

1-1-2000

Propuesta metodológica para la elaboración de indicadores ambientales de impacto para el subsector termoeléctrico colombiano

Ninfa Rincon Grecco
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Rincon Grecco, N. (2000). Propuesta metodológica para la elaboración de indicadores ambientales de impacto para el subsector termoeléctrico colombiano. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1379

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE INDICADORES
AMBIENTALES DE IMPACTO PARA EL SUBSECTOR TERMOELÉCTRICO
COLOMBIANO**

NINFA RINCON GRECCO

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIVERSIDAD DE LA SALLE
2000**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

1.	ANTECEDENTES	7
2.	JUSTIFICACION	11
3.	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GENERAL	12
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
4.	METODOLOGIA	14
5.	ACTIVIDADES	16
6.	MARCO TEORICO	18
6.1	DEFINICIONES	18
6.1.1	INDICADORES AMBIENTALES	18
6.1.2	INDICE AMBIENTAL	19
6.1.3	SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES	19
6.1.4	INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL	22
6.2	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS INDICADORES	22
6.2.1	VALIDEZ CIENTIFICA	23
6.2.2	REPRESENTATIVIDAD	23
6.2.3	SENSIBILIDAD A CAMBIOS	23
6.2.4	CONFIABILIDAD Y CALIDAD DE DATOS	23
6.2.5	RELEVANCIA	23
6.2.6	CLARIDAD	23
6.2.7	PREDICTIVO	23
6.2.8	METAS	24
6.2.9	COMPARABILIDAD	24
6.2.10	COBERTURA GEOGRAFICA	24
6.2.11	COSTO-EFICIENTE	24
6.3	METODOLOGIA DE ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES	24
6.3.1	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	24
6.3.2	ESTRUCTURA ANALÍTICA DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE TEMAS	24
6.3.3	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	25
6.3.4	PROPUESTA DE INDICADORES	26
6.3.5	DESARROLLO DE UN CONJUNTO DE INDICADORES Y REVISIÓN PÚBLICA	26
6.3.6	REVISIÓN FINAL Y PRODUCCIÓN	26
6.4	METODOLOGÍAS EXISTENTES	27

6.4.1	METODOLOGÍA DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA, UPME.	27
6.4.2	METODOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - UNIDAD DE POLÍTICA AMBIENTAL	51
6.4.3	METODOLOGÍA DE CANADA	54
6.4.4	METODOLOGÍA DE HOLANDA	58
6.4.5	METODOLOGÍA DE NORUEGA	61
6.4.6	METODOLOGÍA DE SUECIA	62
6.4.7	METODOLOGÍA DE LA COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA DE NACIONES UNIDAS, CEPE	64
6.4.8	METODOLOGÍA DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO, OCDE	65
6.4.9	METODOLOGÍA DE LA UNIÓN EUROPEA	68
6.5	INDICADORES PARA INTEGRACIÓN DE CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN LAS POLÍTICAS SECTORIALES	65
6.5.1	INDICADORES PARA EL SECTOR ELÉCTRICO	72
7.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COLOMBIANO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN TERMOELÉCTRICAS	75
7.1	ASPECTOS TECNOLÓGICOS	75
7.2	ASPECTOS AMBIENTALES	78
7.2.1	EMISIONES ATMOSFÉRICAS	78
7.2.2	RESIDUOS LÍQUIDOS	79
7.2.3	RESIDUOS SÓLIDOS	81
7.3	ASPECTOS LEGALES	82
7.3.1	MARCO LEGAL AMBIENTAL	82
7.3.1.1	Legislación sobre ruido	82
7.3.1.2	Legislación sobre residuos sólidos	82
7.3.1.3	Legislación sobre agua	83
7.3.1.4	Legislación sobre aire	83
7.4	EFICIENCIA TÉRMICA	83
7.5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN TERMOELÉCTRICAS	86
7.6	RESUMEN DE IMPACTOS POR GENERACIÓN DE ENERGÍA EN TERMOELÉCTRICAS	86
8.	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SUBSECTOR TERMOELÉCTRICO	88
8.1	COMPONENTE SUELO	88
8.1.1	ESTABILIDAD DE LA ZONA DEL PROYECTO	88
8.1.2	INDICADOR DE EROSIÓN	89

8.1.3	CAMBIO EN EL USO DEL SUELO	90
8.1.4	PERDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL	91
8.2	COMPONENTE AIRE	93
8.2.1	EMISION DE PARTICULAS	93
8.2.2	INDICADOR DE CALIDAD DEL AIRE	94
8.2.3	INDICADOR DE RUIDO	95
8.2.3.1	Tipo de zona receptora	95
8.2.3.2	Densidad poblacional cercana al área activa de la planta	96
8.2.3.3	Generación de ruido	97
8.2.3.4	Tiempo de exposición a la emisión	97
8.3	COMPONENTE AGUA	99
8.3.1	INDICADOR DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS I _{VER-ARD}	99
8.3.2	INDICADOR DE VERTIMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES I _{VERT-ARI}	101
8.3.3	CONSUMO DE AGUA	102
8.4	COMPONENTE BIOTICO	104
8.4.1	ALTERACION DE ECOSISTEMAS NATURALES	104
8.4.2	ALTERACION DEL PAISAJE	106
8.5	COMPONENTE SOCIO-ECONOMICO	108
8.5.1	NIVEL DE EMPLEO	108
8.5.2	INCREMENTO DE LA POBLACION	109
8.5.3	INDICADOR DE NECESIDADES BASICAS INSATISFECHAS	110
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFIA	114
	ANEXOS	116

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	ESQUEMA DE PRESENTACIÓN DE INDICADORES
TABLA 2	RESUMEN DE INDICADORES SOCIOBIOFÍSICOS. METODOLOGIA UPME
TABLA 3	CONTENIDO DE LAS HOJAS METODOLÓGICAS - UPA ORGANIZACIÓN DE INDICADORES EN COMPONENTES FUNDAMENTALES
TABLA 4	ORGANIZACIÓN TEMÁTICA DE LA METODOLOGÍA CANADIENSE DE INDICADORES
TABLA 5	CLASIFICACIÓN DE INDICADORES EN LA METODOLOGÍA HOLANDESA
TABLA 6	ELABORACIÓN DE CADA TIPO DE INDICADOR. METODOLOGÍA HOLANDESA
TABLA 7	CLASIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE ÍNDICES. METODOLOGÍA HOLANDESA
TABLA 8	ORGANIZACIÓN TEMÁTICA DE INDICADORES. SUECIA
TABLA 9	INDICADORES AMBIENTALES DE LA CEPE
TABLA 10	INDICADORES PROPUESTOS POR LA OCDE SEGÚN EL TEMA AMBIENTAL
TABLA 11	BLOQUES DE INDICADORES PARA POLÍTICAS SECTORIALES
TABLA 12	ORGANIZACIÓN DE INDICADORES PARA EL SECTOR ELÉCTRICO
TABLA 13	INDICADORES DE IMPACTO. ESPAÑA
TABLA 14	CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN EMPLEADO EN TERMOELÉCTRICAS
TABLA 15	EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR COMBUSTIBLE
TABLA 16	ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES EN TERMOELÉCTRICAS
TABLA 17	NORMATIVIDAD VERTIMIENTOS A CUERPOS DE AGUA
TABLA 18	NORMAS INTERNACIONALES DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE TERMOELECTRICAS CONVENCIONALES
TABLA 19	ORIGEN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN TERMOELÉCTRICAS
TABLA 20	ÍNDICE DE PRODUCCIÓN DE CENIZAS POR CAPACIDAD INSTALADA EN TERMOELÉCTRICAS. COLOMBIA
TABLA 21	EFICIENCIAS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A CARBÓN
TABLA 22	DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO
TABLA 23	VALORES DE C_i Y P_i <small>VER ARD</small>

INTRODUCCION

Ante la creciente preocupación a nivel nacional e internacional respecto al tema del medio ambiente, se plantean varios trabajos y reflexiones en los que una de las conclusiones definitivas es la influencia de las actividades de los sectores productivos sobre los recursos naturales y la necesidad de que las empresas y la sociedad en general hagan un uso sostenible de esos recursos.

Frente a los compromisos que las empresas adquieren día a día respecto al concepto de la sostenibilidad y el empleo de tecnologías de producción limpias, se hace necesario reunir información que presente en forma clara, concisa y comprensible los impactos que las actividades de los procesos productivos ocasionan al medio ambiente así como la magnitud de dichos impactos. Una herramienta que permite agregar la información de forma útil, para hacer este análisis son los indicadores ambientales.

Este trabajo presenta metodologías desarrolladas a nivel nacional e internacional para la elaboración de indicadores ambientales y se centra en el análisis de los métodos propuestos para la elaboración de indicadores de presión o impacto y la funcionalidad de éstos para de la evaluación de proyectos termoeléctricos en el país.

El objetivo es lograr, con base en las metodologías consultadas, la construcción de un sistema de indicadores de impacto para el subsector termoeléctrico que pueda implementarse en el futuro y logre incorporar todos los criterios de construcción de indicadores. Para lograrlo, se analizan las metodologías, y se elabora una propuesta de indicadores para el subsector termoeléctrico. Dicha

propuesta es una primera aproximación al sistema deseado la cual debe ajustarse en trabajos posteriores según las observaciones que realicen los profesionales especializados.

1. ANTECEDENTES

La creciente preocupación mundial por el medio ambiente ha creado la necesidad de adquirir información acerca de este tema que sea más comprensible y específica para el público en general y para las personas encargadas de la toma de decisiones, razón por la cual se ha iniciado un proceso de creación de una base de datos específica para dotar, analizar y reportar información ambiental bajo un tratamiento científico.

En el esfuerzo por sintetizar la información para hacerla comprensible para el público en general, a finales de los 80's el gobierno canadiense empezó a desarrollar el concepto de *indicadores ambientales*, seguido por el gobierno holandés en 1987 y posteriormente por el G-7 el cual, en la cumbre de 1989 solicitó a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) el desarrollo de indicadores ambientales.

En 1992 la Declaración de Río de Janeiro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Agenda 21 se manifestó la necesidad del establecimiento de indicadores ambientales. Durante el mismo año el World Resources Institute (WRI) realizó un taller con casi una docena de organizaciones de diferentes países dedicadas al tema de los indicadores ambientales y desarrollo sostenible en el que se discutieron conceptos, métodos y estimativos, concluyendo finalmente en la gran necesidad de innovar en la experimentación respecto a esos temas.

Para 1994 se habían realizado experiencias a nivel internacional como conferencias y talleres

sobre indicadores ambientales y desarrollo sostenible. En 1995 los gobiernos de Bélgica y Costa Rica, la UNEP y el Comité Científico de Problemas Ambientales, se reunieron para establecer un consenso sobre la necesidad y el uso de los indicadores a nivel internacional.

El World Resources Institute (WRI) y el Banco Mundial participaron en la construcción del concepto de *Cuentas Verdes*, las cuales ajustan las cuentas económicas nacionales para reflejar los costos de la contaminación y la degradación de los recursos naturales. Básicamente, se busca que la degradación del capital natural (recurso natural), tenga un costo real para la sociedad y por lo tanto sea considerado dentro del manejo financiero del país en la misma forma que la reducción del capital económico. La idea fue respaldada inmediatamente por la *Agenda 21*, solicitando en el capítulo 40 el establecimiento de sistemas para integrar el manejo económico y ambiental con propuestas sobre sistemas de implementación los cuales se publicaron por la Oficina Estadística de las Naciones Unidas.

En Colombia, específicamente en el sector de energía eléctrica, se han realizado trabajos de gestión ambiental y similares, los cuales contienen información de tipo cuantitativo y cualitativo que puede ser empleada en un principio como herramienta para la construcción de indicadores ambientales que contribuyan a la evaluación del sector desde la evaluación de cada uno de sus subsectores. Se pueden identificar varios períodos referentes al proceso de gestión ambiental en el país para el sector eléctrico:

- Gestión ambiental previa al establecimiento del Código de Recursos Naturales (1974), desarrollada en forma puntual y con escasa planificación.
- Planteamiento y gestión ambiental sectorial (1974 – 1987), orientado a acciones de tipo remedial mas no preventivo.
- Las etapas de estudio, diseño y ejecución de planes de manejo ambiental a partir de 1974 constituyeron el Código Nacional de Recursos Naturales y el Medio Ambiente (decreto 2811/74), el decreto 1541/78 y la ley 56/81, leyes que no definían suficientemente las responsabilidades de los diferentes sectores frente al tratamiento de la problemática ambiental.

- A partir de 1988 se comenzó a desarrollar el planteamiento y gestión ambiental con énfasis preventivo, lo cual implicó la ampliación de conceptos, creación de unidades ambientales en el sector, interacción y coordinación de las empresas del sector mediante el Comité Ambiental del Sector Eléctrico Colombiano (CASEC), entidad que trabaja en la definición de criterios para la orientación del planteamiento y la gestión ambiental sectorial.
- Con la constitución de 1991 y la creación de la ley 99 de 1993, se refuerza los elementos de gestión ambiental, mediante los convenios y las políticas y demás mecanismos de concertación, generados por el Ministerio del Medio Ambiente.
- En el mes de julio de 1995 se firma el convenio Marco de Concertación para una Producción Limpia, entre el gobierno Nacional, los Gremios Empresariales y el sector público minero-energético.
- El Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Minas y Energía firman en septiembre de 1995 un convenio interadministrativo con el que se busca adelantar la ejecución de la política minero-energética de modernización y reconversión industrial y ambiental, plantear acciones efectivas para la protección de recursos naturales y adoptar métodos de explotación y producción sostenibles.
- La Política Energética Nacional manifiesta la voluntad del Ministerio de Minas y Energía hacia la aplicación del concepto de desarrollo sostenible en el sector eléctrico colombiano.

En 1995 la fundación FEN creó un proyecto para la conformación del Sistema de Indicadores de Seguimiento de la Gestión Ambiental para el Sector Eléctrico Colombiano -SISGA-, del cual se han concluido dos etapas y actualmente se está desarrollando la tercera. El objetivo de la primera etapa fue construir un sistema de seguimiento de la gestión ambiental que las CARs y los municipios realizan con las transferencias de recursos financieros del sector eléctrico, al igual que con otros recursos propios y transferidos. La segunda etapa buscaba hacer que el sistema no tuviera la imagen fiscalizadora que había tenido en la primera fase, además se digitalizó para procesar más ágilmente la información en un software (SISGALOC.XLS). La metodología pretende concertar la información ambiental relevante en forma agregada por municipios, cuencas,

actividades, etc., para evidenciar la problemática existente para los diferentes recursos, problemas contaminantes y las características de las actividades antrópicas desarrolladas en las regiones de estudio (dinámica económica, social y uso del suelo). La tercera fase tiene como objetivo implementar un sistema de seguimiento y evaluación de la gestión ambiental en una entidad gubernamental responsable del manejo regional del ambiente, que permita fortalecer el proceso de toma de decisiones.

La Unidad de Planeación Minero-Energética –UPME–, desarrolló un estudio para el Banco Mundial para realizar una evaluación del planteamiento energético donde se incluye el desarrollo de indicadores de costos y se presenta una propuesta para la elaboración de indicadores de impacto ambiental específicos para el sector eléctrico.

ECOCARBON y el Ministerio del Medio Ambiente, publican en 1998 la Guía Ambiental para proyectos Carboeléctricos, la cual constituye una orientación sobre el funcionamiento de los proyectos carboeléctricos, sus impactos y medidas de manejo, entre otros. Esta guía presenta unos indicadores ambientales de impacto para proyectos carboeléctricos analizando dichos impactos para cada uno de los componentes ambientales (agua, aire, suelo, biota, componente socio-económico).

2. JUSTIFICACION

A pesar de los esfuerzos realizados para procesar la información y hacerla fácilmente comprensible para la sociedad y las personas encargadas de la toma de decisiones, se hace necesaria la elaboración de indicadores ambientales específicos para el sector eléctrico en Colombia que permitan estimar los impactos generados por esa actividad desde cada uno de sus subsectores, así como reunir y analizar la información disponible, aplicando un tratamiento metodológico que permita definir indicadores de sector que establezcan concluyentemente el impacto causado por la generación de energía eléctrica en nuestro país así como sus consecuencias y plantear en un futuro estrategias de control y mitigación de los mismos desde la gestión ambiental sectorial, en beneficio de la calidad ambiental y los componentes del medio ambiente. En un primer esfuerzo, estudiando el subsector termoeléctrico, se busca elaborar una primera propuesta que sirva como base para analizar en un futuro de forma similar los demás subsectores del sector eléctrico.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear una metodología para la elaboración de indicadores de impacto ambiental específicos para el subsector termoeléctrico, los cuales permitan establecer un marco de referencia para la evaluación y seguimiento del impacto ambiental en dicho subsector.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1 Fijar criterios para la formulación de los indicadores más relevantes para evaluar el impacto ambiental causado por los proyectos termoeléctricos en Colombia.

3.2.2 Establecer las fuentes de información disponibles donde se presenten metodologías utilizadas en la formulación y elaboración de indicadores ambientales, y los aspectos ambientales a nivel subsectorial (generación termoeléctrica) relevantes en este proceso.

3.2.3 Ubicar y consultar las fuentes de información relacionada con los procesos contaminantes de las termoeléctricas en nuestro país, la cual es determinante para la elaboración de los indicadores ambientales de impacto.

3.2.4 Determinar la posibilidad de aplicación de cada una de las metodologías consultadas, teniendo en cuenta las condiciones específicas locales y la disponibilidad de la información requerida.

3.2.5 Proponer un esquema metodológico a seguir, adaptado a las condiciones nacionales, que contribuya a la elaboración de indicadores ambientales específicos para el análisis del impacto de la actividad del subsector termoeléctrico colombiano sobre el medio ambiente.

4. METODOLOGIA

El trabajo se efectuará en dos fases así: en la primera fase se hará el desarrollo conceptual de la metodología para la formulación y elaboración de los indicadores. Se plantea una segunda fase en la cual se realizará un ejercicio piloto de aplicación de la metodología propuesta. La posibilidad de desarrollar la segunda fase está sujeta a la disponibilidad de información requerida para la metodología seleccionada. Los pasos metodológicos de cada fase son:

4.1 DESARROLLO CONCEPTUAL DE LA METODOLOGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CONSTRUCCION DE LOS INDICADORES

Inicialmente, se realizará una consulta a expertos acerca de los criterios que se deben considerar para la formulación de los indicadores ambientales más representativos del subsector termoeléctrico en nuestro país. Los profesionales especializados que se consultarán hacen parte del Comité Operativo de Producción mas Limpia del Sector Eléctrico del Ministerio del Medio Ambiente, de la Unidad de Planeación Minero-Energética, de la Unidad de Política Ambiental del Departamento Nacional de Planeación, del la Fundación FEN, del IDEAM y de otras instituciones que manejan temas relacionados con la generación de energía eléctrica en nuestro país.

Posteriormente, se consultarán documentos especializados donde se propongan metodologías de elaboración, análisis e interpretación de indicadores ambientales.

Es importante seleccionar y organizar la información ambiental de las termoeléctricas para, posteriormente, determinar si es suficiente y relevante para aplicarla en las metodologías

consultadas y, dependiendo de este análisis seleccionar la propuesta metodológica que se ajuste mas a la disponibilidad actual de información. Así mismo, se podrá determinar qué datos deben reportarse por parte de las termoeléctricas, para que puedan aplicarse en el proceso de elaboración de los indicadores ambientales, haciéndolos más representativos y de mejor comprensión por parte de las personas encargadas de la reglamentación ambiental para la actividad estudiada y de la comunidad en general.

Con base en los resultados y análisis hechos sobre la posibilidad de aplicación de las metodologías consultadas, se construirá la propuesta metodológica para la elaboración de indicadores ambientales de impacto para termoeléctricas, ajustando una o varias de las consultadas a las condiciones del país teniendo en cuenta la disponibilidad de información.

4.2 DESARROLLO DEL EJERCICIO PILOTO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA

Para aplicar la metodología propuesta en un ejercicio piloto es necesario consultar a los expertos del Comité Operativo de Producción más Limpia del Sector Eléctrico cuáles proyectos consideran que se deben evaluar en este ejercicio, para que los resultados sean significativos y expongan la realidad de las condiciones ambientales actuales producto de la generación de energía eléctrica en plantas termoeléctricas. Así mismo, es fundamental contar con la información requerida para la implementación de metodología seleccionada para el proyecto que se desee evaluar. En la medida en que se disponga de dicha información es posible la aplicación del modelo metodológico propuesto.

5. ACTIVIDADES

FASE 1:

- Localizar y contactar a los profesionales especializados para hacer la consulta y determinación de los criterios relevantes en la formulación y posterior elaboración de los indicadores ambientales de impacto de las termoeléctricas.
- Verificar las fuentes de información secundaria especializada disponibles acerca de indicadores ambientales.
- Estudiar las metodologías existentes para la formulación y elaboración de los indicadores, los requisitos para desarrollarlas y la posibilidad de implementarlas.
- Extractar de los estudios existentes del sector eléctrico colombiano información preliminar de los parámetros cuantificados en estos, que se aplicará en la elaboración de los indicadores ambientales de impacto.
- Hacer una revisión de la información existente en diferentes estudios específicos del subsector, donde se reporten las descargas de contaminantes sobre el medio ambiente en cada uno de los procesos de generación de energía eléctrica e termoeléctricas así como su magnitud. Se evaluará el nivel y calidad de la información para su aplicación en la construcción de los indicadores ambientales.
- Determinar, de acuerdo a las necesidades de información de las diferentes metodologías y a la disponibilidad de la misma en los estudios del subsector, la aplicabilidad de cada una de ellas dentro de las condiciones actuales y el grado de representatividad de los resultados que se obtendrán.

- Seleccionar el método para la elaboración de indicadores ambientales de impacto que más se ajuste a las condiciones que se presentan en la generación termoeléctrica de energía en nuestro país, teniendo en cuenta la información que se encuentra disponible para tal fin.
- Realizar los ajustes necesarios sobre la metodología seleccionada para hacerla más exacta y acorde a las condiciones del país.

FASE 2:

- Establecer, con la colaboración del Comité Operativo de Producción más Limpia, la posibilidad de aplicar la metodología en un ejercicio piloto para un proyecto específico.
- Aplicar la metodología.
- Analizar resultados.

6. MARCO TEORICO

6.1 DEFINICIONES

6.1.1 INDICADORES AMBIENTALES

Los indicadores ambientales han sido creados ante la creciente preocupación por los aspectos ambientales del desarrollo y el bienestar humano, circunstancia que ha generado demasiada información y, a la vez, ante la necesidad de resumir esa información para la toma de decisiones. Es, por tanto, objetivo de los indicadores incorporar información cada vez mayor y presentarla de manera muy agregada.

