

LOS COSTOS DE LA GESTIÓN AMBIENTAL EN LA PLANEACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO EN COLOMBIA - ASPECTOS METODOLÓGICOS -

José Lino Jurado Montaño¹

RESUMEN

Los costos ambientales se incluyeron en la planeación del sector eléctrico colombiano, a partir de la década de los 90. Se determinaron costos de programas ambientales para proyectos de generación, con sus propias limitaciones y supuestos; algunos de ellos todavía son válidos. La necesidad de conocer los costos ambientales de los proyectos de generación y transmisión, en etapas iniciales de la planeación, como son los planes indicativos de la expansión, ha permitido recientemente el desarrollo de un modelo que anticipadamente evalúe los impactos y defina los costos de las medidas de manejo en etapas futuras de construcción y operación. El modelo utiliza información básica georeferenciada pero suficiente para determinar indicadores de impacto y costo. Este modelo se hizo de manera participativa con agentes representativos del sector eléctrico y apoyará a la UPME en la cuantificación económica de los planes de expansión del sector eléctrico y puede suministrar costos preliminares a potenciales inversionistas de proyectos en este sector.

PALABRAS CLAVES: Costos Ambientales, Indicadores, Planeación Ambiental, Sector Eléctrico.

ABSTRACT

The environmental costs came forth in the planning of the colombian electrical sector by early 90's. The costs of environmental programs for generation projects were calculated, considering constraints and assumptions, some of them are still valid. The necessity to know the environmental costs of generation and transmission projects in preliminary stages of planning, as complement to indicative expansion plans, allowed the development of a model that assesses in advance the impacts and defines the costs of their environmental measures in future stages of construction and operation. The model uses georeferenced basic information but sufficient to determine multiple impact and cost indicators. This model was developed with the active participation of representative agents of the electrical sector and will support UPME in valuation of expansion plans and it can supply preliminary costs to potential project investors in this sector.

KEY WORDS: Environmental Costs, Indicators, Environmental Planning, Electric Sector.

¹. Gerencia de Generación, ISAGEN S.A., E.S.P.

Profesor catedrático. Especialización en Gestión Ambiental, Universidad Nacional, Sede Medellín. E-mail: linolga@epm.net.co

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

Este artículo tiene como objetivos:

- Presentar un reseña histórica de la inclusión de los costos ambientales en la planeación del sector eléctrico colombiano, como aporte a la definición planes de expansión.
- Presentar los programas ambientales relevantes de proyectos de generación de energía eléctrica (hidroeléctricos y térmicas a carbón), adelantados por ISA¹ en 1991.
- Presentar el modelo CGA-UPME como avance reciente en la determinación de costos de gestión ambiental de proyectos en etapas preliminares de planeación, con base en información georeferenciada y formulación de indicadores de impacto y de costo, representativos de programas ambientales para manejo de impactos.

1.2. Antecedentes

Los gestión ambiental en el sector eléctrico colombiano, es un tema en el cual se ha avanzado notablemente en los últimos 4 años, en parte como respuesta a la reglamentación ambiental y a la evolución de un mercado competitivo en las actividades de generación y de transmisión. Resultados concretos de esta gestión son las guías ambientales sectoriales (Ministerio del Medio Ambiente, 1999) y los términos de referencia para estudios ambientales. La gestión ambiental de las empresas responde principalmente a la necesidad de desarrollar proyectos ambientalmente viables, mediante una adecuada inserción de los mismos en el medio físico, biótico y social.

Las experiencias en gestión ambiental en las etapas avanzadas de la planeación de proyectos (factibilidad y diseño) y en las de ejecución (construcción y operación) son una fuente importante de información sobre el manejo de problemáticas ambientales. La definición de los presupuestos y seguimiento de costos ambientales ejecutados que se derivan de dicha gestión han requerido

