan en compartir los puntos prácticos de los sistemas, identificar los mecanismos que han funcionado y los que no, en los distintos países y crear un marco de procedimientos y metodologías que se adapten al contexto regional. Crear un mecanismo de divulgación interinstitucional en cada país que permita dar a conocer a los futuros responsables de la ejecución, los requerimientos de la EAE tanto a nivel local como regional.
- Metas ambientales regionales. La propuesta de metas a corto plazo en materia de EAE, las cuales posean un seguimiento continuo mediante foros, encuentros, donde cada país expongan su experiencia y su avance para lograr la meta exigida en la región.

Con la ejecución de los puntos anteriores se fortalecería el eje transversal ‘Sistema regional de sistemas ambientales’ (CCAD, 2014), lo que permitiría a la región normar los niveles de funcionamiento del sistema de la EAE en base a esos indicadores y verificar la disminución o cierre de las brechas en el sistema de gestión estratégica de la región.

4. Metodología para el análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones

4.1. Definición conceptual de la metodología

El análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica (EAE), es actualmente uno de los puntos de la EAE que más brecha presenta. Su debilidad fundamental radica en la ausencia de metodologías cuantitativas, sin necesidad de complicados procesos matemáticos o de modelación, que se adapten a los diferentes contextos de las políticas, planes y programas (PPP) evaluados.

Con el propósito de aportar a minimizar la brecha existente, se propone una metodología basada en la aplicación del “Índice de selección de alternativas estratégicas ambientales (ISAEA)”. El método se fundamenta en el diseño de un índice de selección que describa y contenga los efectos, en términos ambientales de la puesta en ejecución de cada alternativa de modo que permita cuantificar de forma homogénea, los complejos procesos que posee cada una de ellas.

El valor del índice para cada alternativa representará en qué medida se acerca cada alternativa a las metas u objetivos que se hayan definido. Las metas u objetivos son denominados índices o indicadores estratégicos. La selección de la alternativa más idónea se obtiene al evaluar los valores de los índices de cada alternativa, con su cercanía al índice estratégico.

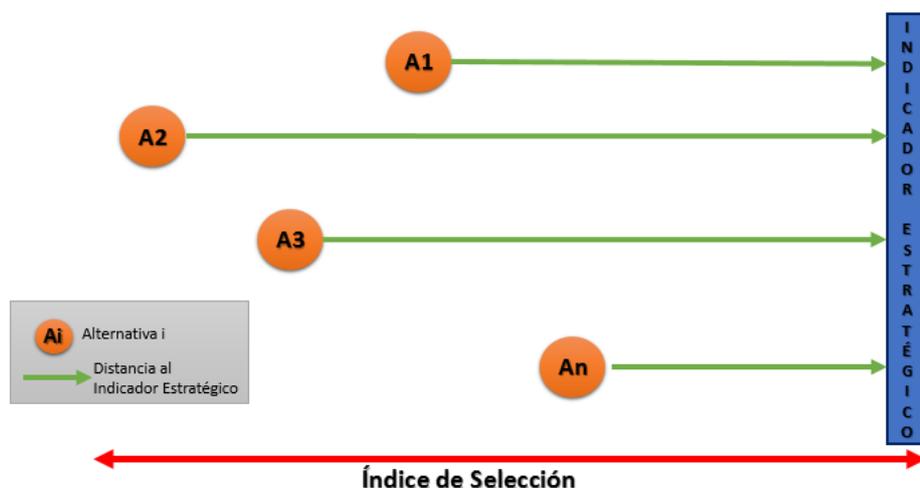


Figura 4.1.- Descripción gráfica del método ISAEA

De este modo, el objetivo es poder seleccionar una alternativa que conduzca el PPP a obtener las metas u objetivos establecidos en el instrumento evaluado o contraídas por la institución promotora del PPP o por el país en cuestión.

La figura 4.1 muestra el resultado de la aplicación de la metodología para diferentes alternativas. En ella se indican las diferentes distancias hasta el indicador estratégico. Para este caso genérico, la alternativa más favorable sería la alternativa An.

Las distintas fases que deben desarrollarse para la aplicación de la metodología se describen a continuación.

4.2. Descripción de alternativa. Consideraciones generales

Las descripciones de cada alternativa estarán dirigidas a obtener el funcionamiento del sistema propio de la alternativa, es decir, las entradas y las salidas, vinculadas estas en primer lugar a las metas u objetivos, pero sin obviar aquellas informaciones que permitan conocer los efectos que provocaría la puesta en ejecución de la alternativa.

Es importante conocer en detalle las características de la alternativa para poder caracterizarla. Sin embargo, no se requiere de informaciones a escala de proyecto sino solamente informaciones que conlleven a una descripción fundamental de la alternativa.

Para ello, se describirá el proceso y las características que se promueven con su puesta en función, las cuales pueden encontrarse en las metas. Por ejemplo, si una de las metas promueve establecer una cobertura de agua potable, entonces las características que deben interesar son las informaciones que pueden describir si se puede lograr o no esa cobertura de agua potable, considerando la fecha horizonte del instrumento que se esté evaluando, pues este índice trabaja con las proyecciones o tendencias de los datos.

La meta u objetivo para cada salida del proceso se denomina *indicador estratégico* (IE). En base al indicador estratégico se valora cuánto se acerca la alternativa a la obtención de la meta. El indicador estratégico puede ser asignado por el ente rector ambiental nacional o la institución promotora de la política, el plan o programa (PPP) y debe estar basado en:

- Metas institucionales o sectoriales
- Acuerdos de compromisos internacionales
- Normativas ambientales
- Acuerdos o metas regionales
- Opiniones de expertos

4.3. Dimensiones ambientales

Las dimensiones ambientales son los componentes del ambiente que aportan claridad para identificar en qué dimensión se deben caracterizar las alternativas. Para establecer las dimensiones ambientales se han establecido dos cribados: un cribado por el nivel de acción del efecto de la alternativa y un segundo cribado por la correspondencia de la dimensión ambiental con los objetivos del instrumento evaluado.

En cuanto al primer cribado, se ha establecido una clasificación de los niveles de nivel de acción del efecto o la repercusión en escala espacial que produce la alternativa al componente del ambiente. Los niveles establecidos son (figura 4.2):

1. Nivel Estratégico: En este nivel se clasifican los componentes del ambiente que requieren acciones a nivel estratégico como son: regional, nacional o internacional.
2. Nivel táctico-operacional: En este nivel se clasifican los componentes del ambiente que requieren acciones a nivel local.

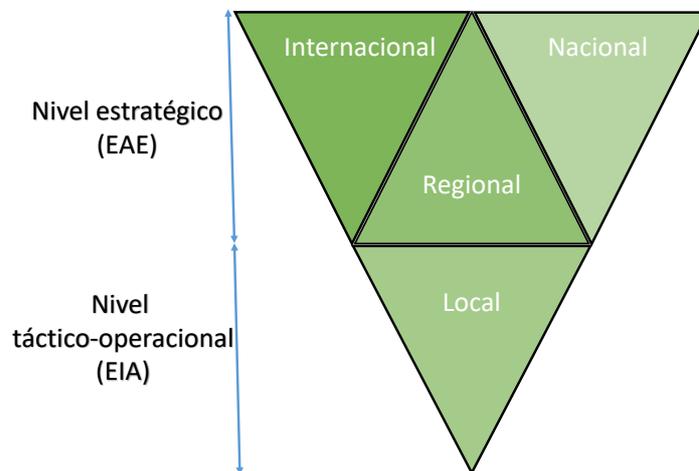


Figura 4.2.- Niveles de acción para definición de las dimensiones ambientales

Serán parte de las dimensiones de análisis a evaluar en la selección de las alternativas, aquellas que pertenezcan al nivel estratégico. Las componentes del ambiente que pertenezcan al nivel táctico-operacional quedan fuera del análisis, ya que sus valoraciones serán contempladas en los EIA de cada uno de los proyectos que se desprendan de la alternativa seleccionada. Además, se considera que las acciones de orden local no son influyentes en la decisión a niveles estratégicos y que hay efectos que pueden ser manejados en el EIA y no alteran las metas planteadas.

En conclusión, el criterio debe ser aplicado considerando la toma de decisión, si realmente son indispensables esas dimensiones de análisis para la toma de decisión estratégica y el cumplimiento de los compromisos u objetivos planteados. Con el análisis antes explicado se persigue obtener las interrelaciones verticales de los indicadores en cada alternativa. En la figura 4.3 se muestra la descripción gráfica de la selección de las dimensiones ambientales para este primer cribado.

El segundo cribado consiste en establecer en qué dimensiones ambientales repercuten cada uno de los objetivos del instrumento evaluado. Este segundo cribado permite establecer interrelaciones horizontales, que juntamente con las verticales del primer cribado determinan qué dimensiones deben ser objeto de consideración para canalizar la búsqueda de los indicadores. Los componentes del ambiente a considerar en la selección de las dimensiones de análisis dependerán del sector o área a la que pertenezca la política, el plan o el programa evaluado y el enfoque de los objetivos que tenga el instrumento. Se sugieren las siguientes: aire, agua, suelos, biodiversidad y socioeconómico. A estas sugerencias se puede agregar otras o excluir cualquiera, siempre que la misma sea justificada y consensuada con el equipo de expertos.

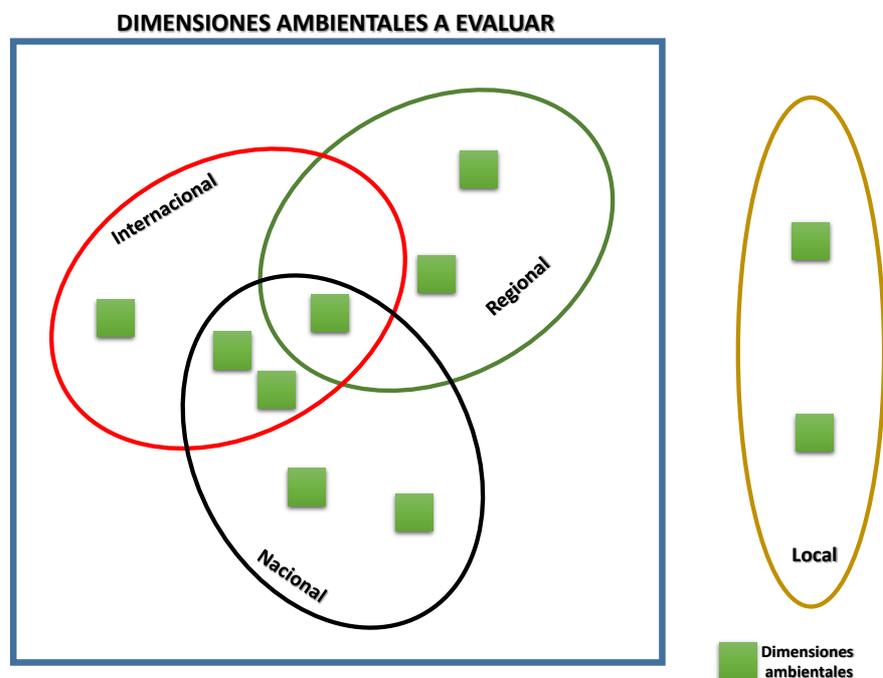


Figura 4.3.- Descripción gráfica de la selección de las dimensiones ambientales

Una de las ventajas de la metodología radica en que, es posible utilizar cualquier dimensión que se vincule a la alternativa a evaluar, no hay una estructura ni talla dada que seguir. Se deben obviar las dimensiones cuyos efectos no contribuyen en marco de decisiones estratégicas. La selección de las dimensiones ambientales debe explicarse y justificarse. Además, pueden ser socializadas en la etapa de participación pública, involucrando a los actores del sector de análisis y el sector ambiental, con el fin de proporcionarle fortaleza técnica a las dimensiones seleccionadas, en caso de considerarse necesario.

Para iniciar el análisis de interrelación vertical y horizontal se recomienda realizar una lluvia de ideas de los efectos ambientales que la alternativa genere. Esta lista dará los criterios y el soporte de la selección de las dimensiones de análisis.

Este componente de la metodología simplifica el enfoque para la construcción de los indicadores ya que evita la creación de listas interminables de indicadores que, finalmente, no sólo carecen de metas, sino que no explican en términos estratégicos si la alternativa conduce o no a obtener los objetivos o metas planteadas.

4.4. Indicadores simples

Para cada una de estas dimensiones de análisis se establecerán los indicadores que, en primer lugar, estén relacionados con las metas que es necesario alcanzar y, en segundo lugar, permitan apuntalar criterios de comparación entre las alternativas. Los criterios para la selección de los indicadores se detallan a continuación:

1. Se establecerán los indicadores considerando las metas internacionales, nacionales, institucionales, normativas o grupo de expertos.
2. Los indicadores se seleccionarán en función de las características de estos, aplicando los siguientes criterios:
 - i. Relevancia: el indicador cubre el tema ambiental y es apropiado para representar el propósito del índice a construir.
 - ii. Interpretativo: el indicador debe reflejar datos que sean fáciles de comprender, utilizar y analizar.
 - iii. Orientación al desempeño: el indicador representa los mejores datos disponibles para alcanzar el propósito del índice.
 - iv. Transparencia: el indicador permite identificar cambios en el tiempo y es transparente respecto a las fuentes de los datos y los métodos con los que ha sido obtenido.
 - v. Calidad de los datos: Los datos usados por el indicador debe representar la mejor medida posible disponible y cumplir con los requisitos básicos de calidad.
3. En caso de existir más de un indicador que pueda ser utilizado para una variable, se aplicarán los anteriores criterios y se deberá utilizar el que más cabalmente cumpla con los mismos.
4. Si existe el caso en que un indicador cumple un criterio, sin embargo, no en su totalidad, deberá ser objeto de debate entre los expertos y en caso de considerar su utilización, debe estar debidamente explicada.
5. Cada indicador deberá tener su ficha de metadatos, en los cuales debe quedar claramente establecido el nombre del indicador, descripción del indicador, fórmula unidad de medida del indicador y para el numerador y denominador si aplica, fuente de los datos y observación.

4.5. Normalización de datos, ponderación y agregación

Cada alternativa tendrá diferentes indicadores que para cada dimensión ambiental presentarán diferentes unidades de medidas, lo que hace necesario homogeneizar estas unidades para posteriormente realizar comparaciones entre las alternativas. El método aplicado para la normalización de los datos es el indicador de proximidad al objetivo (figura 4.4).

La ecuación a emplear es:

$$I_i = \frac{i_E - \text{distancia de } i_i \text{ a } i_E}{i_E} \quad (4.1)$$

donde:

I_i = Indicador normalización para el indicador i

i_i = Indicador i

i_r = Indicador de referencia

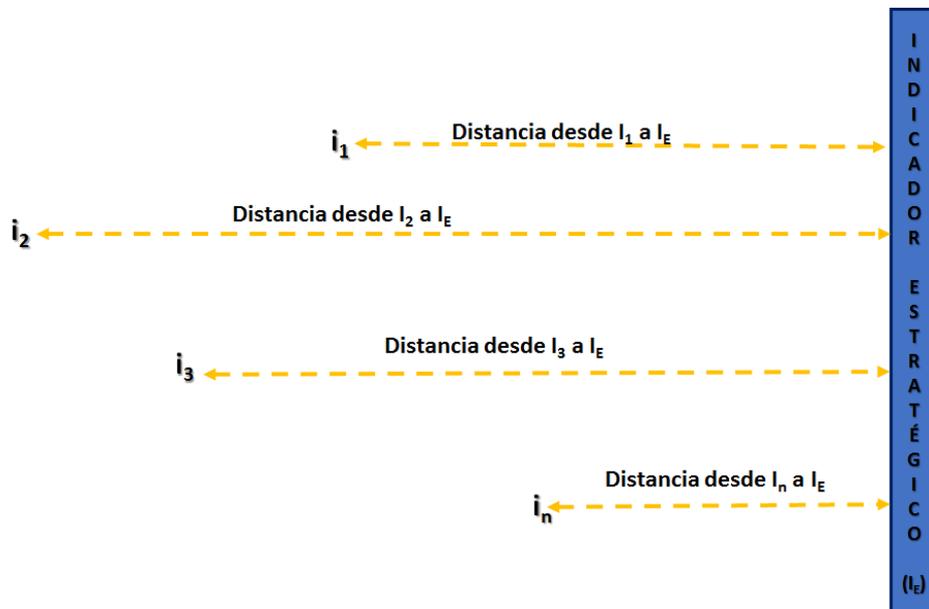


Figura 4.4.- Descripción gráfica método de proximidad al objetivo

La asignación de pesos se establecerá con la técnica de pesos equiproporcionales, ya que es una técnica que funciona cuando las dimensiones de análisis son igualmente prioritarias. Para la metodología que se propone la selección de las dimensiones de análisis han pasado un escrutinio en base a dos criterios de cribado que permiten igualar la preferencia de las dimensiones de análisis. Se aplicará los pesos considerando $1/n$, siendo n el número de indicadores a ponderar. La agregación para este método consiste en aplicar una sumatoria de todos los productos de la ponderación con los indicadores normalizados para obtener el índice que define la alternativa.

4.6. Incertidumbre

La estimación de la incertidumbre dentro del ISAEA tiene como objetivo fortalecer los criterios para la selección de la alternativa. Para esta se considerarán las diversas fuentes de incertidumbre por indicador, logrando generar un valor de incertidumbre, que será para cada índice de cada alternativa igual a la suma de las incertidumbres de los indicadores, en base a los criterios de combinación de incertidumbre. Los cálculos de la incertidumbre deben de acompañarse con un informe detallado de las consideraciones para cada uno de los indicadores en las diferentes alternativas.

A continuación, se sugieren los pasos a seguir para calcular la incertidumbre en el ISAEA.

4.6.1. Determinar las fuentes de incertidumbre para cada indicador de cada ISAEA

Las fuentes de incertidumbre corresponderán con el origen de los datos utilizados para la obtención del indicador, ya sean datos históricos, estimados, oficiales o si tienen otra fuente, supuestos en el PPP o procedentes de manipulación de información disponible, etc. La variabilidad de las fuentes de incertidumbre para los indicadores es difícil de generalizar ya que es muy propio de los datos y las características del PPP y el sector productivo que se esté estudiando. La identificación de las fuentes de incertidumbre es un proceso que debe iniciarse en el momento de la búsqueda de los datos, debiendo quedar establecido su origen de obtención en los metadatos de cada indicador. Es conveniente realizar una lista de chequeo por índice de las fuentes de incertidumbre y cuáles de estas pueden ser cuantificadas y cuales es la relación de dependencia existente entre las diversas fuentes. Es necesario valorar la dependencia entre las fuentes de incertidumbre, para evitar sobre estimación de la incertidumbre final de la alternativa. Es decir, si existe dependencia, esta incertidumbre estará englobada en un resultado de una fuente que contiene las diversidades de los orígenes de la incertidumbre, en caso contrario, si las fuentes son independientes entre sí deberá adicionarse el valor que genera esta.

4.6.2. Verificación de disponibilidad de datos

La verificación de la disponibilidad de datos es un punto cardinal porque marca la selección de la técnica de generación de incertidumbre que se utilizará. En caso de tener indicadores con ausencia de datos se debe recurrir a la aplicación de la técnica de consulta de expertos para generarla, siempre que sea posible. Dentro de las características deseables del experto, se citan:

- Competencia profesional en el sector de la EAE estudiada
- Años de experiencia
- Nivel de conocimiento del PPP en cuestión, cuando se trate de supuestos o consideraciones existentes en el PPP
- Disposición de participar en la consulta

4.6.3. Aplicación de técnicas de generación de incertidumbre

El método que se utilice para ejecutar los valores de incertidumbres debe permitir aplicar un modelo simple y que a la vez represente el caso particular del PPP que se evalúa. No es necesario la consideración de cálculos complicados, ya que es preferible en el manejo de indicadores trabajar con las técnicas más simples posibles dado que estas permiten conseguir buenos resultados y se evita aporta una mayor incertidumbre al aplicar modelos complejos. Cualquier metodología de propagación de incertidumbre es aceptable.

4.6.4. Cálculo de incertidumbre por alternativa

Para cada una de las alternativas se procederá a aplicar los valores de incertidumbres combinadas para aquellas fuentes de incertidumbres independientes entre sí.

$$U_{alt} = \pm \sqrt{(U_{fi})^2 + (U_{fi+1})^2 + (U_{fi+2})^2 + \dots + (U_{fn})^2} \quad (4.2)$$

donde:

$U_{alt i}$ = Incertidumbre para la alternativa i (%)

u_{fi} = Incertidumbre para la fuente de incertidumbre i (%)

n = Cantidad de fuentes de incertidumbre

En caso de existir para una misma fuente varios valores de incertidumbre de cada indicador que poseen la característica de dependencia, deben sumarse y el resultado de esta suma será el valor de incertidumbre para esa fuente de incertidumbre.

Debe tenerse en cuenta evitar la sobrevaluación de los valores de incertidumbre que se asocia al ISAEA de una alternativa. Es decir, si un índice ha sido construido con varios indicadores simples que en todos está involucrada la misma fuente de incertidumbre, debe considerarse una sola vez este valor de incertidumbre para ese índice, a excepción de cuando se relaciona con las metas. Cuando hay una incertidumbre relacionada con las metas, en este caso sí que debe considerarse la incertidumbre que genere cada asunción de las metas, debido a que en un índice cada indicador tiene metas diferentes. En la aplicación desarrollada en el capítulo 5 de este trabajo, quedan explícitas estas consideraciones.

4.7 Selección de alternativas

El valor del Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales (ISAEA) para cada una de las alternativas ofrecerá un referente claro de cuál es la alternativa que más se acerca a la meta que se han propuesto en el documento del PPP evaluado. Aunque hay que considerar que los indicadores utilizados para el cálculo del índice arrastran consigo un sinnúmero de consideraciones que deben ser tomadas en cuenta a la hora de realizar

la selección en base al ISAEA. Esta situación promueve que la decisión sea tomada evaluando los valores de ISAEA juntamente con la incertidumbre que es propio de este.

La distancia del ISAEA al indicador estratégico queda definido por el propio valor del índice. A menor distancia entre el índice y el índice estratégico se considera que la alternativa se acerca más a la meta planteada en el PPP. Cuando se considera en esta distancia el valor de la incertidumbre, se producen dos valores de ISAEA a comparar. En base a estos dos valores debe establecerse la comparación de las alternativas. Se sugiere considerar como alternativa más viable aquella cuyo valor final del ISAEA al adherirle el valor de la incertidumbre quede más cerca del indicador estratégico.

Tomando como referencia el esquema genérico de la figura 4.5, donde se observan la distancia al índice estratégico para el ISAEA, el ISAEA más incertidumbre y el ISAEA menos la incertidumbre, en este caso la alternativa a seleccionar sería la indicada con el subíndice n, por ser la que más se acerca al indicador o índice estratégico.

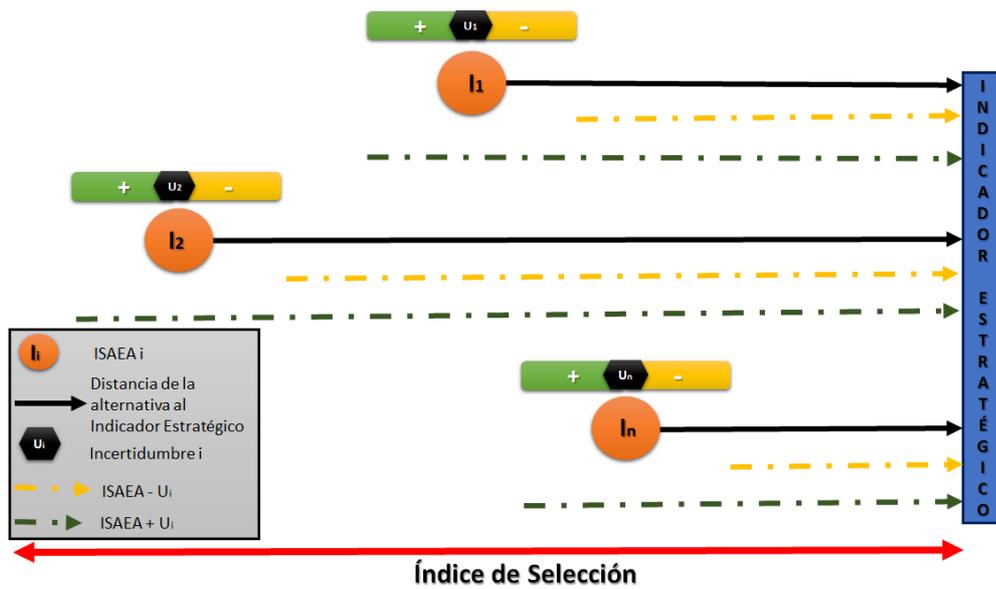


Figura 4.5.- Variación del ISAEA considerando los valores de incertidumbre

5. Aplicación de la metodología para el análisis de alternativas en la evaluación ambiental estratégica y sus incertidumbres en la toma de decisiones

5.1 Introducción

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología detallada en el apartado anterior a partir de la utilización del ISAEA. Esta aplicación se ha realizado para evaluar el “*Plan Energético Nacional (PEN) de la República Dominicana 2004-2015*” (en adelante PEN-2015). Se trabajará con el escenario I de dicho Plan, ya que es el único que tiene alternativas, pues el escenario II plantea mantener el sistema energético sin cambios. Por ello, no se maneja la aplicación con la consideración de escenarios.

Las alternativas contempladas están clasificadas en tres subsectores eléctricos, estos son: energía eléctrica, fuentes de energía renovable y uso racional de la energía (URE).

De esta forma, se analizan en total 11 alternativas, distribuidas de la siguiente forma:

- a) Subsector energía eléctrica, posee 2 alternativas.
- b) Subsector de fuentes de energía renovable, posee 5 alternativas.
- c) Subsector de uso racional de energía (URE), posee 1 alternativa

5.2 Plan Energético Nacional (PEN) de la República Dominicana 2004-2015 (PEN-2015)

A pesar de que existe un plan estratégico más reciente (2010-2030), no ha sido considerado para los fines de análisis, ya que el mismo no contiene el plan de expansión completa y detallada y la propia Comisión Nacional de Energía (CNE) de la República Dominicana, no hace uso de este en sus planificaciones actuales³.

El PEN-2015 tiene como “*objetivo superior contribuir al desarrollo sostenible general del país, proporcionando las condiciones para que los actores del sector aseguren un abastecimiento energéticos a menor costo, mayor seguridad y menor impacto ambiental*” (CNE-RD, 2004).

En resumen, el plan se orienta a la búsqueda y consolidación de los siguientes 6 objetivos estratégicos para el sector energético:

“Objetivo 1. Garantizar seguridad y eficiencia en la oferta

El primer objetivo del PEN-2015 es el abastecimiento pleno y eficiente de todos los recursos energéticos requeridos para el desarrollo normal y creciente de las actividades económicas y sociales del país. Para tales fines, se persigue mejorar los criterios de competencia de mercado y eficiencia económica, viabilidad técnica y administrativa, solidez financiera, transparencia en la comercialización y seguridad de suministro. Por igual se plantea prever y priorizar aquellos elementos que optimicen la adaptabilidad del sector a los cambios tecnológicos que se produzcan”

“Objetivo 2. Impulsar la gestión eficiente de la demanda y Uso Racional de Energía

El segundo objetivo del PEN-2015 señala que la conservación de energía y la sustitución de fuentes por energéticos menos costosos y más provechosos constituyen retos permanentes del sector. En tal sentido la promoción del Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) reviste un carácter prioritario dado que es un asunto de interés social, público y

³ Esta información fu suministrada por el ing. Ramón Moya y la señora Angela González en una reunión el día 12 de abril del 2021 en las oficinas de la CNE.

nacional fundamental para asegurar una racionalización del uso de recursos energéticos capaz de contribuir al abastecimiento pleno y oportuno, a la vez de eliminar uno de los principales obstáculos a la competitividad de la economía dominicana”

“En términos concretos se pretende lograr una disminución de los costos de abastecimiento energético para las unidades productivas (de bienes y servicios), para mejorar su competitividad, y para los hogares, con el fin de contribuir a una mejoría en la calidad de vida de la población”.

“Objetivo 3. Desarrollar los Recursos Energéticos Nacionales

Pese a que el país cuenta con alguna diversidad de recursos naturales que podrían utilizarse con fines energéticos, de ese potencial se ha utilizado solo una pequeña parte, a la vez que no se ha puesto el énfasis necesario a la búsqueda de fuentes de energía de origen fósil y en la promoción de energías renovables. Se plantea establecer la exploración de las fuentes fósiles como un objetivo de la política energética mediante un adecuado conocimiento de la geología del país y un marco institucional y legal adecuado”.

“Objetivo 4. Reducir la vulnerabilidad del sistema energético y del abastecimiento externo.

En la actualidad, el consumo energético de República Dominicana depende casi en su totalidad del petróleo y sus derivados y, en menor medida, gas natural y carbón, lo cual representa una presión negativa sobre la balanza comercial del país y las posibilidades de crecimiento. En tal sentido se plantea desarrollar, optimizar y aprovechar de manera sostenible la infraestructura de importación, producción, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de los diferentes energéticos, con la finalidad de minimizar su vulnerabilidad”.

“Objetivo 5. Ampliar la cobertura y mejorar la calidad de servicio de las comunidades rurales y semiurbanas.

El quinto objetivo de política del PEN -2015 propone ampliar la cobertura y calidad del servicio de energía e incorporar a las propias comunidades en la solución con miras a contribuir al desarrollo en las zonas rurales y semiurbanas. Más que una electrificación, una energización ampliamente concebida puede aportar directamente en el mejoramiento de la capacidad productiva y la calidad de vida de las comunidades rurales y urbanas marginales”.

“Objetivo 6. Proporcionar un apropiado marco institucional, legal y regulatorio.

El fortalecimiento de las instituciones, de la normatividad y de las reglas del juego para la competencia en el sistema energético se constituye en el sexto objetivo del PEN-2015. Resulta fundamental fortalecer la regulación y la aplicación de las leyes y reglamentos vigentes para lograr un adecuado funcionamiento del sector, dadas las dificultades para que la intervención regulatoria pueda prevenir adecuadamente las prácticas anticompetitivas en situaciones de concentración de poder de mercado. Al mismo tiempo se hace necesario elaborar nuevas legislaciones y marcos regulatorios que fortalezcan el desarrollo del sector”.

5.3 Descripción de Alternativas

El PEN-2015, como se explicó antes, plantea alternativas para dos escenarios: el escenario I, es el que posee las modificaciones a las tendencias históricas y el escenario II en el cual no se prevén modificaciones estructurales más allá de las decisiones que habían sido tomadas o en ejecución al momento de la elaboración del plan. Se considera para la aplicación de la metodología el escenario I. Las alternativas están divididas en tres subsectores eléctricos, estos son: energía eléctrica, fuentes de energía renovable y uso racional de la energía (URE). Como se ha dicho anteriormente, se manejan en total 11 alternativas, distribuidas de la siguiente forma (tabla 5.1):

- a) Subsector energía eléctrica, posee 2 alternativas.
- b) Subsector de fuentes de energía renovable, posee 5 alternativas.
- c) Subsector de uso racional de energía (URE), posee 1 alternativa que tiene 4 componentes y que se han evaluado de forma separada, por las características diversas del mismo.

Tabla 5.1.- Alternativas del PEN-2015

No.	Sub-Sector Energético	Alternativa	
		ID	Nombre
1	Generación Eléctrica	1.1	Incrementar la producción energía en base a carbón mineral
		1.2	Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas
2	Fuentes de energías renovables	2.1	Aumentar la producción de energía eólica
		2.2	Incrementar el uso de etanol
		2.3	Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales
		2.4	Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos
		2.5	Incrementar el uso del biodiesel
3	Uso racional de la energía (URE)	3.1	Incrementar el uso racional de la energía

En adelante, se verá que la alternativa 3 posee cuatro componentes, que para la generación del índice y de las incertidumbres se han desglosado, pasando la alternativa 3 a la siguiente estructura (tabla 5.2). Este desglose de subalternativas será utilizado en todos los procesos de la metodología, excepto en el análisis de dimensión.