El indicador debe permitir una lectura concisa, comprensible y científicamente válida de los fenómenos ambientales estudiados, evidenciando información sobre el conjunto, que está implícita dentro de su mismo concepto. Los indicadores no describen un ente ambiental abstracto, sino el estado del medio en relación con una preocupación ambiental concreta.

“... un indicador ambiental es, por tanto, una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones”. (España, Ministerio del Medio Ambiente, 1996).

La definición manifiesta el carácter social de los indicadores y del sistema estadístico que implica su construcción. Los indicadores son un producto estadístico y social.

6.1.2 INDICE AMBIENTAL:

Algunos sistemas de indicadores ambientales no se satisfacen con seleccionar una o varias variables descriptivas de un fenómeno ambiental de interés social como mecanismo de síntesis de la información necesaria para tomar decisiones, sino que fusionan la información contenida en varias variables en una sola expresión numérica. La magnitud resultante de tal fusión se denomina INDICE, y es un valor adimensional pues resulta de la adición ponderada, según el procedimiento que se elija, de diversas unidades de medida¹.

Un índice ambiental posee las mismas características que un indicador, y su carácter social es aún más acentuado dada la aleatoriedad que rodea todo proceso de ponderación. El beneficio obtenido se traduce en una mayor síntesis de la información relevante y una mayor eficacia como input en la toma de decisiones.

Finalmente, la selección de varios indicadores ambientales que en su conjunto o por parte dan cuenta del estado de la cuestión para un sistema, una política un problema o un espacio territorial es denominada **perfil ambiental**.

6.1.3 SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES:

“Conjunto ordenado de problemas ambientales descritos mediante variables de síntesis cuyo objetivo es proveer una visión totalizadora de los intereses predominantes relativos al medio ambiente²”. El sistema de indicadores tiene como objetivo proveer información que es mayor y distinta de la que ofrece cada una de sus partes. Un sistema de indicadores ambientales está constituido por:

¹ ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales. Una Propuesta para España. 1996

² op cit

1. Un núcleo específico de objetivos de información ambiental: definidos por el proceso de decisión en que están inmersos. La definición de estos objetivos debe ser realizada por un grupo interdisciplinario en un proceso que incorpore los intereses sociales. De acuerdo con el documento publicado por HOCOL³ los indicadores que se desarrollen deben cumplir con los siguientes objetivos:
 - Desarrollar un esquema sencillo de seguimiento a la autogestión ambiental.
 - Mantener una herramienta de medición y registro de desempeño ambiental.
 - Generar un esquema de confianza en la gestión ambiental para facilitar el cumplimiento de los requisitos y obligaciones de la ley.
 - Estandarizar los parámetros para medir los objetivos de la gestión ambiental al interior del sector.

2. Un conjunto de indicadores ambientales que transmiten información altamente agregada y de utilidad en el proceso de toma de decisiones que orienta el sistema.

3. Una organización analítica de los indicadores establecida en función de la utilidad que éstos deben presentar para la toma de decisiones. La correcta presentación de los indicadores, de manera lógica e inteligible requiere que estos se organicen correctamente por áreas o temas ambientales. Esta organización depende de la función de los indicadores como medio de información y de la utilidad que éstos deben presentar.

En el presente estudio se pretende desarrollar indicadores subsectoriales por lo que su presentación y la información que contienen son muy específicas.

Los marcos de análisis aportan individualmente un efecto sinérgico a la información individual de

³ HOCOL S.A. Guía de Indicadores Ambientales para la Industria Petrolera. 1997

cada indicador, ya que le asigna un atributo particular. No son excluyentes entre sí, como en el caso de los indicadores de integración de los aspectos ambientales en las políticas sectoriales, donde el marco sectorial se cruza con el marco causal. Se han propuesto varios marcos de análisis para la organización de los indicadores entre los que se destacan:

- Marco temático: la información se organiza según los problemas ambientales específicos que constituyen.
- Estructura por medios: los indicadores se organizan en forma separada para cada componente del medio ambiente: agua, aire, suelo y recursos biológicos. La propuesta metodológica presentada en este estudio corresponde a este marco de análisis.
- Marco sectorial: en esta aproximación se considera al medio como fuente de recursos biológicos y minerales, cuya explotación se da por parte de los diversos sectores económicos (agricultura, minería, energía, etc.).
- Marco causal: deriva del proceso de toma de decisiones ambientales. En este marco de análisis se asume que las actividades humanas ejercen presión sobre el medio ambiente modificando el estado del mismo y que la sociedad responde frente a estos cambios en procura de mantener las condiciones ambientales que considere adecuada mediante diversos mecanismos de gestión. A este marco corresponde el modelo PER (presión-estado-respuesta) que ha sido desarrollado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y ha sido implementado por varios países europeos. Los indicadores se elaboran para cada una de las acciones de presión, de estado y de respuesta. Los indicadores que se pretenden desarrollar en este trabajo corresponden al primer sub-grupo de indicadores, referidos específicamente al subsector termoeléctrico.
- Enfoque espacial: los problemas ambientales se organizan según la escala espacial a que puedan referirse (local, nacional, regional o global).
- Marco ecosistemático: la información se organiza según unidades ecológicas distintivas e interrelacionadas.

4. Unos criterios de selección de indicadores que, según la EPA, pueden resumirse en tres

grupos básicos: confiabilidad de los datos, relación con los problemas y temas prioritarios y utilidad de los indicadores para el usuario.

5. Un procedimiento de elaboración del sistema, caracterizado por una interacción estrecha entre el mundo científico, el institucional y los diversos grupos sociales e individuos interesados, cuyo resultado final es la validación socio-política del sistema, pilar sobre el que se sustenta su credibilidad.

Los indicadores no describen un ente ambiental complejo, sino el estado del medio ambiente respecto a una preocupación ambiental específica.

6.1.4 INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL

Un indicador de impacto ambiental es una medida de la magnitud de un impacto sobre un elemento y/o componente ambiental, expresado generalmente en unidades adimensionales o en términos porcentuales. Análogamente, los indicadores de impacto pueden ser simples (definidos por un solo parámetro) o compuestos (conformados por dos o más parámetros).

Dentro de la conceptualización que se expone posteriormente, se presenta el modelo de causalidad Presión-Estado-Respuesta (P-E-R), que ha sido adoptado por la mayoría de países que han trabajado el tema de indicadores ambientales, al igual que instituciones nacionales como el Departamento Nacional de Planeación, el cual ha introducido algunas modificaciones al modelo. Se considera que los indicadores de impacto ambiental corresponden a los indicadores de presión dentro del modelo P-E-R, ya que comprenden las descargas de contaminantes causantes de los impactos sobre el medio ambiente. Por lo tanto, dentro del desarrollo del presente trabajo, los indicadores de impacto se considerarán análogamente con los indicadores de presión ambiental.

6.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS INDICADORES

Estos criterios tienen dos funciones: por una parte, sirven para reducir una gran cantidad de información para incorporarla a los indicadores por temas o por áreas. Por otra parte, constituyen las medidas para asegurar la calidad tanto estadística como científica del sistema.

El Ministerio del Medio Ambiente de España recomienda los siguientes criterios de selección:

6.2.1 VALIDEZ CIENTÍFICA:

El indicador debe basarse en un conocimiento científico consistente del sistema o elementos del sistema descrito, y sus atributos y significado deben estar bien fundados.

6.2.2 REPRESENTATIVIDAD:

La información contenida en el indicador debe ser representativa de la condición del todo.

6.2.3 SENSIBILIDAD A CAMBIOS:

El indicador debe señalar los cambios de tendencia en el medio o en las actividades humanas relacionadas con éste, preferiblemente en el corto plazo.

2.4 CONFIABILIDAD Y CALIDAD DE LOS DATOS:

La seguridad de los programas de control debe ser razonable para garantizar la futura comparabilidad de los datos.

6.2.5 RELEVANCIA:

El indicador debe proveer información relevante para los usuarios y para determinar objetivos y metas para formulación de políticas.

6.2.6 CLARIDAD:

El indicador debe ser comprensible y claro, su significado debe ser casi obvio y de fácil comprensión por no especialistas que vayan a utilizarlo.

6.2.7 PREDICTIVO:

El indicador debe proveer señales de alarma previa de futuras tendencias negativas en términos de la salud humana, la economía y los ecosistemas.

6.2.8 METAS:

El indicador ideal debe proponer metas a alcanzar, para compararlas con la situación de referencia.

6.2.9 COMPARABILIDAD:

El indicador debe ser presentado de tal forma que permita comparaciones interterritoriales.

6.2.10 COBERTURA GEOGRÁFICA:

El indicador debe ser nacional o basarse en temas de carácter regional extensibles a escala nacional.

6.2.11 COSTO-EFICIENTE:

El indicador debe ser eficiente administrativamente en términos de costo de obtención de datos y de uso de la información.

6.3 METODOLOGIA BASICA DE ELABORACION DEL SISTEMA DE INDICADORES

Los siguientes son pasos metodológicos generales que podrían aplicarse para la construcción de un sistema de indicadores:

6.3.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS:

La definición de objetivos se da según el alcance que pretenda darse al sistema de indicadores,

y debe hacerse, en lo posible, con la participación de un grupo interdisciplinario.

6.3.2 ESTRUCTURA ANALÍTICA DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE TEMAS:

La estructura analítica del sistema se define según los objetivos y el contexto del mismo. Se incorporan y enfocarán los temas que logren indicadores que, a su vez, satisfagan los objetivos propuestos. En ésta fase se fija el núcleo explicativo del sistema y la interpretabilidad de los indicadores. El marco analítico específico para el desarrollo de este trabajo (indicadores de impacto para termoeléctricas), corresponde al casual, que trabaja con el modelo Presión-Estado-Respuesta, y se desarrollarán concretamente los indicadores de presión.

6.3.3 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:

Investigación y recopilación de información concerniente al objeto del estudio, mediante revisión bibliográfica y consulta con expertos. En esta fase se utilizan informalmente criterios de selección de variables como los de validez científica de las variables descriptivas, representatividad, confiabilidad y calidad de los datos y todos aquellos que permitan cualificar al indicador dentro del cualquiera de las fases del modelo presión-estado-respuesta. El trabajo de elaboración de indicadores de impacto para termoeléctricas se limitaría entonces a la selección de variables para la primera fase del modelo ya que estos indicadores son los que realmente representan los impactos que se están generando por el desarrollo de la actividad específica. La información que se recopile debe establecer cuales son los principales impactos y sobre que medio se dan. Igualmente debe determinarse si existen valoraciones cuantitativas de los parámetros que se evaluarán dentro de las variables. Teniendo en cuenta que los principales y mas representativos impactos de las termoeléctricas se dan sobre la atmósfera, una buena fuente de información son los Informes de Emisiones IE1, establecidos en el decreto 948/95 (la resolución 1351/95 adopta la declaración denominada Informe de Emisiones IE1 para cumplir con los requisitos y fines previstos en el artículo 97 del decreto 948/95: vigilancia y control del cumplimiento de las normas

para fuentes fijas)⁴.

Estos informes reportan las emisiones realizadas por las empresas en cuadros de resumen que contienen la siguiente información: tipo de combustible utilizado, sistema de combustión utilizado, temperatura de la chimenea, (temperatura de los gases emitidos, dimensiones de la chimenea), capacidad del sistema de combustión (Gcal/h), valores de condiciones atmosféricas (temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, presión atmosférica). Al introducir esta información en un software llamado COMBUSEB, éste arroja información referente a emisiones, capacidad de las diferentes unidades y factores relacionados con el impacto ambiental como: consumo de combustible (kg/h),

emisiones a la atmósfera resultantes del proceso de combustión (porcentajes de CO, CO₂, NO_x, SO₂ y PST), porcentaje de eficiencia requerido del sistema de captación de partículas, velocidad de descarga de emisión de chimenea (m/s).

6.3.4 PROPUESTA DE INDICADORES:

Para elegir los indicadores se tienen en cuenta los criterios de selección para el sistema. En esta fase es importante manejar los criterios de disponibilidad y adecuación de datos así como los de validez científica, representatividad y relevancia.

6.3.5 DESARROLLO DE UN CONJUNTO DE INDICADORES Y REVISIÓN PÚBLICA:

Una vez definido el conjunto de indicadores, éste se presenta a los probables usuarios y grupos de interés para realizar una revisión con profundidad. Los criterios más próximos a los usuarios adquieren relevancia y mantienen su importancia validez científica y los relacionados con aspectos conceptuales.

⁴ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración, Parte Aire y Ruido. Santafé

6.3.6 REVISIÓN FINAL Y PRODUCCIÓN:

Se efectúa una nueva revisión y consultas externas específicas con grupos de interés y expertos, teniendo en cuenta criterios relacionados con el uso final de los indicadores. En ésta fase debe obtenerse el conjunto de indicadores representativos del sistema analizado que, en este estudio, corresponde a indicadores de presión para el subsector termoeléctrico.

6.4 METODOLOGIAS EXISTENTES

Dentro de la literatura consultada, se hallaron propuestas a nivel nacional e internacional. Algunas de ellas hacen una presentación detallada de sus propuestas metodológicas, mientras que otras las presentan muy superficialmente. Las metodologías consultadas se explican a continuación:

6.4.1 METODOLOGIA DE LA UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA U P M E - MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

La UPME elaboró un estudio llamado **Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planeamiento Energético en Colombia** para evaluar y manejar el plan de expansión del sector eléctrico en el país. Dicho estudio contiene una propuesta evaluativa por medio de indicadores. El sistema de indicadores planteado está basado en una propuesta diseñada por ISA. Básicamente, los pasos metodológicos seguidos para aplicar lo presentado en la primera parte del estudio fueron los siguientes:

de Bogotá, Enero de 1999.

Primero se reconoció el universo de empresas, plantas y sistemas de operación del sector eléctrico y posteriormente se seleccionaron los proyectos a analizar con los siguientes criterios: acceso a la información, calidad de la información y apoyo recibido de las instituciones.

Posteriormente se organizó la información en los 2 grupos temáticos para los que se propuso la elaboración de indicadores. Los grupos temáticos fueron:

- 1 **descripción técnica del proyecto y del Plan de Manejo Ambiental incluidos los análisis de impactos ambientales generados.** Esta información se considera de tipo descriptivo y se almacena en base de datos.
- 2 **Costos de gestión ambiental asociados a los proyectos,** incluidos en los Estudios de Impacto Ambiental recibidos en el Ministerio del Medio Ambiente. Esta información se considera como Costos de Gestión y se almacena y maneja en tablas de hojas de cálculo.

La información organizada se procesó para obtener indicadores de impacto ambiental y económico-ambientales de cada uno de los proyectos analizados. En los casos en que no existía información se hicieron supuestos de desempeño ambiental.

Con los indicadores obtenidos se hicieron aplicaciones del programa propuesto (simulación de un plan de expansión (propuesta plan energético nacional 1997-2010)) para observar el comportamiento agregado de los subsectores.

Finalmente, se hicieron análisis y comentarios de los subsectores y del sector en general.

6.4.1.1 Análisis del comportamiento sectorial

Se realiza aplicando cálculos en excel: se recolecta la información actual y futura de las empresas y se obtienen tendencias del comportamiento ambiental y de los costos de gestión ambiental (aplicando simulación de un plan de expansión propuesta en el Plan Energético Nacional <1997-2010>).

El primer grupo temático (análisis de impactos ambientales generados) ofrece una propuesta metodológica para construcción de indicadores que se ajusta a los objetivos de ése estudio y que puede adaptarse al mismo ya que presenta modelos de ponderación para los indicadores que han sido desarrollados por un grupo interdisciplinario con lo que se logra una calificación mas objetiva de los distintos impactos analizados.

Teniendo en cuenta lo anterior, es conveniente utilizar la propuesta metodológica del estudio de la UPME para elaborar los indicadores ambientales de impacto para proyectos termoeléctricos. A continuación se presenta una breve exposición de las consideraciones generales del sistema:

Para la preparación de la propuesta, se partió de la identificación de toda la información necesaria para el conocimiento, registro y análisis de los principales impactos ambientales producidos en el desarrollo de cada una de las etapas técnicas de los subsectores. Posteriormente, ante la no-correspondencia de la información que busca dimensionar los fenómenos físicos y aquella que mide la gestión en términos de gasto para prevenir o mitigar impactos ambientales, se optó por separar la información que corresponde al seguimiento de los impactos físicos, bióticos y socioeconómicos a la de costos de la gestión ambiental. Finalmente se adelantó una prueba de esta propuesta de subsistema de información, cuyos resultados se presentan en la segunda parte del estudio de la UPME. Se tiene, de esta manera, la certeza de que es viable su construcción y manejo a pesar de las dificultades que se fueron detectando durante la consecución y manejo de la información, que justamente son la base para la presentación de las recomendaciones correspondientes.

TABLA 1. ESQUEMA DE PRESENTACION DE INDICADORES. METODOLOGIA UPME

INDICADORES SOCIOECONOMICOS Y SOCIOBIOFISICOS DE IMPACTO AMBIENTAL				
	DESCRIPCION DEL INDICADOR	VALOR DEL INDICADOR	FACTOR DE PONDERACION	INDICADOR PONDERADO
IMPACTOS FISICOS				

IMPACTOS BIOTICOS				
IMPACTOS SOCIO-ECONOMICOS				
TOTAL			1.0	

Fuente: Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planeamiento Energético en Colombia. UPME

Los indicadores que se proponen en este estudio, permiten agregar información para, a partir de la obtenida por proyectos, lograr indicadores al nivel de subsectores, con los que sea posible adelantar principalmente los siguientes niveles de observación y análisis:

1. Avance o disminución de los impactos ambientales, físicos, bióticos y socioeconómicos por subsectores, permitiendo establecer comparaciones, según el comportamiento de cada uno de ellos, frente al plan de expansión.
2. Agregación, ponderación y síntesis de los impactos ambientales para analizar proyectos en sí mismos y para hacer comparación entre alternativas, con el fin de apoyar el proceso de toma de decisiones.
3. Distribución del gasto de gestión ambiental según éste sea de prevención, control, recuperación y compensación por subsectores y etapas del proyecto.
4. Distribución del gasto de gestión ambiental según sea la intervención por recurso natural impactado.
5. Participación de los gastos de gestión ambiental sobre el valor la producción total por subsectores permitiendo evaluar en este caso el desempeño ambiental frente a cada posibilidad de expansión propuesta para el sector, por capacidad de producción y producción en firme.
6. Utilización de recursos de transferencias y regalías por las entidades regionales, información que corresponde a parte de los costos de compensación del sector.

Esta información así organizada a manera de cuadros básicos de salida del subsistema permitirá preparar los documentos de análisis necesarios para la toma de decisiones sobre la gestión ambiental del sector.

Los indicadores elaborados en esta metodología se desarrollan dentro de un sistema objetivo-variable-indicador como se presenta a continuación:

La metodología para el cálculo de los indicadores parte de la definición de variables que permitan la construcción de un parámetro cuantitativo que refleje el estado del ambiente con respecto a cada uno de los criterios seleccionados en cada objetivo. Es importante recordar que cada criterio está relacionado con un indicador.

A continuación se presenta en forma detallada el cálculo de los indicadores, con sus respectivas variables, clasificados de acuerdo a los objetivos⁵.

Objetivo 1. Minimizar el impacto sobre el medio físico.

a. Estabilidad de la zona del proyecto

Este criterio está relacionado con el componente geosférico, donde el suelo es el elemento o recurso afectado por las decisiones del proyecto.

El indicador se construye a través del producto entre el volumen total de excavaciones y la intensidad de la erosión en la zona afectada por el proyecto. Es decir:

Estabilidad de la zona del proyecto = Volumen total de excavaciones * Intensidad erosión

El indicador de estabilidad (ESTABIL) es entonces:

$$\text{ESTABIL} = \text{VOLTEX} * \text{INTEROS}$$

Donde

VOLTEX = volumen total de excavaciones, se calcula mediante la fórmula

$$\text{VOLTEX} = V + \text{VOLOBRA} \quad (\text{cifras en m}^3)$$

Donde

V = volumen de excavaciones por vías (en m³)

$$\text{VOLOBRA} = \text{PRESALUV} + \text{PRESCANT} + \text{VOLEXCA} + \text{VOLMINCA} + 0.014 * \text{VOLMINSO}$$

(cifras en m³)

Donde:

VOLOBRA: volumen de excavaciones

PRESALUV: volúmenes de préstamo por aluvión

PRESCANT: volúmenes de préstamo para cantera

VOLEXCA: volumen de excavaciones en el área de construcción

VOLMINCA: volumen de explotación minera a cielo abierto

VOLMINSO: volumen de explotación minera de socavón

0.014: factor de material erodado por cada tonelada de carbón obtenida por minería de socavón.

⁵ El cálculo de los indicadores se basó en la metodología desarrollada por OLADE-ISA; sin embargo, se introdujeron algunas modificaciones

INTEROS = Intensidad de la erosión, Esta variable se mide de acuerdo a la intensidad de la erosión en la zona del proyecto, para lo cual se usa la siguiente escala numérica:

Intensidad de la erosión (INTEROS)	Escala
Muy severa	1.000
Severa	0.251
Moderada	0.063
Ligera	0.016
Muy Ligera	0.004
Sin erosión	0.001

b. Alteración de las características del suelo

Este criterio busca determinar el grado de afectación del suelo por la construcción de obras de infraestructura y durante la operación de los proyectos.

Para hacer una evaluación adecuada se deberían tomar muestras del suelo a las cuales se les realicen análisis químicos y físicos de acidificación, salinización, lixiviación y retiro o descapote.

Debido a la falta de información cuantitativa relacionada con la afectación de las características del suelo, es necesario asignar valores cualitativos en función de la afectación. En este caso el indicador está dado por el grado de afectación al ecosistema donde se realice el proyecto, dando como resultado la siguiente escala, la cual está en función de la capacidad de recuperación del entorno.

Así, el indicador de alteración (ALTERS) se define como el producto del área afectada por el proyecto por el nivel de afectación. Es decir:

$$\text{ALTERS} = A * \text{AFECTAC}$$

Donde

A = Area afectada por el proyecto (en hectáreas)

AFECTAC = Grado de alteración del suelo, determinado por la siguiente escala:

Grado de Afectación (AFECTAC)	Escala
Muy severa	1.000
Severa	0.900
Moderada	0.500
Ligera	0.100

c. Alteración del caudal

Por medio de este criterio se busca determinar el impacto que genera un proyecto determinado sobre los caudales de las fuentes hídricas circundantes, especialmente cuando se requiere realizar aprovechamiento del recurso, bien sea para consumo doméstico, agrícola, piscícola, ganadero o industrial.

Esta magnitud varía de acuerdo con el uso o usos que en la región se le al afluente, especialmente aguas debajo del sitio de captación del recurso.