la atención de las empresas del sector. En las etapas iniciales de la planeación (reconocimiento y prefactibilidad) el panorama no ha sido el mismo en el tema de costos de la gestión ambiental, debido al carácter preliminar de los proyectos. En esas etapas el inversionista focaliza su atención en la identificación de las potencialidades y restricciones técnicas y ambientales, siendo el costo de la gestión ambiental asumido como un porcentaje del costo total del proyecto. La desagregación de los costos y en particular los correspondientes a la gestión ambiental son evidentes sólo en las últimas etapas de la planeación, como se especifica en los estudios de Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) y de Impacto Ambiental (EIA), requeridos en el proceso de otorgación de licencias ambientales (Ministerio del Medio Ambiente, 1994). Es necesario precisar que el conocimiento de los impactos, los costos posibles para atenderlos, así como de todas las variables de un proyecto potencial son de carácter preliminar en la formulación de un plan de expansión indicativo. En estas circunstancias, el rol de la UPME como ente planificador sectorial, ha estado limitado en la incorporación de lo “ambiental” en sus planes indicativos. Reconociendo esta necesidad, desde la formulación del Plan Energético Nacional (UPME, 1997), la estrategia se orientó a incrementar la producción de energéticos dentro un contexto de sostenibilidad ambiental y autosuficiencia económica en el largo plazo. Uno de sus aspectos es estimular la inversión privada, donde la componente costo debe calcularse con la mejor información disponible, probablemente con los referentes de proyectos en etapas avanzadas (diseño y construcción). El desarrollo de metodologías de costos ambientales de proyectos que conforman un plan de expansión indicativo cubre entonces las deficiencias y vacíos de información en las etapas previas de la planeación. La reciente revisión de la política ambiental sectorial (DNP, 2001) recomienda mejorar los estudios ambientales en etapas avanzadas, por lo cual se justifica elaborar planes de expansión indicativos con su propia evaluación de impactos y costos.

Hace una década, cuando la planeación del sector eléctrico era de decisión centralizada, se inició un desarrollo de metodologías de evaluación de la componente ambiental de los proyectos que conformaban los escenarios de plan de expansión. Estas permitieron calificar proyectos mediante técnicas de análisis multiobjetivo (ISA, 1991a y Jurado, 1992a). Dichas metodologías no incluyeron los costos ambientales pero

¹ Antes de la Ley Eléctrica 142 de 1994, Interconexión Eléctrica S.A. tenía a su cargo proyectos de generación y la elaboración del plan de expansión de generación y transmisión.

se calcularon de manera separada para los proyectos que hacían parte de escenarios posibles de expansión.

Aprovechando la información disponible de proyectos de generación y de centrales en operación², se estructuraron programas ambientales y costos (ISA, 1991b y Jurado, 1992b). A finales de los años 80, los costos ambientales de proyectos de transmisión se incluyeron en los costos totales de cada proyecto, como parte de las acciones de protección de infraestructura y remediación de impactos por accesos temporales al emplazamiento de torres. Iniciando los 90, ISA normalizó los términos de referencia de estudios y de los costos en líneas de transmisión. El decreto 1753/94, reglamentario sobre Licencias ambientales, menciona por primera vez que los Planes de Manejo Ambiental (PMA) se deben costear.

La planeación energética evolucionó después de 1994, de un plan de expansión de decisión centralizada a un plan indicativo de la expansión. Los escenarios futuros se complementarán con los resultados del modelo de costos de gestión ambiental CGA – UPME, desarrollado por Tractebel - Mejía & Villegas, (2001a). Este modelo se adaptó a las condiciones colombianas y descartó la inclusión de otros modelos basados en monitoreo de variables y de sistemas de control, y de efectos en la salud, tales como ENPEP, FCA/EPA y Extern-E, por ser exigentes en información y aplicables en etapas avanzadas (Tractebel, 2000).

2. DEFINICIONES DE COSTOS

Los costos de gestión para la ejecución de Planes de manejo Ambiental (PMA) de los impactos que se presentan durante la construcción y operación, varían de acuerdo con las características de los proyectos. Los programas que conforman los PMA están articulados al ciclo técnico de los mismos (Angel *et al.*, 1996). Dependiendo de la complejidad de un proyecto (criterio definido más adelante) y de sus impactos ambientales potenciales se hará una gestión ambiental coherente que puede comprender acciones de prevención, mitigación, corrección, compensación y monitoreo. Los tipos de costos de gestión ambiental que se presentan son:

2.1 Costos de prevención

Son los correspondientes a programas identificados antes de la ejecución de obras, para evitar un impacto ambiental y situaciones de riesgo que puedan ocurrir sobre la población y recursos naturales localizados en el área de influencia de las obras del proyecto.

2.2 Costos de mitigación

Son los correspondientes a programas definidos para la etapa de ejecución de obras del proyecto, para solucionar parcialmente un impacto ambiental, teniendo en cuenta que por falta de previsión no se evitó oportunamente o que fue imposible evitarlo a pesar de haberse identificado previamente el impacto.