Tabla 5.2.- Componentes de la Alternativa 3 – Incrementar el uso racional de la energía

Alternativa 3.1 Incrementar el uso racional de la energía	
ID	Nombre
3.1 -A	Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público
3.1-B	Residencial rural
3.1- C	Sectores industriales y otros sectores
3.1- D	Sector transporte

5.3.1. Sector Eléctrico

“El plan de acción tiene como meta prioritaria lograr la autosuficiencia financiera del subsector” (CNE, 2008).

5.7.3.1. Alternativa 1.1 - Incrementar la producción energía en base a carbón mineral

Plantea abastecer las centrales térmicas con carbón mineral, considerando que para el 2004-2010 habrá aumento un 41% la producción con carbón y un 19% más para el 2011 al 2015⁴. Tomando como escenario base el año 2000, no existía producción de energía en base a carbón⁵. La proyección de la cantidad de MW a ser instalados se prevé el siguiente plan indicativo⁶ (tabla 5.3).

Tabla 5.3.- Plan indicativo de expansión base a carbón mineral (en MW)

2004-2010	2011-2015	Total
1030	868	1898

(CNE-RD, 2004)

⁴ PEN-2015 Página 221. El 100% de la distribución se logra considerando el periodo 2016-2020, este se considera fuera del estudio de aplicación de la metodología debido a que el plan posee un umbral hasta el 2015.

⁵ PEN-2015 Página 165

⁶ PEN-2015 Página 170

El 2005 la generación de energía en base a carbón mineral era de 1,425.80 GWh según el “*Sistema de Información Energética Nacional (SIEN)*” y en el año 2015 se estimó, asumiendo que lleva el mismo crecimiento que el gas natural en 5408.08. En el 2005 el precio promedio de generación era de 120 US\$/MWh⁷ y en el 2006 era de 140 US\$/MWh, la producción con carbón mineral para ese entonces representaba el 10% de la generación nacional, con la aplicación del plan de expansión se estima una participación de la producción de energía en base al carbón mineral de un 70% aproximadamente. El costo total de desarrollo, que considera la inversión y el desarrollo del proyecto sin externalidades es estimado en 9,911.0 Millones de US\$ (Rodríguez, 2008). El plan integral plantea una meta de reducción en los precios promedios de generación para el 2010 de 82 US\$/MWh .

El PEN-2015 plantea tres escenarios de demanda y para estos realiza estimaciones de los costos totales medios. Se presentan los casos con la numeración indicada en el PEN-2015:

- El caso 1, pertenece a la alternativa 1.2 y por eso no se indica. El PEN-2015 considera el escenario medio como el más probable, el cual para el caso del carbón es 50.20 US\$/MWh y aplicando un análisis de sensibilidad para los siguientes casos, se presentan los costos asociados⁸.
- Caso 2 – Penetración en el sistema eléctrico de la tecnología de carbón mineral de forma mayoritaria. Costo asociado 47.90 US\$/MWh.
- Caso 3 – Análisis de sensibilidad “*en los costos del carbón mineral en 20% superior para analizar su impacto en el plan de expansión de la generación*”. Costo asociado 52.07 US\$/MWh.
- Caso 4 – Análisis de sensibilidad “*en los costos de los combustibles aumentando su valor en 20% excepto al carbón mineral*”. Costo asociado 51.51 US\$/MWh

Con el fin de poder estimar la proporción de cobertura de la implementación de esta alternativa, se indican los consumos estimados en GWh para el año 2005 como base y el año horizonte 2015, estos son 11,193 y 18,118 GWh respectivamente (Bariloche, 2008).

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el escenario de carbón aumenta la intensidad de las emisiones por GWh de 628 t CO₂/GWh en el 2007 a una proyección de 669 t CO₂/GWh para el 2015 (CNE-RD, 2008). Según informaciones suministradas por el Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE, han estimado en base a la generación de electricidad para el año 2007 emisiones de 978.8 t CO₂/GWh y 1130.9 t CO₂/GWh para el 2015.

⁷ (CNE, 2008) Página 19

⁸ El caso 1 corresponde a la alternativa 1.2

El CNE-RD (2008) indica que “en el caso de la República Dominicana, en que el plan de expansión de mínimo costo se basa en plantas a carbón, las cuales aumentan su contribución en la generación de 12% a más de 70%..., la emisión de GHG (GreenHouse Gas) es un tema de preocupación, pues el carbón es el combustible fósil con mayor contenido de CO₂ por unidad de energía, 22 % superior al fuel oil NO. 6 y 68% mayor al gas natural”. Estimaciones realizadas por (Rodríguez, 2008) ubican el factor de las emisiones t CO₂ eq /kWh entre 1.03 y 1.07, para el año 2005. Es interesante considerar que el precio en el mercado internacional de certificados de reducción de carbono a usar es de 15US\$/tonelada de CO₂ (Rodríguez, 2008).

5.3.1.2. Alternativa 1.2 - Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas natural

Plantea abastecer las centrales térmicas con en base a ciclos combinados, considerando que para el 2004-2010 habrá aumento un 20% la producción con carbón y un 40% más para el 2011 al 2015⁹. La proyección de la cantidad de MW a ser instalados se prevé el siguiente plan indicativo¹⁰:

Tabla 5.4.- Plan indicativo de expansión en base a ciclos combinados a gas natural (en MW)

2004-2010	2011-2015	Total
1005	868	1873

(CNE-RD, 2004)

El 2005 la generación de energía en base a gas natural era de 1,113.03 GWh y para el año 2015 se estimaron 4,224.84 GWh según el Sistema de Información Energética Nacional (SIEN). “El plan de expansión, con proyectos amigables con el medio ambiente incluye básicamente plantas térmicas de ciclo combinado operando con gas natural, las cuales tienen un costo nivelado de aproximadamente 70US\$/MWh, en el escenario de precio medio de los combustibles” (CNE-RD, 2008). Sin embargo este tipo de proyectos de generación tienen “el atractivo de bajos costos de inversión, pero tienen un costo de generación más alto que las plantas a carbón” (CNE-RD, 2008). El costo total de desarrollo, que considera la inversión y el desarrollo del proyecto sin externalidades es estimado en 9,700.0 Millones de US\$.

Para el análisis de sensibilidad presentado en el PEN-2015 se muestran los costos asociados para la generación en base a ciclos combinados a gas natural (CNE-RD, 2004):

⁹ Ídem 4

¹⁰ PEN -2015 Página 168

- Caso base – “*Combinación de centrales térmicas con tecnología de carbón mineral y gas natural*”. Costo asociado al escenario de mercado medio 50.20 US\$/MWh.
- Caso 1 – “*Penetración de la tecnología del gas natural en el país*”. Costo asociado al escenario de mercado medio 51.29 US\$/MWh.

Con el fin de poder estimar la proporción de cobertura de la implementación de esta alternativa se indican los consumos estimados en GWh para el año 2005 como base y el año horizonte 2015, estos son 11,193 y 18,118 GWh respectivamente (Bariloche, 2008).

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el escenario con gas natural los valores de la intensidad de las emisiones por GWh son de 628 t CO₂/GWh en el 2007 a una proyección de 669 t CO₂/GWh para el 2015 (CNE-RD, 2008). Según informaciones suministradas por el Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE, han estimado en base a la generación de electricidad para el año 2007 emisiones de 328.8 t CO₂/GWh y 424.1 t CO₂/GWh para el 2015.

El CNE-RD (2008) indica que “en el caso de la República Dominicana, en que el plan de expansión de mínimo costo se basa en plantas a carbón, las cuales aumentan su contribución en la generación de 12% a más de 70%..., la emisión de GHG (GreenHouse Gas) es un tema de preocupación, pues el carbón es el combustible fósil con mayor contenido de CO₂ por unidad de energía, 22 % superior al fuel oil NO. 6 y 68% mayor al gas natural”. Estimaciones realizadas por (Rodríguez, 2008) ubican el factor de las emisiones t CO₂ eq /kWh entre 0.78 y 0.45, para el año 2005.

5.3.2. Sector fuente de energía renovable

Para el año 2001, la oferta local de energía renovable era de 922 Ktep, equivalente a 12.5% de la oferta total. La misma estaba constituida por 6.9% de hidroelectricidad, 58.8% de leña, 31.20% de bagazo de caña, 2.6% de biomasas y 0.57% de energía solar (Rodríguez, 2008). No hay reporte de energía eólica, sino hasta el año 2007 con la instalación del parque Cabo Engaño de una capacidad de 8.25 MW.

“Se persigue lograr cuatro objetivos con la aplicación de las líneas estratégicas para la energía renovable, estos son:

- 1) *Reducir el costo de la energía*
- 2) *Incrementar la oferta de energía doméstica*
- 3) *Incrementar la eficiencia energética*
- 4) *Construir una infraestructura energética más segura y confiable*”

5.3.2.1. Alternativa 2.1- Aumentar la producción de energía eólica

Se han considerado la instalación de 410 MW (ver tabla 5.3) en parques eólicos, estimando una generación de 1, 628.59 MW/ año¹¹. La meta planteada en el PEN-2015 es de 500MW de capacidad instalada.

Tabla 5.5.- Proyectos eólicos contemplados en el Plan de Expansión

Proyectos del Plan de Expansión al 2012	Capacidad (MW)
Parque Eólico de Juancho	100
Parque Eólico de Enriquillo	25
Parque Eólico de Matanzas	60
Parque Eólico Las Calderas	50
Parque Eólico de Cabo Engaño	8.25
Parque Eólico de Guzmancitos	100
Parque Eólico de Maimón	25.5
Parque Eólico Los Granadillos	50
Total	418.75

(Rodríguez, 2008)

Según la Ley 57-07 sobre “Incentivos al desarrollo de fuentes renovables de energía y sus regímenes especiales”, para poder disfrutar de los incentivos de esta ley, las instalaciones de producción de energía eólica tener una potencia inicial instalada que no supere los 50MW, por lo que, los proyectos con mayor capacidad son divididos para logra este valor. Según el plan de expansión la energía eólica aportaría el 5% de la demanda al 2020 (Rodríguez, 2008).

El factor de reducción de emisiones para una instalación eólica de 50 MW corresponde a 0.745 kg de CO₂/kWh¹². Según el “Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPPC)” “la máxima estimación para evaluar... energía eólica es menor o equivalente a 100g de CO₂ eq/kWh.”

Los costos de “los proyectos eólicos candidatos tienen un costo de inversión entre 1,500 y 1,800 US\$/Kw (dependiendo de la distancia a la red) y costos nivelados de generación entre 78 y 79 US\$/MWh, calculados a una tasa anual de descuento del 12%” (CNE-RD, 2008).

¹¹ (Rodríguez, 2008) Página 0-11

¹² (Rodríguez, 2008) Página 9-6

Alternativa 2.2 - Incrementar el uso de etanol ¹³

“Como resultado del análisis de los costos de producción usando remolacha y caña de azúcar, se propone concentrar la estrategia de desarrollo de etanol basado en la caña de azúcar, que además es parte importante de la economía de la República Dominicana (pp2-57).

La capacidad agregada actual de todas las plantas alcanza 58.900 TM/día, equivalente a cerca de 21.000.000 TM, anuales. En la actualidad la superficie cultivada llega a 125.000 Ha. El reto para el desarrollo de un programa de etanol carburante radica en primera instancia en la recuperación de la superficie cultivada al nivel máximo alcanzado de cerca de 255.000 Ha., de tal forma que pueda producir etanol después de cubrir los mercados tradicionales y rentables de azúcar en el mercado nacional y el preferencial de Estados Unidos. Esto daría unas 130.000 Ha para iniciar el programa de etanol, con una producción aproximada de 2.352 kBBL/año, suficiente para cubrir la demanda de E10 y generar excedentes exportables (pp 2-34).

La meta a mediano plazo (año 2012) es pasar de la superficie actual cultivada de 125.000 Ha a 255.000 Ha, cifra alcanzada en el año 1982, y una capacidad de molienda de cerca de 25.000.000 TM anuales. El reto a continuación, definido para el escenario alto, es incrementar la superficie sembrada para aumentar los excedentes exportables, Desde el punto de vista de disponibilidad de tierras, es posible adicionar 60.000 Ha anuales, con una meta de llegar a cerca de 700.000 Ha dedicadas a la producción de etanol. El área nueva cultivada de caña de azúcar produciría 12.668 kBBL /año, equivalente a 5.518 Klt/día de etanol, lo cual genera excedentes exportables muy importantes. Para el escenario alto se requeriría una capacidad adicional de 4.500.000 litros/día (1.188.900 gl/día) para ser desarrollada en el período 2012-2020 (pp 0-7).

En cuanto los costos, los factores más críticos que determinan la factibilidad de la producción de etanol son los rendimientos unitarios y el costo de la materia prima. El costo de producción de etanol a partir de la caña de azúcar está en el rango de \$0.68 a \$0.95 por galón, en tanto que para la remolacha oscila alrededor de \$2.35 por galón (pp 0-6).”

5.3.2.3. Alternativa 2.3 - Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales¹⁴

“En el PEN 2004-2015, para evaluar el potencial de desechos agropecuarios como fuente alternativa de biomasa se han considerado tres desechos: tallos de plátano, cascarilla y follaje de arroz, y estiércol de porcinos y vacunos. El potencial de material se ha estimado

¹³ La descripción de este apartado tiene como fuente (Rodríguez, 2008), a menos que se indique lo contrario.

¹⁴ Ídem 13 (pp 5-4)

en base a estimados de producción de plátano y arroz, y de población porcina y vacuna, y empleando índices de material orgánico para cada desecho.

En el caso de los tallos de plátano, su producción anual fue estimada en 750.000 t/año y localizada principalmente en el Cibao Central. Estos tallos se emplearían para la producción de biogás, aunque no se mencionan experiencias de biodigestores con este material.

Para el caso de los desechos de la producción de arroz, se tienen dos fuentes de biomasa: la cáscara del arroz (o cascarilla de arroz) y el follaje de las plantas. La cáscara de arroz se suele emplear para el secado del arroz mismo y los excedentes tienen diversas aplicaciones en la industria agrícola y avícola. El follaje de arroz se estimó en el 2003 en 105.000 t/año, calculadas a partir de la producción de arroz blanco de 67,733 t/año y 1.5 kg de follaje/kg de arroz. Esta cifra de producción de arroz blanco es muy inferior a la reportada de 645,000 t/año 2005⁵ y daría lugar a un follaje de arroz disponible de aproximadamente 967.000 toneladas de follaje para el 2005.

El estiércol de animales es una fuente importante de material para la producción de biogás. Para la producción de biogás en el sector rural se suele emplear estiércol de porcinos y vacunos, como los más importantes. El potencial máximo posible de estiércol y su valoración energética se suele estimar a partir de la población animal y empleando indicadores, se estima el potencial energético. En el PEN, el potencial de materia orgánica en el estiércol de cerdos y vacunos se estimó en 86,651 y 1, 993,134 kg/día, respectivamente, a partir de poblaciones de 514,400 cerdos y 1, 456,726 vacunos empleando información del Censo Agropecuario de 1998.

En cuanto al potencial de biogás en el PEN-2015 se ha estimado a partir de la producción anual de residuos de pseudo-tallos de plátano, follajes de arroz, estiércol de cerdos y vacunos, en un total de 1.230.000 m³/día, sin considerar el biogás de los desechos sólidos de las principales ciudades del país (pp 5-5)".

5.3.2.4. Alternativa 2.4 - Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos¹⁵

“La información provista por el PEN-2015 en relación con los desechos urbanos se refiere a las ciudades de Santo Domingo y Santiago de Los Caballeros, las dos mayores del país. Los desechos urbanos de Santo Domingo son principalmente materiales orgánicos (alimentos y desechos de jardín) 79.7% en peso, materiales reciclables 2.6% en peso, materiales combustibles 13.3% en peso y otros materiales 3.2% en peso.

Según la Gerencia de Operaciones del relleno sanitario de Duquesa la recepción de residuos es un promedio de 3140 t/día (periodo agosto 2002 a julio 2003). De acuerdo con

¹⁵ Ídem 13 (pp-5-5)

la composición anterior, entonces en ese periodo el aporte diario era de 420 t/día de materiales combustibles y 2502 t/día de material orgánico. Mientras que los primeros pueden quemarse, los segundos pueden degradarse en procesos de digestión anaeróbica para la producción de biogás de relleno sanitario.

La cantidad de desechos recibidos en Santiago de los Caballeros se estimó a 2003 entre 855 y 1077 t/día, de los cuales se supuso que un 70% en peso corresponde a material orgánico biodegradable y por tanto, se tendrían entre 500 y 750 t/día de material orgánico biodegradable”

5.3.2.5. Alternativa 2.5 - Incrementar el uso del biodiesel ¹⁶

“Respecto al Biodiesel, la meta a mediano plazo (año 2012) es pasar de la superficie actual cultivada de palma de cerca de 13.000 Ha (7.000 entre dos empresas: INDUS-PALMA e INASCA) a 45.000 Ha. Esto daría unas 32.000 Ha para iniciar el programa de biodiesel, con una producción aproximada de 913 Kbbbl/año, suficiente para cubrir la demanda de B5 y generar excedentes exportables. El reto a continuación, definido para el escenario alto, es incrementar la superficie sembrada para aumentar los excedentes exportables.

Desde el punto de vista de disponibilidad de tierras, es posible adicionar 73.000 Ha a partir de 2012, con una meta de llegar a cerca de 105.000 Ha dedicadas a la producción de biodiesel. Dado que la palma requiere 5 años de crecimiento para iniciar producción, estos nuevos cultivos se tendrán que sembrar en el periodo 2012-2015, para empezar a estar en producción a partir de 2017. La nueva área cultivada de palma produciría 3.013 Kbbbl/año, lo cual genera excedentes exportables muy importantes (pp 0-8).

La mezcla B5 plantea la necesidad de iniciar el programa con una capacidad de 47.000 t/año (38.000 gl/día). Para el año 2015, deberá incrementarse la capacidad a 59.000 t/año (48.000 gl/día). Para el año 2020, deberá incrementarse la capacidad a 73.000 t/año (60.000 gl/día) en (pp 2-16). De acuerdo con los escenarios de demanda del PEN 2004-2015, la sustitución puede alcanzar, en orden de magnitud, 750 Kbbbl/año en 2010 hasta 1.100 kbbbl/año en 2020 (pp 0-9).

Para una planta de biodiesel 150.000 t/año el costo unitario es de US\$ 699/t o US\$ 2,31/Gl, del cual el costo de la materia prima corresponde al 78,70%, de lo cual se puede

¹⁶ Ídem 13

deducir claramente que la producción de biodiesel es lo fundamental un tema agrícola (pp 0-6).

Respecto a la parte ambiental, las mezclas de biodiesel disminuyen las emisiones de CO, CO₂, partículas y otros compuestos tóxicos. Sin embargo, aumenta las de NO_x, las cuales tienden con una mayor proporción de biodiesel en la mezcla. Esta es una razón que inhibe mezclas superiores a 20%, aun si los problemas mecánicos son resueltos (pp 2-45)”

5.3.3. Uso racional de la energía

5.3.3.1. Alternativa 3.1 - Incrementar el uso racional de la energía¹⁷

“En términos de energía neta, las proyecciones a partir de datos de 2001 llevan a que en el año 2015 el consumo total será de 8,233.9 KTep en el escenario I y 6,175.8 KTep en el escenario II. Esto representa una diferencia de 2,058 KTep entre ambos escenarios (es decir, un potencial de ahorro de 33%). Igualmente, representa tasas anuales de crecimiento promedio de 3.6% para el escenario tendencial y de 1.50% para el que incluye acciones del Estado (pp29).

Tomando valores de 2005 (donde el consumo total final de energía— incluido el consumo no energético— fue de 5,265 KTep) y considerando las tasas establecidas, el consumo total para 2015 sería de 7,769 KTep para el escenario I, siendo 6% menor al estimado, y 6,202 KTep para el que incluye acciones del Estado o escenario II valor (pp 29).

En cuanto a la reducción de emisiones con la aplicación de las acciones para el escenario II, el potencial de ahorro de energía conlleva a un potencial en reducción de emisiones de un poco más de 6 millones de Toneladas de CO₂ por año, donde resalta significativamente la reducción que se logra por la sustitución de leña en los hogares rurales (pp 34).

Las emisiones de CO₂ que se tendrían sin URE llegarían a más de 25 millones de toneladas por año en 2016, mientras que con URE ese valor disminuye a 21 millones de toneladas (pp 37)”.

5.4 Determinación de Dimensiones de Análisis

La determinación de las dimensiones de análisis se realizará asociando la dimensión con los objetivos del PEN-2015. El criterio de selección consiste en identificar cuáles son las dimensiones ambientales que se ven afectadas por cada alternativa. En este primer criterio para determinar las dimensiones para cada alternativa se han considerado los efectos que

¹⁷ La descripción de este apartado tiene como fuente (Buen, 2006), a menos que se indique lo contrario

generan en cada dimensión indicado con una X. Luego son cribadas en función del nivel a que pertenecen estos efectos, ya sean estratégico o táctico-operacional. Para identificarlos se plantea la siguiente nomenclatura. Finalmente se seleccionarán para fines de evaluación las dimensiones que posean efectos en los niveles nacional e internacional.

Local		Regional		Nacional		Internacional
-------	--	----------	--	----------	--	---------------

5.4.1. Sector Generación Eléctrica

Tabla 5.6.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector generación eléctrica

No.	Sub-Sector Energético	Alternativa		Objetivos	Aire	Agua	Suelo	Biodiversidad	Socioeconómico	
		ID	Nombre							
1	Generación Eléctrica	1.1	Incrementar la producción energía en base a carbón mineral	1					x	
				2						
				3						
				4	x	x	x	x	x	
				5					x	
				6						
		1.2	Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas	1						x
				2						
				3						
				4	x	x	x		x	
				5					x	
				6						

El análisis ha identificado que las alternativas del sector generación eléctrica, conducen al cumplimiento de los objetivos números 1, 4 y 5. Estas alternativas interactúan con todas las dimensiones consideradas para evaluación.

Las alternativas del sector generación eléctrica promueven el logro del objetivo 1, permitiendo la adaptabilidad del sector a cambios tecnológicos. Con la aplicación de estas alternativas se disminuye la dependencia de la producción de energía en base al petróleo y sus derivados, establecido en el objetivo 4. Igualmente, al aumentar la capacidad instalada se promueve la ampliación de la cobertura y por ende la mejora en la calidad del servicio

para todo el país, en especial para las comunidades rurales y semiurbanas, tal como plantea el objetivo 5.

Dentro de los efectos ambientales que ocasionaría la puesta en marcha de estas alternativas se han considerado:

- Aumento de la contaminación atmosférica
- Disminución de la calidad del aire
- Alteración de las propiedades físicas del agua
- Generación de residuos sólidos peligrosos
- Alteración de la biodiversidad
- Aumento del desarrollo de las actividades económicas y sociales
- Disminución de la vulnerabilidad del sistema energético
- Aumento del servicio de energía eléctrica.

Con estos efectos se han valorado los que corresponden a niveles estratégicos, cuestionando cuáles de ellos serían los puntos neurálgicos que pudieran conllevar a considerar la no ejecución de la alternativa. Con estos criterios para la evaluación de ambas alternativas se han identificado las dimensiones de aire y socioeconómico que poseen implicación a nivel estratégico.

5.4.2. Fuentes de energía renovable

Para el sector fuentes de energías renovables las alternativas planteadas en el PEN-2015 se vinculan con los objetivos 1, 3 y 4. Con el objetivo 1, porque el mismo plantea “lograr el abastecimiento pleno y eficiente de todos los recursos energéticos del país”, mientras que el objetivo 3 está relacionado específicamente al desarrollo de recursos energéticos nacionales de fuentes fósiles contribuyendo, además, al logro del objetivo 4 de reducir la dependencia de las fuentes no fósiles.

Los efectos ambientales que se han contemplado si se ejecutara estas alternativas son:

- disminución de la contaminación atmosférica
- afectación a la ornitología
- reutilización de residuos sólidos
- disminución de los costos de producción de energía
- ampliación de la cobertura de energía en zonas rurales y semiurbanas.

De estos efectos ambientales los pertenecientes a la dimensión aire y socioeconómico son los que corresponden a el nivel estratégico. Las implicaciones de los efectos de las dimensiones de suelo y biodiversidad son efectos puntuales y regionales que pueden manejarse

a nivel de proyecto y que no representan relevancia para la toma de decisión, según el enfoque del plan evaluado.

Tabla 5.7.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector fuentes de energía renovables

No.	Sub-Sector Energético	Alternativa		Objetivos	Aire	Agua	Suelo	Biodiversidad	Socioeconómico	
		ID	Nombre							
2	Fuentes de energías renovables	2.1	Aumentar la producción de energía eólica	1					X	
				2						
				3	X			X	X	
				4	X				X	
				5					X	
				6						
		2.2	Incrementar el uso de etanol	1						X
				2						
				3	X		X		X	
				4	X				X	
				5					X	
				6						
		2.3	Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales	1						X
				2						
				3	X		X		X	
				4	X				X	
				5					X	
				6						
		2.4	Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos	1						X
				2						
				3	X		X		X	
				4	X				X	
				5					X	
				6						
		2.5	Incrementar el uso del biodiesel	1						X
				2						
				3	X		X		X	
				4	X				X	
				5					X	
				6						

5.4.3. Uso Racional de la Energía (URE)

Tabla 5.8.- Resultados análisis de dimensionales ambientales sector uso racional de la energía (URE)

No.	Sub-Sector Energético	Alternativa		Objetivos	Aire	Agua	Suelo	Biodiversidad	Socioeconómico
		ID	Nombre						
3	Uso racional de la energía (URE)	3.1	Incrementar el uso racional de la energía	1					X
				2	X				X
				3					
				4					
				5					X
				6					

La alternativa que propone incrementar el uso racional de la energía tiene un carácter prioritario dentro del PEN-2015, así es planteado en el objetivo 2. Con esto se persigue una mejora de la calidad de vida de la población al mejorar los costos del abastecimiento de energético y la competitividad. Además, esta alternativa lleva a lograr los objetivos 1 y 5. En el objetivo 1, porque permitiría mejorar los criterios de competencia en el mercado y la eficiencia económica y seguridad en el suministro y el aumento de la calidad de vida que se persigue con el objetivo 5. Los efectos ambientales que se han considerado son los siguientes:

- Disminución de las emisiones atmosféricas
- Aumento de la calidad de vida de la población
- Mejora en las oportunidades de competencia en el mercado
- Disminución de costos por consumo de energía.

Los efectos se han identificados para dos dimensiones consideradas ambas a nivel estratégico para la puesta en marcha de esta alternativa.

5.5 Metas u objetivos a alcanzar

Con miras a orientar la definición de los indicadores, se plantean las metas u objetivos relacionados con cada una de las alternativas estudiadas. Se han considerado las metas establecidas en el PEN-2015, así como las metas planteadas en la Estrategia Nacional de Desarrollo (Ley 11-12), así como los estudios complementarios al plan evaluado.

Tabla 5.9.- Metas para alternativa 1

DESCRIPCIÓN DE LA META	VALOR	UNIDAD	AÑO	FUENTE
Alternativa 1				
1.1 Incrementar la producción energía en base a carbón mineral				
Emisiones dióxido de carbono per cápita	3.4	ton CO ₂ /per cápita	2015	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo (1)
Emisiones dióxido de carbono	37,022,260.00	ton CO ₂	2015	Calculado de (1) en base a la 10,888,900 población proyectada al 2015 según Rodríguez, 2008, p101 (2).
Emisiones dióxido de carbono por el sector energía	22,916,778.94	ton CO ₂	2015	Calculado de (2) para el aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LEEdSLAC2015 (3)
Emisiones dióxido de carbono por GWh de energía generada	1,552.92	ton CO ₂ /GWh	2015	Calculado de (1) al dividirlo por los generación total estimada en la base de los datos del SIEN
Existencia de una matriz de producción de energía en base a carbón mineral	60	%	2015	PEN-2015,pp 221
Consumo de energía estimado	18118	GWh	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 205
Cobertura de la demanda	100	%	2011	Rodríguez, 2008, pp 14
1.2 Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas				
Emisiones proyectadas por uso gas natural	13,800,000.00	ton CO ₂	2015	Rodríguez, 2008, pp 39
Emisiones dióxido de carbono per cápita	3.4	ton CO ₂ /per cápita	2015	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo (1)
Emisiones dióxido de carbono por GWh de energía generada	1552.9	ton CO ₂ /GWh	2015	Calculado de (1) al dividirlo por los generación total estimada en la base de los datos del SIEN
Existencia de una matriz de producción de energía en base a gas natural	60	%	2015	PEN-2015,pp 221
Consumo de energía estimado	18,118	GWh	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 205
Cobertura de la demanda	100	%	2011	Rodríguez, 2008, pp 14

Tabla 5.10.- Metas para alternativa 2

DESCRIPCIÓN DE LA META	VALOR	UNIDAD	AÑO	FUENTE
Alternativa 2				
Emisiones dióxido de carbono para el sector energía	22,916,778.94	ton CO2	2015	Calculado de (2) para el aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LE dSLAC2015 (3)
Cobertura de la demanda	100	%	2011	Rodríguez, 2008, pp 14
Diversificación fuentes de energía limpia	40	%	2020	CNE, 2008, pp 14
2.1 Aumentar la producción de energía eólica				
Aumentar la capacidad instalada	500	MW	2015	PEN-2015,pp 223
2.2 Incrementar el uso de etanol				
Incrementar el área de cultivos	255,000	Hectáreas	2012	Rodríguez, 2008, pp 0-7
Producción de etanol anual	45,000,000	galones/año	2012	PEN-2015,pp 223
2.3 Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales				
Producción de energía - capacidad instalada	50	MW	2015	PEN-2015,pp 223
2.4 Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos				
Producción de energía - capacidad instalada en Santo Domingo	60	MW	2015	PEN-2015,pp 223
2.5 Incrementar el uso del biodiesel				
Incrementar el área de cultivos para aumentar los excedentes exportables	105,000	Hectáreas	2015	Rodríguez, 2008, pp 0-8
Producción de Biodiesel	25,000,000	galones	2015	PEN-2015,pp 224

Tabla 5.11.- Metas para alternativa 3

DESCRIPCIÓN DE LA META	VALOR	UNIDAD	AÑO	FUENTE
Alternativa 3				
3.1 Incrementar el uso racional de la energía				
Emisiones dióxido de carbono por el sector energía	22,916,778.94	ton CO2	2015	Calculado de (2) para el aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LE DSLAC2015 (3)
<i>a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público</i>				
Cocción	2	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 147
Calentamiento de agua	2	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 147
Iluminación	5	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 147
<i>B) Residencial rural</i>				
Cocción con leña	12.5	%	2020	Fundación Bariloche, 2008, pp 147
<i>c) Sectores industriales y otros sectores</i>				
Calor del proceso	2	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 148
<i>d) Sector transporte</i>				
Motor Otto	4	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 148
Motor Diesel	3	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 148
Turbinas	3	%	2015	Fundación Bariloche, 2008, pp 148

5.6 Definición de indicadores

El establecimiento de los indicadores necesarios tiene como punto de partida aquellos que nos permitan definir características de las alternativas asociadas a las metas. Sin embargo, a la vista de la existencia de informaciones interesantes que no contaban con metas establecidas, se procedió a generar indicadores que permitan la valoración de las alternativas en las dimensiones de análisis estratégicas seleccionadas. Además de esto, se revisaron indicadores pertenecientes a diferentes índices y entidades vinculadas al sector energía y las mismas fueron, cuando era aplicable, adaptadas a los criterios de las metas y los objetivos. Cada indicador fue objeto de valoración de diferentes características, con el fin de verificar las cualificaciones del mismo para conseguir el objetivo de las alternativas. Los criterios aplicados son: relevancia (R), interpretativo (I), orientación al desempeño (OD), transparencia (T) y calidad de los datos (CD). En la tabla 5.12 se muestra el resultado de la valoración de las características de los indicadores¹⁸.