Para construir este indicador se deben tener en cuenta las siguientes variables:

Q = Caudal medio del afluente

N = Número de usuarios del afluente

q = Caudal captado por el afluente

k = Caudal utilizado por cada usuario

Con estas variables se construye el indicador (DFLUJO), dado por:

$$DFLUJO = \frac{(\sum(N * k) + q)}{Q}$$

El valor del indicador se analiza según la siguiente tabla:

Descripción del Impacto	DFLUJO	Escala
Crítico	> 0.30	1.0
Severo	0.20 - 0.30	0.8
Moderado	0.10 - 0.20	0.5
Bajo	0.05 - 0.10	0.3
Insignificante	< 0.05	0.1

d. Alteración de la calidad del agua

Este criterio muestra la magnitud del impacto del proyecto sobre determinadas corrientes de agua, para de esta forma implementar las medidas necesarias para que la calidad del agua se conserve por lo menos en el mismo estado.

Para esto, se seleccionaron los siguientes parámetros, los cuales deben realizarse antes, y durante la operación del proyecto. Estos análisis deben presentarse en los estudios de impacto ambiental y ser realizados en laboratorios avalados por el Ministerio de Salud.

Los análisis que es necesario realizar son los siguientes:

- Corrientes Superficiales:

- DBO
- Oxígeno Disuelto
- Coliformes Fecales
- Nitrógeno Inorgánico
- Fósforo Total
- pH
- Temperatura
- Hidrocarburos
- Detergentes
- Turbidez
- Sólidos Suspendidos
- Conductividad
- Fenoles
- Grasas y aceites
- Bentos
- Perifiton
- Peces
- Macrófitas

La afectación de las corrientes se determina por la variación que pueden tener cada uno de estos parámetros con respecto al momento inicial (antes del proyecto), siendo un impacto negativo si las corrientes se han contaminado más y se encuentran por fuera de las normas estipuladas en el Decreto 1594/84. El impacto será positivo si se mantiene dentro de la escala.

La valoración de este impacto está dada por la siguiente tabla:

Descripción del Impacto	Escala
Crítico	1.000

Severo	0.800
Moderado	0.500
Bajo	0.300
Muy Bajo	0.100

- Corrientes Subterráneas

En muchos proyectos actuales se construyen puntos para toma de información dentro y en los alrededores de los sitios de construcción de infraestructura, con el fin de monitorear las aguas subterráneas y/o subsuperficiales que puedan existir en el área de influencia del proyecto. Para esto se deben realizar mediciones para pH, temperatura, Oxígeno disuelto y conductividad.

El indicador se halla de la misma forma que para las aguas superficiales.

e. Alteración de la calidad del aire

Este criterio se evalúa realizando mediciones de la calidad del aire actual y se simulan las situaciones esperadas por el proyecto a través de modelos de simulación existentes. En cuanto a la emisión de gases y partículas, los puntos de referencia con los cuales se debe hacer la comparación son las normas existentes en el Decreto 02/82 del Ministerio de Salud.

En lo referente a la emisión de ruido, se deben tomar registros efectuados y establecer el promedio del área. También se deben simular situaciones con proyecto, con y sin barreras, para de esta forma poder determinar el impacto que el proyecto puede generar. Estos parámetros deben ajustarse con el Decreto 948/95.

- Emisión de gases
 - CO₂
 - SO_x

- NO_x
- Emisión de partículas
- Emisión de ruido

La afectación del recurso aire se determina por la variación que pueden tener cada uno de estos parámetros con respecto al momento inicial (antes del proyecto), siendo un impacto negativo si la contaminación se encuentra por fuera de las normas estipuladas en el Decreto. El impacto será positivo si se mantiene dentro de la escala.

La valoración de este impacto está dada por la siguiente tabla:

Descripción del Impacto	Escala
Crítico	1.000
Severo	0.800
Moderado	0.500
Bajo	0.300
Muy Bajo	0.100

Objetivo 2. Minimizar el impacto sobre el medio biótico.

Los atributos considerados para evaluar la importancia de un ecosistema, no califican en su totalidad las características de un hábitat que puede ser intervenido antrópicamente; sin embargo, los atributos presentados en la metodología de indicadores de impacto son los que tienen mayor representatividad y facilidad en su medición. Los criterios tenidos en cuenta son los siguientes:

a. Alteración de la biota acuática

La alteración de la biota acuática se cuantifica mediante un indicador (BIOCUA), que se calcula como la sumatoria del producto de las áreas de los diferentes ecosistemas por su importancia

relativa, ponderada o dividida entre el área total afectada. Es decir:

$$\text{BIOCUA} = \frac{\sum An * In}{\sum An}$$

donde,

BIOCUA= evaluación de la pérdida de la biota acuática

An: área afectada

In: importancia de cada tipo de sistema considerando atributos como la biomasa, la diversidad de especies, la recuperabilidad y el peligro de desaparición de especies o comunidades. Este factor de importancia de los ecosistemas se pondera de la siguiente manera:

Ecosistema	Valor
Arrecife	1.000
Ciénagas/Lagunas	0.650
Ríos	0.500
Embalses	0.350

b. Alteración de la biota terrestre

La biota terrestre también sufre alteraciones por efecto del proyecto. En este caso, el indicador propuesto (BIOTERR) se define como la sumatoria del producto de las áreas de los diferentes ecosistemas por su importancia relativa, ponderada o dividida entre el área total afectada. Es decir:

$$\text{BIOTERR} = \frac{\sum An * In}{\sum An}$$

donde,

BIOTERR= evaluación de la pérdida de la biota terrestre

An: área afectada

In: importancia de cada tipo de sistema considerando atributos como la biomasa, la diversidad de especies, la recuperabilidad y el peligro de desaparición de especies o comunidades.

Los indicadores de impactos ambientales propuestos para minimizar los ocasionados al medio biótico terrestre (BIOTERR), consideran dos clasificaciones para evaluar dichos ecosistemas; se recomienda emplear la número 1, la cual, aunque tiene la misma equivalencia con la número 2, es empleada con mayor regularidad para caracterizar los ecosistemas terrestres del país. Estas dos clasificaciones son:

Clasificación 1.

1. Bosque primario (no se cumple para condiciones de desierto y páramo)
2. Bosque secundario (no se cumple para condiciones de desierto y páramo)
3. Rastrojo (considerado climax para Desierto)
4. Pastizal (considerado climax para sabanas de la Orinoquia)

Clasificación 2.

1. Vegetación nativa climax no intervenida
2. Vegetación intervenida en estado sucesional avanzado (bosques con árboles de más de 5 metros de altura)
3. Vegetación intervenida en estado sucesional intermedio (matorrales de más de 0,5 metros y con partes leñosas persistentes)
4. Vegetación intervenida en estado sucesional temprano (herbáceas de poca altura)

El factor de importancia de los ecosistemas se pondera de la siguiente manera:

Ecosistema	Valor
Bosque primario	1.000
Bosque secundario	0.650
Rastrojo	0.500
Pastizal	0.350

c. Alteración de otros ecosistemas

Algunos ecosistemas no se clasifican ni como acuáticos ni como terrestres. Entre éstos se encuentra el bosque de mangle (primario o secundario) y las formaciones maderables costeras, entre otros.

El indicador para este criterio se define como BIOTROS y se explica por la sumatoria del producto de las áreas intervenidas de los diferentes ecosistemas por su importancia relativa, ponderada o dividida entre el área total afectada. Es decir:

$$\text{BIOTROS} = \frac{\sum A_n * I_n}{\sum A_n}$$

Donde,

BIOTROS = evaluación de la pérdida de otros ecosistemas

An: área afectada

In: importancia de cada tipo de sistema considerando atributos como la biomasa, la diversidad de especies, la recuperabilidad y el peligro de desaparición de especies o comunidades.

Estos ecosistemas se ponderan según factores de importancia como se presenta en la siguiente tabla:

Ecosistema	Valor
------------	-------

Manglar	1.000
Estuario	0.842
Costas/Prad. Mar.	0.579
Formaciones Maderables	0.684

Objetivo 3. Minimizar población desplazada.

a. Población desplazada

El indicador para este criterio se denomina POBLD y se define por la sumatoria del producto del número de familias desplazadas por un ponderador de importancia según factores sociales y culturales y su grado de vulnerabilidad, dividido entre el número total de familias desplazadas. Es decir:

$$POBLD = \frac{\sum FD * v}{\sum FD}$$

FD : Número de familias desplazadas

v : Grado de vulnerabilidad según el grupo

Grupo considerado	V
Minorías étnicas	1.000
Pequeño productor	0.700
Mediano productor	0.300
Gran productor	0.050

Objetivo 4. Minimizar costos regionales

a. Cambio en el Uso del Suelo (área Requerida)

Para analizar este criterio se deben tener en cuenta las áreas agropecuarias desplazadas por el

proyecto, clasificadas según potencial agrológico, según el sistema USDA.

El Indicador se define como DUSOS y se calcula así:

$$\text{DUSOS} = \frac{\sum (A_n * p_a)}{\sum A_n}$$

Donde

A_n : área en Ha de cada clase agrológica (i a VIII)

p_a : potencial agroclimatológico para cada clase agrológica; la tabla siguiente muestra estos potenciales. Si no se conoce la clasificación agrológica de los suelos se puede hacer la asimilación a potencial productivo alto, medio o bajo, respectivamente:

Clase Agrológica	Potencial equivalente	Pa
I, II Y III	Alto	1.000
IV, V Y VI	Medio	0.800
VII Y VIII	Bajo	0.500

b) Producción desplazada

Corresponde al valor total de la producción desplazada por el proyecto, ponderado por un factor construido a partir de los criterios de recuperabilidad e importancia regional, dividido entre el valor total de la producción. Es decir,

$$\text{PRODES} = \frac{\sum (V_p * i_r)}{\sum V_p}$$

Donde

V_p : Valor de la producción en cada cultivo o sistema productivo, en pesos.

ir: factor de recuperabilidad e importancia regional. Este factor es una combinación del grado de importancia según sea grande o mediana y la posibilidad de recuperación de las zonas intervenidas. Para su clasificación se usa la siguiente tabla:

Importancia regional	Recuperabilidad	
	No recuperable	Recuperable
Grande	1.00	0.80
Mediana	0.50	0.20

C. Pérdida del patrimonio Histórico / Cultural

La pérdida del patrimonio histórico se debe evaluar con un indicador cualitativo que considere el grado de afectación total o parcial y la posibilidad de recuperación del patrimonio afectado mediante reconstrucción o traslado. De esta forma, el indicador se obtiene de la combinación de estos aspectos, mediante el uso de la siguiente matriz:

Grado de afectación	Recuperabilidad		
	Recuperable	Parcialmente Recuperable	No Recuperable
Total	0.30	0.70	1.00
Parcial	0.10	0.50	0.80

d. Deterioro del Ordenamiento Regional

Consiste en la desarticulación físico espacial de la población a causa del proyecto. El indicador se define como DETOR y se calcula así:

$$\text{DETOR} = \frac{\sum (FA * na)}{\sum FA}$$

Donde

FA: Número de familias afectadas, es decir, en el área de influencia del proyecto.

na: nivel de afectación. Los niveles de afectación se consignan en la siguiente tabla:

Niveles de afectación	Valor
Relación imposible de sustituir	1.00
Relación restituible a mayores costos sociales	0.80
Relación restituible en igualdad de condiciones	0.10

e. Trauma Social

Consiste en la desarticulación de las relaciones sociales de la población del área de influencia. La dimensión del impacto estará determinada por la posibilidad que tengan los asentamientos influenciados -directa o indirectamente- por el proyecto, de brindar respuestas a las demandas sociales de espacio y de servicios, es decir, de su capacidad de adaptación a la nueva situación.

El indicador se define como TRAUSO, y se calcula como:

$$\text{TRAUSO} = \frac{\sum (FA * naf * nac)}{\sum FA}$$

Donde:

FA = Número de familias afectadas en el área de influencia del proyecto

naf = nivel de aceptación física, establecido con base en la capacidad de adaptación del asentamiento y su circunstancia particular, según la siguiente tabla:

nac = nivel de afectación cultural, establecido con base en la siguiente tabla:

Influencia del Proyecto	Capacidad de Adaptación		
	Alta	Media	Baja
Receptora de población flotante	0.10	0.60	1.00
Paso obligado	0.05	0.40	0.80

Nivel de afectación cultural	Valor
Alta	1.00
Media	0.80
Baja	0.50

f. Empleo Desplazado

La pérdida de puestos de trabajo se origina como resultado de la ocupación de tierras, del desplazamiento temporal o permanente de actividades productivas, de la desarticulación físico espacial, temporal o permanente, etc.

El impacto es socialmente más significativo si el empleo desplazado corresponde a trabajadores no calificados que si corresponde a mano de obra calificada. Adicionalmente, la gravedad del impacto varía dependiendo de la recuperabilidad de dichos empleos desplazados.

El indicador propuesto es EMPDES y se calcula como:

$$EMPDES = \frac{\sum (PT * rec)}{\sum PT}$$

donde,

PT : número de puestos de trabajo no calificados afectados.

rec : grado de recuperabilidad de los puestos de trabajo, clasificados según la siguiente tabla:

Grado de recuperabilidad	Valor
Difícilmente recuperables	1.00
Medianamente recuperables	0.70
Fácilmente recuperables	0.30

g. Potencialización de Conflictos

Colombia, se caracteriza por la presencia de diferentes clases de conflictos a lo largo de su geografía. Estos conflictos se originan, entre otras cosas, por la competencia en el uso de recursos naturales, por el control de territorios, por el control político de la población, por el estatus político administrativo, por conflictos interétnicos, etc. Los proyectos energéticos normalmente llegan a las regiones a demandar recursos naturales, servicios, y territorio, y a causar desarticulaciones de tipo espacial, social y cultural. Esta situación potencializa los conflictos ya existentes.

La evaluación del impacto se hará mediante la determinación cualitativa del grado y tipo de conflictividad preexistente. Considerar un proyecto como de alta o baja capacidad para potencializar un conflicto depende de la competencia que genere sobre recursos naturales, bienes y servicios, del daño generado el medio ambiente, de las políticas sociales, etc.

La siguiente tabla resume las escalas de potencialización.

Potencialización o creación de conflictos	Nivel de conflictibilidad existente		
	Alta	Media	Baja
Alta	1.00	0.90	0.80
Baja	0.70	0.60	0.50

En este caso, al contrario de los otros cuatro objetivos, los indicadores funcionan numéricamente a la inversa: cuando se acercan a cero la situación tiende a ser indeseable y cuando se aproximan a uno, la situación es deseable o conveniente. Para poder hacer la agregación con los resultados obtenidos de los indicadores de los otros objetivos, se debe entonces invertir el ponderador. Para esto, sencillamente, se le resta la unidad.

a. Mejora en la Red Física de Comunicaciones

Se refiere a mejoras en la red de vías, carreteras, puentes, caminos, transbordadores, etc. Las mejoras se pueden originar por construcción de una nueva infraestructura o por adecuación o mejora de la previamente existente. Se evalúa el grado de mejora con base en una escala cualitativa que se establece a partir de determinar tanto el nivel de mejora como el número de familias beneficiadas por la misma.

El indicador se define como COMUNIC y se calcula por

$$\text{COMUNIC} = 1 - \frac{\sum (FM * nm)}{\sum FM}$$

donde,

FM : número de familias cuyas redes físicas de comunicaciones se vieron mejoradas.

nm : nivel de mejora: El nivel de mejora se clasifica según la siguiente tabla:

Niveles de Mejora	Valor
-------------------	-------

Nueva	1.00
Mejoramiento	0.60
Restitución con menor costos sociales	0.40

b. Mejora en la disponibilidad para la inversión social

Incluye todos aquellos ingresos fiscales que reciba el o los municipios en jurisdicción del proyecto, que puedan ser destinados para inversión social.

Se define como DINVSOC y se calcula como la división de los impuestos pagados al o los municipios entre la partida municipal destinada a inversión social:

$$DINVSOC = 1 - \frac{IMP}{MUN}$$

Donde

IMP : Impuestos pagados por la empresa al municipio

MUN : Partida del municipio para inversión social anual

c. Generación de Empleo en la Región

Este criterio contabiliza el beneficio de la generación de empleo, sin distinguir si la población empleada es local o externa a la región.

Se debe tener en cuenta si el empleo generado es temporal o permanente, dado que este ultimo significa mayor beneficio. Adicionalmente, se evalúa si el empleo es directa o indirectamente generado por el proyecto.

El indicador se define como GENEMPL, y se calcula mediante la fórmula:

$$GENEMPL = 1 - \frac{\sum (PT * cpt)}{\sum PT}$$

donde,

PT = número de puestos de trabajo en cada tipo

cpt = clasificación de los puestos de trabajo. Esta clasificación obedece a la siguiente tabla:

	Generación de empleo	
	Directos	Indirectos
Permanentes	1.00	0.70
Temporales	0.50	0.20

d. Regalías o Transferencias

Se incluyen acá todos los pagos hechos por los proyectos a los municipios influenciados por el proyecto.

Se define PRETRA y se calcula como el porcentaje de las regalías y transferencias pagadas a la región (suma de municipios involucrados) entre el total de presupuestos agregados de los municipios.

$$PRETRA = 1 - \frac{RETRA}{PREG}$$

Donde:

RETRA = regalías y transferencias totales pagadas a los municipios de la región

PREG = Sumatoria de presupuestos regionales de los municipios de la región.

Dadas las condiciones particulares de este indicador, en algunos casos puede llegar a tomar un valor superior a la unidad. En estos casos se utiliza el ponderador máximo, es decir uno (1).

Se presenta a continuación una tabla donde se resumen los indicadores sociobiofísicos propuestos:

Tabla 2. RESUMEN DE INDICADORES SOCIOBIOFÍSICOS. METODOLOGÍA UPME

INDICADOR	SIGLA	VARIABLES	CALCULO
Estabilidad de la Zona del Proyecto	ESTABIL	INTEROS = Susceptibilidad a la erosión (Cualitativa 0 - 1) VOLTEX = Susceptibilidad por tipo de obra: V + VOLOBRA. V = Volumen por vías VOLOBRA = PRESALUV + PRESCANT + VOLEXCA + VOLMINCA + 0.014*VOLMINSO PRESALUV = Volumen Excavación PRESCANT = Volumen Material de Préstamo VOLEXCA = Volumen Excavaciones área construcción VOLMINCA = Volumen de explotación Minera cielo abierto. VOLMINSO = Volumen Explotación minera socavón.	ESTABIL = VOLTEX * INTEROS
Alteración de las Características del Suelo	ALTERS	AFECTAC = Afectación del Suelo (Cualitativa 0 - 1) A = Area afectada en Ha.	ALTERS = AFECTAC * A
Alteración del Caudal	DFLUJO	Q = Caudal medio del afluente (lt/s) N = Número usuarios afluente q = Caudal captado proyecto lt/s k = Caudal usado por cada usuario lt/s	$DFLUJO = \frac{\sum (N * K) + q}{Q}$
Alteración de la Calidad del Agua		Aguas Superficiales y Subterráneas: Medición de parámetros varios.	Escala comparativa. Comparar variación antes y después Con respecto al Dec. 1594/84
Alteración de la Calidad del Aire		Emisión de gases, partículas y ruido.	Escala comparativa. Medición, comparar con Dec. 02/82 y Dec. 948/95.

Alteración de la Biota Acuática	BIOCUA	An = Area afectada In = Importancia del sistema	$BIOCUA = \frac{\sum An * In}{\sum An}$
Alteración de la Biota Terrestre	BIOTERR	An = Area de interés In = Importancia por tipo de vegetación	$BIOTERR = \frac{\sum An * In}{\sum An}$
Alteración de otros ecosistemas	BIOTROS	An = Area de interés In = Importancia por tipo de vegetación	$BIOTROS = \frac{\sum An * In}{\sum An}$
Población Desplazada	POBLD	FD = Número de familias desplazadas v = grado de vulnerabilidad	$POBLD = \frac{\sum FD * v}{\sum FD}$
Cambio en el Uso del Suelo	DUSOS	An = Area por clase agrológica (Ha) pa = Potencial agroclimático por clase agrológica	$DUSOS = \frac{\sum (An * pa)}{\sum An}$
Producción desplazada	PRODES	Vp = Valor de la producción en cada cultivo o sistema productivo ir = Factor de recuperabilidad e importancia regional	$PRODES = \frac{\sum (Vp * ir)}{\sum Vp}$
Pérdida del Patrimonio Histórico Cultural		Cualitativo	
Deterioro del Ordenamiento Regional	DETOR	FA = Número de familias afectadas. na = nivel de afectación	$DETOR = \frac{\sum (FA * na)}{\sum FA}$
Trauma Social	TRAUSO	FA = Número de familias afectadas. naf = Nivel de afectación física nac = Nivel de afectación cultural	$TRAUSO = \frac{\sum (FA * naf * nac)}{\sum FA}$
Empleo Desplazado	EMPDES	PT = Puestos de trabajo no calificados afectados rec = Grado de recuperabilidad de los puestos de trabajo	$EMPDES = \frac{\sum (PT * rec)}{\sum PT}$
Potencialización de Conflictos		Cualitativo	
Mejora en la red física de comunicaciones	COMUNIC	FM = Número de familias cuyas redes físicas de comunicación mejoraron. nm = nivel de mejora	$COMUNIC = 1 - \frac{\sum (FM * nm)}{\sum FM}$
Mejora en la disponibilidad para la inversión	DINVSOC	IMP = Impuestos pagados por la empresa al municipio. MUN = partida del municipio para inversión	$DINVSOC = 1 - \frac{IMP}{MUN}$

social		social anual	
Generación de Empleo en la Región	GENEMPL	PT = Número de puestos de trabajo generados cpt = Clasificación de los puestos de trabajo	$GENEMPL = 1 - \frac{\sum (PT * cpt)}{\sum PT}$
Regalías y transferencias	PRETRA	RETRA = Regalías y transferencias pagadas a la región en un año. PREG = Presupuesto regional anual.	$PRETRA = 1 - \frac{RETRA}{PREG}$

Análisis de la metodología:

El estudio de la UPME presenta un sistema de indicadores muy completo y de excelente calidad y contenido conceptual siempre que en su elaboración participaron expertos en distintas áreas, lo cual garantiza la inclusión de todas las variables ambientales y sociales involucradas en los procesos productivos del sector energético. Por ser específica para dicho sector, es la metodología ideal para evaluar los impactos ambientales en termoeléctricas.

6.4.2 METODOLOGIA DEL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION - UNIDAD DE POLITICA AMBIENTAL.

La Unidad de Política Ambiental (UPA) del DNP, encargada de la formulación de políticas, aprobación de programas y proyectos y evaluación de la gestión de las entidades del SINA, puso en marcha un sistema de indicadores ambientales con el fin de tener la información necesaria para cumplir con su función en forma oportuna y asesorar informativamente el Plan Nacional de Desarrollo en su componente ambiental. El resultado de esta gestión es el SIPSA, un sistema de indicadores georeferenciados para la planificación y el seguimiento ambiental.