¹⁸ En esta se resaltan para varios indicadores la característica de transparencia, significando que el mismo es transparente respecto a la fuente de datos, sin embargo, ha sido objeto de manipulación y el dato origen

Tabla 5.12.- Criterios de valoración para selección de indicadores

No.	Indicador	ID Alternativa	Criterios de valoración				
			R	I	OD	T	CD
1	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	1.1	X	X	X	X	X
2	Proporción de emisiones del carbón mineral a las emisiones totales del sistema	1.1	X	X	X	X	X
3	Estructura de generación por tipo de combustibles	1.1	X	X	X	X	X
4	Intensidad emisiones respecto a la población	1.1	X	X	X	X	X
5	Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral	1.1	X	X	X	X	X
6	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	1.1	X	X	X	X	X
7	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	1.2	X	X	X	X	X
8	Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema	1.2	X	X	X	X	X
9	Estructura de generación por tipo de combustibles	1.2	X	X	X	X	X
10	Intensidad emisiones respecto a la población	1.2	X	X	X	X	X
11	Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural	1.2	X	X	X	X	X
12	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	1.2	X	X	X	X	X
13	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada	2.1	X	X	X	X	X
14	Proporción de aporte emisiones GEI	2.1	X	X	X	X	X
15	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.1	X	X	X	X	X
16	Número de MW proyectados	2.1	X	X	X	X	X
17	Proporción cobertura de generación de energía en base a energía eólica	2.1	X	X	X	X	X
18	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono	2.1	X	X	X	X	X
19	Número de hectáreas sembradas por año	2.2	X	X	X	X	X
20	Número de galones anuales producidos de etanol	2.2	X	X	X	X	X
21	Proporción de aporte emisiones GEI		X	X	X	X	X
22	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.2	X	X	X	X	X
23	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de etanol	2.2	X	X	X	X	X
24	Número de MW proyectados	2.3	X	X	X	X	X
25	Proporción de aporte emisiones GEI	2.3	X	X	X	X	X
26	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.3	X	X	X	X	X
27	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos agrícolas y animales	2.3	X	X	X	X	X
28	Número de MW proyectados	2.4	X	X	X	X	X
29	Proporción de aporte emisiones GEI	2.4	X	X	X	X	X
30	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.4	X	X	X	X	X
31	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos sólidos urbanos	2.4	X	X	X	X	X
32	Número de hectáreas sembradas por año	2.5	X	X	X	X	X
33	Número de galones anuales de biodiesel	2.5	X	X	X	X	X
34	Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta	3.1	X	X	X	X	X
35	Proporción de reducción de emisiones GEI	3.1	X	X	X	X	X
36	Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía	3.1	X	X	X	X	X
37	Ahorro en bonos de carbono	3.1	X	X	X	X	

que es transparente se modificó para obtener el indicador. Los procedimientos aplicados al dato origen están debidamente explicados y sustentados en los cálculos para la obtención de los valores de los indicadores.

Tabla 5.13.- Indicadores y dimensiones de análisis

No.	Indicador	ID Alternativa	Dimensiones de análisis	
			Aire	Socioeconómico
1	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	1.1	X	
2	Proporción de emisiones del carbón mineral a las emisiones totales del sistema	1.1	X	
3	Estructura de generación por tipo de combustibles	1.1		X
4	Intensidad emisiones respecto a la población	1.1		X
5	Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral	1.1		X
6	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	1.1		X
7	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	1.2	X	
8	Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema	1.2	X	
9	Estructura de generación por tipo de combustibles	1.2		X
10	Intensidad emisiones respecto a la población	1.2		X
11	Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural	1.2		X
12	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	1.2		X
13	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada	2.1	X	
14	Proporción de aporte emisiones GEI	2.1	X	
15	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.1	X	
16	Número de MW proyectados	2.1	X	
17	Proporción cobertura de generación de energía en base a energía eólica	2.1		X
18	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono	2.1		X
19	Número de hectáreas sembradas por año	2.2	X	
20	Número de galones anuales producidos de etanol	2.2	X	
21	Proporción de aporte emisiones GEI	2.2	X	
22	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.2	X	
23	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de etanol	2.2		X
24	Número de MW proyectados	2.3	X	
25	Proporción de aporte emisiones GEI - RAA	2.3	X	
26	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía -RAA	2.3	X	
27	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos agrícolas y animales	2.3		X
28	Número de MW proyectados	2.4	X	
29	Proporción de aporte emisiones GEI	2.4	X	
30	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.4	X	
31	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos sólidos urbanos	2.4		X
32	Número de hectáreas sembradas por año	2.5	X	
33	Número de galones anuales de biodiesel	2.5	X	
34	Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta	3.1	X	
35	Proporción de reducción de emisiones GEI	3.1	X	
36	Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía	3.1		X
37	Ahorro en bonos de carbono	3.1		X

Como resultado de la metodología se generaron 37 indicadores distribuidos en las tres alternativas. La alternativa 1 posee 12 indicadores, la alternativa 2 tiene 21 indicadores y la alternativa 3 tiene 4 indicadores (tabla 5.13). Es importante concentrar la construcción de los indicadores en cumplir con la definición de las metas y que a la vez, permitan realizar una comparación de alternativa que resalte el cumplimiento o no de los objetivos.

Cada uno de estos indicadores posee una tabla de metadatos que indica el nombre del indicador, su definición, fórmula a aplicar, unidades del numerador / denominador, fuentes del numerador / denominador incluyendo la referencia bibliografía con el número de página para facilitar el manejo y cotejo posterior del indicador, y observaciones usado cuando es necesario realizar puntualizaciones. Los metadatos de los indicadores se muestran en el Anexo 1.

5.7 Obtención de los valores de los indicadores

Luego de identificados y valorados los indicadores, se procedió a generar los valores de los mismos. A continuación se presentan por alternativas los cálculos de los indicadores, explicando los procedimientos y fuente de los datos. Además se describe los criterios de estimación para algunos casos. Conjuntamente se presentan los indicadores utilizados para la construcción del índice y aquellos que carecen de metas pero que fueron construidos con miras a que se puedan utilizar como indicadores comparativos entre las alternativas o como información para apuntalar la selección o no de las opciones evaluadas. En total se presentan 37 indicadores distribuidos en las tres alternativas. Como se ha dicho, la alternativa 1 posee 12 indicadores, la alternativa 2 tiene 21 indicadores y la alternativa 3 tiene 4 indicadores.

5.7.1. Indicadores Alternativa 1- Sector energía eléctrica

5.7.1.1. Alternativa 1 – Indicador 1 - Estimaciones GEI por unidad de electricidad generada para carbón mineral y gas natural

La estimación de los GEI se realizó tomando el factor de emisiones multiplicado por la cantidad generación de energía en Giga vatio – Hora (GWH) y este producto dividido por la generación de energía de la matriz energética del nacional, todos los datos fueron suministrados por el “*Sistema de Información Energética Nacional (SIEN) de la CNE*”. Esto se realizó tanto para la alternativa que considera carbón mineral (1.1), como para la alternativa de gas natural, (1.2.), según se muestra en la ficha 1.1.1 de metadatos.

Tabla 5.14.- Indicador Estimaciones GEI por unidad de electricidad generada para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	1130.9	Ton CO2/GWh	5,408.08	6,115,997.67	14,757.25	414.4	Ton CO2/GWh
1.2	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	424.1	Ton CO2/GWh	4,224.84	1,791,754.64	14,757.25	121.4	Ton CO2/GWh

5.7.1.2. Alternativa 1 – Indicador 2 - Proporción de emisiones respecto a las emisiones totales del sistema del carbón mineral y gas natural.

Este indicador permite conocer la proporción de las emisiones que se producen por el uso carbón mineral o gas natural respecto a todas las emisiones del sistema. Tanto los factores de emisión como los GWh de la generación de energía corresponden a datos suministrados por el SIEN. Los valores de las emisiones GEI han sido calculados en base a esos datos suministrados. Ver ficha 1.1.2 y 1.2.1 en metadatos.

Tabla 5.15.- Indicador Proporción de emisiones respecto a las emisiones totales del sistema para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh de la tecnología	Cantidad en GWh del sector energía	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Proporción de emisiones del carbón mineral las emisiones totales del sistema	1130.9	Ton CO2/GWh	5,408.08	14,757.25	6115997.672	16688972.86	36.6	%
1.2	Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema	424.1	Ton CO2/GWh	4,224.84	14,757.25	1791754.644	6258549.289	28.6	%

5.7.1.3. Alternativa 1 – Indicador 3 - Estructura de generación por tipo de combustible – carbón mineral y gas natural

Mide el grado proporcional de responsabilidad ambiental de la tecnología usada, en base a la generación y permite determinar por ciento de aporte en la generación

por tecnología. Este indicador tiene el objetivo de servir para comparar ambas alternativas, debido a que no existe una meta para relacionarlo, no es utilizado en el índice de selección. Los datos utilizados fueron suministrados por el SIEN. Ver ficha 1.13 en metadatos.

Tabla 5.16.- Indicador Estructura de generación por tipo de combustible – carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Estructura de generación por tipo de combustibles	5,408.08	5,408.08	14,757.25	36.65	%
1.2	Estructura de generación por tipo de combustibles	4,224.84	4,224.84	14,757.25	28.63	%

5.7.1.4. Alternativa 1 – Indicador 4 - Intensidad de emisiones respecto a la población – carbón mineral y gas natural

Mide el grado del efecto ambiental de la tecnología en función del crecimiento demográfico del país. Para este indicador las emisiones para cada tecnología fueron calculadas con los datos del SIEN y el valor de la población para el 2015 pertenece a las proyectadas en el documento “Prospectivas demanda de energía”. Ver ficha 1.1.4 en metadatos.

Tabla 5.17.- Indicador Intensidad de emisiones respecto a la población – carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Intensidad emisiones respecto a la población	1130.9	Ton CO2/GWh	5,408.08	6,115,997.67	10888900	0.56167	Ton CO2/hab
1.2	Intensidad emisiones respecto a la población	424.1	Ton CO2/GWh	4,224.84	1,791,754.64	10888900	0.16455	Ton CO2/hab

5.7.1.5 Alternativa 1 – Indicador 5 -Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral y gas natural

Este indicador mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación. Los datos usados corresponden: el numerador a la información del SIEN y el denominador al documento “Prospectivas demanda de energía”. Ver ficha 1.1.5 y 1.2.2 en metadatos.

Tabla 5.18.- Indicador Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Cantidad en MWh	Cantidad en GWh	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral	1898	1.898	5,408.08	18118	29.85	%
1.2	Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural	1873	1.873	4,224.84	18118	23.32	%

5.7.1.6 Alternativa 1 – Indicador 6 - Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbonos para carbón mineral y gas natural

Permite conocer el ahorro por la reducción de emisiones en base a los bonos de carbono relacionadas con los costos de inversión. Los datos utilizados corresponden a la evaluación económica con externalidades del plan de expansión de generación desarrollado en el documento “Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector eléctrico”. Debido a que no existen metas en el plan analizado, este indicador es con fines comparativos. Ver ficha 1.1.6 en metadatos.

Tabla 5.19.- Indicador Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbonos para carbón mineral y gas natural para las alternativas 1.1. y 1.2

Alternativa	Indicador	Costo Bono de Carbono en Millones USS	Costo total de desarrollo Millones USS	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
1.1	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	15	9700	15	9700	0.15	%
1.2	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono	235	9911	235	9911	2.37	%

5.7.2. Alternativa 2- Sector fuentes de energías renovables

5.7.2.1. Alternativa 2 – Indicador 1 - Proporción de emisiones GEI - energía eólica

Este indicador puede a simple vista resultar incoherente al relacionar estimaciones de emisiones GEI para una energía limpia como la eólica. Sin embargo, la construcción del indicador ha partido de considerar lo siguiente: conociendo la generación de energía en GWh producidos por energía eólica, se propone calcular el impacto que tendrá esta generación para cualquiera de las dos tecnologías seleccionadas para el sector eléctrico e indicado en la alternativa 1, si la cantidad producida por la energía eólica se le restara a la generación con energía no limpia. En base a esto, los valores de GWh producidos por la energía eólica fueron afectados por los factores de emisión tanto de la tecnología carbón mineral como gas natural. Estas emisiones se relacionaron con las emisiones que se plantean para el sector energía, que corresponden a la meta nacional de reducción de emisiones multiplicado por el porcentaje de aporte del sector. La interpretación de los resultados consiste en que, una matriz en base a carbón y energía eólica aporta un 8.8% las emisiones mientras que, la combinación de la matriz con gas natural resulta en un aporte de 3.3 %. Ver ficha 2.1.1 en metadatos.

Tabla 5.20.- Indicador Proporción de emisiones GEI

Alternativa	Indicador	Matriz con tecnología de	Emisiones CO2 ton	Emisiones CO2 ton meta del sector	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.1	Proporción de aporte Emisiones GEI	Carbón	2,027,319.19	22,916,778.94	2,027,319.19	22,916,778.94	8.8	%
2.1	Proporción de aporte Emisiones GEI	Gas Natural	760,267.11	22,916,778.94	760,267.11	22,916,778.94	3.3	%

5.7.2.2. Alternativa 2 – Indicador 2 - Proporción emisiones GEI por unidad de energía generada en base a la matriz de energía – energía eólica.

Proporciona el aporte porcentual de la mitigación de las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la matriz de energía. El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable. Ver ficha 2.1.2 en metadatos.

Tabla 5.21.- Indicador Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada en base a la matriz de energía – energía eólica

Alternativa	Indicador	Matriz con tecnología de	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía Eólica	Cantidad en GWh de la matriz	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.1	Proporción de reducción Emisiones GEI por unidad de energía generada	Carbón	1130.9	Ton CO2/GWh	1,792.66	14,757.25	2,027,319.19	16,688,972.86	12.15	%
2.1		Gas Natural	424.1	Ton CO2/GWh	1,792.66	14,757.25	760,267.11	6,258,549.29	12.15	%

5.7.2.3. Alternativa 2 – Indicador 3 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – energía eólica

Este indicador mide el grado de participación de la energía eólica en la matriz energética. En este indicador se consideró el valor de la generación de energía de

la matriz proporcionado por el SIEN y se relacionó con los valores estimados para la generación eólica en cuanto a producción de energía. Ver ficha 2.1.3 en metadatos.

Tabla 5.22.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh energía Eólica	Cantidad en GWh de la matriz	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.1	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	1,792.66	14,757.25	1,792.66	14,757.25	12.15	%

5.7.2.4. Alternativa 2 – Indicador 4- Número de MW proyectados – energía eólica

El indicador mide la capacidad instalada de producción de energía eólica en base a proyectos ya concesionados. Los datos fueron tomados del documento “Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR)”. Ver ficha 2.1.4 en metadatos.

Tabla 5.23.- Indicador Número de MW proyectados

Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.1	Número de MW proyectados	419	MW

5.7.2.5. Alternativa 2 – Indicador 5 -Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica

Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación. Los datos utilizados fueron obtenidos de los documentos “Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables y Prospectiva demanda de energía”. Ver ficha 1.2.5 en metadatos.

Tabla 5.24.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh energía Eólica	Demanda GWh al 2015	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.1	Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica	1,792.66	181,118.00	1,792.66	181,118.00	0.99	%

5.7.2.6. Alternativa 2 – Indicador 6 - Proporción de reducción de costos por bonos de carbono

Permite identificar cual conjunto de tecnología ofrece mayor reducción de costos en base a los bonos de carbonos. Si se combinará la producción de energía entre carbón mineral o gas natural con la eólica, no sería necesario producir con combustibles fósiles lo que aporta la energía limpia y por ende, esto significaría en un ahorro que se ha relacionado con los costos de inversión del proyecto y los certificados de bonos de carbono. Se calcularon los costos en certificados de bonos de carbono par las emisiones que podría generar los GWh producidos limpios, si se produjeran con carbón o gas natural, considerando el costo de los certificados como US\$15/t CO₂. Esto se relacionó con los costos de inversión dados en función de los KW instalados. Con este supuesto, se obtuvo que una matriz conjunta de energía eólica y carbón mineral se traduce en una reducción porcentual en los costos de inversión de 4.7%, mientras que una matriz de energía eólica y gas natural genera una reducción de 1.8% para la generación eléctrica que producirían los MW propuestos en el plan de expansión. Este indicador no posee meta, se ha construido con el objetivo de obtener criterios técnicos para la valoración de la alternativa. Ver ficha 2.1.6 en metadatos.

Tabla 5.25.- Indicador Proporción de reducción de costos por bonos de carbono

Alternativa	Indicador	Matriz con tecnología de	Capacidad de generación (KW)	Costo de inversión Millones US\$	Costo Unitario Bono de Carbono US\$/ton CO2	Costo de los Bonos de Carbono en US\$	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.1	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono	Carbón	419,000.00	644,442,950.00	15.00	30,409,787.91	30,409,787.91	644,442,950.00	4.7	%
2.1		Gas Natural	419,000.00	644,442,950.00	15.00	11,404,006.59	11,404,006.59	644,442,950.00	1.8	%

5.7.2.7. Alternativa 2 – Indicador 7 -Número de hectáreas sembradas por año – etanol

Mide el avance por años de la superficie sembrada para producción de etanol. Para obtener el valor de este indicador se consideró la planificación de siembra anual a partir de la fecha de elaboración del plan hasta el año horizonte, a esto se le sumó la cantidad existente de superficie a la fecha de elaboración del plan. Ver ficha 2.2.1 en metadatos.

Tabla 5.26.- Indicador Número de hectáreas sembradas por año – etanol

Alternativa	Indicador	Área existente (Ha)	Área a sembrar / año	N	Valor del indicador	Unidad del indicador
2.2	Número de hectáreas sembradas por año	125000	60000	4	365000	Ha

5.7.2.8. Alternativa 2 – Indicador 8 -Número de galones anuales producidos de etanol

Permite conocer las cantidades de etanol real basado en las hectáreas disponibles. Este indicador se trabajó con las estimaciones presentadas en el documento “Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR)” para el año horizonte indicado en el PEN-2015. Ver ficha 2.2.2 en metadatos.

Tabla 5.27.- Indicador Número de galones anuales producidos de etanol

Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.2	Número de galones anuales de etanol	98,762,917.71	galones/año

5.7.2.9. Alternativa 2 – Indicador 9 - Proporción de emisiones GEI – etanol

Para este indicador de proporción de emisiones GEI, se ha considerado los mismos criterios que para la estimación de este tipo de indicador en la energía eólica. En este caso se han colocado bajo un mismo indicador las tres condiciones valoradas, considerando matriz carbón mineral – etanol, gas natural- etanol, estas respecto a las emisiones propuestas como meta para el sector energía y las mismas relaciones de tecnologías respecto a las emisiones de la matriz de energía. Se

reitera que el objetivo es El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable. Este indicador tiene relacionado las fichas 2.2.3 y 2.2.4 de los metadatos.

Tabla 5.28.- Indicador Proporción de emisiones GEI – etanol

Alternativa	Indicador	En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía Etanol	Emisiones Meta del sector	Emisiones en base a energía por etanol (ton CO2)	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.2	Proporción de aporte Emisiones GEI	Carbón/ Meta	1130.9	Ton CO2/GWh	2,819.00	22,916,778.94	3,188,007.10	3,188,007.10	22,916,778.94	13.91	%
2.2		Gas Natural/ Meta	424.1	Ton CO2/GWh	2,819.00	22,916,778.94	1,195,537.90	1,195,537.90	22,916,778.94	5.22	%
Alternativa		En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía Etanol	Cantidad en GWh de la matriz	Emisiones en base a energía por etanol (ton CO2)	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.2		Carbón o Gas Natural/ Matriz de energía	1130.9	Ton CO2/GWh	2,819.00	14,757.25	3,188,007.10	3,188,007.10	16,688,972.86	19.10	%

5.7.2.10. Alternativa 2 – Indicador 10 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – etanol

Mide el grado de participación de la energía generado por etanol en la matriz energética. Las informaciones utilizadas consisten en el análisis planteado en el documento “Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR)”. Ver ficha 2.2.5 en metadatos.

Tabla 5.29.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – etanol

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh energía por etanol	Cantidad en GWh de la matriz	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.2	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2,819.00	14,757.25	2,819.00	14,757.25	19.10	%

5.7.2.11. Alternativa 2 – Indicador 11 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol

Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación. Las informaciones tienen como fuente “*Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energías nuevas y renovables (FENR Prospectiva demanda de energía)*”. Ver ficha 2.2.6 en metadatos.

Tabla 5.30.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh por etanol	Demanda GWh al 2020	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.2	Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol	2,819.00	22,971.00	2,819.00	22,971.00	12.27	%

5.7.2.12. Alternativa 2 – Indicador 12 - Número de MW proyectados – uso de residuos agrícolas y animales (RAA)

Mide la capacidad instalada de producción de energía por uso de residuos agrícolas y animales en base a la planificación estratégica. La capacidad instalada mostrada por el indicador es la información más cercana (2013) al año horizonte de la meta. Ver ficha 2.3.1 en metadatos.

Tabla 5.31.- Indicador Número de MW proyectados – uso de residuos agrícolas y animales

Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.3	Número de MW proyectados	10	MW

5.7.2.13. Alternativa 2 – Indicador 13 - Proporción de emisiones GEI – uso de residuos agrícolas y animales (RAA)

Como para otros indicadores con el mismo nombre pero otro tipo de energía renovable, se mantiene el mismo objetivo de conocer la proporción de emisiones que se evitarían por el aporte de esta energía limpia. Se ha considerado emisiones en base a carbón mineral y gas natural combinadas con la producción de energía en base a residuos agrícolas y animales respecto a la meta del sector energía y además, se ha evaluado el escenario de proporción de emisiones a evitar con respecto a la matriz de energía. Ver ficha 2.3.2 y 2.3.3 en metadatos.

Tabla 5.32.- Indicador Proporción de emisiones GEI – uso de residuos agrícolas y animales

Alternativa	Indicador	En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía RAA	Emisiones Meta del sector	Emisiones en base a energía por RAA (ton CO2)	Emisiones Meta del sector	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.3	Proporción de aporte Emisiones GEI	Carbón/Meta	1130.9	Ton CO2/GWh	87.50	22,916,778.94	98,953.75	22,916,778.94	98,953.75	22,916,778.94	0.43	%
2.3		Gas Natural/Meta	424.1	Ton CO2/GWh	87.50	22,916,778.94	37,108.75	22,916,778.94	37,108.75	22,916,778.94	0.16	%
Alternativa		En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía RAA	Cantidad en GWh de la matriz	Emisiones en base a energía por RAA (ton CO2)	Emisiones en base a la matriz (ton CO2)	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.3	Carbón o Gas Natural / Matriz de energía	1130.9	Ton CO2/GWh	87.50	14,757.25	98,953.75	16,688,972.86	98,953.75	16,688,972.86	0.59	%	

5.7.2.14. Alternativa 2 – Indicador 14 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía- uso de residuos agrícolas y animales (RAA)

Mide el grado de participación de la energía en base a residuos agrícolas y animales (RAA) con respecto a la matriz energética. Ver ficha 2.3.4 en metadatos.

Tabla 5.33.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía – uso de residuos agrícolas y animales

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh energía por RAA	Cantidad en GWh de la matriz	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.3	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	87.50	14,757.25	87.50	14,757.25	0.59	%

5.7.2.15. Alternativa 2 – Indicador 15 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales (RAA)

Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la demanda de energía. La demanda de energía se muestra en GWh para el año horizonte 2020. Ver ficha 2.3.5 en metadatos.

Tabla 5.34.- Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh por RAA	Demanda GWh al 2020	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.3	Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos	87.50	22,971.00	87.50	22,971.00	0.38	%

5.7.2.16. Alternativa 2 – Indicador 16 - Número de MW proyectados – uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Mide la capacidad instalada de producción de energía por uso de residuos sólidos urbanos en base a proyectos registrados en el SIEN de la CNE. A la fecha de los estudios técnicos complementarios al PEN-2015, existían unos proyectos registrados que para el 2013 prometían la capacidad instalada que muestra el indicador. Ver ficha 2.4.1 en metadatos.

Tabla 5.35.- Indicador Número de MW proyectados – uso de residuos sólidos urbanos

Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.4	Número de MW proyectados	100	MW

5.7.2.17. Alternativa 2 – Indicador 17 - Proporción de emisiones GEI – uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Se mantiene la concepción de los otros indicadores con el mismo nombre pero otro tipo de energía renovable. El objetivo es conocer la proporción de emisiones que se evitarían por el aporte de esta energía limpia. Se ha considerado emisiones en base a carbón mineral y gas natural combinadas con la producción de energía en base a residuos agrícolas y animales respecto a la meta del sector energía y además, se ha evaluado el escenario de proporción de emisiones a evitar con respecto a la matriz de energía. Ver ficha 2.4.2 y 2.4.3 en metadatos.

Tabla 5.36.- Indicador Proporción de emisiones GEI – uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Alternativa	Indicador	En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía por RU	Emisiones Meta del sector	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.4	Proporción de aporte Emisiones GEI	Carbón/Meta	1130.9	Ton CO2/GWh	350.00	22,916,778.94	395,815.00	22,916,778.94	1.73	%
2.4		Gas Natural/Meta	424.1	Ton CO2/GWh	350.00	22,916,778.94	148,435.00	22,916,778.94	0.65	%
Alternativa		En base a	Estimación unitaria	Unidad	Cantidad en GWh energía por RU	Emisiones en base a la matriz (ton CO2)	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.4		Carbón o Gas Natural / Matriz de energía	1130.9	Ton CO2/GWh	350.00	16,688,972.86	395,815.00	16,688,972.86	2.37	%

5.7.2.18. Alternativa 2 – Indicador 18 - Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía- uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Mide el grado de participación de la energía en base a residuos urbanos en la matriz energética. Ver ficha 2.4.4 en metadatos.

Tabla 5.37.- Indicador Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía- uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh energía por RU	Cantidad en GWh de la matriz	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.4	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	350.00	14,757.25	350.00	14,757.25	2.37	%

5.7.2.19. Alternativa 2 – Indicador 19 - Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la demanda de energía. Ver ficha 2.4.5 en metadatos.

Tabla 5.38.- Indicador Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos sólidos urbanos (RU)

Alternativa	Indicador	Cantidad en GWh por RU	Demanda GWh al 2010	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del Indicador
2.4	Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos urbanos (RU)	350.00	14,227.00	350.00	14,227.00	2.46	%

5.7.2.20. Alternativa 2 – Indicador 20 - Número de hectáreas sembradas por año-biodiesel

Mide el avance por años de la superficie sembrada para producción de biodiesel. Se consideró la planificación estratégica anual y a esta se le adicionó el área de siembra existente. Ver ficha 2.5.1 en metadatos.

Tabla 5.39.- Indicador Número de hectáreas sembradas por año- biodiesel

Alternativa	Indicador	Área existente (Ha)	Área a sembrar / año	N	Valor del indicador	Unidad del indicador
2.5	Número de hectáreas sembradas por año	450000	73000	3	669000	Ha

5.7.2.21. Alternativa 2 – Indicador 21 - Número de galones anuales de biodiesel

Este indicador permite conocer las cantidades de biodiesel real basado en las hectáreas disponibles. Los estudios técnicos complementarios del plan de expansión poseen el análisis para los años 2012 y 2020 y la meta de producción de biodiesel está establecida en el PEN-2015 para el año horizonte 2015. En vista de lo anterior, se procedió a interpolar el valor de producción de biodiesel para el año meta. Ver ficha 2.5.2 en metadatos.

Tabla 5.40.- Indicador Número de galones anuales de biodiesel

Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
2.5	Número de galones anuales de Biodiesel	71,412,222.00	galones

5.7.3. Alternativa 3 – Uso racional de la energía (URE)

La alternativa de uso racional de la energía posee cuatro componentes, que para este caso serán analizados todos para cada uno de los cuatros indicadores construidos. Los componentes son:

- a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público
- b) Residencial rural
- c) Sectores industriales y otros sectores
- d) Sector transporte

5.7.3.1. Alternativa 3 – Indicador 1 -Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta - URE

Este indicador permite valorar el rendimiento de la aplicación de las medidas del uso racional de la energía en base a la disminución del consumo de energía. Para el componente del sector residencial urbano; hoteles; restaurantes y resto de comercial, servicios y público se utilizó el valor de ahorro de energía para los datos residencial y comercial para los componentes de calentamiento de agua e iluminación. Para el componente residencial rural la meta está establecida para el nivel ingreso medio y bajo, en vista de esto, se utilizó el promedio de los niveles de ingreso. Los ahorros estimados para el componente URE equivalen a 1017 KTEP . Ver ficha 3.1.1 en metadatos.

Tabla 5.41.- Indicador Porcentaje de ahorros en el uso de energía neta - URE

a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público							
Alternativa	Indicador	Ahorro de energía con URE en KTEP	Consumo energía sin URE en KTEP	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
Cocción	Proporción ahorro de energía neta	281	858.00	281.00	858.00	32.8	%
Calentamiento de agua	Proporción ahorro de energía neta	25	39.00	25.00	39.00	64.1	%
Iluminación	Proporción ahorro de energía neta	16	51.00	16.00	51.00	31.4	%
B) Residencial rural							
Alternativa	Indicador	Ahorro de energía con URE en KTEP	Consumo energía sin URE en KTEP	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
Promedio	Proporción ahorro de energía neta	281	410.12	281.00	410.12	68.5	%
c) Sectores industriales y otros sectores							
Alternativa	Indicador	Ahorro de energía con URE en KTEP	Consumo energía sin URE en KTEP	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
Sectores Industriales y otros sectores	Proporción ahorro de energía neta	234	991.00	234.00	991.00	23.6	%
d) Sector transporte							
Alternativa	Indicador	Ahorro de energía con URE en KTEP	Consumo energía sin URE en KTEP	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
Sector transporte	Proporción ahorro de energía neta	180	2,337.19	180.00	2,337.19	7.7	%

5.7.3.2. Alternativa 3 – Indicador 2 - Proporción de reducción de emisiones GEI – URE

Proporciona el aporte porcentual en reducción de emisiones GEI para el componente aplicado. La aplicación de las URE permitirá una reducción estimada de emisiones de 22.1% en el valor de la meta del sector para el año horizonte. Ver ficha 3.1.2 en metadatos.

Tabla 5.42.- Indicador Proporción de reducción de emisiones GEI - URE

a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público						
Alternativa	Indicador	Total ahorro de emisiones en miles de ton CO2	Numerador (ton CO2)	Denominador (ton CO2)	Valor del Indicador	Unidad del indicador
Cocción / Calentamiento de agua / Iluminación	Proporción de reducciones de emisiones GEI	1,573.40	1,573,400.00	22916778.94	6.87	%
B) Residencial rural						
Cocción con leña / nivel promedio de ingreso	Proporción Ahorro de emisiones GEI	1,289.90	1,289,900.00	22,916,778.94	5.63	%
c) Sectores industriales y otros sectores						
Sectores Industriales y otros sectores	Proporción Ahorro de emisiones GEI	1,824.80	1,824,800.00	22,916,778.94	7.96	%
d) Sector transporte						
Sector transporte	Proporción Ahorro de emisiones GEI	376.3	376,300.00	22,916,778.94	1.64	%

5.7.3.3. Alternativa 3 – Indicador 3 - Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía URE

Mide el impacto de la reducción de consumo de energía en términos económicos. Este indicador no posee meta, se ha construido con objetivos comparativos. Explica el aporte de la aplicación de esta alternativa al sistema económico. Ver ficha 3.1.3 en metadatos.

Tabla 5.43.- Indicador Ahorros de divisas por reducción de demanda de energía URE

Alternativa	Indicador	Ahorro por disminución de consumo de energía en US\$ al 2015	Egresos de divisas US\$ al 2002	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
URE	Proporción de reducción de costos por ahorro neto en divisas	273,830,655.00	1,297,000,000.00	273,830,655.00	1,297,000,000.00	21.11	%

5.7.3.4. Alternativa 3 – Indicador 4- Ahorro por bonos de carbono URE

Permite identificar el aporte de reducción de costos al aplicar los certificados de bonos de carbono, respecto a los egresos de divisas por importación de derivados de petróleo. Al igual que el anterior indicador, no existe una meta asociada. El cálculo realizado es para todas las emisiones que reduciría la aplicación de la alternativa URE. El costo de los certificados de bonos de carbono considerado es de US\$ 15/t CO₂, precio establecido para los años de ejecución de los estudios técnicos complementarios. Ver ficha 3.1.4 en metadatos.

Tabla 5.44.- Indicador Ahorro por certificados en bonos de carbono URE

Alternativa	Indicador	Emisiones CO ₂ ton CO ₂	Costo bono de carbono en US\$/ton CO ₂	Costos de reducción US\$	Numerador	Denominador	Valor del Indicador	Unidad del indicador
URE	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono	4,282,000.00	15.00	64,230,000.00	64,230,000.00	1,297,000,000.00	4.95	%

5.8 Resultados del índice de selección de alternativas estratégicas ambientales (ISAEA)

5.8.1. Resultados de la Alternativa 1- Sector energía eléctrica

El ISAEA para las alternativas de la matriz de energía en base a carbón mineral y gas natural, las alternativas 1.1 y 1.2 respectivamente, se obtuvieron utilizando los cuatro indicadores que contaban con metas. Los resultados evidencian que la alternativa más cercana al indicador estratégico o a la meta es, la 1.2 o la matriz en base a gas natural la cual posee un ISAEA de 0.79 versus un valor de 0.65 que se ha generado para la matriz en base a carbón mineral. Ver tablas 5.45 y 5.46

De los indicadores relacionados con la producción de emisiones GEI, resalta el aporte proporcional del carbón mineral de un 8% más respecto al gas natural. Según la propuesta del PEN-2015, la instalación de cualquiera de las dos tecnologías representaría un 60% de la matriz energética. En ese sentido la más cercana al cumplimiento de esa meta es la alternativa del gas natural. Sin embargo, el efecto en la dimensión de análisis aire es tan contundente en cuanto a la lejanía con las expectativas estratégicas, que repercute en el valor del ISAEA.

En el mismo orden se encuentran los indicadores que se construyeron con fines comparativos, el indicador de proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono y el indicador estructura de generación por tipo de combustible. El indicador de proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono identifica un ahorro de 2.37% al implantar la matriz en base a gas natural respecto a un 0.15% de ahorro para la matriz en base a carbón mineral. De igual manera, el indicador de estructura de generación por tipo de combustible apunta el resultado del ISAEA, estableciendo una responsabilidad ambiental de mayor grado al carbón mineral que al gas natural, indicando un 36.65% ante un 28.63% respectivamente.

En conclusión, el ISAEA resalta que la matriz en base a gas natural conlleva a la obtención de los objetivos del PEN-2015 y es muy claramente una alternativa menos nociva al medio ambiente.

Tabla 5.45.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - alternativa 1.1

Matriz de energía en base a carbón mineral					
Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	414.4	1,552.92	0.73	0.25	0.18
Proporción de emisiones del carbón mineral respecto a las emisiones totales del sistema	36.6	100.0	0.63	0.25	0.16
Intensidad emisiones respecto a la población	0.6	2.1	0.73	0.25	0.18
Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral	29.85	60	0.50	0.25	0.13
ISAEA					0.65

Tabla 5.46.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - alternativa 1.2

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	121.4	1,552.92	0.92	0.25	0.23
Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema	28.6	100.0	0.71	0.25	0.18
Intensidad emisiones respecto a la población	0.2	2.1	0.92	0.25	0.23
Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural	23.32	60	0.61	0.25	0.15
ISAEA					0.79

5.8.2. Resultados de la Alternativa 2- Sector fuentes de energías renovables

Como para esta alternativa de fuentes de energía renovable no existe más de una alternativa por fuente, el enfoque decidido es, evaluar las alternativas en función de su aporte a la matriz energética, los objetivos del PEN-2015 y las metas planteadas. Para el caso del indicador proporción de emisiones GEI, se presenta la combinación de tecnología limpia

más el caso de carbón mineral y el caso de gas natural para la alternativa 2.1 de energía eólica. En vista de que se realizó el ejercicio de ambas combinaciones para todas las fuentes de energía renovable consideradas en este análisis y no arrojaron cambios importantes en el ISAEA, se consideró a partir de la alternativa en base a uso de etanol en lo adelante solo valorar la combinación energía limpia + gas natural.

5.8.2.1. Resultados de Energía eólica – Alternativa 2.1

La valoración de la energía eólica se realizó para cuatro de los seis indicadores construidos para esta alternativa. Se realizó el ejercicio de utilizar la proporción de aporte de emisiones GEI tanto para el caso de carbón mineral como gas natural, considerando la energía generada por los 419 MW proyectados a instalar, sin embargo, el efecto de utilizar este indicador no resultó distintivo entre ambos casos debido a que la generación de energía es baja, es la misma cantidad de GWh, por ende no aporta diferencias importantes. El ISAEA para la energía eólica trabajando conjuntamente con una matriz de carbón mineral es de 0.69 y combinando esta energía renovable con gas natural resulta en un índice de 0.70, Se ha decidido por ser una alternativa de energía limpia utilizar el caso de combinación con gas natural para fines de las conclusiones de esta evaluación.

El aporte de emisiones GEI es menor para el caso del gas natural, teniendo un aporte de 3.3% con respecto al 8.8% de emisiones que aporta el caso carbón mineral. El indicador más cercano a los objetivos / metas para esta alternativa es el número de MW proyectados, mientras la cobertura del servicio energético que puede servirse con los GWh generados por los proyectos de energía eólica aporta al sistema nacional una cobertura de 0.99%, colocando este indicador distante a la meta de cobertura del 100% del servicio establecida en el PEN-2015. Además el análisis arroja el impacto importante que representa esta alternativa en cuanto a introducir al sistema energético energía limpia, logrando con esta un 12.5% del 40% planteado como meta.

En cuanto a los indicadores de proporción de emisiones por unidad de energía generada, este no fue considerado para el análisis del índice debido a que es un indicador que se basa en los mismos criterios que el de proporción de energía limpia y de ambos se tenía una meta para el indicador de proporción de energía limpia. Para el indicador de proporción de reducción de costos por bonos de carbono, el mismo sigue mostrando que la combinación de más cercanía a las metas y al bienestar ambiental es la de gas natural. Este indicador tiene un valor de reducción de costos de un 1.8% para el gas natural ante un 4.7% para el carbón mineral, obviamente no pueden analizarse estos datos sin antes relacionarlos que el aumento en reducción de costos para el carbón mineral es sencillamente porque tiene mayores aportes de emisiones que el gas natural, por lo que se considera ventajoso en ese sentido tener un casi un 2% de disminución de costos en la combinación de tecnología de menor perturbación ambiental.

Tabla 5.47.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.1

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Proporción de aporte Emisiones GEI - Caso Carbón	8.8	100	0.91	0.25	0.23
Número de MW proyectados	419.0	500.0	0.16	0.25	0.04
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	12.15	40.0	0.70	0.25	0.17
Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica	0.99	100.0	0.99	0.25	0.25
ISAEA					0.69
Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Proporción de aporte Emisiones GEI - Caso Gas Natural	3.3	100	0.97	0.25	0.24
Número de MW proyectados	419.0	500.0	0.16	0.25	0.04
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	12.15	40.0	0.70	0.25	0.17
Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica	0.99	100.0	0.99	0.25	0.25
ISAEA					0.70

5.8.2.2. Resultados de Uso de Etanol – Alternativa 2.2

Para la alternativa de fuentes de energía renovable en base al uso de etanol dos indicadores superaron el valor de la meta, por lo que, la normalización de estos se consideró 1, que es el valor del índice estratégico o la meta.

Esta alternativa realizaría un aporte de energía limpia al sistema energético del 19.1%, y un 12.3% para cubrir la generación de energía. Los valores de estos indicadores van de la mano con el interés técnico dado a esta tecnología en los estudios de fuentes renovables, los cuales indican que existe condiciones muy aptas en la República Dominicana para desarrollar exitosamente generación de energía en base a etanol.

En cuanto al indicador proporción de aporte de las emisiones GEI, se mantiene el mismo comportamiento con las combinaciones de tecnologías, en este caso el carbón aportaría 13.91% de emisiones y el gas natural 5.22 % de emisiones. El indicador que muestra el ahorro por bonos de carbono no pudo ser calculado por falta de información económica de inversión por hectáreas.

Tabla 5.48.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.2

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Número de hectáreas sembradas por año	365,000.00	255,000.00	1.00	0.20	0.20
Número de galones anuales de etanol	98,762,917.71	45,000,000.00	1.00	0.20	0.20
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	5.22	100.00	0.95	0.20	0.19
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	19.1	40.00	0.52	0.20	0.10
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol	12.27	100.00	0.88	0.20	0.18
ISAEA					0.87

5.8.2.3. Resultados del Uso de residuos agrícolas y animales (RAA) – Alternativa 2.3

Para la producción de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales, se ha considerado la generación en base a cascarilla de arroz, que es para la cual existen estimaciones de generación de energía. Los valores de los indicadores se ven influenciados por la baja capacidad instalada proyectada y por ende baja generación de energía. Se observa como tanto la proporción de energía limpia como la de cobertura de generación de energía poseen valores por debajo del 1% de aporte a la meta. Sin embargo, el índice ha sido capaz de expresar la viabilidad ambiental que posee la producción de energía en base a este tipo de residuos, alcanzando un valor de 0.94.

Tabla 5.49.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.3

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Número de MW proyectados	10.0	50	0.80	0.25	0.20
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	0.59	40.0	0.99	0.25	0.25
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	0.16	100	0.998	0.25	0.25
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales (RAA)	0.38	100.0	0.996	0.25	0.25
ISAEA					0.94

5.8.2.4. Resultados del Uso de residuos sólidos urbanos (RU) – Alternativa 2.4

Los proyectos para generación de energía en base a residuos sólidos urbano que se encontraban registrados al momento de la realización del PEN-2015 utilizarían residuos orgánicos. La proyección de capacidad instalada de estos proyectos los ubica por encima de la meta establecida, por lo que la normalización para el indicador Número de MW proyectados es igual a 1. Con esta energía será posible cubrir el 2.46% de la generación de energía y aportaría a la matriz energética un 2.37% de energía limpia. En cuanto a las emisiones GEI el aporte de esta es menor del 1% considerando una combinación de tecnologías con gas natural.

Tabla 5.50.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.4

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Número de MW proyectados	100.0	60	1.00	0.25	0.25
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	2.37	40.0	0.94	0.25	0.24
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	0.65	100	0.99	0.25	0.25
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos urbanos (RU)	2.46	100.0	0.975	0.25	0.24
ISAEA					0.98

5.8.2.5. Resultados Uso del Biodiesel – Alternativa 2.5

Esta alternativa promueve una meta conservadora en función de lo que es posible producir en el país según los estudios técnicos desarrollados. Como se observa los dos indicadores contruidos para evaluar esta alternativa han sido normalizados a la unidad dado que superan los valores de la meta. Esto pone en evidencia que este tipo de biocombustible debe ser estudiado y priorizado, ya que existen las condiciones territoriales y climáticas para explotar las bondades de este recurso renovable.

Tabla 5.51.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 2.5

Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Pesos	Agregación
Número de hectáreas sembradas por año	669,000.00	105,000.00	1.00	0.50	0.50
Número de galones anuales de Biodiesel	71,412,222.00	25000000.0	1.00	0.50	0.50
ISAEA					1.00

5.8.3. Alternativa 3 – Uso racional de la energía (URE)

Las metas de la alternativa para el “*uso racional de energía (URE)*” han sido clasificadas por sectores y esto ha conducido a que la evaluación del ISAEA se realice considerando estos renglones. Se procedió a aplicar la metodología de obtención del índice para cada sector o renglón establecido por el PEN-2015 como meta y luego se promedió el valor de los ISAEA para obtener un valor que represente a la alternativa.

Los valores para los indicadores de proporción de ahorro de energía arrojaron porcentajes mayores que los establecidos en las metas por lo que fueron todos normalizados a la unidad. Para el caso del sector transporte que tiene 3 tipos de metas representadas en diferentes tipos de motores, se utilizó para el cálculo del índice la meta más pequeña por ser la más difícil de lograr y ser el escenario más crítico. Se aplicó al índice el indicador proporción de ahorro de emisiones GEI y se obtuvo la influencia de este contra las meta del sector energía.

En cuanto a los demás indicadores de fines comparativos, el indicador ahorro de divisas por reducción de demanda de energía, que tiene como objetivo estimar la reducción de los egresos por compra de divisas para fines de combustibles sería de un 21.11%. A esto se le adiciona un 5% aproximadamente de ahorro por bonos de carbono por el uso racional de la energía.

Los resultados de todas las alternativas para el índice de selección de alternativas estrategias ambientales (ISAEA) se presentan en la tabla 5.52.

Tabla 5.52.- Índice de selección de alternativa estratégica (ISAEA) - Alternativa 3.1

a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público							
Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Prioridad	Pesos	Agregación
Cocción	Proporción ahorro de energía neta	32.8	2.0	1.00	16.38	0.25	0.25
Calentamiento de agua	Proporción ahorro de energía neta	64.1	2.0	1.00	32.05	0.25	0.25
Iluminación	Proporción ahorro de energía neta	31.4	5.0	1.00	6.27	0.25	0.25
Cocción / Calentamiento de agua / Iluminación	Proporción Ahorro de emisiones GEI	6.87	100	0.93	0.07	0.25	0.23
ISAEA							0.98
b) Residencial rural							
Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Ponderación	Pesos	Agregación
Cocción con leña / nivel promedio de ingreso	Proporción ahorro de energía neta	68.5	12.5	1.00	5.48	0.50	0.50
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	5.63	100.0	0.94	0.06	0.50	0.47
ISAEA							0.97
c) Sectores industriales y otros sectores							
Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Ponderación	Pesos	Agregación
Sectores Industriales y otros sectores	Proporción ahorro de energía neta	23.6	2.0	1.00	11.81	0.50	0.50
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	7.96	100.0	0.92	0.08	0.50	0.46
ISAEA							0.96
d) Sector transporte							
Alternativa	Indicador	Valor del Indicador	Meta	Normalización	Ponderación	Pesos	Agregación
Sector transporte	Proporción ahorro de energía neta	7.7	3.0	1.00	2.57	0.50	0.50
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	1.64	100.0	0.98	0.02	0.50	0.49
ISAEA							0.99
ISAEA Promedio							0.98

Tabla 5.53.- Resultados del ISAEA para cada alternativa

No. alternativa	Nombre de la alternativa	ISAEA
1.1	Incrementar la producción energía en base a carbón mineral	0.65
1.2	Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas	0.79
2.1	Aumentar la producción de energía eólica	0.7
2.2	Incrementar el uso de etanol	0.87
2.3	Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales	0.94
2.4	Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos	0.98
2.5	Incrementar el uso del biodiesel	1
3.1-A	Incrementar el uso racional de la energía - Sector residencial urbano, hoteles, restaurantes y resto de comercios	0.98
3.1-B	Incrementar el uso racional de la energía - Sector residencial rural	0.97
3.1-C	Incrementar el uso racional de la energía - Sectores industriales y otros sectores	0.96
3.1-D	Incrementar el uso racional de la energía - Sector transporte	0.98

5.9 Evaluación de las Incertidumbre de las alternativas

5.9.1. Identificación de fuentes de incertidumbres y dependencia

Como está indicado en la descripción de la metodología, es de alta importancia realizar la identificación de las fuentes de incertidumbres que inciden en cada uno de los indicadores utilizados para la elaboración del ISAEA. Para cada una de las alternativas e indicadores se han identificado tres fuentes de incertidumbres, estas son: fuente de los datos, supuestos del plan y tratamiento de los datos específicamente manipulación de datos.

La incertidumbre correspondiente a la fuente de los datos corresponde a los datos de emisiones de gases GEI. Los supuestos del plan están relacionados con las metas que se han propuesto alcanzar para cada una de las alternativas. Esta fuente de incertidumbre ha sido considerada por existir metas muy ambiciosas con respecto a las condiciones iniciales. Como ultima fuente de incertidumbre, el tratamiento de los datos, esta corresponde a los datos que han sido afectados para transformarlos ya sea de unidades o para expresar un determinado indicador, por ejemplo: se tienen las emisiones CO₂ en toneladas, pero la meta del país está indicada en t CO₂ per cápita, en este caso se dividen los alores de las emisiones entre la población del país para poder obtener el valor del indicador correspondiente a las unidades de la meta. A continuación, se muestran los resultados de la identificación de incertidumbres por alternativas:

Tabla 5.54.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 1

1.1 Energía en base a carbón mineral			
Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	X		X
Proporción de emisiones del carbón mineral respecto a las emisiones totales del sistema	X		
Intensidad emisiones respecto a la población	X		X
Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral	X	X	
1.2 Energía en base a gas natural			
Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Emisiones GEI por unidad de electricidad generada	X		X
Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema	X		
Intensidad emisiones respecto a la población	X		X
Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural	X	X	

Tabla 5.55.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 2

Alternativa 2.1 Aumentar la producción de energía eólica			
Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Proporción de aporte Emisiones GEI - Caso Carbón y Gas natural	X		X
Número de MW proyectados		X	
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	X	X	
Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica		X	
Alternativa 2.2 Incrementar el uso de etanol			
Número de hectáreas sembradas por año		X	
Número de galones anuales de etanol		X	X
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	X	X	X
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	X	X	
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de etanol	X	X	
Alternativa 2.3 Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales			
Número de MW proyectados		X	
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	X	X	
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	X	X	
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos agrícolas y animales (RAA)	X	X	X
Alternativa 2.4 Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos			
Número de MW proyectados		X	
Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía	X	X	
Proporción aporte de emisiones GEI - caso gas natural	X	X	X
Proporción de cobertura de generación de energía en base al uso de residuos urbanos (RU)	X	X	
Alternativa 2.5 Incrementar el uso del biodiesel			
Número de hectáreas sembradas por año		X	
Número de galones anuales de Biodiesel		X	X

Tabla 5.56.- Identificación de fuentes de incertidumbres - Alternativa 3

a) Sector Residencial Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público				
Alternativa	Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Cocción	Proporción ahorro de energía neta		X	
Calentamiento de agua	Proporción ahorro de energía neta		X	
Iluminación	Proporción ahorro de energía neta		X	
Cocción / Calentamiento de agua / Iluminación	Proporción Ahorro de emisiones GEI	X	X	X
b) Residencial rural				
Alternativa	Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Cocción con leña / nivel promedio de ingreso	Proporción ahorro de energía neta		X	
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	X	X	X
c) Sectores industriales y otros sectores				
Alternativa	Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Sectores Industriales y otros sectores	Proporción ahorro de energía neta		X	
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	X	X	X
d) Sector transporte				
Alternativa	Indicador	Fuente de datos	Supuestos del plan	Tratamiento de datos manipulados
Sector transporte	Proporción ahorro de energía neta		X	
	Proporción Ahorro de emisiones GEI	X	X	X

Posterior a establecer cuáles son las fuentes de incertidumbres para cada alternativa e indicador, se procede a validar la dependencia o no de estas incertidumbres. En vista de que la fuente de incertidumbre fuente de datos y la de tratamiento de datos manipulados, se utilizan para la segunda fuente información de la primera fuente de incertidumbre, se evidencia dependencia entre ellas, ya que son parte de los mismos datos, en este sentido, solo debe considerarse una de ellas para fines de valorar la incertidumbre en el ISAEA. Como la incertidumbre por fuente de datos prevalece en una mayor cantidad de indicadores solo será considerada esta para fines de cálculo de incertidumbre. En cuanto a los supuestos del plan, es una incertidumbre muy propia de cada meta planteada en el PEN-2015 y no tiene relación con ninguna de las otras fuentes de incertidumbre. En conclusión, se consideran independientes las fuentes de datos y supuestos del plan.

5.9.2. Disponibilidad de datos.

5.9.2.1. Fuente de datos

Los datos utilizados en los indicadores corresponden a las emisiones para carbón mineral y gas natural. Estos datos fueron suministrados por el SENI. En la práctica se estila realizar el análisis de incertidumbre considerando los factores de emisiones y los valores de generación de energía y luego obtener las incertidumbres de los gases de emisiones al multiplicarlos. En este caso particular el dato facilitado corresponde a los datos de emisiones de gases, a los cuales se le aplicará el análisis de estimación de incertidumbre. A continuación los valores anuales para los gases de emisiones generados por carbón mineral y gas natural, los demás datos de las emisiones de gases en base la matriz de generación de energía de la República Dominicana, se presentan en el anexo 2.

Tabla 5.57.- Datos de emisiones de gases en t CO₂

Año	Gas Natural	Carbón Mineral
2000	0	0
2001	0	207,293.49
2002	0	650,611.42
2003	478,236.52	1,431,202.96
2004	274,714.73	1,402,561.76
2005	379,825.47	1,514,824.09
2006	622,428.73	1,833,785.63
2007	892,894.82	2,026,476.59
2008	915,938.07	2,182,944.53
2009	896,575.41	2,168,726.20
2010	1,420,433.96	2,034,625.04
2011	1,506,570.33	2,195,548.65
2012	1,729,783.98	2,422,374.22
2013	1,798,924.59	2,383,693.75
2014	1,760,730.64	2,757,402.21
2015	1,791,856.09	2,615,733.63

(SENI, 2021)

5.9.2.2 Supuestos del Plan

Para los valorar la incertidumbre de los supuestos del PEN-2015 se aplicó un cuestionario para recabar información de expertos. El cuestionario fue elaborado tomando en consideración cada una de las metas planteadas para las alternativas evaluadas. En el mismo se cuestiona al experto en cuanto la probabilidad de poder alcanzar las metas establecidas en el PEN-2015, en función de su experiencia. Las preguntas indagan los valores mínimo,

máximo y más probable que considera el experto se alcanzarían para cada meta en cuestión. El cuestionario completado por el experto se presenta con sus respuestas de forma íntegra en el anexo 3.

El cuestionario fue remitido a la Comisión Nacional de Energía de la República Dominicana, al Departamento de Planificación dirigido por el ing. Ramón Moya, quien conjuntamente con el ing. Flady Cordero de la División de Prospectiva y estudios energéticos remitieron respuestas para las alternativas 1 y 3 completas y la alternativa 2.4. Las respuestas faltantes se completaron en base a la información que sustenta el PEN-2015 y a la vez fue necesario realizar ajustes a algunas de las respuestas enviadas por los expertos. A continuación se muestra en la tabla 5.57 las respuestas recibidas y las que fueron completadas y /o modificadas, encontrándose en la tabla 5.58 la justificación a cada uno de los cambios realizados a las respuestas del cuestionario.

Tabla 5.58.- Respuestas enviadas y modificadas en el cuestionario de expertos

Alternativa	Supesto a analizar	Respuesta enviada			Respuesta modificada		
		Mínimo	Más Probable	Máximo	Mínimo	Más Probable	Máximo
1.1	Sistema energético tendrá una matriz en base a carbón mineral del 60%	25	35	40	Sin modificación		
1.2	Sistema energético tendrá una matriz en base a gas naturales del 60%	40	45	55	Sin modificación		
2.1	Aumentar la capacidad de producción de energía eólica a 500 MW				200	310	398
2.2-A	Incremento del área de cultivo para Etanol a 700,000 hectáreas				125,000	255,000	275,000
2.2-B	Producción anual de etanol fijarla a 45 millones de galones/ año para el 2012				24,000,000	36,000,000	45,000,000
2.3	Producción de energía 50 MW en base al uso de residuos agrícolas y animales				10	14	17.5
2.4	Capacidad de producción de energía de 60 MW en base a uso de residuos urbanos	5	15	15	5	10	15
2.5-A	Incrementar el área de cultivos por Biodiesel para aumentar los excedentes exportables a 105,00 hectárea				13,000	30,000	45,000
2.5-B	Producción de biodiesel es de 25 millones de galones				13,000,000	15,000,000	17,000,000
3.1-A	Aumentar la eficiencia por cocción al 2%	1	1	2	0	1	2
	Aumentar la eficiencia por calentamiento al 2%	1	1	2	0	1	2
	Aumentar la eficiencia de la iluminación al 5%	3	5	5	3	4	5
3.1-B	Aumentar la eficiencia en zona rural por cocción con leña al 12.5%	2	5	10	Sin modificación		
3.1-C	Aumentar la eficiencia del proceso de calor en las industrias al 2%	1	1	2	0	1	2
3.1-D	Aumentar eficiencia en el sector transporte con motor Otto al 4%	1	1	2	0	1	2
	Aumentar eficiencia en el sector transporte con motor Diesel al 3%	1	1	3	1	2	3
	Aumentar eficiencia en el sector transporte para turbinas al 3%	1	2	2	0	1	2

Tabla 5.59.- Justificación a las respuestas modificadas del cuestionario de experto

Mínimo	El mínimo corresponde a las concesiones definitivas indicadas en la tabla 3.8 del FENR	Mínimo	Se consideró que no hay aumento
Más probable	El más probable corresponde a las 5 concesiones provisionales (página 3-27 FENR)	Más probable	Se mantiene el valor más probable
Máximo	Se ha tomado 398 como máximo porque es el número de concesiones definitivas para parques eólicos existentes en el momento de la elaboración del PEN-2015	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.2-A	Incremento del área de cultivo para Etanol a 700,000 hectáreas	3.1-A-2	Aumentar la eficiencia por calentamiento al 2%
Mínimo	El mínimo corresponde al valor de área sembrada en el 2008	Mínimo	Se consideró que no hay aumento
Más probable	El más probable es la meta a mediano plazo, año 2012	Más probable	Se mantiene el valor más probable
Máximo	El máximo corresponde al valor del área sembrada en el 1982	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.2-B	Producción anual de etanol fijarla a 45 millones de galones/año para el 2012	3.1-A-3	Aumentar la eficiencia de la iluminación al 5%
Mínimo	El mínimo se estimó considerando un área sembrada de 62,500 ha, equivalente al 50% del valor mínimo en 2.2-A	Mínimo	Se mantiene el valor mínimo
Más probable	El más probable se consideró un aumento del 50% del valor mínimo en galones / año	Más probable	Se consideró un valor como el más probable entre los valores mínimos y máximos suministrado por el experto
Máximo	El máximo se considera como la meta, ya que corresponde con estimaciones hechas para el área de siembra existente en el 2008	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.3	Producción de energía 50 MW en base al uso de residuos agrícolas y animales	3.1-C	Aumentar la eficiencia del proceso de calor en las industrias al 2%
Mínimo	El valor mínimo corresponde al valor supuesto para el 2010, página 0-18 FENR	Mínimo	Se consideró que no hay aumento
Más probable	El valor más probable se ha tomado un valor entre el mínimo y máximo	Más probable	Se mantiene el valor más probable
Máximo	El valor máximo corresponde al valor supuesto al 2020, página 0-18 FENR	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.4	Capacidad de producción de energía de 60 MW en base a uso de residuos urbanos	3.1-D-1	Aumentar eficiencia en el sector transporte con motor Otto al 4%
Mínimo	Se mantiene el valor mínimo	Mínimo	Se consideró que no hay aumento
Más probable	Se toma un valor entre el mínimo y máximo	Más probable	Se mantiene el valor más probable
Máximo	Se mantiene el valor máximo	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.5-A	Incrementar el área de cultivos por Biodiesel para aumentar los excedentes exportables a 105,000 hectáreas	3.1-D-2	Aumentar eficiencia en el sector transporte con motor Diesel al 3%
Mínimo	El mínimo corresponde al área sembrada al 2008, página 0-8 FENR	Mínimo	Se mantiene el valor mínimo
Más probable	El más probable un valor entre el mínimo y el máximo	Más probable	Se consideró un valor como el más probable entre los valores mínimos y máximos suministrado por el experto
Máximo	El máximo es la meta a mediano plazo, 2012	Máximo	Se mantiene el valor máximo
2.5-B	Producción de biodiesel es de 25 millones de galones	3.1-D-3	Aumentar eficiencia en el sector transporte para turbinas al 3%
Mínimo	El valor mínimo corresponde al valor estimado para el año 2010, página 2-16 FENR	Mínimo	Se consideró que no hay aumento
Más probable	El más probable un valor entre el mínimo y el máximo	Más probable	Se mantiene el valor más probable
Máximo	El valor máximo corresponde al valor estimado para el año 2015, página 2-16 FENR	Máximo	Se mantiene el valor máximo
FENR=	Diagnóstico y Definición de Líneas Estratégicas del Subsector Fuentes de Energía Nuevas y Renovables, 2008. Humberto Rodríguez.		