El modelo desarrollado en el sistema organiza los indicadores en una serie P-E-R⁶, desagregados a su vez en temas relacionados con las funciones de las unidades existentes del

⁶ Presión - estado - impacto/efecto - respuesta - gestión.

DNP:

1. dinámica social
2. dinámica económica
3. planificación y ordenamiento territorial
4. biodiversidad
5. sistemas agrarios
6. recursos mineros y energía
7. asentamientos urbano-industriales
8. aguas
9. manejo integral de zonas costeras y marinas⁷
10. capacidad institucional

El SIPSA se constituye en el primer esfuerzo en el país para la obtención de información necesaria para el direccionamiento de políticas y formulación de proyectos conceptualizados hacia el desarrollo sostenible, actuando como herramienta de análisis y apoyo para toma de decisiones. Se encarga de crear indicadores que servirán para iniciar el monitoreo del impacto del proceso de desarrollo sobre el medio ambiente y la calidad de vida de la población, las propuestas de la sociedad para mitigar esos impactos, la implantación de procesos de producción limpios, la generación y uso de energía en forma eficiente, y, en general, lograr el crecimiento económico sin causar mayor deterioro sobre los recursos naturales, conociendo y monitoreando la capacidad de acarreo y resiliencia de los ecosistemas.

La UPA cuenta actualmente con una metodología de trabajo, un marco conceptual para la construcción de indicadores y con unas hojas metodológicas disponibles para las diferentes entidades del SINA y para las Unidades Ambientales Urbanas. Además, ha desarrollado una matriz de los indicadores con los que cuenta actualmente el sistema y los que se deben construir

⁷ Actualmente no existe dentro del DNP una unidad encargada de este tema.

en el mediano plazo (señalados con asterisco).

Las hojas metodológicas contienen las siguientes especificaciones de los indicadores reseñados en la matriz:

TABLA 3. CONTENIDO DE LAS HOJAS METODOLOGICAS - UPA

ESPECIFICACION	DESCRIPCION
Nombre	Nombre completo del indicador
Descriptor	Breve explicación sobre lo que hace el indicador.
Unidades	Unidades en que se mide el indicador (sistema internacional); puede tratarse de ratios, porcentajes o índices adimensionales.
Denominador geográfico	Escala a la que es deseable o posible construir: municipal, regional o nacional.
Definición y justificación	Explicación sobre la naturaleza y el fin del indicador.
Medición	Explicación sobre la forma como se construye el indicador, equipos de medición, pruebas de laboratorio y campo, análisis estadístico y/o ecuaciones necesarias para el cálculo del indicador; en otros casos, utilización de imágenes satélites necesarias para su construcción.
Interpretación	Forma de lectura o interpretación del indicador. Los cambios positivos o negativos que implica la disminución del indicador.
Límites/Limitantes	Especifica los límites físicos entre los que puede variar el indicador; por otra parte, aclara las limitaciones del indicador como modelo para medir una realidad a la que es posible acceder directamente.
Indicadores alternativos	Indicadores que tienen significado similar al enunciado y que se pueden utilizar en ausencia del mismo.
Importancia	Utilidad del indicador en el seguimiento de los recursos naturales, la gestión ambiental, y/o impacto de actividades socio-

	económicas sobre los ecosistemas y los seres humanos.
Relación con otros indicadores	Posibles relaciones causa-efecto con otros indicadores en la misma u otras variables del modelo.
Información disponible	Entidades encargadas de la producción de información que puede utilizarse en la construcción del indicador.
Bibliografía	Referencia de libros nacionales e internacionales utilizados en la elaboración de los conceptos de la hoja metodológica.

De los primeros esfuerzos del SIPSA se tiene información para 110 indicadores de los 265 que ha formulado, los cuales se utilizan como indicadores de base para la toma de decisiones. Sin embargo, para analizar la información a nivel nacional, es necesario sintetizar la información en indicadores agregados e índices, contruidos a partir de indicadores simples, análisis de estadísticas y datos básicos. Idealmente se debería tener desarrollado un índice para cada objetivo de política.

Existe actualmente un sistema de cuentas ambientales manejado en el DANE como un sistema satélite al Sistema de Cuentas Nacionales, llamado Sistema de Contabilidad Económico-Ambiental Integrada para Colombia (COLSCEA) y cuenta con tres componentes básicos :

- 1 Registro del gasto en protección y recuperación ambiental, clasificado según su orientación hacia los componentes agua, aire, suelo; la protección contra el ruido o la protección y recuperación de la biodiversidad.
- 2 Seguimiento de los flujos de recursos naturales renovables y no renovables hacia la actividad económica y de los stocks de estos recursos en el medio ambiente, y
- 3 El registro del comportamiento de la calidad del ambiente (expresado en indicadores físicos) en sectores afectados por la actividad económica y humana en general.

Todos estos componentes son aplicables a estudios que se realicen en el subsector termoeléctrico. Sin embargo, teniendo en cuenta que el objetivo es la elaboración de indicadores de presión específicamente, no compromete el análisis de costos.

Varios indicadores propuestos por el DNP, específicamente de presión y de impacto se ajustan a los objetivos de este trabajo desde cada uno de los temas en que subdivide la información manejada por el DNP y aparecerán en la metodología final propuesta para termoeléctricas.

6.4.3 METODOLOGIA DE CANADA

El sistema busca formar indicadores que, de forma sucinta, comprensible y científicamente válida, aporten información sobre el estado del medio ambiente, no sólo a profesionales relacionados con el tema, sino a la sociedad en general ya que todos ellos pueden participar en su preservación, teniendo como fin último la sostenibilidad. El sistema canadiense tiene por objetivo último constituir un indicador agregado representativo de toda la información reunida en los indicadores que el sintetiza.

El sistema parte de las consideraciones ambientales relacionadas con el desarrollo sostenible en tres campos:

- a La integridad de los ecosistemas
- b La salud humana y el bienestar
- c La sostenibilidad de los recursos naturales

El sistema canadiense corresponde al modelo analítico causal-temático, ya que parte de una estructuración por temas para desarrollar indicadores de presión y del estado del medio como respuesta social al problema analizado.

En 1991 se definió un sistema preliminar de indicadores sobre el cual se sigue trabajando, compuesto por 43 indicadores agrupados en 18 áreas temáticas:

TABLA 4 ORGANIZACIÓN TEMÁTICA DE LA METODOLOGIA CANADIENSE DE INDICADORES

COMPONENTE	AREAS TEMATICAS	INDICADORES
ATMOSFERA	Cambio climático	Emisiones canadienses de CO ₂ relacionadas con el consumo de energía Concentración atmosférica de CO ₂ Temperatura mundial
	Agotamiento de la capa de ozono	Producción e importación de productos químicos que destruyen la capa de ozono Niveles de ozono estratosférico
	Exposiciones radioactivas	Nivel de radioactividad en el aire
	Lluvia ácida	Emisiones de NO _x y SO _x
	Calidad del aire	Contaminantes atmosféricos comunes Contaminantes tóxicos
AGUA	Calidad del agua dulce	Población abastecida con agua tratada Vertidos urbanos a aguas dulces: DBO, SST y fósforos. Vertidos a aguas dulces de la industria de la pulpa y el papel: DBO y SST. Vertidos de sustancias reguladas a aguas dulces por refinerías. Concentración de fósforo y nitrógeno en el agua. Máxima concentración de pesticidas en el agua: 2,4d; antracina y lindano.
	Componentes tóxicos en los ecosistemas de agua dulce	Niveles de contaminación en huevos de gaviotas de las cuencas de los grandes lagos: PCBs y DDE. Niveles de contaminación en la trucha de lago: PCBs y DDE.
	Calidad del medio ambiente marino	Vertidos municipales a aguas costeras : SST y DBO. Descargas costeras de la industria de la pulpa y el papel : DBO y SST. Volumen de vertidos marinos. Areas cerradas a la explotación de mariscos. Niveles de contaminación de huevos en aves marinas: PCBs, dioxinas y furanos.
BIOTA	Diversidad biológica en peligro	Especies en peligro de extinción.
	Estado de la vida salvaje	Nivel de la población de aves migratorias.
	Areas protegidas	Areas protegidas
TERRITORIO	Urbanización	Conversión de suelo rural en urbano.

	Gestión de residuos sólidos	Tendencia en el tratamiento de residuos sólidos urbanos.
RECURSOS ECONOMICOS NATURALES	Bosques	Éxito en regeneración Vs. Área forestal total explotada.
	Agricultura	Cambios en el uso del suelo agrícola. Cantidad de fertilizantes químicos usados y su potencial nutriente asociado. Aplicación de pesticidas agrícolas en tierras cultivadas.
	Pesca	Total de capturas comerciales en costas canadienses (atlántica). Explotación comercial de pescado en los grandes lagos.
	Usos del agua	Extracciones primarias totales comparadas con incremento del PIB. Tasa de extracciones primarias y de consumo por sectores económicos claves. Tasa de recirculación de agua en sectores industriales claves. Consumo doméstico diario de agua per cápita.
	Energía	Consumo de energía primaria per cápita. Emisiones de CO ₂ por unidad de energía consumida. Consumo de combustibles fósiles expresados como porcentaje del consumo de energía primaria.

6.4.3.1 Análisis de la metodología

La metodología canadiense toca aspectos relacionados con el sector energético en dos de sus áreas temáticas:

1. En el área de cambio climático, se proponen indicadores para:
 - Medir emisiones de CO₂ por consumo de energía. Si bien en plantas termoeléctricas se produce CO₂ como producto de la combustión, no se puede incluir la medición de este parámetro en el sector analizado dentro de este indicador ya que dentro de la metodología no se está analizando la generación de energía sino su consumo.
 - Medir la concentración de CO₂ en la atmósfera. Dentro de los procesos productivos aportantes

de este gas a la atmósfera, se incluye el del sector eléctrico, mas específicamente, la generación carboeléctrica y, en menor grado, plantas de generación de energía a gas. Sin embargo, con la información disponible es difícil determinar la concentración total de CO₂ en la atmósfera, aunque si es factible establecer las emisiones a la atmósfera de este gas provenientes de las termoeléctricas. Esto último no es relevante para la totalidad del indicador propuesto y la medición de éste gas en la atmósfera corresponde a un indicador de estado mas que a uno de presión.

- Temperatura mundial. Al igual que en el caso anterior, la influencia de las termoeléctricas sobre este aspecto es definitiva. Sin embargo, su aporte no es el único por lo cual la medición dentro del contexto del indicador propuesto sería insuficiente para cubrir criterios como el de representatividad, confiabilidad y validez científica. También corresponde a un indicador de estado.

El subsector termoeléctrico también toca tangencialmente otras áreas temáticas como gestión de residuos sólidos y usos del agua.

Dentro del área temática de energía, los indicadores de emisiones de CO₂ por unidad de energía consumida y consumo de combustibles fósiles como porcentaje del consumo de energía primaria son una herramienta interesante para evaluar el desempeño de los proyectos termoeléctricos, sin embargo es posible que no se puedan calcular por la falta de información.

6.4.4 METODOLOGIA DE HOLANDA

El sistema holandés se diseño teniendo en cuenta que sus principales usuarios serían los agentes decisorios del sector tanto público como privado, considerando que necesitaban información agregada y concisa. Esta información debía ser, además, de interés para grupos sociales más amplios, sirviendo así como instrumento de concientización y participación pública en el apoyo de la política ambiental. en Holanda se decidió trabajar con indicadores de tipo retrospectivo los cuales deben representar el pasado a través del presente, este tipo de

indicadores se basa en los hechos.

El sistema de indicadores holandés se enfoca en objetivos políticos, por lo que considera los principales aspectos de la política ambiental de ese país. Debe considerarse además, que la política ambiental holandesa hace énfasis en las relaciones entre los problemas, caracterizándose por la utilización de un método integrado que relaciona los problemas con las causas y las soluciones.

El sistema de indicadores particularmente, está compuesto por índices, que son una agregación ponderada de indicadores más simples. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el concepto de índices manejado por Holanda tiene el mismo significado que se la venido dando en el desarrollo de éste trabajo a los indicadores.

La metodología holandesa busca establecer la correlación de los distintos aspectos de la problemática ambiental utilizando un método integrado que relaciona problemas, causas y soluciones.

El sistema establece dos tipos de indicadores así:

- A. Indicadores temáticos
- B. Indicadores de grupo objetivo

TABLA 5 CLASIFICACION DE LOS INDICADORES EN LA METODOLOGÍA HOLANDESA

INDICADORES TEMATICOS	INDICADORES DE GRUPOS OBJETIVO
Reúnen la problemática ambiental a nivel mundial, continental, fluvial, regional y local. Pueden ser indicadores de presión o de estado. Los temas son: Cambio climático	Corresponden a categorías de actividades socioeconómicas que causan las presiones al medio ambiente (grupos tema). Las actividades se han agrupado según los códigos

Acidificación ambiental	internacionales NACE: Agricultura
Eutrofización	Tráfico y transporte
Dispersión de sustancias tóxicas	Industria
Gestión de residuos sólidos	Sector energético
Perturbaciones en el ambiente urbano	Refinerías
Desecación de suelos	Sector de la construcción
Derroche de recursos	Sector de eliminación de residuos
	Consumidores y comercio minorista

Para elaborar los indicadores se establece una interrelación entre los dos grupos de clasificación mencionados, ya que cada problema (tema), es ocasionado por varios grupos objetivos y, a su vez, cada grupo objetivo contribuye a más de un tema.

Mediante la conversión de las diversas unidades de medida a una equivalente se construye un índice del tema. Es decir, para cada tema existen parámetros que en su conjunto generan el problema que refleja el tema; estos parámetros trabajan unidades particulares que deben unificarse en una unidad equivalente dando lugar a un índice adimensional que refleja una visión agregada del tema.

Para formar un único índice agregado con los índices temáticos, la metodología consiste en considerar como medida de la presión ejercida por la sociedad en cada área temática la distancia entre el nivel alcanzado por el índice temático y el objetivo establecido por la política ambiental en ese tema, expresado éste también en unidades equivalentes. Así, la distancia entre ambos punto se traduce en una nueva unidad denominada equivalente-presión ambiental. Cada tema puede ser referido en términos de equivalentes-presión ambiental para hacerlos agregables entre sí, dando como resultado un índice global de presión ambiental para todo el país⁸.

TABLA 6. ELABORACION DE CADA TIPO DE INDICADORES. METODOLOGIA HOLANDESA

INDICADORES TEMATICOS	INDICADORES DE GRUPOS OBJETIVOS	INDICADORES ORIENTADOS A LA POLITICA AMBIENTAL REGIONAL
-----------------------	---------------------------------	---

⁸ ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales. Una Propuesta para España. 1996.

<p>Para cada tema se establecen unidades de medida -equivalentes tema-, que reflejan la presión ambiental. Se seleccionan las principales sustancias causantes de cada problema, se ponderan según su contribución al tema quedando expresadas en la unidad de medida del mismo, siendo así agregables, para dar lugar al indicador.</p>	<p>Se determina la contribución porcentual de cada grupo objetivo a cada tema. Se seleccionan los tres principales temas para cada grupo objetivo (aporte igual o superior al 80%). Se seleccionan las principales sustancias que contribuyen a cada tema en relación con cada grupo objetivo. Se reducen todas las contribuciones por temas y grupos objetivos a una unidad común, correspondiente a la de cada indicador temático (equivalente-tema). Por último, se transforman todas las contribuciones por tema y grupo objetivo a una unidad denominada equivalente de presión ambiental, haciendo agregables las contribuciones para obtener finalmente un único indicador por grupo objetivo</p>	<p>Estos indicadores son complementarios de los indicadores temáticos a nivel nacional. Muestran zonas con problemas ambientales que requieren especial atención con base en la sensibilidad y vulnerabilidad de cada área geográfica. Se analizan cuatro problemas ambientales a nivel regional: Acidificación Eutrofización (por uso excesivo de fertilizantes) Dispersión de sustancias tóxicas Desecación Se trabajan cuatro niveles de agregación de los datos: Nivel base: datos expresados en sus dimensiones originales. Nivel de equivalente-tema: datos expresados en las unidades definidas para cada tema. Nivel de equivalente-presión ambiental: unidades de los indicadores de grupo objetivo. Nivel de factor de emisión: se obtiene dividiendo cada indicador de grupo objetivo por un indicador de la actividad económica del sector en cuestión. Se obtiene así la presión ambiental por unidad de actividad económica.</p>
--	--	--

La transformación de las unidades se hace ponderando con base en la distancia a unos objetivos. Estos objetivos pueden ser de política ambiental o de sostenibilidad. Actualmente se trabaja con objetivos del segundo tipo, que fueron fijados para el desarrollo del sistema pero que no se han determinado oficialmente para los Países Bajos.

Posteriormente, el sistema propone la creación de índices para cada grupo así:

TABLA 7. CLASIFICACION Y ELABORACION DE INDICES. METODOLOGIA HOLANDESA

INDICE DE TEMAS	INDICE DE GRUPOS OBJETIVO	INDICE PARA LA MEJORA AMBIENTAL
<p>Se construye agregando los siete indicadores de temas ponderados.</p>	<p>Se elabora agregando los siete indicadores de grupos objetivos ponderados. A partir de este se construye un factor de emisión general dividiendo el índice de grupos objetivo por el PIB del país.</p>	<p>Se basa en la contribución relativa de cada tema a la situación ambiental. Comparando dichas contribuciones para diferentes años se puede deducir la mejor producida. Así, una disminución en el índice de temas conlleva a un aumento del índice de mejora ambiental.</p>

6.4.4.1 Análisis de la metodología

La metodología holandesa se inclina por el desarrollo de índices de desempeño. Sin embargo, la metodología propuesta para la unificación de unidades en equivalentes es interesante aunque no es presentada en forma suficientemente clara para poder implementarla en el caso de

indicadores de presión para termoeléctricas y su aplicación es más compleja si se tiene en cuenta que en el país no existen metas de política ni de sostenibilidad con las cuales hacer las comparaciones y los cálculos de los equivalentes.

6.4.5 METODOLOGIA DE NORUEGA

El objetivo del sistema es proporcionar indicadores del estado del medio ambiente, es decir, la respuesta del medio a las presiones humanas.

El sistema se orienta a los efectos (estado) mas que a las causas (presión), ya que refleja mas la calidad ambiental que los factores de presión sobre el medio. Teniendo en cuenta lo anterior, define las siguientes áreas:

- Cambio climático
- Destrucción de la capa de ozono
- Medio ambiente urbano: salud y ruido
- Eutrofización
- Acidificación: daño a bosques y peces
- Contaminación
- Recreación y biodiversidad

Para cada área existen tres tipos de indicadores:

- Grupo de indicadores de respuesta o de calidad: éste es el principal grupo. Refleja la calidad ambiental. No incluye indicadores de recursos naturales o de factores sociales o económicos. Se expresan en unidades físicas, no monetarias.
- Grupo de indicadores de presión: es un grupo secundario dependiente del anterior.
- Grupo de indicadores estructurales: este grupo se creará posteriormente y en este se incluirá información demográfica y económica en el grupo secundario (indicadores de presión).

6.4.5.1 Análisis de la metodología

El objetivo de esta metodología es la elaboración de indicadores de estado más que de indicadores de presión, estos segundos tratados como un grupo secundario que conceptualmente podría ser una herramienta para la elaboración de indicadores de impacto para este estudio específicamente. Sin embargo, la metodología no está suficientemente explícita para intentar su implementación.

6.4.6 METODOLOGIA DE SUECIA

La política ambiental de este país se interesa especialmente en los mecanismos de control ambiental a nivel nacional, regional y local. El objetivo de la agencia ambiental encargada es desarrollar un sistema de índices que ofrezcan una visión global del estado de los ecosistemas suecos, todo ello en el marco del desarrollo de cuentas físicas y contabilidad ambiental.

Se pretende establecer una conexión entre los temas de economía y medio ambiente en el marco del concepto de desarrollo sostenible.

El modelo adoptado implementa los indicadores más utilizados a nivel internacional; considera varias áreas de protección y las relaciona con cada uno de los ecosistemas definidos:

TABLA 8 ORGANIZACIÓN TEMÁTICA DE INDICADORES. SUECIA.

AREAS PRIORITARIAS DE PROTECCION	Salud humana Conservación de la biodiversidad Conservación de recursos naturales Protección de espacios naturales y cultivados
ECOSISTEMAS	Cultivos Bosques Costas Paisajes naturales Aguas interiores Medio urbano

Para cada ecosistema y área de protección se selecciona uno o varios indicadores que,

agregados constituirán un único índice. La selección de los indicadores depende de la disponibilidad de información. Posteriormente, se continúa el proceso de agregación, simplificando en un único índice para el ecosistema, los índices correspondientes a cada área. El peso de cada área de protección en cada ecosistema varía según su relevancia concreta.

Se planea incluir en un futuro los índices ambientales dentro de la información utilizada para evaluar la política ambiental, por lo que se han desarrollado dos proyectos: «Cuentas físicas/coste de la protección ambiental» y «Contabilidad monetaria/PIB verde».

Las cuentas físicas se elaborarán para energía, emisiones, residuos, usos de productos químicos y costo social de las medidas de protección ambiental, lo que implica relacionar actividades económicas con impactos ambientales. La contabilidad monetaria pretende traducir en términos monetarios el impacto ambiental y la degradación y/o pérdida de recursos naturales.

Aunque presenta objetivos bien definidos, el sistema sueco de indicadores ambientales presenta limitaciones:

- Al agregar los indicadores en índices, se pierde la importancia relativa de cada indicador y puede conducir a interpretaciones erróneas sobre el estado de los ecosistemas (especialmente para indicadores de biodiversidad). Para reducir esta deficiencia se ha propuesto trabajar por fases, con un panel de científicos para agregar indicadores dentro de una misma área de protección, y con un panel político, económico y ético para agregar indicadores de distintos ecosistemas.
- El sistema de índices propuesto es básicamente de *estado* por lo que queda en el vacío el eslabón que vincula la presión ambiental con el estado, así como los sectores económicos responsables del deterioro y la magnitud del mismo.

6.4.6.1 Análisis de la metodología

Como las metodologías anteriores, ésta pretende lograr una visión global por lo cual los

aspectos concernientes al subsector termoeléctrico son tocados indirectamente ya que el análisis temático no incluye sectores productivos sino áreas prioritarias de protección y ecosistemas. Además, busca analizar el estado ambiental y no profundiza el estudio de las presiones ambientales, el cual es objetivo de este trabajo.

Por lo anterior, tampoco es recomendable aplicar la metodología sueca para la elaboración de indicadores de impacto para termoeléctricas.