5.9.3. Cálculo de incertidumbres

5.9.3.1. Cálculo de incertidumbre para datos de emisiones de gases GEI

Tanto para carbón mineral como para gas natural los datos llevan una tendencia en aumento, obviamente por el incremento de estos tipos de combustibles en el tiempo. Dado este comportamiento se procedió a realizar ajustes de las diferentes distribuciones de probabilidad, siendo la distribución Lognormal una de las que mejor se ajusta al comportamiento de los datos. Para esta distribución y utilizando los valores de la media y desviación estándar de cada uno de los datos para los tipos de combustibles estudiados, se obtuvo el comportamiento de estos, mostrados a continuación:

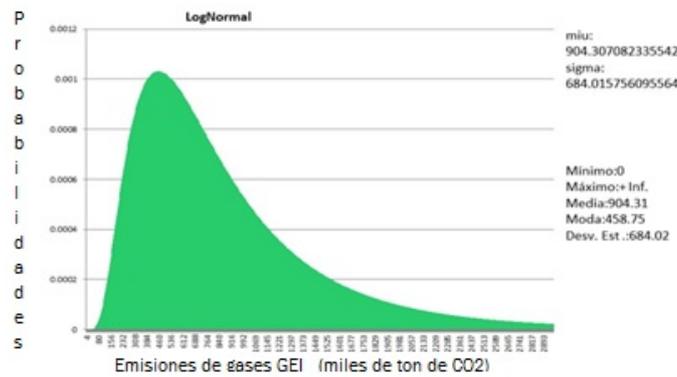


Figura 5.1.- Distribución Lognormal para las emisiones de gases GEI – Carbón mineral

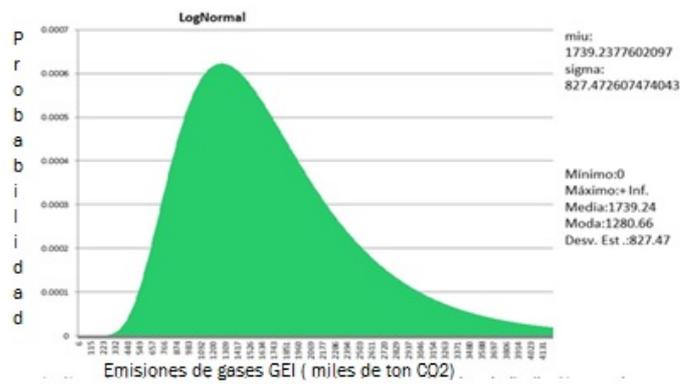


Figura 5.2.- Distribución Lognormal para las emisiones de gases GEI – Gas natural

Se consideró correcto utilizar la distribución lognormal, ya que estos datos no pueden ser inferior a cero y por su comportamiento ascendente existe un sesgo hacia la derecha, lo que corresponde con el comportamiento de una distribución lognormal. Luego de conocer la distribución de mejor ajuste. Utilizando DTSimulator¹⁹ que permite realizar soluciones analíticas de simulación Monte Carlo en Excel, se procedió a ejecutar 10,000 iteraciones para las emisiones de gases GEI de cada tipo de combustible en cuestión, obteniendo los siguientes resultados:

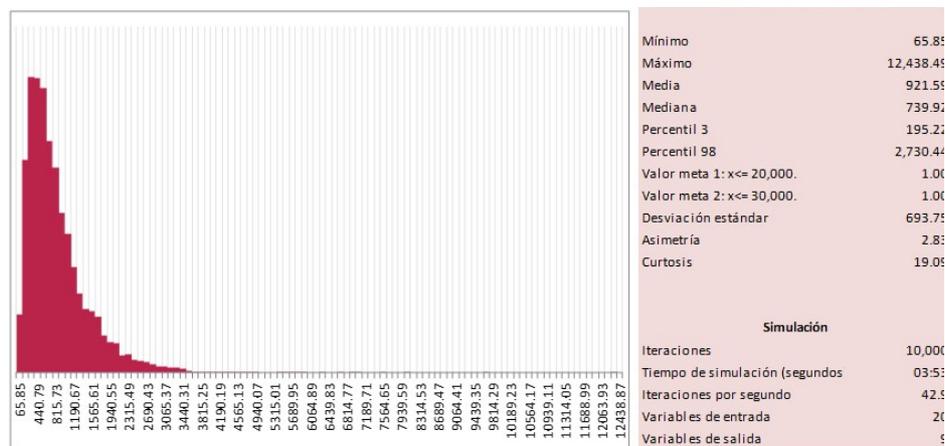


Figura 5.3.- Resultados modelación MonteCarlo para las emisiones de gases GEI – Carbón mineral

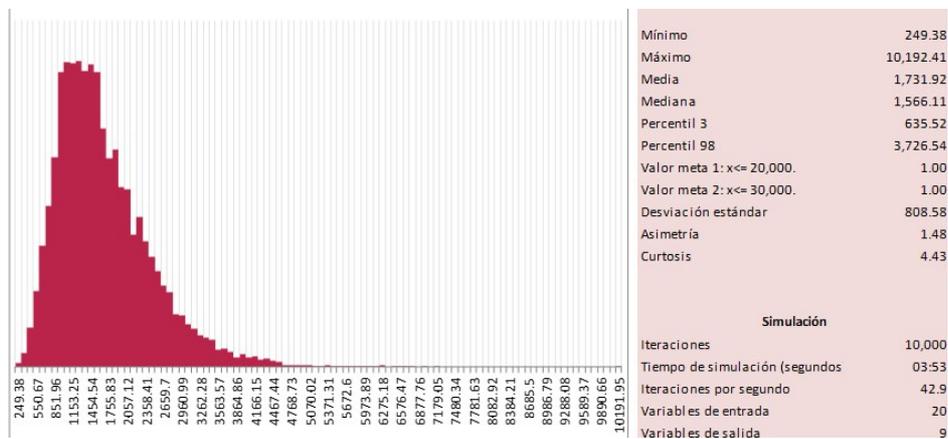


Figura 5.4.- resultados modelación MonteCarlo para las emisiones de gases GEI – Gas natural

¹⁹ www.dtsimulator.com

Con los datos obtenidos de la simulación Monte Carlo, se calculó la incertidumbre para las emisiones de gases GEI en cada tipo de combustible. Se han utilizado las ecuaciones siguientes para obtener la incertidumbre para distribuciones lognormal basadas en los lineamientos del IPCC (Molina y Coto, 2020):

La desviación estándar geométrica de la Distribución se calcula según

$$\ln \sigma_g = \frac{\ln\left(\left(\frac{x+a_+}{100}\right)+x\right) - \ln\left(\left(\frac{x+a_-}{100}\right)+x\right)}{3.92} \quad (5.1)$$

donde:

X= Mediana

a_+ = Límite superior porcentual del intervalo

a_- = Límite inferior porcentual del intervalo

y el cálculo de la incertidumbre según

$$U_{tipo B} = 100 \sqrt{e^{(\ln \sigma_g)^2} - 1} \quad (5.2)$$

siendo el factor de corrección por asimetría

$$f_c = \left(\frac{-0.36 + 1.0921 * U_{tipo B} - 0.00326 * U_{tipo B}^2 + 4.44 * 10^{-5} * U_{tipo B}^3}{U_{tipo B}} \right)^2 \quad (5.3)$$

de tal forma que el cálculo de la incertidumbre corregida por asimetría se realiza según

$$U'_{tipo B} = f_c * U_{tipo B} \quad (5.4)$$

Los resultados de las incertidumbres asociadas a las emisiones de gases GEI para carbón mineral y gas natural se muestran en la tabla 5.60.

Tabla 5.60.- Resultados del cálculo de incertidumbre para datos de emisiones de gases GEI

Carbón Mineral									
Mediana	a ₊	a.	a ₊ (%)	a. (%)	ln σ _g	U _{tipo B}	f _c	U' tipo B	U (%)
739.92	2730	195.2	100	-73.62	0.517	55.32	1.084	59.98	± 4
Gas Natural									
Mediana	a ₊	a.	a ₊ (%)	a. (%)	ln σ _g	U _{tipo B}	f _c	U' tipo B	U (%)
1566.1	3727	635.5	100	-59.42	0.23	23.32	1.05	24.49	± 3

Se utilizó el nivel de confianza al 95%, como es usual para este tipo de análisis. Para el caso presentado los percentiles fueron el 2.5% y el 97.5%. En base a los datos suministrados por la simulación Monte Carlo se estimó la incertidumbre siguiendo los lineamientos de la IPCC. En vista de los altos valores de incertidumbres arrojados, propios de datos cuyo comportamiento responde a una distribución lognormal, se realizó una normalización de los resultados utilizando $U = \text{Ln} (U'_{\text{tipo B}} + 1)$ (The Norwegian Pollution Control Authority, 2004). Los resultados normalizados se encuentran en el rango de valores para incertidumbres de gas y carbón, que según la IPCC están entre el rango ± 1 a 10%.

5.9.3.2. Cálculo de incertidumbre para supuestos del PEN-2015

Para la estimación de la incertidumbre en los supuestos del PEN-2015, se utilizan los datos indicados en la tabla 5.55. Con estos datos se procedió a realizar una simulación Monte Carlos para 10,000 iteraciones. Como se basa en un cuestionario de expertos, se aplica una distribución triangular. Las corridas de la simulación Monte Carlos se ejecutaron con el macro de Excel DTSimulator, estas salidas se encuentran en el anexo 4.

Las estimaciones de la incertidumbre se realizarán con las siguientes ecuaciones del IPCC (Molina y Coto, 2020):

Para distribución triangular simétrica para el 95% de confianza:

$$U_{\text{tipo B}} = \frac{1.29 \frac{(a_+ - a_-)}{\sqrt{24}}}{X} * 100 \quad (5.5)$$

y para distribución triangular asimétrica para el 95% de confianza

$$U_{\text{tipo B}} = \left(1.27 * \sqrt{\frac{a_-^2 + X^2 + a_+^2 - (X*a_-) - (X*a_+) - (a_- * a_+)}{18}} \right) \frac{100}{X} \quad (5.6)$$

donde:

U= Incertidumbre (%)

X= Mediana

a_+ = Límite superior del intervalo

a_- = Límite inferior del intervalo

Los resultados para las incertidumbres de los supuestos del PEN-2015 se presentan en la tabla 5.61.

Tabla 5.61.- Resultados del cálculo de incertidumbre para los supuestos del PEN

Supuesto evaluado	Distribución Triangular	a -	Mediana	a +	Incertidumbre (U) (%)
1.1	Asimétrica	26.91	33.59	38.63	± 9
1.2	Asimétrica	41.35	46.33	53.2	± 7
2.1	Asimétrica	222.8	304.11	377.34	± 13
2.2-A	Asimétrica	147,103.07	224,055.60	266,206.32	± 14
2.2-B	Asimétrica	26,548,989.40	35,152,647.54	42,856,735.79	± 12
2.3	Simétrica	10.8	13.8	16.7	± 11
2.4	Simétrica	6.21	9.99	13.89	± 20
2.5-A	Simétrica	16,673.22	29,518.31	41,553.02	± 22
2.5-B	Simétrica	13,454,202	14,992,811	16,523,807.30	± 5
3.1- A-1	Simétrica	0.22	1.01	1.76	± 40
3.1- A-2	Simétrica	0.25	1.01	1.77	± 40
3.1- A-3	Simétrica	3.21	4	4.77	± 10
3.1-B	Asimétrica	2.75	5.47	9.07	± 30
3.1-C	Simétrica	0.22	1	1.78	± 41
3.1-D-1	Simétrica	0.23	1	1.76	± 40
3.1-D-2	Simétrica	1.22	1.99	2.77	± 21
3.1-D-3	Simétrica	0.23	1.01	1.76	± 40

Los resultados de las incertidumbres poseen consonancia con los supuestos asumidos en cada una de las alternativas. En las alternativas donde menos información existe como es el caso de alternativa 2.4 uso de residuos sólidos urbanos, 2.5-A áreas de cultivos para biodiesel y 3.1 en su totalidad a excepción del 3.1-A-3 relacionado con aumento de la eficiencia en la iluminación, todos están por encima de $\pm 20\%$ de incertidumbre, llegando a alcanzar como máximo valor de incertidumbre $\pm 40\%$.

5.9.4 Cálculo de incertidumbres por alternativas

Tomando como directriz la identificación de fuentes de incertidumbre para las alternativas realizadas en el apartado 5.8.1, se procederá a realizar la combinación de las incertidumbres que intervienen en cada índice para cada alternativa, aplicando la ecuación 4.2. Los detalles de este procedimiento se muestran en la tabla 5.62.

Tabla 5.62.- Resultados del cálculo de incertidumbre total para cada alternativa y su ISAEA

Alternativa	Incertidumbre en %				ISAEA***
	Datos emisiones de gases GEI *	Supuestos PEN-2015**	Combinación de Incertidumbre	Total	
1.1	4	9	10	± 10	0.65
1.2	3	7	7	± 7	0.79
2.1- Carbón mineral	4	13	14	± 14	0.69
2.1- Gas natural	3	13	14	± 14	0.7
2.2-A	3	14	26	± 26	0.87
2.2-B		12			
2.3	3	11	12	± 12	0.94
2.4	3	20	21	± 21	0.98
2.5-A		22	22	± 27	1
2.5-B		5	5		
3.1- A-1	7	40	90	± 90	0.98
3.1- A-2		40			
3.1- A-3		10			
3.1-B	7	30	31	± 31	0.97
3.1-C	7	41	42	± 42	0.96
3.1-D-1	7	40	101	± 100	0.98
3.1-D-2		21			
3.1-D-3		40			

* Ver tabla 5.60

** Ver tabla 5.61

*** Ver tabla 5.53

En la tabla 5.62 se muestran las fuentes de incertidumbres que corresponden a cada una de las alternativas según el proceso de identificación. Aunque la incertidumbre generada por los datos de emisiones de gases en la elaboración de un ISAEA corresponde a varios indicadores simples, se ha considerado un solo efecto de este valor de incertidumbre para el índice, ya que se estaría sobre valorando el efecto de la incertidumbre por este origen. En cuanto a la incertidumbre por supuestos, se ha considerado el efecto de la incertidumbre para cada uno de los supuestos, ya que estos dependen directamente de las metas establecidas en el PEN-2015 y por ende, cada meta posee un aporte de incertidumbre al índice. En el caso de una alternativa con varios supuestos se procedió a realizar la suma de estos antes aplicar la técnica de combinación de incertidumbres.

Los resultados corresponden con los niveles de información y detalles que posee cada alternativa. Para la alternativa 1 que es la alternativa con mayor información, inclusive medida, se observan los valores más bajos de incertidumbre, lo que responde que, la metodología desarrollada reconoce las informaciones y las valoraciones de los expertos. En cuanto a la alternativa 2, se observa que para la 2.2, 2.4 y 2.5, hay un aumento del valor de incertidumbre que corresponde a las alternativas con menor información y las cuales fueron completadas en el cuestionario en base a estimaciones asumidas, ya que los expertos no respondieron las mismas. La alternativa 3, es la que mejor refleja la funcionabilidad del método que se expone. En esta, los valores utilizados para generar la incertidumbre por supuestos fueron modificados casi en su totalidad, siendo alternativa la 3.1-B la única que fue respondida completamente por los expertos y es la que ha arrojado el menor valor de incertidumbre para la alternativa.

5.10 Selección de alternativa

La aplicación de la metodología ISAEA al Plan Energético Nacional (PEN-2015) de la República Dominicana, ha permitido demostrar la efectividad del método para aportar informaciones simples y comprensibles a los tomadores de decisiones. Los resultados arrojados son coherentes con las informaciones existentes utilizadas. Es decir, las alternativas que cuentan con mayor información ha sido posible traspasar las mismas al índice y a los valores de incertidumbre, ocurriendo igual transferencia con las alternativas con ausencia de información suficientes, sin que esto haya sido objeto para la aplicación de la metodología.

5.10.1. Resultados Selección de Alternativa 1- Subsector Energía Eléctrica

Para la alternativa 1, según los resultados del ISAEA la alternativa 1.2 es la que más se acerca a las metas planteadas en el PEN, con un valor del índice de 0.79. Mientras que la alternativa 1.1 se encuentra más lejana al indicador estratégico, con un valor del índice de 0.65. Utilizando solo el criterio del índice, la alternativa 1.2 es la más recomendada. Sin embargo, a este criterio le acompaña el valor de los niveles de incertidumbre, para ambos casos corresponde a ± 10 y ± 7 , para la alternativa 1.1 y 1.2 respectivamente (tabla 5.63 y gráfico 5.5).

Considerando el valor de los ISAEA para ambas alternativas, si se aplica el rango de incertidumbre, igual tendríamos para la alternativa 1.2 valores más cercanos al indicador estratégico. Además de que el ISAEA de la alternativa 1.2 es más cercano al indicador estratégico, el valor de incertidumbre es menor, lo que permite recomendar la alternativa 1.2, cuyo objetivo es incrementar la producción de energía en base a ciclos de gas natural, como la alternativa más viable y adecuada para los fines del PEN-2015.

Tabla 5.63.- Resultado final para selección de alternativa- Alternativa 1 subsector energía eléctrica

No. alternativa	Nombre de la alternativa	ISAELi	Incertidumbre
1.1	Incrementar la producción energía en base a carbón mineral	0.65	± 10
1.2	Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas	0.79	± 7

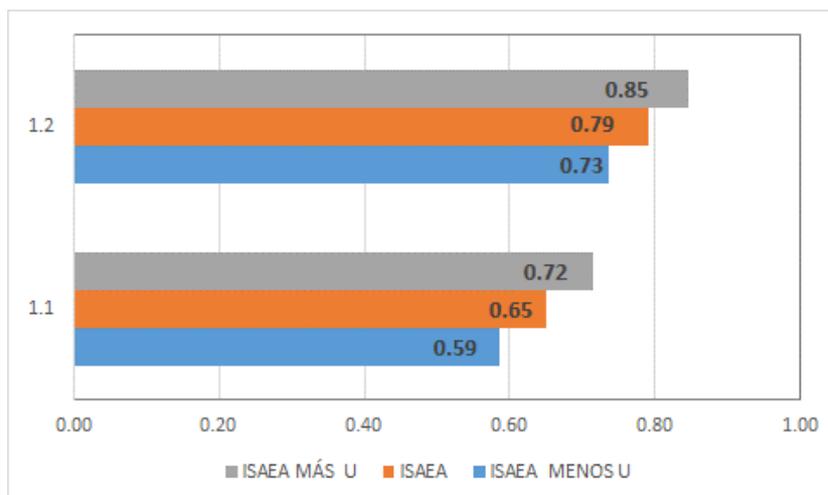


Figura 5.5.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 1 subsector energía eléctrica

5.10.2. Resultados Selección de Alternativa 2 –Fuentes de Energías Renovables

El PEN-2015 para la alternativa 2 posee una alternativa por cada tipo de energía renovable. Para este subsector de energía no se desarrolla en el plan varias alternativas para una fuente en particular. Para fines de aplicar la metodología se procederá a comparar la alternativa 2.2 y 2.5 y las alternativas 2.3 y 2.4. En lo que concierne a la alternativa 2.1 la misma será valorada en función de su viabilidad para lograr los objetivos y metas propuestos por en el PEN-2015. En la tabla 5.64 y el gráfico 5.6 se muestran los resultados para cada una de las alternativas del subsector fuentes de energías renovables

La alternativa 2.1 posee un ISAEA de 0.7 con niveles de incertidumbre de $\pm 14\%$. En vista que al momento de la elaboración del PEN-2015 existían concesiones definitivas y provisionales para producir energía eólica y una proyección de 280MW que aún no estaban incluidos en el plan analizado, se interpreta que los lineamientos establecidos en el PEN-2015 y las futuras acciones llevarán la alternativa 2.1 a estar más cerca del índice estratégico. Por lo que se recomienda continuar con las acciones planteadas.

Para las alternativas 2.2 y 2.5, referidas ambas al uso de biocombustibles, la primera promueve el uso de etanol y la segunda el uso del biodiesel. La alternativa 2.2 posee un ISAEA de 0.87 con niveles de incertidumbre de $\pm 26\%$ que aleja para las condiciones menos favorables, el índice a 0.64. Mientras que la alternativa tiene un ISAEA de 1 con niveles de incertidumbre de $\pm 27\%$, distanciando el índice para condiciones menos favorables a 0.73. En vista de lo anterior, la alternativa que más promueve el cumplimiento de las metas es la alternativa 2.5.

En cuanto a las alternativas 2.3 y 2.4, concernientes a la reutilización de los residuos sólidos, tanto agrícolas y animales como la primera y urbanos como la segunda. Este es un ejemplo interesante porque ambos índices se encuentran bastante cercanos al índice estratégico, sin embargo, poseen niveles de incertidumbre que ofrecen la pauta o juicio para la selección. La alternativa 2.3 posee un ISAEA de 0.94 y niveles de incertidumbre de $\pm 12\%$. La alternativa 2.4 posee un ISAEA de 0.98 y niveles de incertidumbre de $\pm 21\%$. Para la alternativa 2.3 aplicando la condición menos favorable de los niveles de incertidumbre el índice se alejaría a 0.83 y la alternativa 2.4 con las mismas condiciones tendría un índice de 0.77. Dado que la alternativa que aún en base a sus niveles de incertidumbres más críticos, acerca más al PEN-2015 al cumplimiento de las metas es la alternativa 2.3.

Tabla 5.64.- Resultado final para selección de alternativa - Alternativa 2 subsector fuentes de energías renovables

No. alternativa	Nombre de la alternativa	ISAELi	Incertidumbre
2.1	Aumentar la producción de energía eólica	0.7	±14
2.2	Incrementar el uso de etanol	0.87	± 26
2.3	Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales	0.94	± 12
2.4	Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos	0.98	±21
2.5	Incrementar el uso del biodiesel	1	± 27

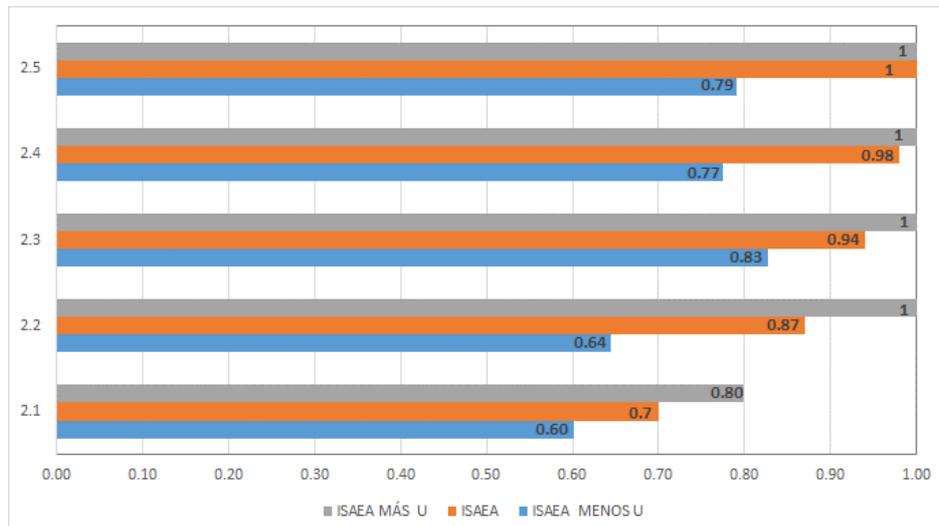


Figura 5.6.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 2 subsector fuentes de energías renovables

5.10.3. Resultados Selección de Alternativa 3 – Subsector Uso Racional de la Energía (URE)

Los resultados obtenidos para esta alternativa resultan interesantes, se observa valores del ISAEA muy cercanos al indicador estratégico acompañados de niveles de incertidumbre muy elevados.

Los resultados que más resaltan son los de las alternativas 3.1-A y 3.1- D, en especial por los valores de incertidumbres. Estas alternativas envuelven varios supuestos que al ser valorados por los expertos desde la recepción de los datos se evidenció incoherencias que fueron explicadas en un apartado anterior. Se atribuyen los resultados de incertidumbre a la carencia de información confiable. Igual hay metas que en algunos casos poseen valores muy alejados, tanto por efecto como por defecto, de las características propias de los escenarios evaluados. Estos resultados permiten demostrar la importancia de obtener información confiable para posteriormente poder tener valores de referencia que permitan tomar decisiones confiables.

En cuanto a las alternativas 3.1-B y 3.1-C las mismas no pueden ser comparadas dado que están dirigidas a actividades muy diferentes. A pesar de que se encuentran con valores muy cercanos al indicar estratégico, para las condiciones menos favorables de incertidumbres, los ISAEA alcanzarían 0.67 y 0.56 (tabla 5.65 y figura 5.7). Se pone de manifiesto en los resultados del ISAEA al aplicar la incertidumbre, los trabajos realizados por la CNE en el sector rural para aumentar la eficiencia o incrementar el uso racional de la energía. Visto el valor del índice para el sector industrial, los lineamientos aplicados en el uso racional de energía deben de ser reconsiderados.

Tabla 5.65.- Resultado final para selección de alternativa - Alternativa 3 uso racional de la energía (URE)

No. alternativa	Nombre de la alternativa	ISAEIi	Incertidumbre
3.1-A	Incrementar el uso racional de la energía - Sector residencial urbano, hoteles, restaurantes y resto de comercios	0.98	± 90
3.1-B	Incrementar el uso racional de la energía - Sector residencial rural	0.97	± 31
3.1-C	Incrementar el uso racional de la energía - Sectores industriales y otros sectores	0.96	± 42
3.1-D	Incrementar el uso racional de la energía - Sector transporte	0.98	± 100

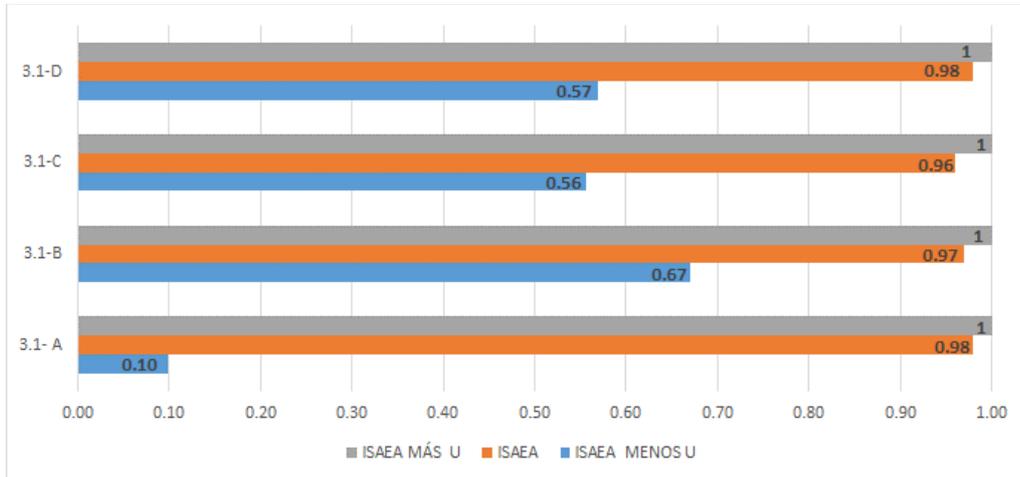


Figura 5.7.- Resultado final para selección de alternativa-Alternativa 3 subsector uso racional de energía (URE)

5.11 Recomendaciones para el “Plan Energético Nacional de la República Dominicana (PEN-2015)”.

Como es propio de una EAE realizar la retroalimentación al PPP que se estudia, a continuación, se proponen una serie de observaciones resultantes de la evaluación ambiental antes presentada, las cuales aportarían mejoras a los procesos de planificación para el sector energía de la República Dominicana, estos son:

1. La incorporación de más de una alternativa por subsector energético.
2. El esclarecimiento de las metas institucionales e interrelacionarlas con las metas nacionales o internacionales que apliquen.
3. Estudios complementarios actualizados para las siguientes fuentes de energía, cuyos objetivos se relacionen con las metas y objetivos planteados en el PEN-2015:
 - a) Eólica
 - b) Residuos agrícolas y animales
 - c) Residuos sólidos urbanos para Santiago de los Caballeros y el Gran Santo Domingo.
 - d) Biodiesel
 - e) Eficiencia de energética
4. Establecer estatus de la institución con miras al uso de etanol.
5. El objetivo 1 plantea crear un sistema energético con solidez financiera. Sin embargo, no indican metas para lograr el mismo, aun indicando en el PEN-2015 los costos que esto representa. Podrían incorporar metas asociadas a porcentajes de ahorros en base los gastos generados por compra del petróleo y sus derivados, porcentajes de ahorros en base a la reducción por pago de bonos de carbono, entre otros.

6. Resumen y conclusiones

Aunque su consideración en cualquier aplicación metodológica es necesaria, en la evaluación ambiental estratégica (EAE) el proceso de selección y justificación de alternativas ha representado uno de los retos principales. Hasta la fecha quedaba pendiente por desarrollar un procedimiento analítico que aportara al tomador de decisiones herramientas de fácil uso, que guiara la selección a una alternativa que promoviera los objetivos y metas del PPP y que minimizara el sesgo de la selección determinado por el criterio político o personal del tomador de decisiones.

Actualmente, en la selección de alternativas de la EAE se encuentran pautas como la necesidad de una alternativa denominada “no hacer nada o alternativa cero” (la cual está exigida por la legislación vigente en algunos países), y de seleccionar la alternativa más “razonable”, lo que ciertamente no aporta informaciones precisas para la toma de decisiones. Estas debilidades, más la dificultad de plantear una metodología que sea adaptable a diferentes contextos, han servido para encauzar la construcción de la metodología desarrollada en esta tesis y así, lograr minimizar estas brechas, planteando un método analítico, simple y flexible.

La metodología basada en la aplicación del Índice de Selección de Alternativas Estratégicas Ambientales (ISAEA) y en la evaluación sus incertidumbres parte de la utilización de indicadores simples construidos en base a las metas que se plantean en el instrumento evaluado en la EAE. Al construir los indicadores partiendo de los criterios de los propios

objetivos o metas del PPP, se disminuye la complejidad y ambigüedad que típicamente existe en la construcción y/o selección de indicadores ambientales, pues queda claramente determinada la dirección que debe seguirse en la construcción del indicador. Los criterios de construcción del indicador permiten optimizar su calidad, ya que el mismo describe el objetivo y, por ende, se utilizan indicadores que son los adecuados para ese PPP en particular, es decir, adaptado al contexto preciso del PPP.

Para dar inicio a la aplicación de la metodología es importante conocer los detalles de las alternativas. Para esto se debe revisar el PPP a estudiar, los estudios complementarios al mismo, si existen, la revisión de información del sector productivo al cual pertenece el PPP, así como cualquier otra información que ofrezca detalles que permita conocer las alternativas que se plantean. Un apoyo trascendental en esta primera etapa es el acompañamiento del promotor del PPP, así como el hacerles ver que el equipo de evaluadores es un colaborador, captando su confianza, ya que una de las principales dificultades a las que se enfrentan los evaluadores al intentar recabar información de un PPP radica precisamente en los altos niveles de confidencialidad propio de este tipo de documentos. Estos instrumentos poseen información que existe para ser manejada por el organismo, pero no para ser compartida o divulgada en algunos casos.

Esta característica dificultó la obtención de información para realizar la aplicación de la metodología presentada en el presente trabajo. Algunas de las razones de esta falta de acceso a la totalidad de información podrían ser: i) que son informaciones confidenciales, ii) ausencia de la información, iii) evitar exponer esa debilidad y iv) contar con personal no capacitado para responder cuestiones de niveles técnicos elevados o sencillamente desconocimiento de lo solicitado.

Con la comprensión de los detalles de las alternativas se ha realizado una descripción de estas y se ha procedido a verificar cuales son las dimensiones de análisis. El precisar las dimensiones de análisis, permite simplificar el enfoque para la construcción de los indicadores y metas. Con esto se evitan listas interminables de indicadores, que finalmente no sólo carecen de metas, sino que no explican en términos estratégicos si la alternativa conduce a obtener los objetivos planteados, quedando evidenciado los objetivos carentes de alternativas y viceversa. Además, los dos criterios de cribado que se propone en la dimensión de análisis también permiten igualar la preferencia de las dimensiones, facilitando el posterior proceso de ponderación.

Indicadas las dimensiones ambientales, es posible iniciar el establecimiento de las metas a utilizar. En la mayoría de los casos, se tiene a mano las metas propuestas en el PPP. Sin embargo, si existe alguna alternativa que, durante los cribados para la identificación de las dimensiones de análisis, presenta dimensiones no consideradas en las metas del PPP, se procedería con ese conocimiento a identificar metas nacionales o internacionales que permitan relacionar la dimensión de análisis con la alternativa y la posterior construcción del indicador simple para la alternativa en cuestión.

La concepción de los cribados para las dimensiones ambientales permite dirigir la búsqueda de metas a las que realmente se necesitan para el tipo y contenido expuesto en el PPP. Con las metas claras y precisamente identificadas, se facilita la construcción de los indicadores simples y, más importantes aún, los indicadores adecuados que compondrán el índice, ya que, siempre que un indicador es capaz de describir el objetivo para el cual se ha elaborado es el indicador correcto.

Es una práctica beneficiosa que los evaluadores realicen una revisión de indicadores asociados al tema y sector de producción del PPP. Esto, juntamente con el aporte de los actores vinculados al instrumento analizado, permitirá una depuración y adecuación de los indicadores. Con carácter general, se recomienda iniciar la construcción de los indicadores por alternativas. De esta forma, se manipula la información de la descripción y metas de la alternativa, y su escrutinio en la misma no sólo permitirá construir los indicadores simples para las metas, sino también, el reconocimiento de los indicadores que se han denominado en esta metodología, indicadores comparativos. Estos indicadores comparativos, se han diseñado para aprovechar información interesante y relevante que carece de una meta asociada. Los mismos sirven para reforzar la selección de alternativas, en casos que los resultados en las alternativas comparadas sean similares.

Es importante resaltar que la metodología desarrollada ha sido aplicada sin necesidad de datos complejos, demostrando que es posible obtener resultados satisfactorios y en consonancia con las realidades del PPP, aplicando datos a nivel estratégico.

En el proceso de dar valor a cada uno de los indicadores, el uso de los metadatos, trabajados paralelamente con cada indicador, permite no sólo definir y suministrar información sobre los datos producidos de los indicadores, sino también dejar organizadas las fuentes de datos utilizadas. Se recomienda identificar no sólo la fuente, sino las páginas utilizadas. Esto facilita posteriormente la revisión de los indicadores y minimiza posibles errores en los cálculos. Se sugiere, además, que antes de utilizar los indicadores para la construcción del índice, se proceda a una verificación del valor del indicador, considerando los datos utilizados y registrados en los metadatos, para cada indicador de cada alternativa.

La construcción de los indicadores adecuados es la etapa más sensible de la metodología y es propia de la correcta ejecución de los criterios diseñados. De los procesos para la elaboración del ISAEA planteados después de la construcción de los indicadores, la normalización depende de los criterios que se establecen en el plan o el PPP, la institución promotora, las planificaciones estratégicas del país o los organismos internacionales.

Posteriormente, la ponderación y la agregación han sido condicionadas por los cribados del análisis de dimensiones, permitiendo el establecimiento de pesos equiproporcionales. Es conocido que aplicar pesos equiproporcionales tiene repercusión en el índice a medida que aumentan el número de indicadores simples. La metodología tiene una ventaja en este sentido, pues se tendrán tantos indicadores como metas establecidas para la alternativa analizada y, en la generalidad de los casos, no se manejan una cantidad alta de metas. Para

enfrentar el efecto de un número elevado de indicadores, se recomienda trabajar con los indicadores que mejor definan el objetivo de la alternativa. Los indicadores que queden fuera de la elaboración del índice pueden considerarse como indicadores comparativos.

Los resultados de ISAEA evidencian influencia de las metas cuando las mismas son planeadas con aspiraciones desproporcionadas. Es decir, si la meta es muy ambiciosa para la situación real analizada, los valores del índice se verán sesgado por esta, demostrando una lejanía o cercanía, que para la realidad de las circunstancias evaluadas ubican la alternativa en una posición errónea. Esto puede acarrear, la selección de una alternativa que no necesariamente posea las características más favorables dentro del contexto del PPP evaluado y de la realidad propia del país. No obstante, ello es producto de las propias decisiones incorporadas en el instrumento evaluado y no significa que necesariamente exista una inadecuada construcción de los indicadores simples.

Con los resultados obtenidos a partir del ISAEA un tomador de decisiones podría elegir una alternativa, pero estaría tomando una decisión con una certeza desconocida. Para aportar a los tomadores de decisiones una herramienta completa, se incorpora al ISAEA los valores de incertidumbre para cada una de las alternativas. El análisis de incertidumbre ha sido considerado dentro de los estudios ambientales como todo un desafío, existiendo una importante brecha en este tipo de aplicaciones. La metodología propuesta aporta una adaptación de los análisis de incertidumbre al uso de indicadores compuestos. La experiencia de la aplicación del análisis de incertidumbre en esta metodología puso en evidencia, una vez más, la importancia de la cooperación abierta de la entidad promotora del PPP para garantizar el flujo de información y, lo que es más importante aún, la utilización de información confiable. La calidad de los datos queda reflejada gráficamente en los resultados de la metodología.

Es importante establecer claramente las fuentes de incertidumbre, siguiendo el planteamiento de dependencia presentado en la metodología propuesta. Las consideraciones de dependencia entre las fuentes minimizan la posible sobrevaloración de la incertidumbre, ya que, al aplicar un valor de incertidumbre varias veces por encontrarse relacionado con todos los indicadores del índice, se aplicaría un criterio del mismo origen varias veces, cuando debe ser considerado tan solo una vez. Solo deben aplicarse las fuentes que son independientes entre sí para fines de combinación de incertidumbre.

Los resultados de la metodología para la selección de la alternativa en una EAE muestran información clara, explícita y simple que permite elegir la alternativa más adecuada para el PPP evaluado. Sin embargo, existe un criterio importante, que no debe ser obviado y es el nivel de riesgo que los tomadores de decisiones están dispuestos a asumir.

De este modo, se concluye que la metodología desarrollada aporta una herramienta valiosa, que puede ser utilizada de forma simple y a la vez permite reflejar las circunstancias propias del PPP. A la vez, la metodología ofrece resultados en un lenguaje matemático llano, fácilmente entendible para los tomadores de decisiones. La metodología que se

aporta en esta investigación doctoral llega a minimizar una brecha en la temática de selección de alternativas en la EAE, ya que se basa en información cuantitativa y a la vez que ha asumido el desafío pendiente en evaluaciones ambientales al incorporar el análisis de incertidumbre como un criterio de acompañamiento al ISAEA. La aplicación de la metodología ha arrojado resultados que se encuentran en consonancia con los tipos de datos, la calidad de los datos y los niveles de información de planificación existente para cada una de las alternativas. Por último, se enumeran a continuación algunas de las ventajas de la metodología propuesta, que se han podido apreciar durante su aplicación:

1. Minimiza una brecha en la temática de selección de alternativas en la EAE.
2. Identifica la ausencia de alternativas que permiten el logro de algún objetivo del PPP.
3. Disminuye la demanda de tiempo y recursos en la selección de alternativas de la EAE, dada la simplicidad de interpretación de los resultados.
4. Minimiza el sesgo que típicamente aporta la preselección de la alternativa, por los criterios políticos o personales del tomador de decisiones.
5. Es una metodología adaptable al contexto del sector al que pertenece la EAE y a sus propósitos.
6. Los datos usados en los indicadores poseen una escala apropiada, debido a que se relaciona con la escala de los objetivos del PPP.
7. Con el doble cribado en la determinación de las dimensiones de análisis, se precisa y simplificar el enfoque de construcción de los indicadores y la identificación de las metas correspondientes.
8. Se pueden generar indicadores comparativos que sirvan para reforzar los criterios de la selección de alternativas, en aquellos casos en que los resultados al comparar alternativas sean similares.
9. Aporta una adaptación de los análisis de incertidumbre al uso de indicadores compuestos y a la evaluación ambiental.

7. Líneas de futura investigación

Tras la conclusión de la tesis doctoral, y como líneas de futura investigación, se plantea la realización de las siguientes actuaciones:

i. *Desarrollo de una metodología para la valoración de pasivos ambientales*

La evaluación de los pasivos ambientales puede abordarse desde el punto de la obtención de metas. Realizando levantamiento de informaciones primarias y contraponiéndolas con las normas o reglamentaciones, es posible cuantificar los pasivos ambientales de un proyecto. Esto permitiría establecer significancia a los impactos ambientales con los resultados cuantitativos dados por el cálculo de los análisis in situ versus la normativa existente. La valoración en base a pasivos ambientales sería una herramienta valiosa para las autoridades ambientales, las cuales contarían con criterios que les permitan discrepar en las autorizaciones ambientales a otorgar y más aún, en los lineamientos a incluir en las disposiciones ambientales que los promotores del proyecto deben cumplir.

ii. *Selección de alternativas vinculando el riesgo y la incertidumbre*

Se propone realizar una modificación de la metodología presentada en esta tesis consistente en considerar la aplicación del ISAEA y la incertidumbre, pero planteando además el riesgo en términos del grado de logro o desarrollo completo de la alternativa.

8. Contribuciones científicas

Como resultado de la investigación realizada, se han producido las siguientes publicaciones científicas:

- Advances in implementing strategic environmental assessment (SEA) techniques in Central America and the Caribbean. *Sustainability*, 2020, 12, 4039. doi:10.3399/su12104039.
- Póster y abstract en Congreso Internacional European Geosciences Union 2019 (EGU2019), Viena. Development of scenarios applied to Strategic Environmental Assessment: A State of the Art.
- Póster y abstract en Congreso Internacional European Geosciences Union 2018 (EGU2018), Viena. Analytical methodology for the analysis of alternatives in Strategic Environmental Assessments and their uncertainties in the decision-making process.
- Elaboración de las “Directrices y criterios técnicos para evaluar las evaluaciones ambientales estratégicas (EAE) en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana”. Producto final de la pasantía realizada en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana

9. Referencias

- Alshuwaikhat, H. M. (2005). Strategic environmental assessment can help solve environmental impact assessment failures in developing countries. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(4), 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.09.003>
- Arce, R., y Gullón, N. (2000). The application of Strategic Environmental Assessment to sustainability assessment of infrastructure development. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), 393–402. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(00\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(00)00050-0)
- Barclay, M., Dixon-woods, M., y Lyratzopoulos, G. (2019). The problem with composite indicators. *BMJ Quality y Safety*, 28, 338–344. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2018-007798>
- Bariloche, F. (2008). Estudio Prospectiva de la Demanda de Energía de República Dominicana.
- Becker, W., Data, B., Paolo, P., Commission, E., Saisana, M., Commission, E., y Saltelli, A. (2016). Handbook of Uncertainty Quantification. Handbook of Uncertainty Quantification. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11259-6>
- Bidstrup y Hansen. (2014). The paradox of strategic environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 47, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.03.005>
- Bina, O. C. (2003). Re- conceptualising Strategic Environmental Assessment : theoretical overview and case study from Chile. Newnham College, Cambridge.

- Bodde, M., Wel, K. Van Der, y Driessen, P. (2018). Strategies for Dealing with Uncertainties in Strategic Environmental Assessment : An Analytical Framework Illustrated with Case Studies from The Netherlands. *Sustainability*, 10, 1–24. <https://doi.org/10.3390/su10072463>
- Buen, O. de. (2006). Diagnóstico y Definición de Líneas Estratégicas sobre el Uso Racional de Energía (URE) en República Dominicana.
- Caratti, P., y Locascio, G. (2006). Sustainable Development Policies in Europe. FEEM working paper 152.06. <https://doi.org/10.2139/ssrn.952936>
- Cardenas, I. C., y Halman, J. I. M. (2016). Coping with uncertainty in environmental impact assessments : Open techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, 60, 24–39. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.02.006>
- CNE-RD. (2004). Plan Energético Nacional 2004-2015. Santo Domingo, República Dominicana.
- CNE. (2008). República Dominicana Diagnóstico y Definición de Líneas Estratégicas del Sub-sector Eléctrico. Santo Domingo, República Dominicana.
- Dunn, W. L., y Shultis, J. K. (2012). Exploring Monte Carlo Method. In Elsevier (Ed.), *Exploring Monte Carlo Methods* (pp. 1–20). Amsterdam, The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-51575-9.00001-4>
- EPA. (2015). *Developing and Assessing Alternatives in Strategic Environmental Assessment Research Report 157*.
- Geffray, C., Gerschenfeld, A., Kudinov, P., Mickus, I., Jeltsov, M., Kööp, K., ... Pointer, D. (2018). Verification and validation and uncertainty quantification. *Thermal Hydraulics Aspects of Liquid Metal Cooled Nuclear Reactors*, 383–405. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101980-1.00008-9>
- Gómez Orea. (2007). *Evaluación Ambiental Estratégica*. (Ediciones Mundi Prensa, Ed.). Madrid, Spain.
- González, A., Thérivel, R., Fry, J., y Foley, W. (2015). Advancing practice relating to SEA alternatives. *Environmental Impact Assessment Review*, 53, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.04.003>
- Hofer, E. (1998). Sensitivity analysis in the context of uncertainty analysis for computationally intensive models. *Computer Physics Communications*, 117(1), 21–34. [https://doi.org/10.1016/S0010-4655\(98\)00153-2](https://doi.org/10.1016/S0010-4655(98)00153-2)
- Kennedy, M. C., y O’Hagan, A. (2001). Bayesian calibration of computer models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Statistical Methodology*, 63(3), 425–464. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00294>

- Larsen, S., Kørnøv, L., y Driscoll, P. (2013). Avoiding climate change uncertainties in Strategic Environmental Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.07.003>
- Lee, N., y Walsh, F. (1992). Strategic environmental assessment: An overview. *Project Appraisal*, 7(3), 126–136. <https://doi.org/10.1080/02688867.1992.9726853>
- M Jílek. (1982). Sample size and tolerance limits. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 33(2), 64–78.
- Maier, H. R., Ascough, J. C., Wattenbach, M., Renschler, C. S., Labiosa, W. B., y Ravalico, J. K. (2008). Uncertainty in Environmental Decision Making : Issues , Challenges and Future Directions. *USDA-ARS / UNL Faculty*, 399, 19.
- McMurray, A., Pearson, T., y Casarim, F. (2017). Guía para aplicar el enfoque Monte Carlo al análisis de incertidumbre en la contabilidad forestal y de gases de efecto invernadero.
- Molina, G., y Coto, S. (2020). Guía Metodológica para la estimación de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI). Programa País de Carbono Neutralidad 2.0. San José, Costa Rica.
- Monteiro, M., y Partidário, M. (2017). Governance in Strategic Environmental Assessment : Lessons from the Portuguese practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 65(1), 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.04.007>
- Mwamba, G., y Montaña, M. (2016). Energy related Strategic Environmental Assessment applied by Multilateral Development Agencies — An analysis based on good practice criteria. *Environmental Impact Assessment Review*, 61, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.06.007>
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Giovannini, E., y Hoffman, A. (2008). *HANDBOOK ON CONSTRUCTING COMPOSITE INDICATORS: METHODOLOGY AND USER GUIDE*. Paris.
- Nickens, D. J. (1998). Using tolerance limits to evaluate laboratory data. *Drug Information Journal*, 32(1), 261–269. <https://doi.org/10.1177/009286159803200134>
- Noble y Nwanekezie. (2017). Conceptualizing strategic environmental assessment : Principles , approaches and research directions. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.03.005>
- Oñate et al. (2002). *Evaluación Ambiental Estratégica: la evaluación ambiental de Políticas, Planes y Programas*. (Mundi- Prensa, Ed.). Madrid, Spain.

- Parra-Michel, J., y Martínez, A. (2007). Cálculo de la incertidumbre estándar mediante la técnica de Monte Carlo para la medición de la topografía y del campo de desplazamiento mediante ESPI. *Nova Scientia*, 5(9), 50–75.
- Partidário. (2012). Strategic Environmental Assessment Better Practice Guide - methodological guidance for strategic thinking in SEA Strategic Environmental Assessment. Lisboa: Portuguese Environment Agency and Redes Energéticas Nacionais (REN), SA.
- Partidário, M. (2014). SEA: current practices , future demands and capacity-building needs Maria Rosário Partidário. IAIA training courses. Retrieved from http://www.commddev.org/files/1725_file_SEAManual.pdf
- Rajagopalan, S. (2004). Statistical Tolerance Limits for Process Capability, 54(3), 303–306.
- Rodríguez, H. (2008). Diagnóstico Y Definición De Líneas Estratégicas Del Subsector Fuentes De Energía Nuevas Y Renovables (FENR) En La República Dominicana. Comisión Nacional de Energía. Retrieved from <http://www.cne.gob.do/app/do/docp.aspx>
- Saisana, M., Saltelli, A., y Tarantola, S. (2005). Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite. *Journal of the Royal Statistical Society A*, 168 (2), 307–323.
- Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., y Ratto, M. (2004). Sensitivity analysis in practice. (J. W. y Sons, Ed.). Ispra, Italy: Joint Research of the European Commission.
- Slunge y Trang. (2014). Challenges to institutionalizing strategic environmental assessment: The case of Vietnam. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.05.005>
- Strong, M., Oakley, J., y Chilcott, J. (2010). Managing structural uncertainty in health economic decision models: A discrepancy approach. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C: Applied Statistics*, 61(1), 25–45. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2011.01014.x>
- The Norwegian Pollution Control Authority. (2004). Greenhouse Gas Emissions in Norway 1990-2002 Reporting according to the UNFCCC guidelines. Oslo.
- Thissen, W. A. H., y Agusdinata, D. B. (2008). Handling deep uncertainties in impact assessment. In 28th annual conference of the IAIA (pp. 1–5).
- Victor y Agamuthu. (2014). Policy trends of strategic environmental assessment in Asia. *Environmental Science and Policy*, 41, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.03.005>
- Walley, P. (1996). Measures of uncertainty in expert systems. *Artificial Intelligence*, 83, 1–58.

- Wood, C., y Dejedour, M. (1992). Strategic environmental assessment: EA of policies, plans and programmes. *Environmental Impact Assessment*, 10(1), 3–22. <https://doi.org/10.1080/07349165.1992.9725728>
- Zimmermann, H. J. (1990). Problems and tools to model uncertainty in expert and decision support systems. *Mathematical and Computer Modelling*, 14, 8–20.
- Zimmermann, H. J. (1999). Application-oriented view of modeling uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 122(2), 190–198. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00228-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00228-3)
- mental assessment’, *Impact Assessment and Project Appraisal*. Taylor y Francis, pp. 177–187. doi: 10.1080/14615517.2014.927557.
- Alshuwaikhat, H. M. (2005) ‘Strategic environmental assessment can help solve environmental impact assessment failures in developing countries’, *Environmental Impact Assessment Review*, 25(4), pp. 307–317. doi: 10.1016/j.eiar.2004.09.003.
- Arce, R. y Gullón, N. (2000) ‘The application of Strategic Environmental Assessment to sustainability assessment of infrastructure development’, *Environmental Impact Assessment Review*, 20(3), pp. 393–402. doi: 10.1016/S0195-9255(00)00050-0.
- Aveline, A. et al. (2009) ‘Evaluating an environmental indicator: Case study of MERLIN, a method for assessing the risk of nitrate leaching’, *Agricultural Systems*. Elsevier Ltd, 100(1–3), pp. 22–30. doi: 10.1016/j.agsy.2008.12.001.
- Becker, W. et al. (2016) *Handbook of Uncertainty Quantification, Handbook of Uncertainty Quantification*. doi: 10.1007/978-3-319-11259-6.
- Bermejo, R. (2014) *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Editado por Hegoa Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación Internacional.
- Bidstrup y Hansen (2014) ‘The paradox of strategic environmental assessment’, *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 47, pp. 29–35. doi: 10.1016/j.eiar.2014.03.005.
- Biehl, J. et al. (2019) ‘Implementing strategic environmental assessment in countries of the global South – An analysis within the Peruvian context’, *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 77(October 2017), pp. 23–39. doi: 10.1016/j.eiar.2019.02.009.
- Bina, O. (2007) ‘A critical review of the dominant lines of argumentation on the need for strategic environmental assessment’, *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 27(7), pp. 585–606. doi: 10.1016/j.eiar.2007.05.003.

- Bina, O. C. (2003) Re- conceptualising Strategic Environmental Assessment : theoretical overview and case study from Chile. Newnham College, Cambridge.
- Bockstaller, C. y Girardin, P. (2003) 'How to validate environmental indicators', *Agricultural Systems*, 76(2), pp. 639–653. doi: 10.1016/S0308-521X(02)00053-7.
- BOE-A-12913 (2013) Legislación Consolidada. Ley Orgánica de Evaluación Ambiental, Boe. Ley Para evaluación ambiental.
- Brown y Therivel (2000) 'Principles to guide the development of strategic environmental assessment methodology', *Impact Assessment and Project Appraisal*, 18(3), pp. 183–189. doi: 10.3152/147154600781767385.
- CCAD (2002) El Plan de Acción Centroamericano de EIA. San José, Costa Rica.
- CCAD (2014) Estrategia Regional Ambiental Marco 2015-2020. EL Salvador.
- CEPE (2003) Protocolo sobre Evaluación Estratégica del medio ambiente de la convención sobre la evaluación del impacto ambiental en un contexto transfronterizo. Kiev.
- Cervantes et al (2012) 'Sustentabilidad ambiental, del concepto a la práctica', *Gestión y Política Pública*, 12(2), pp. 291–332.
- Chaker, A., Chamas, L. y Hatjian, B. (2006) 'A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries', 26, pp. 15–56. doi: 10.1016/j.eiar.2004.09.010.
- Cherp, A. (2001) 'Environmental assessment in countries in transition: Evolution in a changing context', *Journal of Environmental Management*, 62(4), pp. 357–374. doi: 10.1006/jema.2001.0438.
- Cloquell-Ballester et al (2006) 'Indicators validation for the improvement of environmental and social impact quantitative assessment', *Environmental Impact Assessment Review*, 26(1), pp. 79–105. doi: 10.1016/j.eiar.2005.06.002.
- Cox, A. D. R. et al. (1992) 'Quality-of-Life Assessment : Can We Keep It Simple?', *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*, 155(3), pp. 353–393.
- Donnelly, A. et al. (2006) 'Decision-support framework for establishing objectives, targets and indicators for use in strategic environmental assessment', *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24(2), pp. 151–157. doi: 10.3152/147154606781765246.
- Donnelly, A. et al. (2007) 'Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment', *Environmental Impact Assessment Review*, 27, pp. 161–175. doi: 10.1016/j.eiar.2006.10.006.
- van Doren, D. et al. (2013) 'Evaluating the substantive effectiveness of SEA: Towards a better understanding', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 38, pp. 120–130. doi: 10.1016/j.eiar.2012.07.002.

- Ebert, U. y Welsch, H. (2004) 'Meaningful environmental indices: A social choice approach', *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(2), pp. 270–283. doi: 10.1016/j.jeem.2003.09.001.
- Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) (2018) Access to Information, participation and justice in environmental matters in Latin America and the Caribbean. Towards achievement of the 2030 Agenda for Sustainable Development. Santiago. Disponible at: www.eclac.org.
- EEA (2005) EEA core set of indicators, Guide. EEA Technical report: No 1/2005, European Environment. doi: 10.1016/S0014-2921(02)00176-9.
- ElGibari, S., Gómez, T. y Ruiz, F. (2019) 'Building composite indicators using multicriteria methods : a review', *Journal of Business Economics*. Springer Berlin Heidelberg, 89(1), pp. 1–24. doi: 10.1007/s11573-018-0902-z.
- EPA (2015) Developing and Assessing Alternatives in Strategic Environmental Assessment Research Report
- Esty, D. et al. (2008) 2008 Environmental Performance Index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, Yale Center for Environmental Law and Policy. doi: 10.1017/cbo9781139161893.022.
- Eurostat (2017) Código de buenas prácticas de las estadísticas europeas. Luxemburgo. doi: 10.2785/794328.
- Freudenberg, M. (2003) Composite Indicators of Country Performance : A Critical Assessment.
- Gallopín, G. (1997) Indicators and Their Use : Information for Decision-making. Wiley, Chichester.
- Gao et al (2014) 'The changing Chinese SEA indicator guidelines: Top-down or bottom-up?', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 44, pp. 22–30. doi: 10.1016/j.eiar.2013.08.003.
- Gao et al (2017) 'Indicators' role: How do they influence Strategic Environmental Assessment and Sustainable Planning – The Chinese experience', *Science of the Total Environment*, 592, pp. 60–67. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.211.
- Geneletti, D. et al. (2007) 'Spatial decision support for strategic environmental assessment of land use plans. A case study in southern Italy', *Environmental Impact Assessment Review*, 27(5), pp. 408–423. doi: 10.1016/j.eiar.2007.02.005.

- Geneletti, D. (2011) 'Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning', *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 7(3), pp. 143–149. doi: 10.1080/21513732.2011.617711.
- Gómez Orea (2007) *Evaluación Ambiental Estratégica*. Editado by Ediciones Mundi Prensa. Madrid, Spain.
- González, A. et al. (2015) 'Advancing practice relating to SEA alternatives', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 53, pp. 52–63. doi: 10.1016/j.eiar.2015.04.003.
- González et al (2018) 'Environmental Modelling y Software Designing and developing a web tool to support Strategic Environmental Assessment', *Environmental Modelling and Software*. Elsevier, (March), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.envsoft.2018.10.014.
- Van Der Heijden, K. (1996) *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*, John Wiley y Sons. Chichester: John Wiley y Sons.
- Hiltunen, E. (2009) 'Scenarios : Process and Outcome', 13(February), pp. 151–152.
- Jacobs, R., Smith, P. y Goddard, M. (2004) *Measuring performance: An examination of composite performance indicators*. 29. York.
- Jha, R. y Murthy, K. V. B. (2003) *A Critique of the Environmental Sustainability Index*, Australian National University Division of Economics. doi: 10.4324/9780203014394-14.
- Kaly, U. et al. (1999) *Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national environmental vulnerability profiles*.
- Kaly, U., Pratt, C. y Mitchell, J. (2004) *The Environmental Vulnerability Index (EVI)*.
- Kang, S., Kim, M. y Lee, M. (2002) 'The trends of composite environmental indices in Korea', *Journal of Environmental Management*, 64(2), pp. 199–206. doi: 10.1006/jema.2001.0529.
- Kørnøv y Hvidtfeldt (2003) 'The Danish experience of strategic environmental assessment', *Environmental Assessment of Plans and Programs: Nordic Experiences in Relation to the Implementation of the EU Directive 2001/42/EC (Tuija Hilding-Rydevik)*. 33. Stockholm, Nordregio., pp. 9–39.
- Krajnc, D. y Glavič, P. (2005) 'A model for integrated assessment of sustainable development', *Resources, Conservation and Recycling*, 43(2), pp. 189–208. doi: 10.1016/j.resconrec.2004.06.002.
- Kurtz et al (2001) 'Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development', *Ecological Indicators*, 1(1), pp. 49–60. doi: 10.1016/S1470-160X(01)00004-8.

- Lee, N. y Walsh, F. (1992) 'Strategic environmental assessment: An overview', *Project Appraisal*, 7(3), pp. 126–136. doi: 10.1080/02688867.1992.9726853.
- Lobos y Partidário (2014) 'Theory versus practice in Strategic Environmental Assessment (SEA)', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 48, pp. 34–46. doi: 10.1016/j.eiar.2014.04.004.
- Margato, V. y Sánchez, L. E. (2014) 'Quality and outcomes: A critical review of strategic environmental assessment in Brazil', *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(2). doi: 10.1142/S1464333214500112.
- Mayer, A. L. (2008) 'Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems', *Environment International*, 34(2), pp. 277–291. doi: 10.1016/j.envint.2007.09.004.
- MINAM (2016) *Crterios y mecanismos para la implementación del proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)*: R.M. 175-2016.
- Mondéjar-Jiménez, J. y Vargas-Vargas, M. (2008) 'Indicadores sintéticos : una revisión de los métodos de agregación', *Economía, Sociedad y Territorio*, VIII, pp. 565–585.
- Montaño, M. et al. (2014) 'Current State of the SEA System in Brazil : A Comparative Study', *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(Junio 14), p. 19. doi: 10.1142/S1464333214500227.
- Mrkaic, M. (2010) *Information Content of DQAF indicators-Empirical Entropy Analysis*, IFM Working papers.
- Munda, G. (2005) "'Measuring sustainability": A multi-criterion framework', *Environment, Development and Sustainability*, 7(1), pp. 117–134. doi: 10.1007/s10668-003-4713-0.
- Munda, G. y Nardo, M. (2005) 'Constructing Consistent Composite Indicators: the Issue of Weights', Joint Research Centre, European Commission, (January 2005). Disponible at: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC32434/EUR_21834_EN.pdf.
- Mwamba, G. y Montaño, M. (2016) 'Energy related Strategic Environmental Assessment applied by Multilateral Development Agencies — An analysis based on good practice criteria', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 61, pp. 27–37. doi: 10.1016/j.eiar.2016.06.007.
- Nardo, M. et al. (2005) *Tools for Composite Indicators Building*. Italy.
- Nardo, M. et al. (2008) *HANDBOOK ON CONSTRUCTING COMPOSITE INDICATORS: METHODOLOGY AND USER GUIDE*. Paris.

- Niemeijer, D. y de Groot, R. S. (2008) 'A conceptual framework for selecting environmental indicator sets', *Ecological Indicators*, 8(1), pp. 14–25. doi: 10.1016/j.ecolind.2006.11.012.
- Nilsson, M. et al. (2009) 'Analytical framework and tool kit for SEA follow-up', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 29(3), pp. 186–199. doi: 10.1016/j.eiar.2008.09.002.
- Noble y Nwanekezie (2017) 'Conceptualizing strategic environmental assessment : Principles , approaches and research directions', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 62, pp. 165–173. doi: 10.1016/j.eiar.2016.03.005.
- OECD (1999) *Environmental indicators for agriculture: Volume 1. Concepts and frameworks*. Paris.
- OECD (2004) 'Key Environmental Indicators', *Organisation for Economic Development and Co-operation*, p. 38. doi: 10.2110/pec.72.02.0001.
- OECD (2012) *QUALITY FRAMEWORK AND GUIDELINES FOR OECD STATISTICAL ACTIVITIES Version 2011/1*.
- Oñate et al (2002) *Evaluación Ambiental Estratégica: la evaluación ambiental de Políticas, Planes y Programas*. Editado por Mundi- Prensa. Madrid, Spain.
- ONU (2018) *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*, *Publicación de las Naciones Unidas*. Disponible at: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf.
- van Oudenhoven, A. P. E. et al. (2018) 'Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making', *Ecological Indicators*, 95(June), pp. 417–426. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.06.020.
- Partidário (2012) *Strategic Environmental Assessment Better Practice Guide - methodological guidance for strategic thinking in SEA Strategic Environmental Assessment*. Lisboa: Portuguese Environment Agency and Redes Energéticas Nacionais (REN), SA.
- Partidário, M. (2014) *SEA: current practices, future demands and capacity-building needs* Maria Rosário Partidário, IAIA training courses. Disponible at: http://www.commddev.org/files/1725_file_SEAManual.pdf.
- Paruolo, P., Saisana, M. y Saltelli, A. (2013) 'Ratings and rankings: Voodoo or science?', *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*, 176(3), pp. 609–634. doi: 10.1111/j.1467-985X.2012.01059.x.
- Pérez, F. et al. (2008) 'Análisis, diseño y comparación de indicadores sintéticos', in *Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa* (ed.) *XVI Jornadas ASEPUMA - IV Encuentro Internacional*. Cartagena, España, pp. 1–12.

- Rodrigo-Illari, J. et al. (2020) 'Advances in implementing strategic environmental assessment (sea) techniques in Central America and the Caribbean', *Sustainability* (Switzerland), 12(10). doi: 10.3390/SU12104039.
- Rozas-Vásquez, D. y Gutiérrez, P. (2018) 'Advances and challenges in the implementation of strategic environmental assessment in Chile', *Impact Assessment and Project Appraisal*. Taylor y Francis, 36(5), pp. 425–428. doi: 10.1080/14615517.2018.1490048.
- Saisana, M. y Saltelli, A. (2016) 'Sensitive Issues in the Development of Composite Indicators for PolicyMaking', *Simulation in Industry and Services*, (July), p. 14.
- Saisana, M., Saltelli, A. y Tarantola, S. (2005) 'Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite', *Journal of the Royal Statistical Society A*, 168 (2), pp. 307–323.
- Saisana, M. y Tarantola, S. (2002) State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development. doi: 10.13140/RG.2.1.1505.1762.
- Saltelli (2007) 'Composite Indicators between analysis and advocacy', *Social Indicators Research*. Palermo, Italy, 81, pp. 65–77. doi: 10.1007/s11205-006-0024-9.
- Saltelli, A. et al. (2004) 'Composite Indicators - the controversy and the way forward'. Palermo, Italy: Statistics, Knowledge and Policy OECD World Forum on Key Indicator. OECD.
- Sánchez, L. E. y Silva-Sánchez, S. S. (2008) 'Tiering strategic environmental assessment and project environmental impact assessment in highway planning in São Paulo, Brazil', *Environmental Impact Assessment Review*, 28(7), pp. 515–522. doi: 10.1016/j.eiar.2008.02.001.
- Schuschny, A. y Soto, H. (2009) *Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Sede de las Naciones Unidas, New York.
- SEPA (2011) *The Scottish Strategic Environmental Assessment Review - Summary*. Scottish. Disponible at: www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/921/0096200.pdf.
- SICA (2019) *Sistema de la Integración de Centroamérica*. Disponible at: www.sica.int (Accessed: 3 June 2019).
- Singh, R. K. et al. (2009) 'An overview of sustainability assessment methodologies', *Ecological Indicators*, 9(2), pp. 189–212. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.05.011.
- Slunge y Trang (2014) 'Challenges to institutionalizing strategic environmental assessment : The case of Vietnam', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier Inc., 48, pp. 53–61. doi: 10.1016/j.eiar.2014.05.005.