6.4.7 METODOLOGIA DE LA COMISION ECONOMICA PARA EUROPA DE NACIONES UNIDAS (CEPE)⁹

La CEPE define como indicador ambiental "...un agregado estadístico que puede ser utilizado para caracterizar el estado y la evolución en el tiempo de una situación que corresponde a una inquietud social referente al medio ambiente". Un indicador ambiental es una variable que ha adquirido un significado mayor al de una variable.

La CEPE trabaja un sistema en el que se seleccionan variables estadísticas que satisfacen las condiciones de indicadores ambientales *per se*. Los indicadores se agrupan en Areas de Interés Ambiental de la CEPE:

⁹ ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales. Una Propuesta para España. 1996.

TABLA 9. INDICADORES AMBIENTALES DE LA CEPE

AREAS DE INTERES AMBIENTAL	INDICADORES
Naturaleza	Clima y meteorología (incluye medio ambiente marino) Suelo y subsuelo Vida salvaje Vegetación Riesgos naturales
Recursos	Recursos del suelo Recursos energéticos y mineros Agua Bosque y otros recursos forestales
Actividades humanas que afectan el medio	Emisiones de contaminantes al agua, a la atmósfera y al suelo Generación de residuos sólidos y residuos peligrosos Ruido Desarrollo de asentamientos humanos
Calidad del medio, las especies y los hábitat	Calidad atmosférica Calidad del agua Calidad del suelo Calidad del hábitat y las especies Calidad de los asentamientos humanos
Gestión Ambiental	no se plantean indicadores

Cada área es cubierta por uno o más indicadores, procurando que se obtenga un número reducido. Un indicador puede cubrir una o varias áreas.

El sistema no ha sido totalmente desarrollado. En este momento se están adelantando de algunos indicadores:

- cambio en los usos del suelo
- producción de energía primaria
- extracciones primarias de agua *per cápita*
- daños forestales
- emisiones de contaminantes atmosféricos seleccionados
- generación de residuos sólidos
- deposición ácida húmeda
- concentración de sustancias seleccionadas en áreas urbanas

- áreas protegidas

6.4.7.1 Análisis de la metodología

Las actividades del subsector termoeléctrico pueden influenciar indicadores de las distintas áreas de interés ambiental, así como incluir sus impactos dentro de los indicadores que hasta ahora se han propuesto (cambio en los usos del suelo, daños forestales, emisión de contaminantes atmosféricos, generación de residuos sólidos). Sin embargo, la literatura consultada no presenta el desarrollo metodológico por lo que no se puede intentar su implementación. Es importante considerar que las presiones ambientales generadas por la operación de las plantas termoeléctricas están incluidas de una u otra forma dentro de algunos de los indicadores propuestos.

6.4.8 METODOLOGIA DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACION Y EL DESARROLLO ECONOMICO OCDE¹⁰

La OCDE propone un sistema de estadísticas bajo el modelo de causalidad Presión-Estado-Respuesta (P-E-R), estructurado a través de una serie de áreas problema que agrupan diferentes conflictos ambientales:

1. Cambio climático
2. Destrucción de la capa de ozono
3. Eutrofización
4. Acidificación
5. Contaminación tóxica
6. Medio ambiente urbano
7. Biodiversidad

¹⁰ OCDE. Environmental Indicators. OECD Core Set. París, 1995.

8. Diversidad de ecosistemas
9. Residuos
10. Recursos hídricos
11. Recursos forestales
12. Recursos pesqueros
13. Erosión
14. Indicadores generales.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico ha generado tres sistemas de indicadores ambientales:

1. Indicadores para evaluación de la política ambiental (trabaja bajo los temas enumerados anteriormente).
2. Indicadores para la integración de las preocupaciones ambientales en las políticas de los sectores, tales como energía, agricultura, transporte y sector forestal.
3. Indicadores para la integración de las preocupaciones ambientales en la política económica.

Los indicadores de integración representan, basados en información altamente agregada y científicamente fundada, el estado y la evolución de las relaciones entre el sector y el medio ambiente en sus diversas facetas, y permiten vincular el impacto ambiental del sector con políticas sectoriales específicas¹¹.

Algunos de los indicadores de la OCDE presentados en la literatura consultada son indicadores de medición inmediata, otros necesitan ser enriquecidos para su presentación y otros son medibles a largo plazo, debido a la ausencia total de información. En los tres casos, los indicadores han sido diseñados como herramientas para la evaluación del desempeño ambiental y para que constituyan un aporte en el proceso de construcción de indicadores de sostenibilidad.

¹¹ ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales. Una Propuesta para España. 1996

TABLA 10. INDICADORES PROPUESTOS POR OCDE SEGÚN EL TEMA AMBIENTAL

TEMAS	PRESION Indicadores de presión ambiental	ESTADO Indicadores de condiciones ambientales	RESPUESTA Indicadores de respuestas sociales
Cambio climático	Índice de emisiones de gases de efecto invernadero** Emisiones de CO ₂	Concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero** Temperatura media global	Eficiencia energética** Intensidad energética Elementos económicos y fiscales
Reducción de la capa de ozono	Índice de consumo efectivo de sustancias reductoras de la capa de ozono** Consumo efectivo de CFCs y halones	Concentraciones atmosféricas de sustancias reductoras de la capa de ozono** Radiación UV-B a nivel del suelo**	Tasa de recuperación de CFC
Eutroficación	Emisiones de N y P en el agua y el suelo (balance de nutrientes)** N proveniente de uso de fertilizantes y ganadería	Concentraciones de DBO/OD y P en aguas continentales y marinas**	% de la población relacionada con plantas de tratamiento biológico o químico de aguas residuales** Cuotas pagadas por los usuarios por tratamiento de agua residual Parte del mercado de detergentes libres de fosfato
Acidificación	Índice de sustancias que contribuyen a la acidificación Emisiones de NO _x y SO _x	Exceso de cargas críticas de pH en agua y suelo. Concentraciones en precipitación ácida	% de vehículos equipados con convertidores catalíticos** Capacidad de los equipos de control de SO _x y NO _x en fuentes fijas**
Contaminación tóxica	Emisiones de metales pesados** Emisiones de compuestos orgánicos** Consumo de pesticidas	Concentración de metales pesados y compuestos orgánicos en los componentes ambientales y en los seres vivos. Concentraciones de metales pesados en ríos.	Cambios en el contenido de tóxicos en los procesos de producción. Porción del mercado correspondiente a combustibles sin plomo
Calidad del ambiente urbano	Emisiones atmosféricas urbanas de: SO _x , NO _x , COV**. Densidad de tráfico urbano y nacional Grado de urbanización	Población expuesta a contaminación del aire y ruido** Condiciones ambientales del agua en áreas urbanas**	Espacios verdes** Instrumentos económicos, fiscales y regulatorios** Normas de tratamiento de agua y reducción de ruido.
Biodiversidad/paisaje	Alteración de los hábitats y cambio de uso del suelo**	Especies amenazadas o extintas como parte del total de especies conocidas**	Áreas protegidas como porcentaje del territorio nacional** y por tipo de ecosistemas**
Residuos	Generación de residuos**: municipales industriales nucleares peligrosos	NO APLICABLE	Minimización de residuos** Tasa de reciclaje Instrumentos económicos y fiscales, gastos.
Recursos hídricos	Intensidad de uso de los recursos hídricos**	Frecuencia y duración de los períodos de escasez de agua.	Precios del agua y cobros por tratamiento de aguas residuales.
Recursos forestales	Relación de la producción actual y la capacidad productiva**.	Área, volumen y estructura de los bosques**.	Manejo y protección de áreas forestales**.
Recursos pesqueros	Pesca: número de capturas**.	Tamaño de los stocks de producción**.	Regulación de los stocks (cuotas).
Degradación del suelo (desertificación y erosión).	Riesgos de erosión por: uso actual y potencial del suelo en agricultura**. Cambio en el uso del suelo.	Grado de pérdidas de horizontes del suelo**.	Áreas recuperadas**.
Indicadores generales no	Crecimiento y densidad de población**.	NO APLICABLE	Gastos ambientales**. Gastos en equipos de control y

atribuibles a aspectos específicos	Crecimiento del GDP** Gastos de consumo del sector privado**. Producción industrial**. Estructura para la prestación del servicio de energía**. Volúmenes de tráfico terrestre**. Stock de vehículos terrestres. Producción agrícola**.		reducción de la contaminación. Opinión pública**.
------------------------------------	--	--	--

** principales indicadores.

Fuente: OCDE. Environmental Indicators. OECD Core Set. París, 1995

6.4.8.1 Análisis de la metodología

Como en las anteriores metodologías, la propuesta de la OCDE está enmarcada dentro del concepto de sostenibilidad y los temas que son relevantes para la elaboración de indicadores de impacto para termoeléctricas no se consideran directamente sino implícitamente dentro de otros indicadores.

Al ser una propuesta de los países industrializados básicamente, considera problemáticas cuya magnitud e importancia actualmente en el país son bajas, tales como la acidificación o el cambio climático. Por lo tanto la magnitud de los problemas varía en países en desarrollo como el nuestro.

6.4.9 METODOLOGIA DE LA UNION EUROPEA

La información ambiental recogida en la Unión Europea se organiza en tres generaciones estadísticas:

1. estadísticas vinculadas a la legislación ambiental
2. estadísticas sobre el estado del medio ambiente (CORINE)
3. el sistema de indicadores presión - estado - respuesta

La primera generación dispone de indicadores que responden a los requerimientos de los informes sobre cumplimiento de la legislación ambiental a través de la DG IX. Sin embargo, los

datos no son estadísticamente utilizables debido a la falta de homogeneidad en el sistema de recolección y exposición de la información, error que se viene corrigiendo desde 1991, con el manejo de este aspecto por parte de una Directiva.

La segunda generación, también ha sido desarrollada por la DG IX, a través de iniciativas como CORINE y sus predecesoras. CORINE ofrece desde 1975 información sistematizada de los datos locales sobre el estado del medio ambiente. Este trabajo fue continuado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), y se realiza actualmente por otra agencia europea.

La información presentada en la segunda generación es limitada debido a la falta de coordinación entre los programas de control y recolección de la información de los estados miembros de la Unión Europea, deficiencia que se pretende corregir en la tercera generación.

El objetivo de la tercera generación es ilustrar cómo las actividades económicas afectan el medio ambiente y de qué manera los diferentes agentes sociales modulan estos impactos. En ésta se define un Sistema Europeo de Indicadores Ambientales (SEI) y una línea de trabajo para confección de cuentas nacionales según criterios ecológicos y con un formato satélite. El SEI busca conformar un sistema de indicadores comunes a todos los países de la Unión Europea, a partir de los cuales se pueda construir un índice agregado de presión ambiental.

Adicionalmente, se ha puesto en marcha un proyecto conjunto a nivel europeo sobre Índices de Presión dentro del modelo de presión - estado - respuesta. Las áreas seleccionadas para el desarrollo de los índices son las siguientes:

- Cambio climático
- Destrucción de la capa de ozono
- Pérdida de la biodiversidad
- Agotamiento de recursos
- Dispersión de productos tóxicos

- Residuos
- Contaminación atmosférica y acidificación
- Ambiente marino y costero
- Contaminación del agua y recursos
- Ambiente urbano, ruido y olores

El proyecto busca básicamente definir índices de presión consistentes en cada área. La selección de los indicadores de base por área y la ponderación para agregarlos en un índice se hace inicialmente por científicos especializados en cada área. Ellos definen la necesidad de conocimientos de las presiones sobre el medio que ejercen las actividades económicas. Simultáneamente, otros grupos definen la consistencia técnica y metodológica de los indicadores seleccionados y la demanda de información que implican, a la vez que los sistemas estadísticos y de tratamiento de la información que permitan la elaboración consistente de datos ambientales y económicos, asumiendo la complejidad que ello supone en cada una de las áreas temáticas seleccionadas.

6.4.9.1 Análisis de la metodología

Dentro del proyecto conjunto sobre índices de presión (modelo P-E-R), las actividades del subsector termoeléctrico están implícitas en áreas como cambio climático; residuos (principalmente por cenizas y escoria. El problema radica en la disposición de estos materiales después de que han sido recogidos en los sistemas de control); contaminación del agua y recursos hídricos (el agua proveniente de los sistemas de enfriamiento abiertos contamina el cuerpo de agua receptor por carga térmica, ya que vierte aguas con temperaturas superiores en un rango de 10 a 15 °C¹²). El trabajo que propone para construir los índices de presión involucrando un equipo interdisciplinario de especialistas dará como resultado indicadores que

¹² GARCIA LOZADA, Hector, Consultor Ambiental, Planteamiento Estratégico del Programa de Reconversión a Tecnologías Limpias en Termoeléctricas. Informe Final. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Empresa Colombiana de Carbón Ltda. - Ecocarbón. Santafé de Bogotá, Marzo de 1997.

seguramente se apegaran a todos los criterios de construcción de indicadores y además serán muy específicos y representativos de la situación europea. Sin embargo la literatura no presenta la metodología utilizada para la elaboración de los indicadores que propone.

6.5 INDICADORES PARA INTEGRACION DE CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN LAS POLITICAS SECTORIALES

Los indicadores ambientales sectoriales propenden por la creación de un sistema de información que permita que los aspectos ambientales relevantes se tengan en consideración en los primeros momentos de la toma de decisiones en las políticas sectoriales.

Los indicadores de integración sectorial se distinguen de los indicadores ambientales sólo en algunas peculiaridades:

- El ámbito de los indicadores sectoriales es la interrelación entre un sector específico de la actividad económica y el medio ambiente mientras que los indicadores ambientales se refieren a la interrelación global de la sociedad con el entorno.
- Los indicadores sectoriales están orientados a un proceso específico de toma de decisiones, las políticas sectoriales, por lo cual deben propiciar la integración de la problemática ambiental en tales políticas.
- Los indicadores sectoriales presentan una estructura analítica propia que se adapta tanto a su objeto como a la función que deben cumplir.

El marco de análisis dominante en el ámbito internacional es el de presión-estado-respuesta propuesto por Frien y Rapport (1979). Teniendo en cuenta la integración de los aspectos ambientales en las políticas sectoriales, los indicadores se organizan en tres bloques¹³:

¹³ ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales. Una Propuesta para España.1996

TABLA 11. BLOQUES DE INDICADORES PARA POLITICAS SECTORIALES

Tendencias sectoriales ambientalmente relevantes	Agrupar todos los indicadores que permiten derivar tendencias sectoriales positivas o negativas para el medio.
Impacto ambiental	Representan el impacto que el sector tiene sobre el ambiente por el uso de los recursos naturales en sus actividades. Se trata de un grupo de indicadores más complejo ya que obligan a establecer una relación directa entre los niveles de inmisión y el sector, siendo lo más común contar con indicadores de emisión mas que con indicadores sectoriales de inmisión o de participación sectorial en los niveles de inmisión detectados. Pueden agruparse por áreas ambientales, permitiendo establecer el medio afectado por cada uno de los impactos identificados.
Consideraciones económicas	Describen cuestiones referentes al análisis económico de los aspectos ambientales sectoriales. Se determinan mediante el análisis de los instrumentos económicos sectoriales usuales bajo el prisma de su conveniencia o inconveniencia ambiental, junto con valoraciones económicas de eficiencia orientadas ambientalmente.

Teniendo en cuenta que este trabajo pretende elaborar indicadores para un sector específico sirve como herramienta para el análisis de la influencia del desarrollo de las actividades del sector sobre el ambiente, constituyéndose en un elemento de apoyo para la toma de decisiones a nivel sectorial con respecto a las disposiciones que implican impactos sobre los recursos naturales.

6.5.1 INDICADORES PARA EL SECTOR ELECTRICO

Además de ser un factor importante para el desarrollo, la energía en cada una de sus etapas (producción, transformación y distribución) supone una causa de deterioro ambiental por las emisiones atmosféricas generadas, el consumo y contaminación del agua, ocupación del suelo, generación de residuos, etc. La OCDE ha elaborado indicadores sectoriales para los sectores energía y transporte, los cuales podrían servir como guía en el presente trabajo.

El Ministerio del Medio Ambiente de España, basado en lo expuesto por la OCDE, presenta indicadores sectoriales para el sector eléctrico divididos en tres partes, relativas a indicadores de

tendencia, de impacto y económicos:

TABLA 12. ORGANIZACIÓN DE INDICADORES PARA EL SECTOR ELECTRICO

TENDENCIA	IMPACTO	ECONOMICOS
Tendencias ambientalmente relevantes. Derivan tendencias sectoriales positivas o negativas para el medio. Los aspectos aquí evaluados corresponden a: consumo de energía; eficiencia energética; autoabastecimiento; intensidad energética y energías renovables.	Repercusiones de la producción energética en el ámbito local y global. Contempla los siguientes aspectos: consumo de agua; contaminación hídrica; contaminación atmosférica; producción de residuos sólidos; usos del suelo y seguridad.	Pueden relacionarse las características económicas del sector con los aspectos ambientales del mismo. Incluyen: Producción del sector energético; gastos del sector energético; gastos defensivos y en I+D ambientales; precios impuestos y subsidios.

A continuación se presentan los indicadores de impacto propuestos por España para el sector eléctrico los cuales, en su mayoría, constituyen indicadores simples que expresan las variables a través de parámetros y buscan la determinación de los impactos a partir de la comparación de las emisiones de contaminantes con las máximas permitidas por las normas.

TABLA 13. INDICADORES DE IMPACTO. ESPAÑA

TEMA	INDICADOR	DESCRIPCION
<p>CONSUMO DE AGUA En el sector energético, se requieren ciertas cantidades de agua en algunas etapas de los procesos por lo que deben considerarse ya que hace necesaria la disposición de una fuente de este recurso.</p>	Consumo total de agua	Cantidad de agua utilizada en el ciclo de la energía.
<p>CONTAMINACION HIDRICA En el sector energético se produce contaminación térmica (en el proceso de enfriamiento), física (minería del carbón: arrastre de sedimentos y aparición de sólidos suspendidos en el agua) y química (en la producción, transformación, transporte y utilización de la energía).</p>	Contaminación térmica del agua	Diferencias en la temperatura del agua vertida y la del receptor.
	Contaminación física del agua	Comparación con la norma (dec. 1549/95)
	Contaminación química del agua	Comparación con la norma (dec. 2105/83)
<p>CONTAMINACION ATMOSFERICA Impacto más importante. Incluye los siguientes contaminantes: SO_x y (responsables de la acidificación), CO₂, compuestos orgánicos volátiles.</p>	Contaminación atmosférica por SO _x , NO _x , CO, CO ₂ y compuestos orgánicos volátiles.	<p>Emisiones de CO₂ Emisiones de CH₄ Emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metálicos Emisiones de óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) Emisiones de óxido nitroso Emisiones de SO₂ Emisiones de CO Comparación de las emisiones con la norma (Decreto 948 y 02/82)</p>
<p>PRODUCCION DE RESIDUOS SOLIDOS Principalmente en termoeléctricas: tratamiento y combustión de carbón. Adicionalmente se genera el problema de almacenamiento y transporte de escorias.</p>	Producción de residuos tóxicos producción de residuos no tóxicos producción de residuos radioactivos	<p>Cantidades de residuos producidas Niveles de toxicidad de los residuos % de residuos procesados para reuso % de residuos dispuestos apropiadamente</p>
<p>USO DEL SUELO El principal impacto en el suelo es producido por la minería del carbón. Incluye además la ocupación del suelo.</p>	Superficie ocupada	Superficie de suelo ocupada por instalaciones de producción, transformación, transporte y distribución de energía.
<p>SEGURIDAD Riesgo de accidentes existente y nivel de seguridad disponible. Principales peligros: hundimientos (minería de carbón), explosiones, incendios y peligros derivados de las emisiones de contaminantes y del vertido de residuos sólidos y líquidos.</p>	Accidentes	<p>Número de accidentes Número de afectados por accidentes</p>

7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL COLOMBIANO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN TERMOELÉCTRICAS

7.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Para 1997 existían en el país 5 plantas carboeléctricas para la generación de energía¹⁴, con una capacidad instalada de 932.5 MW. El consumo de carbón varía de 1 a 1.5 millones de toneladas anuales dependiendo del nivel de utilización de las plantas. La generación del componente térmico se encuentra alrededor del 25% con respecto a la generación anual total en el país y de este porcentaje se puede decir que cerca de un 7% corresponde a la generación eléctrica a base de carbón, es decir, 1.75% del total del país.

Las plantas térmicas se abastecen de carbón explotado en yacimientos próximos. Sin embargo, parte del carbón utilizado en la planta de Yumbo (Valle) procede de la zona minera cundiboyacense. El carbón empleado en generación de energía eléctrica tiene las siguientes características¹⁵

TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN EMPLEADO EN TERMOELECTRICAS

Análisis Próximo	Paipa	Zipa	Yumbo	Tasajero	Guajira
Humedad %	7 a 9	6 a 8	8 a 9	3.2	8.2
Cenizas %	18	17.6	18	11	5
M. Volátil %	44	28 a 33	35	34	34

¹⁴ GARCIA LOZADA, Hector, Consultor Ambiental, Planteamiento Estratégico del Programa de Reconversión a Tecnologías Limpias en Termoeléctricas. Informe Final. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Empresa Colombiana de Carbón Ltda. - Ecocarbón. Santafé de Bogotá, Marzo de 1997.

¹⁵ Op cit

Poder Calorífico Kcal/Kg	6087	7331	6000	7700	6778
Azufre %	1.5	1.2	1.4	1.5	0.6

Fuente : Formulario IE-1 y formulario para levantamiento de información ambiental de centrales termoeléctricas del sector eléctrico, abril de 1993. Visita Técnica en octubre/96.

Para 1997 las termoeléctricas presentaban una edad tecnológica promedio de 25 años, así, las plantas a vapor presentaban eficiencias energéticas inferiores a las de las tecnologías mas eficientes en un 15 a 40%, y las turbinas a gas eficiencias menores al 50% ya que en este último caso el avance tecnológico ha sido mayor.

Las plantas carecen o presentan tecnologías obsoletas para el control de emisiones a la atmósfera. Se distinguen dos generaciones de plantas:

- i Plantas sin sistemas de control de emisiones
- ii Plantas con equipo básico para control de emisiones, instalados en la década de los 80's

Una tercera generación tecnológica en el campo ambiental estaría conformada por los proyectos de expansión, donde se incluirían quemadores de bajo NO_x para turbinas a gas.

Los factores de disponibilidad del parque térmico tienden a mostrar índices bajos porque algunos factores de incidencia como programas preventivos de mantenimiento y manejo no se han adoptado.

Según lo acordado en los contratos de suministro de carbón por parte de las plantas y los proveedores, los camiones que transportan el carbón deben cumplir con las regulaciones expedidas por el Instituto Nacional de Vías y el Ministerio del Medio Ambiente, referentes al transporte de este material. Según los reglamentos de las centrales, solamente pueden ingresar los camiones que lleven la carga debidamente cubierta con carpa. Está regla también se aplica a los camiones que salen de la planta con cenizas.

En las termoeléctricas del país el carbón es almacenado en pilas en áreas destinadas para tal fin.

El apilamiento se realiza siguiendo las recomendaciones técnicas de ECOCARBÓN y posee un sistema de hidrantes ubicado estratégicamente alrededor del patio de carbón, que se puede utilizar para humectar el carbón impidiendo la emisión de partículas volátiles y, de ser necesario, trabaja como sistema para apagar incendios por combustión espontánea. Se manejan dos pilas: una de almacenamiento y otra de consumo. Alrededor del patio hay un sistema de canales para el manejo de lixiviados. El patio está protegido por una barrera viva.

En termoeléctricas, las cenizas se generan como subproductos de la combustión del carbón y son extraídas del fondo del hogar de la caldera y de los precipitadores en las chimeneas. Las cenizas volantes, extraídas de los precipitadores, representan el 90% del volumen y las del fondo, extraídas del hogar de la caldera, representan el 10%. Otros tipos de combustibles también generan cenizas en el momento de su combustión.

Hasta ahora, la disposición de las cenizas se considera como una operación de descarga y acumulación en un lugar determinado. Actualmente, las plantas carboeléctricas de Tasajero, Termozipa y Termoyumbo han puesto en práctica programas de reutilización de cenizas con muy buenos resultados, que les han permitido resolver un problema de gran magnitud.

En un estudio realizado por la Universidad del Valle sobre manejo y reutilización de las cenizas producidas por las centrales carboeléctricas¹⁶, se presentan diferentes alternativas de reutilización de las cenizas en forma específica para cada central. Las recomendaciones más habituales para todas las plantas son la utilización como materia prima para la elaboración de cementos y como base para la construcción de carreteras; usos que ya han sido probados con las cenizas de Zipa y Yumbo. No obstante, para lograr la reutilización de estos subproductos de la combustión, es necesario principalmente reducir el contenido de inquemados en las cenizas, situación que se resolvería con la mejora de los procesos de combustión y con una homogenización de las

¹⁶ op cit

partículas de carbón. Esto último se logra mejorando los procesos de molienda del carbón antes de la combustión.

7.2 ASPECTOS AMBIENTALES

7.2.1 EMISIONES ATMOSFERICAS

Las plantas de generación termoeléctrica como cualquier actividad industrial causa impactos ambientales sobre los diferentes componentes ambientales. Sin embargo, dependiendo de la tecnología y el combustible empleado, se podría afirmar que el mayor impacto ambiental es la emisión de contaminantes a la atmósfera, producidos por el proceso de combustión y la generación de ruido¹⁷.

El potencial de impacto ambiental primario causado por los procesos de generación termoeléctrica y cogeneración es el deterioro de la calidad del aire, cuya magnitud depende, entre otros, de los siguientes factores¹⁸:

- Calidad del aire de fondo del área
- Combustible utilizado en el proceso
- Tecnología de generación o cogeneración empleada
- Sistemas de control, eficiencia y prácticas operativas
- Condiciones climáticas y topográficas del área

Los impactos ambientales secundarios se describen en relación con el elemento o sustancia contaminante que los causa y son los relacionados con la salud humana, la fauna, la flora, las construcciones y cuerpos de agua, desencadenados por el aumento de la concentración en el aire de una o más sustancias¹⁹.

¹⁷ ORGANIZACIÓN Latinoamericana de Energía OLADE. Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas. Quito, 1993

¹⁸ SENA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración, Parte Aire y Ruido. Santafé de Bogotá, Enero de 1999

¹⁹ WARK, Kenneth. Contaminación del Aire, Origen y Control. 2ª Edición. Mejico. Editorial Limusa. 1990

La emisión de contaminantes depende de factores como las características específicas del combustible, la tecnología empleada y la eficiencia de la combustión, entre otros. En las siguientes tablas se indican los contaminantes producidos según el tipo de combustible empleado en la generación termoeléctrica:

TABLA 15 EMISION DE CONTAMINANTES POR COMBUSTIBLES*

COMBUSTIBLE	SO _x	NO _x		CO	CO ₂	COV	PARTICULAS	TOXICOS
		Térmico	Combustible					
Carbón								
Gas natural								
Fuel Oil N°2								
Fuel Oil N°6								
Crudo de Castilla								
Biomasa								
Residuos pesados								
Factor condicionante de la emisión	Contenido S combustible	Diseño quemadores	Contenido N combustibles	Características de la combustión		Contenido de cenizas y otros elementos		

*Tomado de: Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido. Versión 01 Enero 1999

El decreto 02/82 determina normas de calidad del aire para algunas industrias en particular. Contempla dos aspectos relevantes: altura de la chimenea, definida para plantas a carbón y fuel oil pero no para gas, y emisión de partículas, aplicable sólo a plantas a carbón.

7.2.2 RESIDUOS LIQUIDOS

En termoeléctricas, las aguas residuales generadas son de origen doméstico e industrial.

TABLA 16. ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES EN TERMOELECTRICAS

DOMESTICAS	INDUSTRIALES
Dotación sanitaria de casino y oficinas	Regeneración de resinas, lavado de partes externas de equipos, sistema de enfriamiento, drenaje de pilas de carbón, transporte de cenizas y mantenimiento de calderas.

Tomado de: Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido. Versión 01 Enero 1999

Regeneración de resinas: durante el proceso de regeneración de resinas de los intercambiadores iónicos de agua para la caldera, se produce una solución salina concentrada al mezclarse el ácido y la base que se utilizan en este proceso. En las térmicas esta agua se trata en un tanque de neutralización antes del vertimiento.

Lavado de partes externas del equipo: el efluente del lavado de las superficies de los equipos que se encuentran en contacto con el fuego o con los vapores del horno, es un líquido cargado de sólidos suspendidos y de carácter ácido, enviado generalmente a un tanque de neutralización.

Sistema de enfriamiento: en este proceso se utiliza la mayor cantidad de agua. Se trabajan dos sistemas de enfriamiento: abierto y cerrado. En el sistema de enfriamiento abierto, las aguas son captadas para su utilización y vertidas en el mismo cuerpo de agua (este sistema es el responsable de la contaminación o carga térmica del agua); en el sistema cerrado, toma agua de las fuentes unicamente para reponer las pérdidas que pueden producirse durante el proceso de enfriamiento y no se producen vertimientos.

El sistema de enfriamiento abierto es menos costoso pero el impacto ambiental que causa es mayor ya que vierte al efluente agua a temperaturas 10 a 15°C mayores que la del receptor. El sistema cerrado es más costoso fundamentalmente por el mantenimiento de las lagunas de almacenamiento de agua.

Drenaje de pilas de carbón: en las pilas de almacenamiento de carbón se efectúa un contacto entre los compuestos sulfurosos presentes en el carbón con el oxígeno del aire y con la humedad provocando la formación de ácido sulfúrico, el cual es lixiviado a través de las pilas y arrastrado por el agua lluvia junto con las partículas, materiales sólidos insolubles y metales pesados. La calidad del efluente depende del contenido de azufre del carbón, del balance

azufre/álcalis y del régimen de lluvias.

Transporte de cenizas: algunas plantas utilizan sistemas hidroneumáticos para el transporte de cenizas. Las cenizas volantes son capaces de absorber sobre su superficie los elementos tóxicos parcialmente volatilizados en el horno. Estos elementos pueden liberarse de la superficie de las cenizas cuando se transportan en medio acuoso.

En lagunas de sedimentación con buen funcionamiento hidráulico y amplios periodos de retención se pueden sedimentar las cenizas en suspensión y muchos de los metales lixiviados. Si la laguna no está adecuadamente impermeabilizada el efluente percola el suelo contaminando las aguas subterráneas.

TABLA 17. NORMATIVIDAD VERTIMIENTOS A CUERPOS DE AGUA (Dec. 1594/84)

PARAMETRO	VALOR
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	40°C
Material flotante	ausente
Grasas y aceites	remoción 80% en carga
Sólidos suspendidos domésticos e industriales	remoción 50% en carga
DBO para desechos domésticos	remoción 30% en carga
DBO para desechos industriales	remoción 20% en carga

TABLA 18. NORMAS INTERNACIONALES PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LAS CENTRALES TERMOELECTRICAS CONVENCIONALES

PARÁMETROS	WB 95/96	EX-IM B 96	NORMA MEXICANA	
			promedio diario	instantáneo
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	50	60	60	80
grasas y aceites (mg/l)	10	20	15	18
DQO (mg/l)		250		

WB: World Bank EX-IM B: EX - IM Bank Fuente: Industrial Pollution Prevention and Abatement Handbook y Normas Oficiales Mexicanas de Materia de Protección Ambiental.

7.2.3 RESIDUOS SOLIDOS

Este es un aspecto importante en carboeléctricas por el alto volumen de cenizas que se produce en la combustión del mineral. Otros residuos generados están asociados al manejo de los lodos o natas que se remueven de los sistemas de tratamiento; los filtros de combustibles y las baterías usadas.

Los residuos producidos en termoeléctricas pueden clasificarse por su origen en domésticos e industriales.

TABLA 19. ORIGEN DE RESIDUOS SOLIDOS EN TERMOELECTRICAS.

ORIGEN DOMESTICO	ORIGEN INDUSTRIAL
<ul style="list-style-type: none"> • Restos de comida del casino. • Residuos de papelería y otros de oficinas. • Material recogido en la limpieza general. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chatarra. • Hierro y maderas de los talleres de mantenimiento. • Cenizas de la combustión del carbón (cuando éste es usado como combustible).

Tomado de: Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido. Versión 01 Enero 1999

TABLA 20. INDICE DE PRODUCCIÓN DE CENIZAS POR CAPACIDAD INSTALADA EN TERMOELÉCTRICAS. COLOMBIA



PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA MW	FACTOR DE UTILIZACION	PRODUCCION ANUAL ton/año			
			RES. DOMESTICOS	CENIZAS	OTROS RESIDUOS INDUSTRIALES.	INDICE CENIZAS ton/año-MW
Paipa	181	0,7	<79,2	185000		0,17
Yumbo	33	0,7		45000		0,22
Zipa	235,5	0,7		164644		0,11
Tasajero	163	0,7	360	64800		0,06
Guajira	320	0,7	109,8		0,96	

Fuente: información solicitada a las plantas y Formulario para levantamiento de información ambiental de centrales termoeléctricas del sector eléctrico, abril de 1993. Visita técnica, octubre/96²⁰.




7.3 ASPECTOS LEGALES

7.3.1 Marco legal Ambiental






7.3.1.1 Legislación sobre ruido

-  *Resolución 8321 de 1983* Establece normas sobre la protección y conservación de la salud y el bienestar de las personas expuestas al ruido.
-  *Decreto 948 de 1995* Establece zonificación por niveles de ruido.





7.3.1.2 legislación sobre residuos sólidos

-  *Decreto 0605 de 1983* Reglamenta lo correspondiente al manejo y disposición final de residuos sólido urbanos.
-  *Decreto 2104 de 1983* Reglamenta lo concerniente al manejo y disposición final de residuos sólidos ordinarios.
-  *Decreto 2309 de 1986* Reglamenta lo relacionado con manejo y disposición final de residuos sólidos especiales.

7.3.1.3 Legislación sobre agua


-  *Decreto 1541 de 1978* Reglamenta lo relativo al uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en todos sus estados, con excepción de las aguas marítimas.
-  *Decreto 2015 de 1983* Establece las normas concernientes al agua potable y define criterios de calidad.
-  *Decreto 1594 de 1984* Dicta normas sobre el aprovechamiento de los recursos hídricos y regula lo correspondiente a vertimientos líquidos.
-  *Decreto 475 de 1998* Modifica parcialmente el decreto 2105 de 1983
-  *Decreto 901 de 1997* Establece el cobro de tasas retributivas

7.3.1.4 Legislación sobre aire

-  *Decreto 002 de 1982* Determina normas de calidad del aire y normas de emisión para algunas industrias en particular
-  *Decreto 2206 de 1983* Sustituye parcialmente lo consagrado en de decreto 002/82 sobre emisiones atmosféricas, en cuanto a la vigilancia control y las sanciones.
-  *Decreto 948 de 1995* Reglamenta lo referente a la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Decreto 1597 de 1997 modifica artículo 24 del decreto 948.
-  *Resolución 898 de 1995* Regula los criterios ambientales de la calidad de los

²⁰ Op cit

combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de usos industriales y en motores de combustión interna de vehículos.

 *Decreto 2107 de 1995*

Modifica parcialmente el decreto 948/95 en lo referente al uso de crudos pesados, el trámite del permiso de emisión atmosférica y la obligatoriedad de rendir el Informe de Estado de Emisiones (IE-1). Resolución 1351 de 1995 adopta el formulario IE-1.

 *Resolución 1619 de 1995*

Definió un término perentorio para que las termoeléctricas presentaren su Informe de Estado de Emisiones.

 *Resolución 623 de 1998*

Modifica parcialmente las resoluciones 898 de 1995.

 *Resolución 415 de 1998*

Permiso para el uso en combustión de aceites usados.

7.4 EFICIENCIA TÉRMICA:

La eficiencia del ciclo térmico de las centrales a carbón pulverizado es baja, según estudio de AENE²¹, oscila entre el 21.1% (Paipa I) y 35.1% (Tasajero), en comparación con los nuevos proyectos del Plan de Expansión como Termipaipa IV (38)% o con las eficiencias logradas con las nuevas tecnologías a carbón 44-46%.

TABLA 21. EFICIENCIAS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A CARBÓN²²

TECNOLOGÍAS	EFICIENCIA NETA
Tecnologías comerciales avanzadas	%
Carbón pulverizado	37 -39
Lecho fluidizado atmosférico	37
Tecnologías listas para desarrollo comercial	
Lecho fluidizado presurizado	40 - 42
Ciclo combinado y gasificación integrada	38 - 42

²¹ ISA - AENE. Plan de Retiro o Recuperación de Unidades e Generación del SIN. Bogotá, 1994

²² GARCIA LOZADA, Hector, Consultor Ambiental, Planteamiento Estratégico del Programa de Reconversión a Tecnologías Limpias en Termoeléctricas. Informe Final. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Empresa Colombiana de Carbón Ltda. - Ecocarbón. Santafé de Bogotá, Marzo de 1997

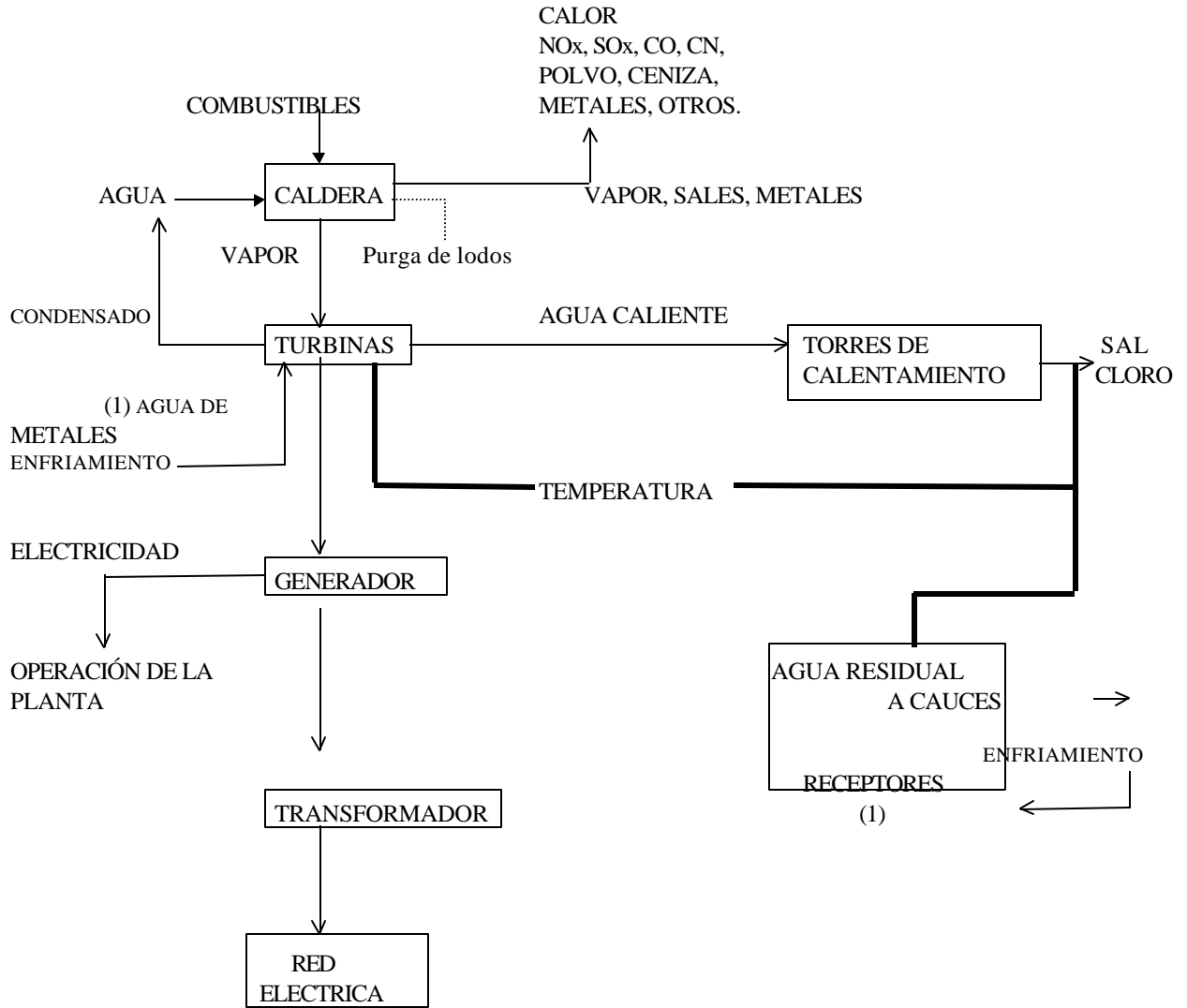
Combinación de lecho fluidizado y gasificación integrada	44 - 46
Plantas existentes	25* - 33**

Eficiencia neta promedio de plantas existentes en países en desarrollo

** Eficiencia neta promedio de plantas existentes en países desarrollados

Fuente : Estado actual y análisis comparativo de las tecnologías de mínimo impacto ambiental para generación de energía eléctrica utilizando carbón. Ingeniero Pedro Vega. XI Jornadas de Energía, Memorias. ACIEM, Cundinamarca. Octubre 4, 5 y 6 de 1994, Santafé de Bogotá.

GRAFICO 1. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE PRODUCCION DE ENERGIA EN TERMOELÉCTRICAS



FUENTE: FUNDACIÓN NATURA

7.5 DESCRIPCION DEL PROCESO DE GENERACION DE ENERGIA EN TERMOELÉCTRICAS:

La producción de energía eléctrica por la explotación de centrales térmicas implica la generación de calor a partir del carbón, petróleo o sus derivados, para producir vapor de agua, el cual acciona las turbinas acopladas a los generadores. Luego de este proceso, el vapor se pierde y debe ser repuesto para mantener el equilibrio del ciclo.

Para condensar el vapor se requiere de agua de enfriamiento; una vez cumplido el intercambio, ésta se vierte en los cauces receptores. La naturaleza y la magnitud de los problemas derivados de estos efluentes varían de acuerdo a la situación, disponibilidad y tipo de corriente receptora.

7.6 RESUMEN DE IMPACTOS DERIVADOS DE LA PRODUCCION DE ENERGIA EN TERMOELECTRICAS

Según este estudio, los impactos mas significativos generados en termoeléctricas son la alteración de la calidad del aire, de la temperatura del agua y, en algunos casos, la calidad del agua.

7.6.1 IMPACTOS SOBRE EL MEDIO FÍSICO

- **Impactos atribuibles a la minería, beneficio y transporte de carbón:** contaminación atmosférica por material particulado, altos niveles de ruido, deterioro del paisaje, incremento en la carga de sedimento y otros contaminantes en las corrientes, cambios en la composición química de las aguas superficiales y subterráneas , reducción de la capacidad de los acuíferos.
- **Impactos atribuibles a la utilización de otros combustibles:** explosiones y derrames altamente contaminantes, contaminación atmosférica por hidrocarburos, óxidos de carbono,

óxidos de azufre y nitrógeno emitidos en la combustión incontrolada del petróleo. Contaminación por residuos sólidos o de alta viscosidad en sistemas de tratamiento de aguas residuales, emisiones atmosféricas en combustión de chimeneas y calderas, emisiones de hidrocarburos no quemados en sistemas de almacenamiento y distribución de productos terminados.

- **Impactos atribuibles a la combustión en las plantas termoeléctricas:** contaminación por aporte de material particulado, óxidos de azufre y de nitrógeno e hidrocarburos no quemados.
- **Otros impactos atribuibles a la operación de las plantas térmicas:** Contaminación por aporte de líquidos correspondientes a aguas de enfriamiento, efluentes de planta de desmineralización, aceites, grasas y combustibles y aguas residuales domésticas.

7.6.2 IMPACTOS SOBRE EL MEDIO BIÓTICO

Afectación de ecosistemas acuáticos y terrestres por:

- contaminación térmica sobre cuerpos de agua
- alteración de la calidad del aire
- Emisión de residuos sólidos y líquidos.

Estos impactos pueden considerarse puntuales. Sin embargo, no existe suficiente conocimiento ni información para su evaluación. Algunos de estos impactos no son totalmente atribuibles a las plantas termoeléctricas ya que muchas de ellas se ubican en zonas altamente intervenidas.

7.6.3 IMPACTOS SOBRE LOS MEDIOS SOCIOECONÓMICOS Y CULTURALES

- Generación de empleo especializado
- Afectación de economías de subsistencia por el empleo estacionario en la pequeña minería.
- Alteración y competencia por el uso de fronteras de expansión urbana.
- Afectación de las poblaciones urbanas por contaminación atmosféricas y vertimientos líquidos.

8. PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA ELABORACION DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SUBSECTOR TERMoeLECTRICO

La metodología propuesta finalmente para la elaboración de indicadores de impacto ambiental en termoeléctricas reúne conceptos y propuestas de varias de las metodologías consultadas en el desarrollo del trabajo, procurando cumplir con los criterios de selección de indicadores, los cuales se pueden reunir en tres grupos básicos: confiabilidad de datos, relación con los problemas y prioridades y utilidad de los indicadores para el usuario.

El marco de análisis escogido corresponde al de estructura por medios en el cual se analiza cada uno de los componentes ambientales por separado (suelo, agua, aire, biotia y socioeconómico) y para su problemática específica se propone un indicador determinado.