- Smeets y Weterings (1999) 'Environmental indicators: Typology and overview Prepared by: Project Managers', European Environment Agency, 25(25), p. 19. Disponible at: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>.
- Stoeglehner et al (2009) 'SEA and planning: "Ownership" of strategic environmental assessment by the planners is the key to its effectiveness', *Impact Assessment and Project Appraisal*, 27(2), pp. 111–120. doi: 10.3152/146155109X438742.
- Talukder, B., Hipel, K. W. y Gary, W. (2017) 'Developing Composite Indicators for Agricultural Sustainability Assessment: Effect of Normalization', *Resources*, 6(66), p. 27. doi: 10.3390/resources6040066.
- Tetlow y Hanusch (2012) 'Strategic environmental assessment: the state of the art', *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), pp. 15–24. doi: 10.1080/14615517.2012.666400.
- Therivel, R. (2004) *Strategic environmental assessment in Action*, Earthscan. London, England. Disponible at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66249133404ypartnerID=40ymd5=df2c7d1b64e613e0280a50949f288d50>.
- UICN (2002) *Serie sobre Evaluación de Impacto Ambiental: EIA en Centroamérica 1*, Serie sobre Evaluación de Impacto Ambiental: EIA en Centroamérica 1. Editado por G. Aguilar, G, y Hernández. San José, Costa Rica.
- UNECE (2017) *Protocolo de Kiev*, Europe, United Nations Economic Commission for. Disponible at: www.unece.org/env/eia/about/protocol_summary.
- US-EPA (2014) *Environmental Quality Index. Overview Report*, Environmental Protection Agency.
- Vázquez, T. (2006) 'El IMECA: Indicador del Grado de Contaminación de la Atmósfera', *Conciencia Tecnológica*, (31), pp. 50–53.
- Verheem y Tonk (2000) 'Strategic environmental assessment: one concept, multiple forms', *Impact Assessment and Project Appraisal*, 18(3), pp. 177–182. doi: 10.3152/147154600781767411.
- Victor y Agamuthu (2014) 'Policy trends of strategic environmental assessment in Asia', *Environmental Science and Policy*. Elsevier Ltd, 41, pp. 63–76. doi: 10.1016/j.envsci.2014.03.005.
- Wood, C. y Dejedour, M. (1992) 'Strategic environmental assessment: EA of policies, plans and programmes', *Environmental Impact Assessment*, 10(1), pp. 3–22. doi: 10.1080/07349165.1992.9725728.
- World Bank (2012) *Strategic Environmental Assessment in the World Bank*.

10. ANEXO 1

METADATOS

Alternativa 1

Ficha No. 1.1.1	
Nombre del indicador:	Emisiones GEI por unidad de electricidad generada
Descripción del indicador:	Mide el grado de responsabilidad ambiental del tipo de tecnología usada
Fórmula:	$\text{Emisiones por GWh} = \frac{\text{Emisiones GEI}}{\text{Generación de energía}}$
Unidad de medida:	Emisiones de CO2 en ton /GWh
Numerador:	ton CO2
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE.
Observaciones:	Para el caso del carbón mineral, se estimó la generación eléctrica en base a la consideración de que mantenga el mismo crecimiento del gas natural, ya que se considera en ambas alternativas un aumento de un 60% de ambas tecnologías para sus respectivos casos.

Ficha 1.1.2	
Nombre del indicador:	Proporción de emisiones del carbón mineral las emisiones totales del sistema
Descripción del indicador:	Mide el aporte porcentual de las emisiones del carbón mineral con respecto a las del sistema
Fórmula:	$\text{Proporción CM/GN} = \frac{\text{Emisiones GEI del carbón mineral} * 100}{\text{Emisiones GEI totales del sector}}$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Emisiones de CO2 del carbón mineral CO2 en ton
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energía CO2 en ton
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	Este indicador permite comparar cual tecnología aporta una proporción mayor de emisiones.

Ficha 1.1.3	
Nombre del indicador:	Estructura de generación por tipo de combustibles
Descripción del indicador:	Mide el grado proporcional de responsabilidad ambiental de la tecnología usada, en base a la generación y permite determinar por ciento de aporte en la generación por tecnología.
Fórmula:	$\text{Estructura de la generación por tipo de tecnología} = \frac{\text{Generación por tecnología}}{\text{Total de generación}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	

Ficha 1.1.4	
Nombre del indicador:	Intensidad de emisiones respecto a la población
Descripción del indicador:	Mide el grado del efecto ambiental de la tecnología en función del crecimiento demográfico del país
Fórmula:	Intensidad de emisiones respecto a la población = $\frac{\text{Emisiones GEI}}{\text{Población}}$
Unidad de medida:	ton CO2/hab
Numerador:	ton CO2
Denominador:	Habitantes
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Prospectiva demanda de energía 2007, página 101
Observaciones:	Las emisiones GEI y el valor de la población deben corresponder al mismo periodo de tiempo (2015)

Ficha 1.1.5	
Nombre del indicador:	Proporción de cobertura en función de la generación con carbón mineral
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación
Fórmula:	Proporción cobertura = $\frac{\text{Generación con Carbón mineral}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Prospectiva demanda de energía, 2007 página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo

Ficha 1.1.6	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción de costos por pago de bonos de carbono
Descripción del indicador:	Permite conocer el ahorro por la reducción de emisiones en base a los bonos de carbono relacionadas con los costos de inversión
Fórmula:	$\text{Reducción costos por bonos de caron} = \frac{\text{Costos bonos de Carbono}}{\text{Costos de inversión}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Millones US\$
Denominador:	Millones US\$
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector eléctrico, 2008, página 8
Fuente del denominador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector eléctrico, 2008, página 8
Observaciones:	

Ficha 1.2.1	
Nombre del indicador:	Proporción de emisiones del gas natural respecto a las emisiones totales del sistema
Descripción del indicador:	Mide el aporte porcentual de las emisiones del gas natural con respecto a las del sistema
Fórmula:	$\text{Proporción CM/GN} = \frac{\text{Emisiones GEI del gas natural}}{\text{Emisiones GEI totales del sector}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Emisiones de CO2 del gas natural CO2 en ton
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energia CO2 en ton
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	Este indicador permite comparar cual tecnología aporta una proporción mayor de emisiones.

Ficha 1.2.2	
Nombre del indicador:	Proporción de cobertura en función de la generación con gas natural
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación
Fórmula:	$\text{Proporción cobertura} = \frac{\text{Generación con Gas natural}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Prospectiva demanda de energía, 2007 página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo

Alternativa 2

Ficha 2.1.1	
Nombre del indicador:	Proporción de aporte Emisiones GEI
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la meta de emisiones GEI del sector energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GW eólicos}}{\text{Emisiones GEI de la meta}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Toneladas CO2 totales metas del sector energía
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-11
Fuente del denominador:	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo y aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LEEdSLAC2015
Observaciones:	El objetivo es conocer cuanto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía, si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable y por tanto estas emisiones se reducen de todas las de la matriz

Ficha 2.1.2	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual de la mitigación de las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la matriz de energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh eólicos}}{\text{Emisiones GEI de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energía CO2 en ton
Fuente del numerador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable.

Ficha 2.1.3	
Nombre del indicador:	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía
Descripción del indicador:	Mide el grado de participación de la energía eólica en la matriz energética
Fórmula:	$\text{Proporción energía limpia} = \frac{\text{Generación de energía eólica}}{\text{Generación de energía de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-11
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	

Ficha 2.1.4	
Nombre del indicador:	Número de MW proyectados
Descripción del indicador:	Mide la capacidad instalada de producción de energía eólica en base a proyectos ya concesionados.
Fórmula:	$\text{Número de MW proyectados} = \sum \text{capacidad de generación de los proyectos concesionados}$
Unidad de medida:	MW
Numerador:	MW
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-10
Observaciones:	

Ficha 2.1.5	
Nombre del indicador:	Proporción de cobertura de generación de energía en base a energía eólica
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación
Fórmula:	$\text{Proporción cobertura} = \frac{\text{Generación con energía eólica}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-11
Fuente del denominador:	Prospectiva demanda de energía, 2007 página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo

Ficha 2.1.6	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono
Descripción del indicador:	Permite identificar cual conjunto de tecnología ofrece mayor reducción de costos en base a los bonos de carbonos
Fórmula:	$\text{Proporción reducción costos por bonos de carbono} = \frac{\text{Costos generados por bonos de carbono}}{\text{Total costos inversión proyectos eólicos}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	US\$
Denominador:	US\$
Fuente del numerador:	Estimación propia en base a la cantidad de emisiones generadas GWh en términos de certificados de bonos de carbono
Fuente del denominador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 3-20
Observaciones:	Se utilizaron los datos de reducción de emisiones de la fuente citada y de esta se calculó al precio del bono de carbono de 15 US\$/ ton de CO2, tanto el denominador como el numerador

Ficha 2.2.1	
Nombre del indicador:	Número de hectáreas sembradas por año
Descripción del indicador:	Mide el avance por años de la superficie sembrada para producción de etanol
Fórmula:	$\text{Número de hectáreas sembradas por año} = \text{Áreas por sembrar} * N$
Unidad de medida:	Hectáreas
Multiplicando	Hectáreas / año
Multiplicador	Número de años hasta llegar al año horizonte
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 2-34
Observaciones:	El año horizonte es definido al 2012 (PEN-2015, página 223)

Ficha 2.2.2	
Nombre del indicador:	Número de galones anuales producidos de etanol
Descripción del indicador:	Permite conocer las cantidades de etanol real basado en las hectáreas disponibles
Fórmula:	<i>Número de galones anuales producidos de etanol</i>
Unidad de medida:	Galones / año
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 2-61
Observaciones:	El año horizonte es definido al 2012 (PEN-2015, página 223).

Ficha 2.2.3	
Nombre del indicador:	Proporción de aporte Emisiones GEI
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la meta de emisiones GEI del sector energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh etanol}}{\text{Emisiones GEI de la meta}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Toneladas CO2 totales metas del sector energía
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo y aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LEEdSLAC2015
Observaciones:	El objetivo es conocer cuanto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía, si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable y por tanto estas emisiones se reducen de todas las de la matriz

Ficha 2.2.4	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual de la mitigación de las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la matriz de energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh por etanol}}{\text{Emisiones GEI de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energía CO2 en ton
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable.

Ficha 2.2.5	
Nombre del indicador:	Proporción de energía limpia por etanol en base a la matriz de energía
Descripción del indicador:	Mide el grado de participación de la energía generado por etanol en la matriz energética
Fórmula:	$\text{Proporción energía limpia} = \frac{\text{Generación de energía por etanol}}{\text{Generación de energía de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	El año horizonte establecido es 2020

Ficha 2.2.6	
Nombre del indicador:	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de etanol
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la generación
Fórmula:	$\text{Proporción cobertura} = \frac{\text{Generación con energía por etanol}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Prospectiva Demanda de energía, 2007, página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo

Ficha 2.3.1	
Nombre del indicador:	Número de MW proyectados
Descripción del indicador:	Mide la capacidad instalada de producción de energía por uso de residuos agrícolas y animales en base a la planificación
Fórmula:	$\text{Número de MW proyectados} = \sum \text{capacidad de generación de los proyectos}$
Unidad de medida:	MW
Numerador:	MW
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Observaciones:	

Ficha 2.3.2	
Nombre del indicador:	Proporción de aporte Emisiones GEI
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la meta de emisiones GEI del sector energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh RAA}}{\text{Emisiones GEI de la meta}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Toneladas CO2 totales metas del sector energía
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo y aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LEedSLAC2015
Observaciones:	El objetivo es conocer cuanto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía, si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable y por tanto estas emisiones se reducen de todas las de la matriz

Ficha 2.3.3	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual de la mitigación de las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la matriz de energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh por RAA}}{\text{Emisiones GEI de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energía CO2 en ton
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable.

Ficha 2.3.4	
Nombre del indicador:	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía
Descripción del indicador:	Mide el grado de participación de la energía en base a residuos agrícolas y animales (RAA) con respecto a la matriz energética
Fórmula:	$\text{Proporción energía limpia} = \frac{\text{Generación de energía por RAA}}{\text{Generación de energía de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcientos
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	

Ficha 2.3.5	
Nombre del indicador:	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos agrícolas y animales
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la demanda de energía
Fórmula:	$\text{Proporción cobertura} = \frac{\text{Generación con energía por residuos agrícolas}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Fuente del denominador:	Prospectiva Demanda de energía, 2007 página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo. Año horizonte 2020

Ficha 2.4.1	
Nombre del indicador:	Número de MW proyectados
Descripción del indicador:	Mide la capacidad instalada de producción de energía por uso de residuos sólidos en base a proyectos registrados
Fórmula:	$\text{Número de MW proyectados} = \sum \text{capacidad de generación de los proyectos registrados}$
Unidad de medida:	MW
Numerador:	MW
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Observaciones:	

Ficha 2.4.2	
Nombre del indicador:	Proporción de aporte Emisiones GEI
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la meta de emisiones GEI del sector energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh.RU}}{\text{Emisiones GEI de la meta}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Toneladas CO2 totales metas del sector enegia
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo y aporte del sector energía como emisor que es 61.9% según Perfil Climático LEdSLAC2015
Observaciones:	El objetivo es conocer cuanto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía, si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable y por tanto estas emisiones se reducen de todas las de la matriz

Ficha 2.4.3	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción emisiones GEI por unidad de energía generada
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual de la mitigación de las emisiones GEI por energía limpia con respecto a la matriz de energía
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Emisiones para los GWh por RU}}{\text{Emisiones GEI de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Emisiones de CO2 totales del sector energía CO2 en ton
Fuente del numerador:	Estimaciones con datos de Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE y Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 0-19/0-20
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	El objetivo es conocer cuánto reducen las emisiones que se generan con la matriz de energía si se considera que no hay que producir la cantidad de energía que aporta el componente renovable.

Ficha 2.4.4	
Nombre del indicador:	Proporción de energía limpia en base a la matriz de energía
Descripción del indicador:	Mide el grado de participación de la energía en base a residuos urbanos en la matriz energética
Fórmula:	$\text{Proporción energía limpia} = \frac{\text{Generación de energía por residuos urbanos}}{\text{Generación de energía de la matriz}} * 100$
Unidad de medida:	Porcientos
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Fuente del denominador:	Sistema de Información Energético Nacional (SIEN) de la CNE
Observaciones:	

Ficha 2.4.5	
Nombre del indicador:	Proporción cobertura de generación de energía en base uso de residuos urbanos
Descripción del indicador:	Mide la proporción de la cobertura del servicio que este tipo de tecnología podrá servir en función de la demanda de energía
Fórmula:	$\text{Proporción cobertura} = \frac{\text{Generación con energía por residuos urbanos}}{\text{Demanda de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcientos
Numerador:	GWh
Denominador:	GWh
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 0-18
Fuente del denominador:	Prospectiva Demanda de energía, 2007 página 205
Observaciones:	Los valores de generación y demanda de energía deben corresponder al mismo periodo de tiempo. Año horizonte 2010

Ficha 2.5.1	
Nombre del indicador:	Número de hectáreas sembradas por año
Descripción del indicador:	Mide el avance por años de la superficie sembrada para producción de biodiesel
Fórmula:	$\text{Número de hectáreas sembradas por año} = \text{Áreas por sembrar} * N$
Unidad de medida:	Hectáreas
Multiplicando	Hectáreas / año
Multiplicador	Número de años hasta llegar al año horizonte
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, página 2-62
Observaciones:	

Ficha 2.5.2	
Nombre del indicador:	Número de galones anuales producidos de biodiesel
Descripción del indicador:	Permite conocer las cantidades de biodiesel real basado en las hectáreas disponibles
Fórmula:	<i>Número de galones anuales producidos de biodiesel</i>
Unidad de medida:	Galones
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas del subsector fuentes de energía nuevas y renovables (FENR), 2008, páginas 2-64
Observaciones:	Estimado de la fuente para el año horizonte 2015 que es el establecido en el Pen-2015 página 223

Ficha 3.1.1	
Nombre del indicador:	Proporción de ahorros en consumo de energía neta
Descripción del indicador:	Permite valorar el rendimiento de la aplicación de las medidas en base a la disminución del consumo de energía
Fórmula:	$\text{Proporción ahorro de consumo de energía neta} = \frac{\text{Ahorros estimados de energía con URE}}{\text{Consumo de energía}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Ktep
Denominador:	Ktep
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas sobre el uso racional de la energía (URE) en la República Dominicana, 2006, página 35
Fuente del denominador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas sobre el uso racional de la energía (URE) en la República Dominicana, 2006, páginas 19-21 / Estudio Prospectiva de la demanda de energía de República Dominicana, 2008, página 42
Observaciones:	Esto aplica para los cuatros componentes del URE, utilizando el numerador para el que corresponda en cada caso.

Ficha 3.1.2	
Nombre del indicador:	Proporción reducción emisiones GEI
Descripción del indicador:	Proporciona el aporte porcentual en reducción de emisiones GEI para el componente aplicado.
Fórmula:	$\text{Proporción reducción emisiones GEI} = \frac{\text{Ahorro de emisiones GEI}}{\text{Total emisiones meta}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	Toneladas de CO2
Denominador:	Toneladas de CO2
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas sobre el uso racional de la energía (URE) en la República Dominicana, 2006, página 35
Fuente del denominador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas sobre el uso racional de la energía (URE) en la República Dominicana, 2006, página 35
Observaciones:	para el que corresponda en cada caso. Se han sumado para el caso de iluminación y calentadores de agua el componente residencial y comercios y servicios.

Ficha 3.1.3	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción de costos por ahorro neto en divisas
Descripción del indicador:	Mide el impacto de la reducción de consumo de energía en términos económicos
Fórmula:	$\text{Proporción reducción costos por ahorro divisas} = \frac{\text{Ahorro por disminución de consumo de energía}}{\text{Egresos de divisas por importación de derivados de petróleo}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	US\$
Denominador:	US\$
Fuente del numerador:	Pen-2015, página 155
Fuente del denominador:	Pen-2015, página 156
Observaciones:	

Ficha 3.1.4	
Nombre del indicador:	Proporción de reducción de costos por bonos de carbono
Descripción del indicador:	Permite identificar el aporte de reducción de costos al aplicar los certificados de bonos de carbono, respecto a los egresos de divisas por importación de derivados de petróleo
Fórmula:	$\text{Proporción reducción costos por bonos de carbono} = \frac{\text{Costos generados por bonos de carbono}}{\text{Egresos de divisas por importación de derivados de petróleo}} * 100$
Unidad de medida:	Porcentual
Numerador:	toneladas de CO2
Denominador:	toneladas de CO2
Fuente del numerador:	Diagnóstico y definición de líneas estratégicas sobre el uso racional de la energía (URE) en la República Dominicana, 2006, página 35
Fuente del denominador:	Pen-2015, página 156
Observaciones:	Se utilizaron los datos de reducción de emisiones de la fuente citada y de esta se calculó en base al precio del bono de carbono de 15 US\$/ ton de CO2, para el numerador

11. ANEXO 2

DATOS DE EMISIONES DE GASES



Departamento de Planificación Energética
Sistema de Información Energética Nacional

Tabla Nº 1
Emisiones de CO2 por fuentes del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SEN), 2000-2018
(Cifras expresadas en Gg CO2)

Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,00	0,00	0,00	478,24	274,71	379,53	622,43	892,89	915,54	896,58	1.420,43	1.506,57	1.279,78	1.796,92	1.762,73	1.791,68	1.685,37	1.976,60	1.952,75
Carbón mineral	0,00	207,29	656,61	1.411,20	1.402,56	1.514,82	1.833,79	2.026,48	2.182,94	2.188,73	2.024,63	2.156,58	2.422,37	2.382,69	2.737,40	2.615,73	2.681,11	2.834,46	2.693,46
Bastos de Caña	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	127,74	211,04
Diesel	3.122,49	1.910,92	1.991,70	1.220,81	1.119,70	782,40	648,71	476,13	809,21	658,90	460,89	866,67	699,77	909,91	516,32	726,90	786,62	404,81	972,43
Fuel Oil	3.556,46	4.775,71	4.797,42	3.792,23	2.524,84	3.129,54	3.126,43	3.099,85	3.177,01	2.881,60	3.046,29	2.803,45	2.683,71	2.444,05	2.745,60	3.379,57	3.466,01	2.601,34	3.696,61
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Viento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	6.700,95	8.883,92	7.429,74	4.692,48	3.231,82	3.706,98	4.632,24	4.633,33	7.684,90	6.703,91	6.942,24	7.421,22	7.333,63	7.333,63	7.782,06	8.514,41	8.103,91	7.844,96	8.124,69

Nota: En el SEN no se ha generado en base a Residuos Forestales, Residuos Agropecuarios o Gas Licuado de Petróleo.
Cálculo en base a la metodología del Panel Interministerial de Cambio Climático y el Manual de Estadísticas Energéticas 2017, Organización Latinoamericana de Energía (OLAEE).

Fuente: Sistema de Información Energética Nacional, 2021

Tabla Nº 2
Generación de electricidad del SEN por fuente energética, 2000 - 2018
(Cifras expresadas en GWh)

Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,00	0,00	0,00	679,49	738,61	1.113,03	1.721,28	2.322,35	2.451,61	2.258,86	3.172,61	3.405,82	3.232,63	4.496,12	4.225,40	4.226,44	3.770,73	5.434,43	4.669,86
Carbón mineral	0,00	144,97	591,69	1.348,89	1.291,62	1.423,80	1.936,13	2.070,30	2.042,65	1.933,49	1.853,02	1.998,99	2.124,08	2.144,62	2.424,85	2.312,92	2.359,27	2.407,13	2.284,73
Bastos de Caña	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,86	191,83
Diesel	3.122,49	1.910,92	1.991,70	1.220,81	1.119,70	782,40	648,71	476,13	809,21	658,90	460,89	866,67	699,77	909,91	516,32	726,90	786,62	404,81	972,43
Fuel Oil	4.025,09	6.087,27	6.424,71	5.293,33	3.772,87	4.596,32	4.461,52	4.426,88	4.303,71	5.009,91	4.118,89	4.261,88	5.206,40	4.843,27	5.476,33	6.729,64	6.108,20	4.182,02	5.720,01
Agua	933,65	738,12	972,83	1.272,69	1.581,58	1.996,41	1.663,11	1.663,11	1.382,46	1.651,14	1.416,08	1.513,38	1.702,89	1.871,78	1.268,86	939,88	1.513,04	2.190,08	1.772,82
Sol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Viento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	9.701,14	9.793,36	10.978,36	10.972,09	9.004,46	10.183,27	11.682,72	11.515,48	11.897,75	11.440,37	12.462,55	12.979,59	13.889,96	14.372,76	14.026,48	14.927,25	15.446,92	16.844,52	16.297,38

Nota: En el SEN no se ha generado en base a Residuos Forestales, Residuos Agropecuarios o Gas Licuado de Petróleo.
Fuente: Sistema de Información Energética Nacional, 2021

Tabla Nº 3
Relación de Emisiones de CO2 por GWh, 2000-2018
(Cifras expresadas en Gg CO2/GWh)

Combustible	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gas Natural	0,00	0,00	0,00	0,71	0,37	0,34	0,36	0,38	0,37	0,40	0,42	0,44	0,39	0,41	0,42	0,42	0,46	0,39	0,42
Carbón mineral	0,00	14,75	33,65	17,45	16,05	16,05	19,05	19,05	18,05	17,05	16,05	16,05	17,05	17,05	19,05	18,05	17,05	18,05	17,05
Bastos de Caña	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	1,39
Diesel	0,46	0,48	0,72	0,47	0,48	0,46	0,47	0,44	0,48	0,46	0,46	0,49	0,46	0,44	0,54	0,58	0,57	0,37	0,54
Fuel Oil	0,88	0,79	0,74	0,52	0,47	0,48	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,41	0,51	0,55	0,50	0,59	0,57	0,37	0,45
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Viento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,69	0,70	0,69	0,56	0,39	0,37	0,36	0,36	0,36	0,38	0,38	0,37	0,34	0,31	0,35	0,38	0,36	0,39	0,36

Nota: En el SEN no se ha generado en base a Residuos Forestales, Residuos Agropecuarios o Gas Licuado de Petróleo.
Fuente: Sistema de Información Energética Nacional, 2021

12. ANEXO 3

CUESTIONARIO PARA SUPUESTOS DEL PEN-2015 RESPUESTAS DE EXPERTOS

SUPUESTOS DEL PLAN NACIONAL ENERGÉTICO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA 2004-2015

El cuestionario está elaborado en base a las alternativas planteadas en el escenario I o alto del PEN 2004-2015. El mismo consta de una pequeña descripción de las alternativas y de la meta que se plantea lograr con la implementación de la alternativa.

Lo que se requiere es conocer en función de los datos existentes y la experiencia del experto que completa el cuestionario, el valor **más probable** que se pudiera lograr para cada una de las alternativas. Así como el **valor máximo y mínimo** que considera el experto puede lograrse. Las unidades de las respuestas deben coincidir con las unidades de la meta, ejemplo, si la meta es incrementar la capacidad instalada en MW, la respuesta debe indicar cuales son los MW más probables, así como los valores mínimos y máximos logrables según el criterio del experto.

Cualquier aclaración, necesidad de información o inquietud pueden escribir a Lidibert González al correo Lidibert_g@hotmail.com o al celular 809-848-6346.

Agradecemos de antemano toda su colaboración.

Por favor completar estas informaciones personales antes de iniciar el completado del cuestionario:

Nombre y apellido: _____

Profesión / Especialidad: _____

Institución o empresa donde trabaja: _____

Posición o cargo en la institución o empresa: _____

Número de teléfono de contacto: _____

1- Subsector energía eléctrica

Alternativa 1.1 Incrementar la producción energía en base a carbón mineral

Plantea abastecer las centrales térmicas con carbón mineral, considerando que para el 2004-2010 habrá aumento un 41% la producción con carbón y un 19% más para el 2011 al 2015. Tomando como escenario base el año 2000, no existía producción de energía en base a carbón. La proyección de la cantidad de MW a ser instalados se prevé el siguiente plan indicativo:

2004-2010	2011-2015	Total
1030	868	1898

Plan indicativo de expansión base a carbón mineral (en MW)
Fuente: (CNE-RD, 2004)

La meta planteada es que el sistema energético tendrá una matriz en base a carbón mineral del 60%.

1. Qué tan loguable es esta alternativa, indique por favor cual es el ***% más probable*** que usted como técnico considera de este supuesto que se puede lograr.
2. Qué valor ***mínimo y máximo del %*** le daría usted a los supuestos de esta alternativa.
Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

1.2 Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas natural

Plantea abastecer las centrales térmicas con en base a ciclos combinados, considerando que para el 2004-2010 habrá aumento un 20% la producción con carbón y un 40% más para el 2011 al 2015. La proyección de la cantidad de MW a ser instalados se prevé el siguiente plan indicativo:

2004-2010	2011-2015	Total
1005	868	1873

Plan indicativo de expansión en base a ciclos combinados a gas natural (en MW)
Fuente: (CNE-RD, 2004)

La meta planteada es que el sistema energético tendrá una matriz en base a gas naturales del 60%.

4. Qué tan logable es esta alternativa, indique por favor cual es el **% más probable** que usted como técnico considera de este supuesto que se puede lograr. _____
5. Qué valor **mínimo y máximo del %** le daría usted a los supuestos de esta alternativa.
Mínimo _____ Máximo _____
6. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

2- Sector energía renovable

Se persigue lograr cuatro objetivos con la aplicación de las líneas estratégicas para la energía renovable, estos son:

- 1) Reducir el costo de la energía
- 2) Incrementar la oferta de energía doméstica
- 3) Incrementar la eficiencia energética
- 4) Construir una infraestructura energética más segura y confiable

2.1 Aumentar la producción de energía eólica

Se han considerado la instalación de 410 MW (ver tabla 5.3) en parques eólicos, estimando una generación de 1, 628.59 MW/ año. La meta planteada en el PEN-2015 es de 500MW de capacidad instalada.

Proyectos del Plan de Expansión al 2012	Capacidad (MW)
Parque Eólico de Juancho	100
Parque Eólico de Enriquillo	25
Parque Eólico de Matanzas	60
Parque Eólico Las Calderas	50
Parque Eólico de Cabo Engaño	8.25
Parque Eólico de Guzmancitos	100
Parque Eólico de Maimón	25.5
Parque Eólico Los Granadillos	50
Total	418.75

Proyectos eólicos contemplados en el Plan de Expansión
Fuente: (Rodríguez, 2008)

La meta es aumentar la capacidad instala a 500MW.

- 1) Qué tan logable es esta alternativa, indique por favor cual es el valor en MW más probable que usted como técnico considera puede lograrse de este supuesto.

- 2) Qué valor mínimo y máximo en MW que considera usted se pueden alcanzar con esta alternativa. Mínimo _____ Máximo _____
- 3) Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

2.2 Incrementar el uso de etanol

La meta a mediano plazo (año 2012) es pasar de la superficie actual cultivada de 125.000 Ha a 255.000 Ha, cifra alcanzada en el año 1982, y una capacidad de molienda de cerca de 25.000.000 TM anuales. El reto a continuación, definido para el escenario alto, es incrementar la superficie sembrada para aumentar los excedentes exportables. Desde el punto de vista de disponibilidad de tierras, es posible adicionar 60.000 Ha anuales, con una meta de llegar a cerca de 700.000 Ha dedicadas a la producción de etanol. El área nueva cultivada de caña de azúcar produciría 12.668 kBBL /año, equivalente a 5.518 Klts/día de etanol, lo cual genera excedentes exportables muy importantes. Para el escenario alto se requeriría una capacidad adicional de 4.500.000 litros/día (1.188.900 gl/día) para ser desarrollada en el período 2012-2020. En la siguiente tabla se plantean las estimaciones de producción de etanol para las metas del 2012 y 2020 tanto en el incremento de las áreas de cultivo como en la producción de etanol en galones/ año.

	Meta 2012					Meta 2020		
	Sembrada	Potencial	Nuevos Cultivos	Demanda E10	Excedente Exportable	Nuevos Cultivos	Demanda E10	Excedente Exportable
Hectáreas	125.073	255.008	129.935			700.000		
Caña Azúcar (ton)	4.796.550	9.779.557	4.983.007			26.845.000		
Etanol (bbl/año)			2.351.505	967.000	1.384.505	12.668.283	1.250.000	11.418.283
Etanol (litros/día)			1.024.161	421.162	602.999	5.517.471	544.418	4.973.053
Ton. Caña/Ha	38,35							
bbl/Ton	0,4719							

La meta para el incremento del área de cultivo está fija en 700,000 hectáreas para el año 2020.

- 1) Indiqué por favor cual es el valor en hectáreas más probable que puede incrementarse el área de cultivo a nivel nacional, que usted como técnico considera de este supuesto. _____
- 2) Qué valor mínimo y máximo en hectáreas puede incrementarse el área de cultivo a nivel nacional para esta alternativa.
Mínimo _____ Máximo _____
- 3) Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

La meta para la producción anual de etanol está fija en 45 millones de galones/ año para el año 2012.

1. Indique por favor cual es el valor en **millones de galones / año más probable, que** usted como técnico entiende puede producirse. _____
2. Qué **valor mínimo y máximo en millones de galones/ año** que puede producirse de etanol en el país. Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores

2.3 Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales

En el PEN 2004-2015, para evaluar el potencial de desechos agropecuarios como fuente alternativa de biomasa se han considerado tres desechos: tallos de plátano, cascarilla y follaje de arroz, y estiércol de porcinos y vacunos. El potencial de material se ha estimado en base a estimados de producción de plátano y arroz, y de población porcina y vacuna, y empleando índices de material orgánico para cada desecho.