8.1 COMPONENTE SUELO

8.1.1 ESTABILIDAD DE LA ZONA DEL PROYECTO:

Este indicador está propuesto en el estudio "Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planteamiento Energético en Colombia". Está relacionado con el componente geosférico, teniendo en cuenta las afectaciones sobre el recurso suelo. Es un indicador útil para analizar los impactos asociados a las actividades de construcción de los proyectos para el componente suelo. A continuación se presenta la metodología de cálculo tal y como ha sido expuesta en el estudio mencionado:

$$ESTABIL = VOLTEX \times INTEROS$$

$$VOLTEX = V + VOLOBRA$$

$$VOLOBRA = PRESALUV + PRESCANT + VOLEXCA + VOLMINCA + (0.014 \times VOLMINSO)$$

Donde:

- ESTABIL: Estabilidad de la zona del proyecto.
- VOLTEX: Volumen total de excavaciones.
- INTEROS: Intensidad de la erosión.
- V: Volumen de excavaciones por vías (m³).
- VOLOBRA: Volumen de excavaciones en el área de construcción (m³).
- PRESALUV: Volúmenes de préstamo por aluvión (m³).
- PRESCANT: Volumen de préstamo para cantera (m³).
- VOLEXCA: Volumen de excavaciones en el área de construcción (m³).
- VOLMINCA: Volumen de excavación minera a cielo abierto (m³).
- VOLMINSO: Volumen de explotación minera de socavón (m³).
- 0.014: Factor de material erodado por cada tonelada de carbón obtenida por minería de socavón.

La intensidad de la erosión se evalúa de acuerdo a la siguiente escala numérica:

INTEROS	ESCALA
Muy severa	1.000
Severa	0.251
Moderada	0.063
Ligera	0.016
Muy ligera	0.004
Sin erosión	0.001

8.1.2 INDICADOR DE EROSION:

Este impacto se presenta principalmente en la etapa de construcción durante las labores de desmonte, limpieza y descapote del terreno, dejando, en consecuencia áreas expuestas a la acción del viento y a la escorrentía superficial. El indicador determina el porcentaje de área erosionada después de la construcción del proyecto, con respecto al área erosionada antes de la construcción:

$$ER = \frac{AED - AEA}{AED} \times 100$$

Donde:

ER: Indicador de erosión (%).

AED: Área erosionada después de la construcción del proyecto (Ha).

AEA: Área erosionada antes de la construcción del proyecto (Ha).

8.1.3 CAMBIO EN EL USO DEL SUELO:

Al establecer una planta termoeléctrica se modifica trascendentalmente el uso del suelo, tanto en el área de implantación del proyecto como en la zona circundante. El indicador compara el área de las superficies ocupadas por cada tipo de uso antes y después de la implantación del proyecto termoeléctrico, presentando el resultado en hectáreas o en porcentaje de variación.

USO	AREA 1	AREA 2	% AREA 1	% AREA 2	D AREA	D %
Natural						
Plantaciones						
Ganadería						
Agricultura						
Alteradas						
Urbano						
Eriales						
Termoeléctrica						
TOTAL						

Donde:

Area 1: Área ocupada por cada uso antes de la implantación del proyecto (Km²).

Area 2: Área ocupada por cada uso después de la implantación del proyecto (Km²).

% Area 1: Porcentaje del Area 1 con respecto al área total de influencia del proyecto.

% Area 2: Porcentaje del Area 2 con respecto al área total de influencia del proyecto.

Δ AREA: Diferencia entre Area 1 y Area 2.

Δ %: Diferencia porcentual entre Area 1 y Area 2.

TABLA 22. DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO (FAO, WRI 1992)

USOS	DESCRIPCIÓN
Naturales	Zonas con vegetación primaria (bosques, regeneraciones, sabanas naturales, zonas desérticas).
Plantaciones	Zonas reforestadas con fines proteccionistas o comerciales.
Ganadería	Pastizales naturales introducidos que son explotados por ganaderías.
Agricultura	Cultivos anuales, semipermanentes o permanentes. No cubre zonas de barbecho de agricultura migratoria
Alteradas	Coexistencia de sistemas de producción y fracciones de vegetación natural y/o recuperada con presencia de erosión. Incluye el barbecho producto de la agricultura migratoria.
Urbano	Zonas ocupadas por concentraciones urbano – industriales.
Eriales	Áreas sometidas a proceso de erosión y desertificación avanzadas con cambios irreversibles en su estructura, dinámica y biodiversidad.

Tomado de: Hojas Metodológicas para del Sistema de Indicadores de Planificación y Seguimiento Ambiental. DNP. 1998.

El hecho de establecer un proyecto termoeléctrico en una zona hace que éste desplace o reduzca áreas que originalmente tenían otros usos del suelo. Si el proyecto se ubica en zonas donde el suelo se utiliza para el desarrollo de actividades productivas el impacto producido sería negativo desde el punto de vista social y económico siempre que la empresa generadora no desarrolle un programa de reubicación de familias, compra de predios, etc., propiciado a partir de procesos de concertación con la comunidad.

Desde otro punto de vista, si las prácticas productivas en la zona que ocupará el proyecto vienen adelantándose inadecuadamente, con repercusiones sobre la calidad del suelo, el impacto causado por el establecimiento de la planta sería menor.

Si el proyecto se ubica en zonas que por su deterioro no están siendo usadas en procesos productivos, debe establecerse si el proyecto afecta o no la calidad del recurso suelo y si dentro del Plan de Manejo Ambiental se proponen acciones para la recuperación de estas zonas, propiciando en un impacto positivo por el cambio de uso del suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que el indicador debe evaluarse cualitativa y

cuantitativamente.

8.1.4 PERDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL

La introducción del proyecto en una zona y las operaciones que esto implica durante la construcción involucra el desmonte y descapote donde se remueve material vegetal. Así mismo, las operaciones propias del proyecto termoeléctrico generan perturbaciones al ecosistema que pueden llegar a causar la pérdida de especies vegetales, algunas de éstas, endémicas. La pérdida de cobertura vegetal se mide como el porcentaje de superficie removido de zonas cubiertas de vegetación nativa con respecto al área total del proyecto:

$$PCV = \frac{A_{vr}}{A_{TP}} \times 100$$

Donde:

PCV: Pérdida de cobertura vegetal (%).

A_{vr} : Área superficie vegetal removida (m^2)

A_{TP} : Área total del proyecto (m^2)

Este impacto también puede evaluarse desde la perspectiva de la riqueza orgánica del suelo, ya que el material removido tiene características que lo hacen productivo dentro de una escala. Un factor que puede medir la calidad del suelo es la disponibilidad de materia orgánica, la cual brinda al suelo la posibilidad de retener cationes, incrementa la estabilidad estructural del suelo y la capacidad de retención de humedad²³. El indicador de **DISPONIBILIDAD DE MATERIA ORGÁNICA** se define como la variación en los contenidos de carbono orgánico del suelo antes, durante y después de la construcción del proyecto, según la siguiente tabla:

²³ LEON P., Jonas. Metodología para la Zonificación Forestal. IGAC

Contenido de Carbón orgánico (%)	Grado		
	Clima cálido	Clima medio	Clima frío
1 Muy alta	>3.0	4.2 – 5.3	5.3 – 6.5
2 Alta	1.71 – 2.9	3.0 – 4.1; 5.4 – 6.5	4.1 – 5.2; 8.0 – 6.6
3 Moderada	0.51 – 1.7	1.8 – 2.9; 6.5 – 7.6	1.4 – 2.6; 10
4 Baja	0.2 – 0.5	0.6 – 2.6; 7.6	1.4 – 2.6; 10
5 Muy baja	<0.2	<0.5	<1.3

Tomado de: Metodología para la Zonificación Forestal. Extracto de informe técnico. Fuente: adaptado de IGAC 1995.

8.2 COMPONENTE AIRE

8.2.1 EMISION DE PARTICULAS

El incremento del material particulado, como consecuencia principalmente de la combustión del carbón es un impacto que afecta la salud humana cuando las partículas tienen un tamaño menor a las 10 micras. Las partículas de mayor tamaño pueden depositarse en los sistemas de combustión o ser emitidas y depositarse sobre la superficie de hojas de las plantas impidiendo la captación de luz de las mismas para los procesos fotosintéticos o sobre el suelo afectando el rendimiento de los cultivos.

Para medir el impacto causado por la emisión de material particulado es recomendable tomar los datos de las mediciones de este parámetro y compararlos con las normas (decreto 948 de 1998 y decreto 02 de 1984).

Otra opción consiste en el indicador propuesto por el Departamento Nacional de Planeación en el documento "Hojas Metodológicas del Sistema de Indicadores de Planificación y Seguimiento

Ambiental”, el cual consiste en que al conocer el flujo de descarga se toma una muestra de 1m³ de aire y se determina el peso de las partículas en suspensión (mediante métodos físicos como filtración por membrana); se consideran partículas en suspensión aquellas con un dp < 100μ (diámetro de partícula menor a 100 micras). El resultado se multiplica por el flujo o caudal en m³/minuto y éste se lleva a un día.

$$EP = W_{part} \times \text{flujo}$$

Donde:

EP: Emisión de partículas (ton/día; ton/año)

Wpart: Peso de las partículas en suspensión

Flujo: flujo o caudal (m³/min)

8.2.2 INDICADOR DE CALIDAD DEL AIRE

La Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos de ECOCARBON, propone un indicador agregado de calidad del aire modificado del ORAQI (Oak Ridge Air Quality Index, propuesto por V. Conesa – Vitora, 1997). La calidad del aire es determinada de acuerdo a los niveles de inmisión²⁴. En proyectos termoeléctricos la calidad del aire es determinada por la presencia de óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas totales en suspensión (PST), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), en el área de influencia inmediata y mediata de la planta de generación.

La elaboración del indicador consistente en la suma ponderada de la contribución de los contaminantes (SO_x, NO_x, PST, CO, HC) para los cuales existe un valor estándar de calidad o nivel máximo de concentración permisible para diferentes períodos de evaluación. El Indicador fue modificado, ya que los parámetros de calidad se ajustaron de acuerdo al decreto 02/82,

calculándose el ORAQI a partir de la siguiente ecuación:

$$ORAQI = \left(5.7 \sum Ci / Cs\right)^{1.37}$$

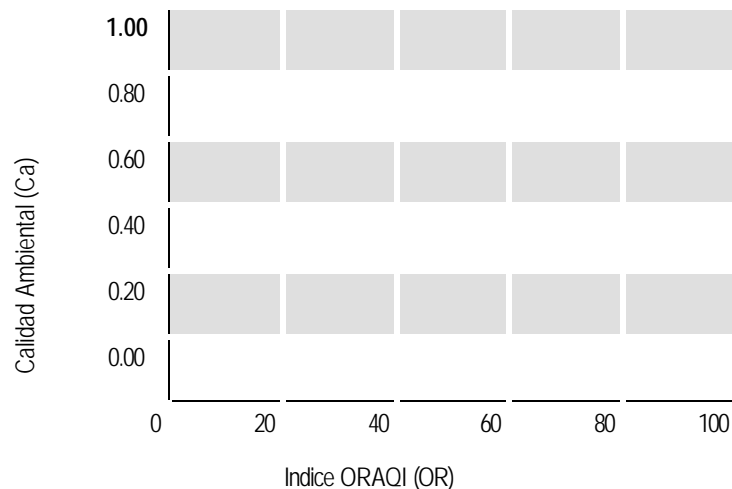
Donde:

Ci: Concentración media de contaminantes

Cs: Concentración estándar de contaminantes

Al calcular el indicador se obtienen valores en un rango entre 10 y 100, siendo 10 correspondiente a óptima calidad ambiental (concentración mínima de los contaminantes), mientras que un valor de 100 corresponde a una situación ambiental de alerta (los valores de los contaminantes son muy cercanos a los máximos permitidos en la norma). El ORAQI puede aplicarse a situaciones con y sin proyecto, por lo tanto siempre considerará la calidad del aire del entorno y la específica de la planta.

GRAFICA 1. FUNCION DE TRANSFORMACION DE CALIDAD DEL AIRE (TOMADO DE: GUIA AMBIENTAL DE PROYECTOS CARBOELECTRICOS)



²⁴ El documento define como nivel de inmisión la concentración de cada tipo de contaminante existente entre cero y dos metros de altura

8.2.3 INDICADOR DE RUIDO

Los niveles de ruido se incrementan principalmente en la etapa de operación de las plantas termoeléctricas. El indicador propuesto para medir los niveles de ruido es el propuesto por León²⁵, quien, a su vez, utiliza el modelo presentado por Sarmiento²⁶. Este indicador está constituido por tres variables las cuales son: tipo de zona receptora (TZ), densidad poblacional (DP), generación de ruido (GR) y tiempo de exposición a la emisión (TE), las cuales se describen a continuación:

8.2.3.1 Tipo de zona receptora

En esta variable se considera lo expuesto en el artículo 15 del decreto 948/95 en el que se clasifican los sectores de restricción de ruido ambiental y en el artículo 17 de la resolución 8321/83 donde se establecen niveles máximos permisibles; con la anterior información se construye la siguiente tabla, en la cual se da una calificación de acuerdo al sector donde se ubique la industria evaluada:

ELEMENTO ZR	VALOR PERMISIBLE (dB)	CALIFICACION
Zona de tranquilidad	45	4
Zona residencial	65	3
Zona comercial	70	2
Zona industrial	75	1

8.2.3.2 Densidad poblacional cercana al área activa de la planta

según Canter, para proyectos como este se puede considerar en ésta variable la población vecina a la planta en un radio de 400 metros, así lo presenta Sarmiento para distancia media a

sobre el nivel del suelo.

²⁵ LEON CRUZ, Rober. Desarrollo de Indicadores de Gestión Ambiental para la Etapa de Beneficio en la Minería de Gravas y Arenas en la Sabana de Bogotá. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Santafé de Bogotá. 1999.

²⁶ SARMIENTO, Juan Carlos. Desarrollo de Indicadores de Gestión Ambiental para la Etapa de Explotación en la Minería de Gravas y Arenas. Tesis para optar el título de Magister en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá. 1998.

partir del área activa de la planta y que es afectada directamente por la actividad. Sin embargo, es difícil establecer una distancia estándar para todos los proyectos ya que el área de influencia puede variar sustancialmente para cada caso particular, por lo cual esta distancia deberá determinarse en el análisis de los proyectos específicos y, en este indicador se trabajara como X. La variable se expresa en habitantes por kilómetro cuadrado (hab/Km²), con el fin de unificarla con las unidades manejadas por el DANE y el DNP. Sarmiento califica cualitativamente la variable según la siguiente tabla:

DENSIDAD POBLACIONAL (hab/Km ²)	DESCRIPCIÓN
≤10	Más deseable
10 < X ≤50	Deseable
50 < X ≤100	Aceptable
100 < X ≤200	Indeseable
>200	Muy indeseable

En este trabajo se trabajará con 80 hab/Km², valor que se encuentra dentro del rango aceptable. León asume que la distribución de la densidad de habitantes es uniforme en toda el área cercana a la planta dentro de un radio de 400 metros. No se incluyen los trabajadores de la planta pero si los de otras industrias localizadas dentro del radio escogido. La variable densidad poblacional (DP) se calcula de la siguiente forma:

$$DP = \frac{80 - P}{80}$$

Donde:

DP: Densidad poblacional

P: Población existente en hab/Km²

De donde el valor obtenido se expresará así:

RANGO DEL DP	DESCRIPCION
Entre 1 y 0.5	Deseable
Entre 0.49 y 0	Indeseable

8.2.3.3 Generación de ruido

La variable generación de ruido (GR) considera el ruido que se genera en la planta tanto por las actividades propias de su operación como por el tránsito de vehículos en la misma. En el cálculo del GR se incluyen los niveles de sonido máximos permitidos para vehículos establecidos en la resolución 8321/86, artículo 36:

TIPO DE VEHÍCULO	NIVEL SONORO dB(A)
Menos de 2 toneladas	83
De 2 a 5 toneladas	85
Más de 5 toneladas	92
Motocicletas	86

Se considera que para plantas termoeléctricas los vehículos utilizados son de mas de 5 toneladas, luego para el cálculo del GR se emplea un nivel de 92 dB(A):

$$GR = \frac{92 - dB}{92}$$

Donde:

GR: Ruido producido

dB: Decibeles medidos en la planta

92: Valor máximo establecido según la norma

Finalmente, el valor obtenido se expresará así:

RANGO DEL GR	DESCRIPCIÓN
Entre 1 y 0.5	Deseable
Entre 0.49 y 0	Indeseable

8.2.3.4 Tiempo de exposición a la emisión

El tiempo de exposición a la emisión (TE) corresponde al tiempo de duración de un episodio o evento en el que las personas directamente expuestas al ruido están sometidas al mismo. La variable se basa en lo expuesto en el artículo 3 de la resolución 1792/90, donde se adoptan los valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido. La variable TE utiliza unidades del nivel de presión sonora en dB y el tiempo máximo de exposición en horas/día (h/d). El TE

calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TE = \left[\frac{Hn - h}{Hn} \times \frac{dBn - dB}{dBn} \right]$$

Donde:

Hn: Tiempo establecido por la norma (h/emisión)

h: tiempo de la emisión (h/emisión)

dBn: dB de la norma para el tiempo establecido por la norma

dB: Decibles medidos en la emisión

De donde el valor obtenido se expresará así:

RANGO DEL TE	DESCRIPCION
Entre 1 y 0.25	Deseable
Entre 0.25 y 0	Indeseable

Finalmente, el indicador de ruido (IR) se calcula integrando las anteriores variables en la siguiente ecuación (siendo la variable zona receptora el elemento más importante):

$$IR = ZR(DP + GR + TE)$$

Donde:

IR: Indicador de ruido

ZR: Valor correspondiente al tipo de zona receptora

DP: Valor correspondiente a la variable de densidad de población cercana a la planta

GR: Valor correspondiente al elemento de tiempo de exposición a la emisión

En la siguiente tabla se presentan los rangos y el significado del indicador de acuerdo a la zona receptora:

ELEMENTO ZR	RANGOS	DESCRIPCION
4	12 – 5	Deseable
	4.9 – 0	Indeseable
3	9 – 3.8	Deseable
	3.7 – 0	Indeseable
2	6 – 2.6	Deseable
	2.5 – 0	Indeseable
1	3 – 1.4	Deseable
	1.3 – 0	Indeseable

8.3 COMPONENTE AGUA

8.3.1 INDICADOR DE VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS $I_{VER-ARD}$

Tanto en la construcción como en la operación de los proyectos termoeléctricos se generan aguas residuales domésticas provenientes de las instalaciones administrativas de las centrales. Para este trabajo se propone el indicador $I_{VER-ARD}$ presentado en la Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos. Los parámetros que comprenden el indicador son: pH, temperatura, grasa y aceites, sólidos suspendidos y DBO, y se trabajan según los estándares establecidos en el decreto 1594/84 para cada uno de ellos. Se trata del Índice de Calidad del Agua (ICA) basado en Martínez de Bascarán (1979) y desarrollado por V. Conesa-Vitoria (1997), en el cual se determina un valor global de la calidad del agua, incorporando los valores individuales de cada uno de los cinco parámetros seleccionados. El indicador se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$I_{VER-ARD} = \frac{K \sum Ci \times Pi}{\sum Pi}$$

Donde:

- Ci: Calor porcentual asignado a los parámetros involucrados (tabla 23)
- Pi: Peso asignado a cada parámetro
- K: Constante que puede tomar los valores indicados en la tabla 24

TABLA 23. VALORES DE CI Y PI (S/BASCARAN)

pH	TEMPERATURA (°C)	GRASAS Y ACEITES p.p.m.	SOLIDOS SUSPENDIDOS* mg/l	DBO mg/l	Ci
1/14	>50 / >8	>3	>230	>15	0
2/13	45 / -6	2	230	12	10
3/12	40 / -4	1	144	10	20
4/11	36 / -2	0.60	108	8	30
5/10	32 / 0	0.30	82	6	40
6/9.5	30 / 5	0.15	62	5	50
6.5	28 / 10	0.08	46	4	60
9	26 / 12	0.04	32	3	70
8.5	24 / 14	0.02	20	2	80
8	22 / 15	0.01	9	1	90
7	21 - 16	0	<10	<0.5	100
Pi = 1	1	2	3	3	-

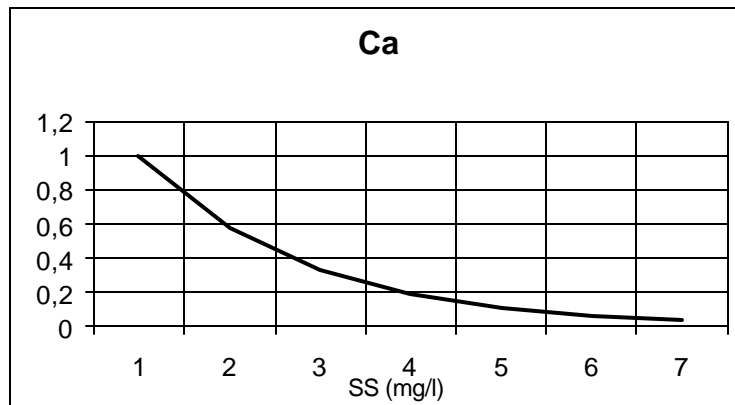
☞ Con base en la función de calidad ambiental para SS (figura 1)

Tabla 24. VALORES PARA LA CONSTANTE K

VALOR	DESCRIPCION
1.00	Para aguas claras sin aparente contaminación
0.75	Para aguas con valor pequeño de color, espumas y valor pequeño de turbidez; turbidez aparente no natural.
0.50	Para aguas con apariencia contaminada y fuerte olor
0.25	Para aguas negras que presenten fermentaciones y olores

Teniendo en cuenta que para los sólidos suspendidos (SS) no existe un valor de referencia, la guía propone utilizar la información reportada en los estudios especializados, así como los estándares establecidos en el decreto 1594/84. Al aplicar un porcentaje de remoción de SS del 80% al valor promedio reportado (310 mg/l de SS), se podrá asignar un valor de calidad ambiental equivalente a 0.5 a la concentración de 62 mg/l de SS, que corresponde al valor resultante, después de su tratamiento.

GRAFICA 3. FUNCION DE CALIDAD AMBIENTAL – SOLIDOS SUSPENDIDOS (SS)



la figura 1 el eje x corresponde a la concentración de sólidos suspendidos (mg/l), mientras que al eje y corresponde a la calidad ambiental (Ca). La gráfica corresponde a la función:
 $Ca = Exp(-0.01117619 \times SS)$.

8.3.2 INDICADOR DE VERTIMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES $I_{\text{VERT-ARI}}$

Las plantas termoeléctricas generan aguas residuales industriales provienen de los patios de carbón y cenizas, de los sistemas de desmineralización de agua, sistemas de refrigeración, limpieza de equipos, entre otros. La Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos presenta este indicador, en el cual incluye contaminación por pH, temperatura, grasas y aceites, sólidos suspendidos y metales pesados (Fe, Cu, Zn y Cr⁺⁶). La expresión matemática con la que se calcula este indicador es igual a la del $I_{\text{VERT-ARD}}$:

$$I_{\text{VER-ARI}} = \frac{K \sum Ci \times Pi}{\sum Pi}$$

Donde:

Ci: Valor porcentual asignado a los parámetros involucrados (tabla 4)

Pi: Peso asignado a cada parámetro

TABLA 26. VALORES DE CI Y PI

pH	TEMPERATURA* °C	GRASAS Y ACEITES mg/l	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cr ⁺⁶ mg/l	Ci %
1/14	>10	>66	>50	>3.0	>3.0	>3.0	>0.7	0
2/13	10	66	50	3.0	3.0	3.0	0.7	10
3/12	7	46	35	2.6	2.6	2.6	0.5	20
4/11	5	35	26	2.0	2.0	2.0	0.3	30
5/10	4	26	20	1.4	1.4	1.4	0.26	40
6/9.5	3	20	15	1.0	1.0	1.0	0.2	50
6.5	2	15	11	0.8	0.8	0.8	0.15	60
9	1.5	10	8	0.6	0.6	0.6	0.1	70
8.5	1	6	5	0.4	0.4	0.4	0.06	80
8	0.5	3	2	0.2	0.2	0.2	0.03	90
7	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	100
Pi=1	2	2	2	3	3	3	3	-

Tomado de: Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos. Fuente: "Metodología de evaluación de impacto ambiental en centrales termoeléctricas. BID, 1993.

*El valor correspondiente al Ci=50 equivale a la diferencia entre la temperatura del agua de vertimiento y la temperatura del agua del cuerpo receptor (Industrial Pollution and Abatement Prevention Handbook – The World Bank Environment Department, julio, 1995).

La guía toma los valores óptimos de calidad ambiental (0.5) de las normas de vertimientos de aguas residuales de termoeléctricas de Estados Unidos ya que dicha normatividad no se ha construido en Colombia. En cuanto a los valores de Pi (ponderación relativa de los parámetros incluidos en el indicador), estos fueron determinados con base en el carácter del contaminante, siendo mayor el peso relativo de los metales pesados, por su capacidad de permanencia en los cuerpos de agua.

8.3.3 CONSUMO DE AGUA

Los proyectos termoeléctricos consumen agua, tanto en las actividades de generación como en las zonas administrativas. El agua requerida dentro del proceso industrial se utiliza principalmente en los sistemas de enfriamiento, lavado de calderas, desmineralizador, regenerador de cenizas, sistema húmedo de recolección de cenizas de fondo, lavado de pilas de carbón, entre otros.

El consumo de agua puede reducirse en la medida en que se utilicen tecnologías limpias de producción, reflejándose en un menor consumo de agua. El indicador propuesto compara el consumo de agua con respecto a la capacidad instalada de la planta, deduciendo que un menor consumo de agua pro capacidad instalada disminuye el impacto sobre el recurso hídrico por consumo de agua y, dependiendo de las tecnologías implementadas (ejemplo: sistemas de enfriamiento cerrados), también pueden disminuir los vertimientos.

$$C.AGUA = \frac{\text{ConsumoAgua}}{CI}$$

Donde:

C. Agua: Indicador de consumo de agua (m³/MW)

ConsumoAgua: Consumo de agua en la totalidad de la planta (m³/año)

CI: Capacidad instalada en la planta (MW/año)

8.3.4 CONTENIDO DE CENIZAS

En carboeléctricas el manejo de las cenizas es un aspecto importante ya que estas degradan el suelo y los cuerpos de agua que reciben las aguas de lavado de las pilas de carbón y de cenizas. El presente indicador mide la concentración de sólidos totales en el efluente del patio de cenizas, y tiene como parámetro de referencia lo establecido en las normas de vertimientos para efluentes líquidos de centrales termoeléctricas en Estados Unidos (Metodología de evaluación de impacto ambiental en centrales Termoeléctricas DIB, 1993)²⁷, según lo cual la concentración máxima diaria de sólidos suspendidos es de 100 mg/l. Se trata de un indicador que determina la efectividad de los sistemas de manejo de cenizas en los patios de disposición de éste material.

$$CC = 100 - CSE$$

Donde:

CC: Contenido de cenizas en el efluente (mg/l·día)

CSE: contenido de sólidos totales en el efluente (mg/l·día)

Si al determinar la diferencia entre la concentración de referencia y la medida en el efluente, el valor obtenido es de signo negativo, significa que el manejo que se hace de los efluentes de los patios de cenizas no es efectivo.

8.4 COMPONENTE BIOTICO

8.4.1 ALTERACION DE ECOSISTEMAS NATURALES

²⁷ ECOCARBON

En el área de influencia directa o indirecta del proyecto pueden localizarse zonas de ecosistemas naturales que pueden ser susceptibles de afectación tanto por la construcción como por la operación de los proyectos termoeléctricos. Tratándose de zonas naturales de riqueza biológica y paisajística, es importante cuantificar el impacto que sobre éstas puedan generar los proyectos carboeléctricos.

El indicador Alteración de Ecosistemas Naturales se construye determinando el porcentaje de ecosistemas naturales afectados con respecto al área total del proyecto y, en segundo lugar, relacionando este porcentaje con la importancia de cada ecosistema, para lo cual se emplean los ponderadores para ecosistemas naturales propuestos en el estudio: "Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planteamiento Energético en Colombia", elaborado por la UPME:

BIOTA ACUATICA

ECOSISTEMA	VALOR
Arrecife	1.000
Ciénagas/lagunas	0.650
Ríos	0.500
Embalses	0.350

BIOTA TERRESTRE

ECOSISTEMA	VALOR
Bosque primario (no se cumple para condiciones de desierto y páramo)	1.000
Bosque secundario (no se cumple para condiciones de desierto y páramo)	0.650
Rastrojo (considerado climax para desierto)	0.500
Pastizal (considerado climax para sabanas de la Orinoquía)	0.350

OTROS ECOSISTEMAS

ECOSISTEMA	VALOR
Manglar	1.000
Estuario	0.842
Costas/prad. Marinas	0.579
Formaciones maderables	0.684

1. Cálculo del porcentaje de área afectada de cada ecosistema con respecto al área de influencia total del proyecto (AED):

$$AED = \frac{\sum A_n}{ATI} \times 100$$

Donde:

AED: % del área total correspondiente al ecosistema degradado (Ha)

An: Área afectada correspondiente a cada tipo de ecosistema específico

ATI: Área total de influencia del proyecto (Ha)

2. Cálculo del indicador de la alteración de ecosistemas naturales (AEN):

$$AEN = \frac{AED \times IE}{AED}$$

Donde:

AEN: Alteración de ecosistemas naturales

IE: Importancia del ecosistema evaluado

AED: % del área total correspondiente al ecosistema degradado (Ha)

8.4.2 ALTERACION DEL PAISAJE

La construcción y operación de un proyecto carboeléctrico ocasiona cambios drásticos en el paisaje donde se localice. Canter²⁸ enumera entre los impactos sobre el paisaje los siguientes:

- Funcionamiento de la central
- Dominación de la escala sobre el paisaje existente
- Introducción del penacho de la chimenea

- Movimientos de tierra de la parcela de la edificación, cerramiento y descargas del combustible a granel.

Para la elaboración de este indicador deben incluirse las siguientes variables: densidad de la población en el área, efectividad de los sistemas de cerramiento de la planta y valoración del paisaje.

8.4.2.1 Densidad de la población

Al igual que en el indicador de ruido, se toma el área de influencia X específica del proyecto analizado, y se califica de acuerdo a la siguiente tabla:

DENSIDAD DE POBLACION (Hab/Km ²)	CALIFICACION	DESCRIPCION
≤ 10	1	Mas deseable
10 < X ≤ 50	2	Deseable
50 < X ≤ 100	3	Aceptable
100 < X ≤ 200	4	Indeseable
> 200	5	Muy indeseable

A esta variable se le a asignado un ponderador de 30 sobre 100.

8.4.2.2 Efectividad de los sistemas de cerramiento:

Evalúa la efectividad de los sistemas de cerramiento para controlar impactos estéticos y como herramienta de control de la dispersión de contaminantes. La siguiente tabla califica los sistemas de cerramiento y ha sido tomada de León²⁹:

EFFECTIVIDAD CERRAMIENTO	CALIFICACION	DESCRIPCION
No permite ver la planta ni el proceso	1	Mas deseable
Permite ver parte del proceso pero no la planta	2	Deseable
Permite ver la planta pero ningún proceso	3	Aceptable

²⁸ CANTER, Larry W. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. McGrawHill. Segunda Edición. España. 1998. P 569

²⁹ LEON CRUZ, Rober. Desarrollo de Indicadores de Gestión Ambiental para la Etapa de Beneficio en la Minería de Gravas y Arenas en la Sabana de Bogotá. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Santafé de Bogotá. 1999.

Permite ver la planta y algunos procesos	4	Indeseable
Permite ver la planta y la totalidad de los procesos	5	Muy indeseable

A esta variable se le ha asignado un ponderador de 30 sobre 100.

8.4.2.3 Valoración del paisaje:

La valoración presentada corresponde a la presentada en la Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos, definida como la valoración absoluta del paisaje, que resulta de la observación directa del paisaje con la cual se puede establecer una gradación cualitativa en una escala de 0 a 25:

PAISAJE	VALORACION
Agradable	20 – 25
Bueno	15 – 19
Aceptable	10 – 14
Regular	5 – 9
Feo	0 - 4

Finalmente, el indicador alteración del paisaje se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$AP = \frac{\alpha DP + \beta ESC + \lambda VP}{100}$$

Donde:

AP: Alteración del paisaje

DP: Calificación de la densidad de población

ESC: Calificación de la efectividad de los sistemas de cerramiento

VP: Valoración del paisaje

α : Ponderador de DP (30)

β : Ponderador de ESC (30)

λ : Ponderador de VP (40)

8.5 COMPONENTE SOCIO-ECONOMICO:

8.5.1 NIVEL DE EMPLEO

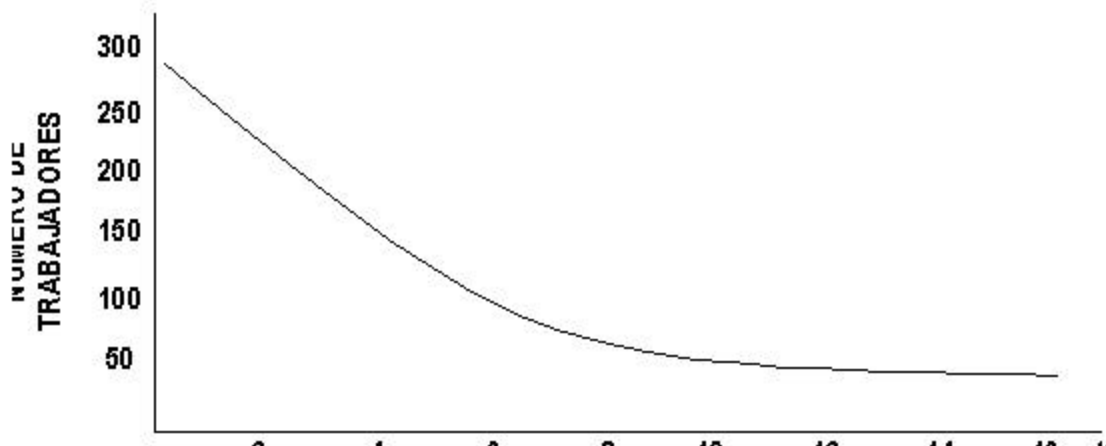
Al introducir en una zona un proyecto termoeléctrico se requiere mano de obra para la construcción del mismo. En este momento la demanda de empleos aumenta y se beneficia un buen número de la población laboral disponible. Sin embargo al finalizar la etapa de construcción la demanda disminuye considerablemente ya que son mucho menores los trabajos disponibles para la operación de la planta termoeléctrica. Es decir, durante la etapa de construcción el impacto respecto al nivel de empleo es positivo, pero al iniciar la etapa de operación se hace negativo porque la mayoría de los trabajadores quedan cesantes. Esta situación puede agravarse por el hecho de que las expectativas laborales que genera el proyecto conlleva a procesos migratorios en la zona, ocasionando problemas de tipo social, económico y cultural.

Para analizar este impacto, el indicador incluye tres variables:

1. Población desempleada en la zona
2. Número de empleos generado para construcción
3. Número de empleos generados para operación

Para analizar el impacto deben compararse las variables 2 y 3, y analizarse con respecto a la primera variable.

Para facilitar en análisis, la construcción de un gráfico es útil ya que se puede observar la variación en el nivel de empleos con respecto al tiempo. El comportamiento esperado de la variable es el



siguiente:

8.5.2 INCREMENTO DE LA POBLACION:

Como se explicó previamente, la introducción de un proyecto en una zona genera expectativas laborales y de mejores condiciones de vida, lo cual motiva la migración de personas desde otras zonas de la región. Es importante evaluar este proceso ya que la demanda de bienes y servicios aumenta y es posible que afecte la calidad de vida de la comunidad ubicada en el área de influencia del proyecto. Por lo anterior es importante determinar el incremento de la población en el período comprendido entre la iniciación de las obras de construcción de la planta hasta que llega a un nivel regular de operación:

$$IP = \frac{y - x}{b - a}$$

Donde:

Año a \longrightarrow X habitantes
(año de iniciación de las obras)

Año b \longrightarrow Y habitantes
(año en que la planta empieza a operar normalmente).

IP: Incremento de la población (hab/año)

8.5.3 INDICADOR DE LAS NECESIDADES BASICAS INSATISFECHAS

Este indicador se plantea para medir la calidad de vida de las familias considerando los cambios que sobre la misma pueden generarse en la zona debido, entre otras causas, a los procesos de migración. El indicador consiste en una adaptación del índice de necesidades básicas insatisfechas propuesto por el DNP, el cual está conformado por cinco indicadores a los cuales, para este trabajo se les ha asignado un ponderador así:

INDICADOR	CALIFICACION
Vivienda inadecuada	2

Falta de acceso a servicios públicos domiciliarios	5
Alta densidad de ocupación del hogar (máximo 3 personas por habitación)	4
Niños en edad escolar que no asisten al plantel educativo	3
Alta tasa de dependencia (máximo 3 personas dependientes por ocupado)	1

$$INBI = VI + SPB + DOH + NNE + TD$$

Donde:

INBI: Indicador de necesidades básicas insatisfechas

VI: Calificación falta de acceso a servicios públicos domiciliarios

DOH: Calificación Alta densidad de ocupación del hogar

NNE: Calificación Niños en edad escolar que no asisten al plantel educativo

TD: Calificación alta tasa de dependencia

Calificación del indicador:

CALIFICACIÓN INBI	DESCRIPCIÓN
15	Condiciones muy desfavorables
10 - 14	Condiciones desfavorables
5 - 9	Condiciones menos desfavorables
1 - 4	Condiciones no desfavorables

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El término **indicador** puede definirse como un parámetro o un valor derivado de parámetros que provee información acerca del estado de un fenómeno, de un área o del ambiente. Su alcance supera las propiedades asociadas con el valor de el o los parámetros que contenga. Los indicadores poseen un significado sintético y son desarrollados para un propósito específico. Es importante tener en cuenta los criterios para elaboración de indicadores y considerar que un indicador que contenga demasiados parámetros se hace complejo y dificulta su interpretación, mientras que muchos veces los indicadores que solo utilizan un parámetro son insuficientes para expresar la situación de un todo. Los indicadores se constituyen en instrumentos útiles para diagnosticar la situación actual respecto a situaciones normatizadas; en instrumentos de diseño de políticas de manejo ambiental y en herramientas de seguimiento y control de desempeño con el fin de controlar los impactos sobre el medio.

Existen unos pasos básicos que se deben considerar para elaborar indicadores ambientales, partiendo de la definición de los objetivos, la determinación de las áreas temáticas que se desea trabajar para luego continuar con el desarrollo y propuesta de los indicadores, hasta su corrección y la misma producción de los indicadores. Es importante considerar que para el éxito de los indicadores, el trabajo debe ser desarrollado por un grupo interdisciplinario de personas capaz de considerar los diferentes aspectos ambientales que deben incorporarse al sistema de indicadores.

El modelo básico para la producción de indicadores en el mundo es el de Presión – Estado – Respuesta, basado en un concepto de causalidad por el cual las actividades antrópicas ejercen presión sobre el medio ambiente alterando su calidad, frente a lo cual la sociedad responde a través de políticas y normas que finalmente influenciarán sobre las presiones antrópicas, por lo

que se constituye en un modelo cíclico. Para este trabajo se desarrollaron indicadores de presión cuyo significado se analogía con el de indicadores de impacto.

Todas las metodologías consultadas utilizan el modelo P-E-R, haciendo énfasis en todos sus componentes o en algunos más que en los otros, lo cual depende del objetivo que se fija para el sistema de indicadores y la organización temática que hacen ya sea en componentes ambientales o en sectores productivos o la combinación de los dos. No es posible trabajar con una de las metodologías consultadas elaboradas por países ya que los objetivos de éstas están encaminados a la formulación de políticas nacionales ambientales, por lo cual trabajan con un nivel de especificidad que no satisface los objetivos presentados para la evaluación de un subsector productivo específico como es el termoeléctrico. Sin embargo, los indicadores propuestos para este subsector sí se pueden incorporar dentro de varias de las áreas temáticas trabajadas en las metodologías de los distintos países.

El estudio elaborado por la UPME "Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planteamiento Energético en Colombia", propone indicadores de tipo sociobiofísico de mucho valor, no solo por su contenido, sino porque en su desarrollo ha intervenido un amplio grupo de especialistas y ha sido revisado y mejorado por OLADE, ISA, UPME y el Banco Mundial. Es un sistema muy valioso ya que es el que se adoptará para evaluar el Plan de Expansión del sector eléctrico 1998-2010.

Los indicadores desarrollados por el DNP, se enmarcan en un modelo de presión – estado - impacto/efecto – respuesta – gestión y varios de ellos presentan una buena alternativa para analizar los impactos derivados de la generación de energía en termoeléctricas, por lo que el modelo propuesto incorpora varios de estos indicadores.

La Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos, desarrolla unos indicadores específicamente de impacto, por lo que son una herramienta fundamental para este trabajo y se han propuesto en la metodología varios indicadores presentados en este documento.

El sistema de indicadores planteado presenta indicadores propuestos en otros estudios o elementos de los mismos ya que incorporan el análisis de elementos que no son del dominio de una sola disciplina y requieren la intervención y concertación de profesionales en distintas áreas. No ha sido posible la realización del ejercicio piloto de aplicación de la metodología ya que la información recopilada para la realización de este trabajo no presenta la totalidad de los datos necesarios para la realización del mismo.

La comparación con niveles de referencia establecidos legalmente es una herramienta fundamental para cuantificar impactos. Es necesaria la formulación de una normatividad específica para el sector eléctrico que establezca estándares concretos para este tipo de actividad productiva, con el fin de lograr la formulación de indicadores más acorde con la realidad nacional y, por lo tanto más representativos de la misma.

Es necesario consolidar un sistema de información que reúna todos los datos necesarios para el análisis de los impactos ambientales mediante la utilización de indicadores ambientales, de forma que su aplicación se facilite y los resultados puedan lograrse de forma rápida y eficiente. Un primer esfuerzo en este aspecto lo constituyen los Informes de Emisiones IE1, los cuales sin embargo no han venido actualizándose regularmente. Es necesario el establecimiento por medio de normas de este tipo de declaraciones en las que las empresas reporten información sobre vertimientos de agua y afectación del recurso edafológico e hidrogeológico entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- ADRIANASE, Albert. Environmental Policy Performance Indicators. Dutchland, 1996.
- BANCO MUNDIAL. Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Volumen III, Lineamientos para Evaluación Ambiental de los Proyectos Energéticos e Industriales. Washington D.C.. 1991.
- CANTER, Larry W. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. McGrawHill. Segunda Edición. España. 1998. P 569
- DNP, UPA. Marco Conceptual para un System de Indicadores Ambientales de Planificación y Seguimiento Ambiental. Santafé de Bogotá, julio de 1998.
- EOCARBON. Guía Ambiental para Proyectos Carboeléctricos. Ministerio del Medio Ambiente, 1998.
- ESPAÑA, Ministerio del Medio Ambiente. Indicadores Ambientales, una Propuesta para España. 1996.
- FONDO PARA LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE "JOSE CELESTINO MUTIS" -FEN COLOMBIA-. Fondo FEN Colombia. Sistema de Indicadores para el Seguimiento de la Gestión Ambiental SISGA. Informes Finales. Santafé de Bogotá. Agosto de 1998.
- GARCIA LOZADA, Hector. Planteamiento Estratégico del Programa de Reversión a Tecnologías Limpias en Termoeléctricas. Informe Final. Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, Empresa Colombiana de Carbón EOCARBON. Santafé de Bogotá. Marzo de 1997.
- HAMMOND, ADRIANASE, RODENBURG, WOODWARD. Environmental Indicators: a Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resources Institute. 1995.

- HOCOL S.A. Guía de Indicadores Ambientales para la Industria Petrolera. 1997.
- LEON CRUZ, Rober. Desarrollo de Indicadores de Gestión Ambiental para la Etapa de Beneficio en la Minería de Gravas y Arenas en la Sabana de Bogotá. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería Civil. Santafé de Bogotá. 1999.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, ISA. Evaluación Ambiental Sectorial, sector Eléctrico Colombiano. Informe Final. 1997.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGETICA - UPME-. Evaluación de la Incidencia Ambiental en el Planteamiento en Colombia. Fase Conceptual y Metodológica. Organización y Gestión de Proyectos DEPROYECTOS Ltda. Santafé de Bogotá, Junio de 1998.
- OECD. Environmetal Indicators, OECD Core Set. París, 1995.
- ORGNIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA -OLADE-. Guía para la Evolución del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas. Quito. 1993.
- SARMIENTO, Juan Carlos. Desarrollo de Indicadores de Gestión Ambiental para la Etapa de Explotación en la Minería de Gravas y Arenas. Tesis para optar el título de Magister en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá. 1998.
- SENA, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración, parte aire y ruido. Santafé de Bogotá, Enero de 1999.
- WARK, Kenneth. Contaminación del Aire, Origen y Control. Segunda Edición. Mejico. Editorial Limusa. 1990.
- WORLD BANK, indicatos of Pollution Magnagement. 1997.

ANEXOS

EL CICLO ENERGETICO Y EL IMPACTO AMBIENTAL