En el caso de los tallos de plátano, su producción anual fue estimada en 750.000 t/año y localizada principalmente en el Cibao Central. Estos tallos se emplearían para la producción de biogás, aunque no se mencionan experiencias de biodigestores con este material.

Para el caso de los desechos de la producción de arroz, se tienen dos fuentes de biomasa: la cáscara del arroz (o cascarilla de arroz) y el follaje de la planta. La cáscara de arroz se suele emplear para el secado del arroz mismo y los excedentes tienen diversas aplicaciones en la industria agrícola y avícola. El follaje de arroz se estimó en el 2003 en 105.000 t/año, calculadas a partir de la producción de arroz blanco de 67,733 t/año y 1.5 kg de follaje/kg de arroz. Esta cifra de producción de arroz blanco es muy inferior a la reportada de 645,000 t/año 200555 y daría lugar a un follaje de arroz disponible de aproximadamente 967.000 toneladas de follaje para el 2005.

El estiércol de animales es una fuente importante de material para la producción de biogás. Para la producción de biogás en el sector rural se suele emplear estiércol de porcinos y vacunos, como los más importantes. El potencial máximo posible de estiércol y su valoración energética se suele estimar a partir de la población animal y empleando indicadores, se estima el potencial energético. En el PEN, el potencial de materia orgánica en el estiércol de cerdos y vacunos se estimó en 86,651 y 1, 993,134 kg/día, respectivamente, a partir de poblaciones de 514,400 cerdos y 1, 456,726 vacunos empleando información del Censo Agropecuario de 1998.

En cuanto al potencial de biogás en el PEN-2015 se ha estimado a partir de la producción anual de residuos de pseudo-tallos de plátano, follajes de arroz, estiércol de cerdos y vacunos, en un total de 1.230.000 m³/día, sin considerar el biogás de los desechos sólidos de las principales ciudades del país.

El PEN plantea una meta de producción de energía en base a esta alternativa de una capacidad instalada 50 MW para el 2015.

1. Qué tan logable es esta alternativa, indique por favor cual es el valor en MW más probable que usted como técnico considera de este supuesto.

2. Qué valor mínimo y máximo de MW le daría usted a los supuestos de esta alternativa. Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

2.4 Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos

La información provista por el PEN-2015 en relación con los desechos urbanos se refiere a las ciudades de Santo Domingo y Santiago de Los Caballeros, las dos mayores del país. Los desechos urbanos de Santo Domingo son principalmente materiales orgánicos (alimentos y desechos de jardín) 79.7% en peso, materiales reciclables 2.6% en peso, materiales combustibles 13.3% en peso y otros materiales 3.2% en peso.

Según la Gerencia de Operaciones del relleno sanitario de Duquesa la recepción de residuos es un promedio de 3140 t/día (periodo agosto 2002 a julio 2003). De acuerdo a la composición anterior, entonces en ese periodo el aporte diario era de 420 t/día de materiales combustibles y 2502 t/día de material orgánico. Mientras que los primeros pueden quemarse, los segundos pueden degradarse en procesos de digestión anaeróbica para la producción de biogás de relleno sanitario.

La cantidad de desechos recibidos en Santiago de los Caballeros se estimó a 2003 entre 855 y 1077 t/día, de los cuales se supuso que un 70% en peso corresponde a material orgánico biodegradable y, por tanto, se tendrían entre 500 y 750 t/día de material orgánico biodegradable.

La meta planteada de producción de energía es una capacidad instalada de 60 MW para el 2015.

1. Qué tan logable es esta alternativa, indique por favor cual es el valor en MW más probable que usted como técnico considera de este supuesto. _____

2. Qué valor mínimo y máximo de MW le daría usted a los supuestos de esta alternativa. Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

2.5 Incrementar el uso del biodiesel

Respecto al Biodiesel, la meta a mediano plazo (año 2012) es pasar de la superficie actual cultivada de palma de cerca de 13.000 Ha (7.000 entre dos empresas: INDUSPALMA e INASCA) a 45.000 Ha. Esto daría unas 32.000 Ha para iniciar el programa de biodiesel, con una producción aproximada de 913 Kbbbl/año, suficiente para cubrir la demanda de B5 y generar excedentes exportables. El reto a continuación, definido para el escenario alto, es incrementar la superficie sembrada para aumentar los excedentes exportables.

Desde el punto de vista de disponibilidad de tierras, es posible adicionar 73.000 Ha a partir de 2012, con una meta de llegar a cerca de 105.000 Ha dedicadas a la producción de biodiesel. Dado que la palma requiere 5 años de crecimiento para iniciar producción, estos nuevos cultivos se tendrán que sembrar en el período 2012-2015, para empezar a estar en producción a partir de 2017. La nueva área cultivada de palma produciría 3.013 Kbbbl/año, lo cual genera excedentes exportables muy importantes.

La mezcla B5 plantea la necesidad de iniciar el programa con una capacidad de 47.000 ton/año (38.000 gl/día). Para el año 2015, deberá incrementarse la capacidad a 59.000 ton/año (48.000 gl/día). Para el año 2020, deberá incrementarse la capacidad a 73.000 ton/año (60.000 gl/día) en (pp 2-16). De acuerdo con los escenarios de demanda del PEN 2004-2015, la sustitución puede alcanzar, en orden de magnitud, 750 Kbbbl/año en 2010 hasta 1.100 kbbbl/año en 2020. A continuación, se presenta una estimación para esta alternativa en base a incrementar las áreas de producción y producción de biodiesel para los años 2012 y 2020.

	Meta 2012				Meta 2020			
	Sembrada	Potencial	Nuevos Cultivos	Demanda B5	Excedente Exportable	Nuevos Cultivos	Demanda B5	Excedente Exportable
Hectáreas	13.188	45.000	31.812			105.000		
Aceite (Ton)		180.900	127.884			422.100		
Biodiesel (bbl)		1.291.194	912.788	367.000	545.788	3.012.786	520.000	2.492.786
Ton. aceite/Ha	4,02							
bbl/Ton	7,138							

Para la meta de incrementar el área de cultivos para aumentar los excedentes exportables, considerada en 105,00 hectáreas para el año 2015.

1. Indiqué por favor cual es el valor en hectáreas más probable que puede incrementarse el área de cultivo a nivel nacional, que usted como técnico considera de este supuesto. _____
2. Qué valor mínimo y máximo en hectáreas que puede incrementarse el área de cultivo a nivel nacional para esta alternativa. Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores.

Para la meta establecida en cuanto a producción de biodiesel es de 25 millones de galones al 2015:

1. Indique por favor cual es el valor en millones de galones más probable, que usted como técnico entiende puede producirse de biodiesel. _____
2. Qué valor mínimo y máximo millones de galones se puede producir de biodiesel en el país. Mínimo _____ Máximo _____
3. Justifique breve y técnicamente sus respuestas anteriores

3- Uso racional de la energía

Incrementar el uso racional de la energía

En términos de energía neta, las proyecciones a partir de datos de 2001 llevan a que en el año 2015 el consumo total será de 8,233.9 KTep en el escenario I y 6,175.8 KTep en el escenario II. Esto representa una diferencia de 2,058 KTep entre ambos escenarios (es decir, un potencial de ahorro de 33%). Igualmente, representa tasas anuales de crecimiento promedio de 3.6% para el escenario tendencial y de 1.50% para el que incluye acciones del Estado.

Tomando valores de 2005 (donde el consumo total final de energía— incluido el consumo no energético—fue de 5,265 KTep) y considerando las tasas establecidas, el consumo total para 2015 sería de 7,769 KTep para el escenario I, siendo 6% menor al estimado, y 6,202 KTep para el que incluye acciones del Estado o escenario II valor.

Las metas en esta alternativa se muestran en la tabla siguiente:

DESCRIPCIÓN DE LA META	VALOR	UNIDAD	AÑO
Alternativa 3			
3.1 Incrementar el uso racional de la energía			
<i>Urbano; Hoteles; Restaurantes y Resto de Comercial, Servicios y Público</i>			
Cocción	2	%	2015
Calentamiento de agua	2	%	2015
Iluminación	5	%	2015
B) Residencial rural			
Cocción con leña	12.5	%	2020
c) Sectores industriales y otros sectores			
Calor del proceso	2	%	2015
d) Sector transporte			
Motor Otto	4	%	2015
Motor Diesel	3	%	2015
Turbinas	3	%	2015

Para cada una de las metas por favor indicar en la tabla siguiente cual sería el porcentaje **más probable** lograble y los valores porcentuales **máximos y mínimos** que usted considera serían posibles, así como una breve justificación técnica de sus respuestas.

A) SECTOR RESIDENCIAL URBANO; HOTELES; RESTAURANTES Y RESTO DE COMERCIAL, SERVICIOS Y PÚBLICO				
	Uso	Valor más probable (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
28	Cocción	1%	1%	2%
29	Calentamiento de agua	1%	1%	2%
30	Iluminación	5%	3%	5%

Justificación técnica: Aun no existe una ley de eficiencia, aunque las empresas están mejorando e invirtiendo en mejoras de eficiencia de iluminación. La reducción precios contribuye a esta medida.

B) RESIDENCIAL RURAL				
	Uso	Valor más probable (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
31	Cocción con leña	5%	2%	10%

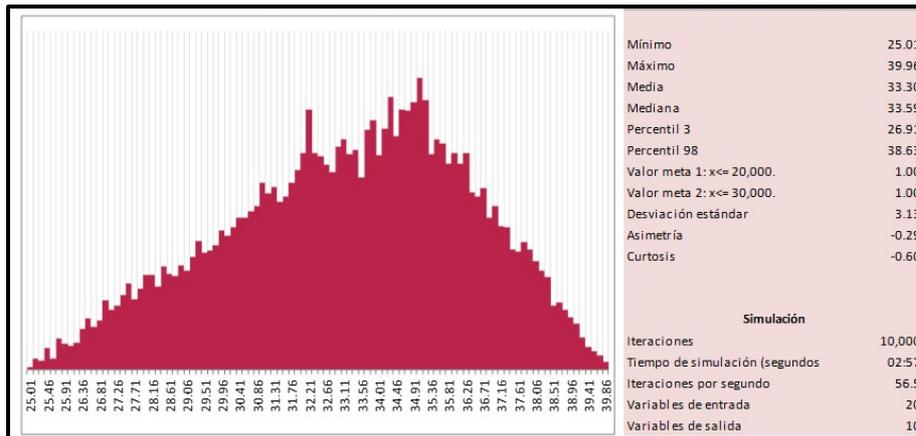
C) SECTORES INDUSTRIALES Y OTROS SECTORES				
	Uso	Valor más probable (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
32	Calor del proceso	1%	1%	2%

D) SECTOR TRANSPORTE				
	Uso	Valor más probable (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
33	Motor Otto	1%	1%	2%
34	Motor Diesel	1%	1%	3%
35	Turbinas	2%	1%	2%

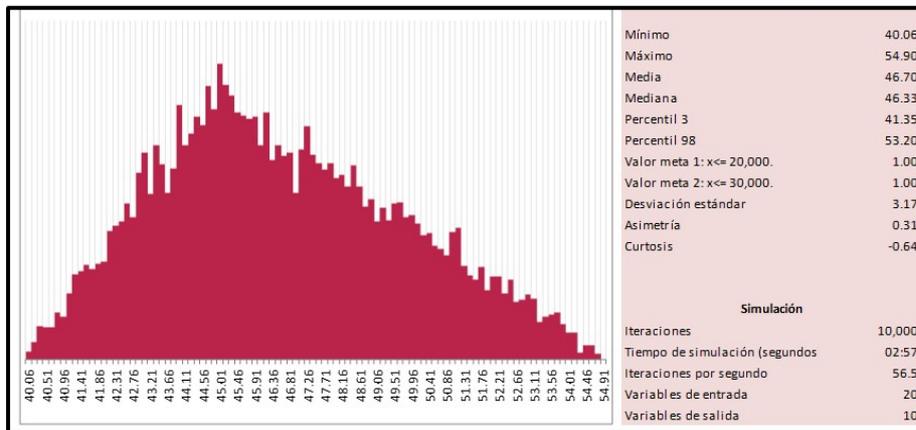
13. ANEXO 4

SALIDAS DE SIMULACIONES MONTECARLO PARA SUPUESTOS DEL PEN-2015

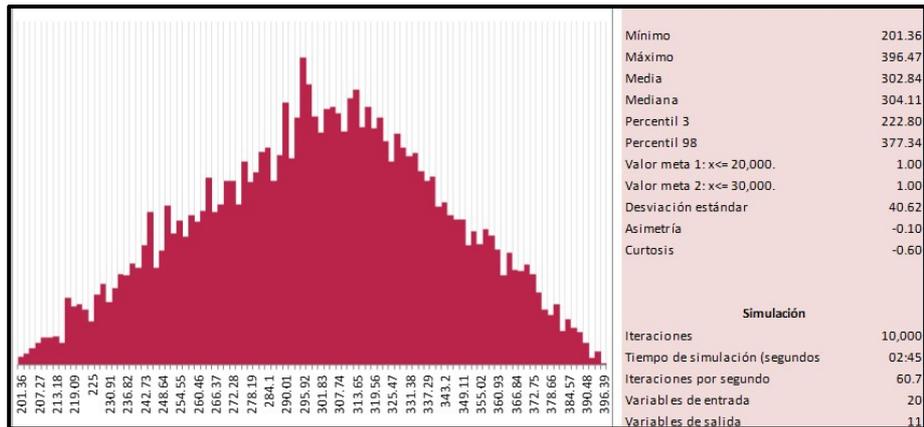
1. Supuesto Alternativa 1.1 - Incrementar la producción energía en base a carbón mineral



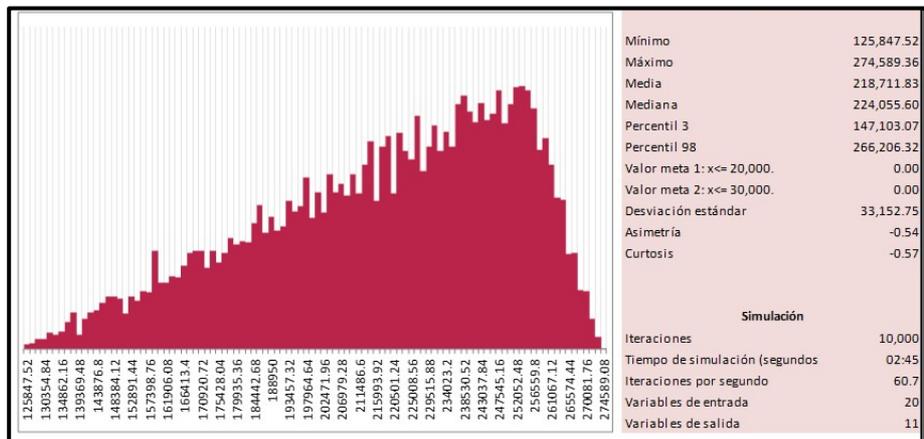
2. Supuesto Alternativa 1.2 - Incrementar la producción energía en base a ciclos combinados a gas



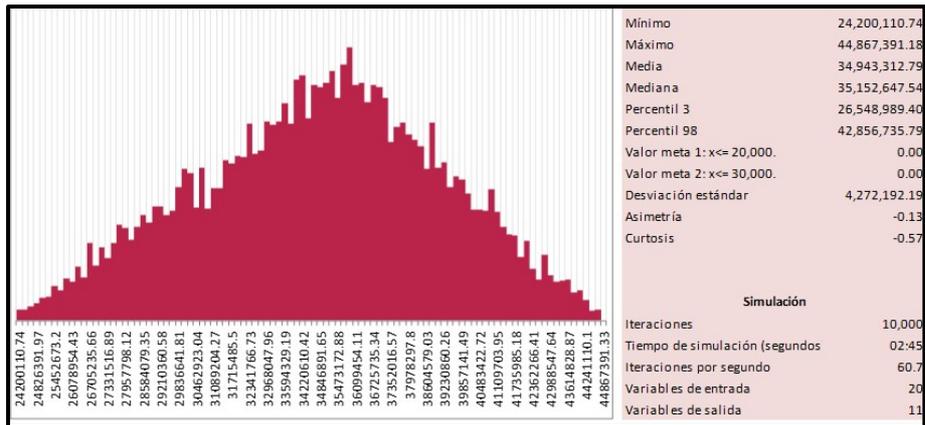
3. Supuesto Alternativa 2.1 - Aumentar la producción de energía eólica



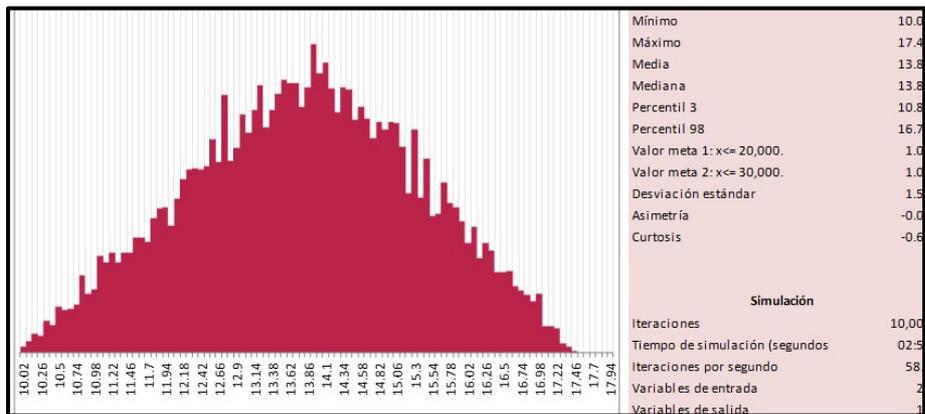
4. Supuesto Alternativa 2.2 A - Incrementar el uso de etanol - Hectáreas.



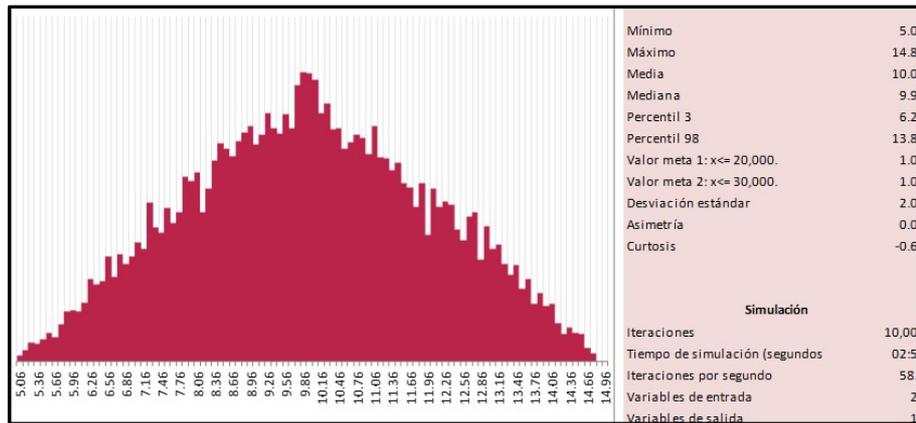
5. Supuesto Alternativa 2.2 B - Incrementar el uso de etanol
- Millones de galones / año



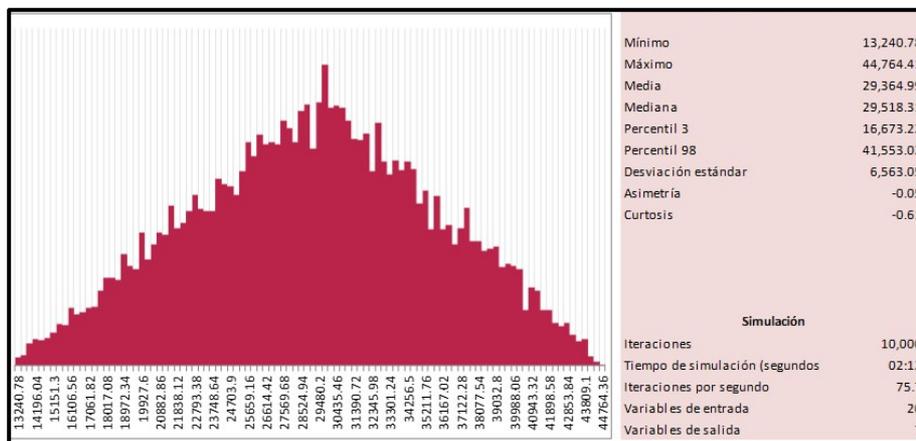
6. Supuesto Alternativa 2.3- Incrementar el uso de residuos agrícolas y animales



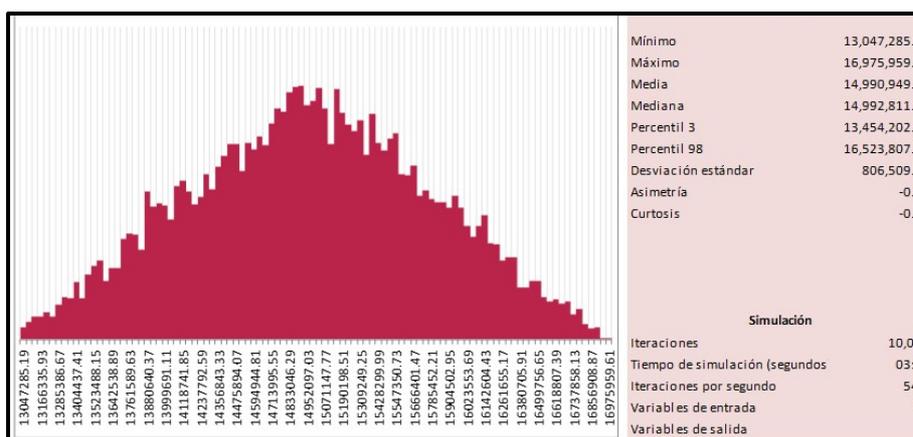
7. Supuesto Alternativa 2.4 - Incrementar el uso de residuos sólidos urbanos



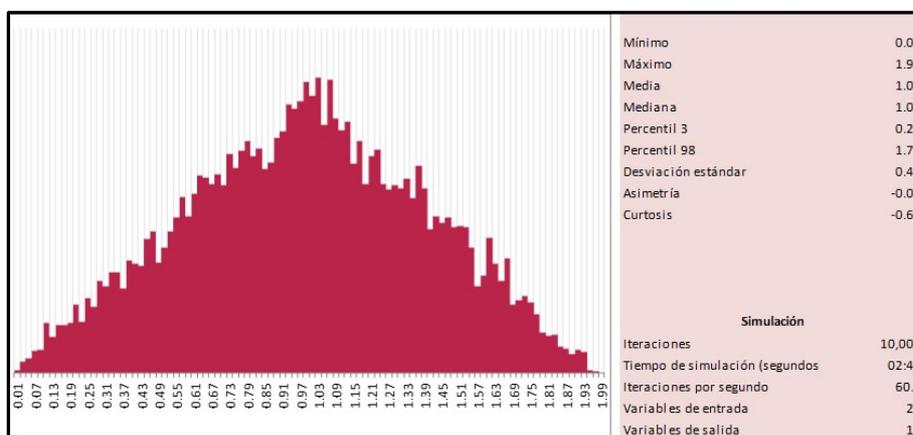
8. Supuesto Alternativa 2.5 A- Incrementar el uso del bio-diesel- Hectáreas



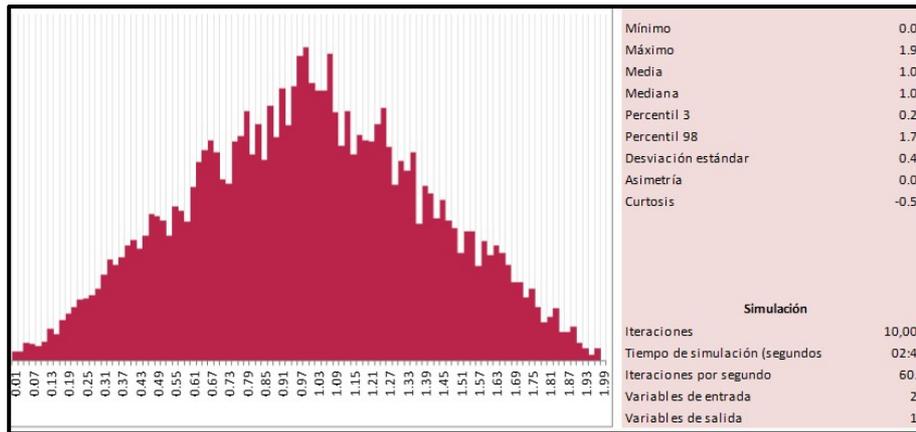
9. Supuesto Alternativa 2.5 B - Incrementar el uso del bio-diesel- Millones de galones



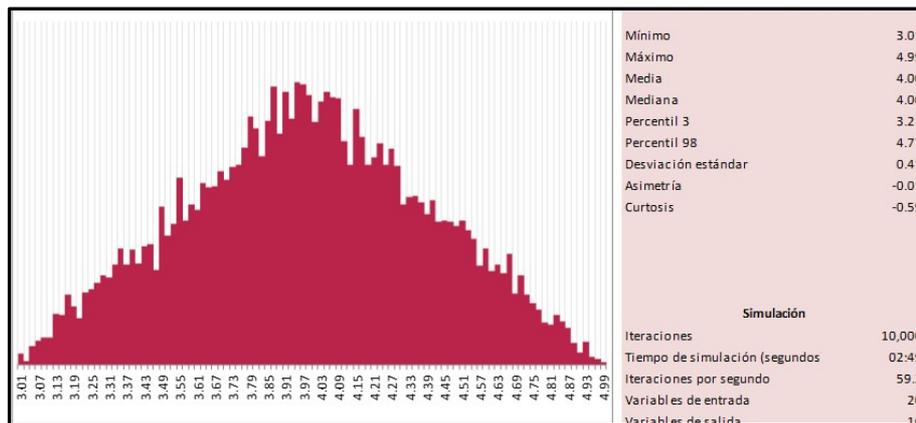
10. Supuesto Alternativa 3.1 A -1 - Incrementar el uso racional de la energía – Cocción



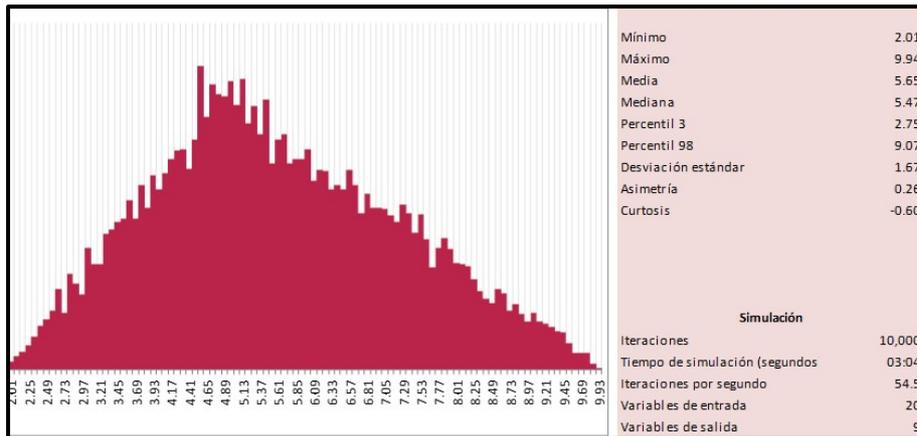
11. Supuesto Alternativa 3.1 A -2 - Incrementar el uso racional de la energía – Calentamiento



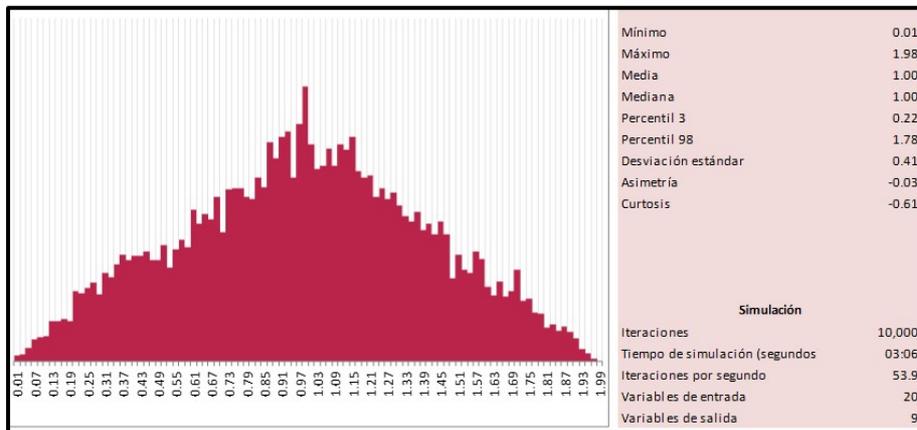
12. Supuesto Alternativa 3.1 A -3 - Incrementar el uso racional de la energía – Iluminación



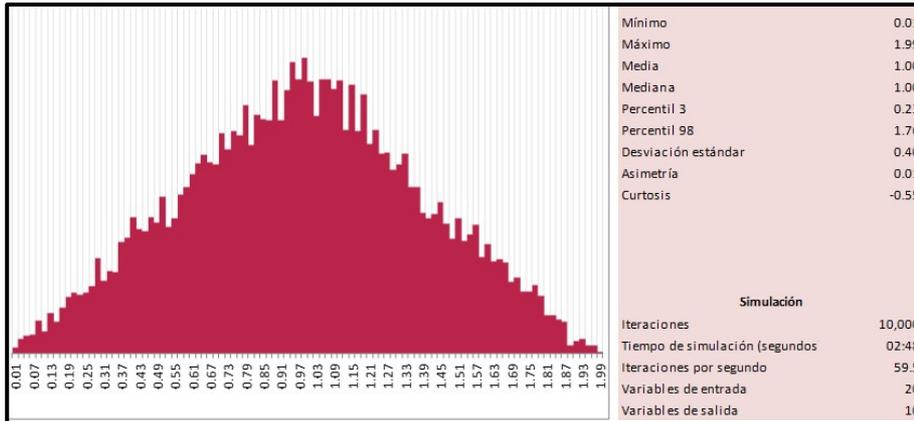
13. Supuesto Alternativa 3.1 B - Incrementar el uso racional de la energía – Cocción con leña



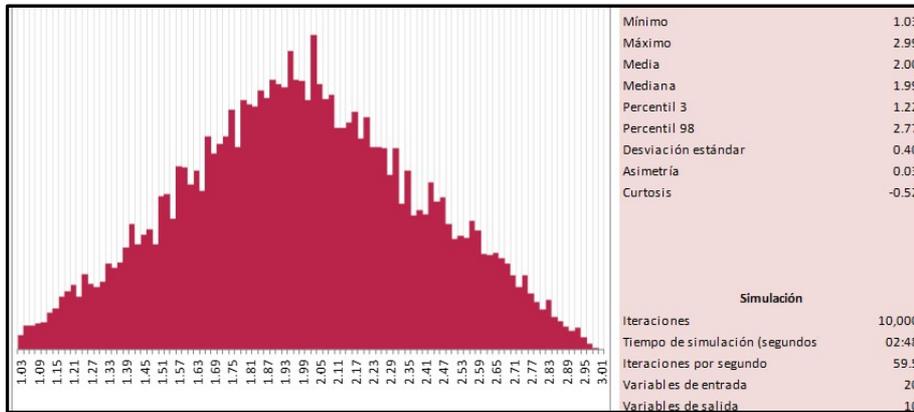
14. Supuesto Alternativa 3.1 C - Incrementar el uso racional de la energía – Proceso de calor en industrias



15. Supuesto Alternativa 3.1 D -1 - Incrementar el uso racional de la energía – Transporte motor Otto



16. Supuesto Alternativa 3.1 D -2 - Incrementar el uso racional de la energía – Transporte motor Diesel



17. Supuesto Alternativa 3.1 D-3 - Incrementar el uso racional de la energía – Transporte Turbinas