2.3 Costos de corrección

Son los costos correspondientes a programas definidos durante la etapa de ejecución de obras u operación del proyecto para corregir un impacto sobre el medio natural o social, o también para recuperar las condiciones iniciales del medio.

2.4 Costos de compensación

Son los costos correspondientes a programas con el objetivo de resarcir el daño al medio natural o a la población afectada por el proyecto y que no puede ser evitado, mitigado ó corregido. La compensación buscará condiciones similares o mejores que las precedentes a la ejecución de las obras del proyecto.

2.5 Costos de monitoreo

Son los costos seguimiento del proyecto, tanto en actividades de intervención, como de las condiciones ambientales en el área de influencia del proyecto, asignando los recursos físicos y humanos para verificar los impactos previstos durante las etapas de construcción y en el período inicial de la operación, en el cual se ejecuten los programas previstos en el PMA del proyecto.

Para estos programas se tendrán en cuenta criterios de viabilidad técnica y económica, pero atendiendo los requisitos legales ambientales. Para proyectos en etapas de prefactibilidad o factibilidad que son los que se registran en el plan indicativo de expansión, no se calculan o estiman costos asociados a impactos no identificados

² Se contó con el apoyo de las empresas que conformaban el CASEC (Comité Ambiental de Sector Eléctrico)

o que aún siendo identificados, no han sido compensados a las partes afectadas por los agentes que los producen, lo que se conoce como *Externalidades*. Es decir, hacer un manejo consciente de ellos o “internalizarlos” es prematuro en estas etapas de planeación. Sin embargo, para etapas posteriores es válido analizar metodologías de valoración de impactos para precisar potenciales costos de compensación.

3. ESTRUCTURAS DE COSTOS PARA PLANES DE EXPANSIÓN

3.1 Incorporación de costos ambientales en la década de los 90

Los costos de las acciones ambientales se determinaron por primera vez en proyectos de generación por la necesidad de complementar las evaluaciones ambientales de los planes de expansión realizados por ISA en 1991 (ISA, 1992). Los costos de las acciones ambientales en ese momento cubrían dos temáticas: ecológica (actualmente biofísica) y socioeconómica. El plan de expansión de 1991 elaborado en ISA (1991a) se complementó con un análisis de costos ambientales de los proyectos. En contraste, ya se había avanzado en la normalización de los costos técnicos, por lo que se llenó en ese año el vacío identificado por la misión encargada de los préstamos sectoriales del Banco Mundial.

3.2 Criterios y limitaciones en el cálculo de costos ambientales en 1992

Para el cálculo de costos de gestión ambiental en proyectos de generación, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- El Plan de Acción ambiental respondía a los requerimientos del INDERENA, a través de la “Declaratoria de Efecto Ambiental”. En este sentido se daba prioridad a los programas de prevención y en caso de que no fuera posible, se debía mitigar ó compensar los efectos adversos.
- Relación entre impacto y acción ambiental. Conocidos los impactos mas relevantes de los proyectos de generación del Sector Eléctrico Colombiano, se presentan los diferentes costos de ejecución de acciones típicas que controlan los impactos ocasionados por los proyectos de generación de energía. No siempre esa relación es directa y prevista

con suficiente anticipación, .

- Información básica. Las fuentes fundamentales eran los estudios ambientales. La estructura de costos planteada también se basó en los resultados de encuestas entre las empresas del CASEC que tenían proyectos en el plan de expansión. En los casos en los cuales los estudios no incluían los datos de costos, se establecieron costos unitarios típicos por programa con base en proyectos de características semejantes.

Por otra parte se encontraron las siguientes limitantes en la definición de costos (ISA, 1991b y Jurado, 1992b):

- Complejidad ambiental del proyecto y atención de impactos.

La complejidad ambiental tiene que ver con las características ambientales de la zona de influencia del proyecto, los impactos que el proyecto podría causar, la capacidad de gestión ambiental del propietario del proyecto y la existencia de tecnologías para control y mitigación. De cierta manera la magnitud de los impactos indicará la necesidad de presupuestar programas de compensación de impactos ambientales. Como anotaba J.P. Ruiz (citado por ISA, 1993), los gastos de gestión ambiental eran insuficientes para el control de los impactos y los costos para su solución eran asumidos por un agente económico distinto al dueño del proyecto. También existían problemáticas ambientales a las cuales no fué posible evaluarles una solución ambiental ni la efectividad de una acción específica, es decir en qué magnitud se disminuye un impacto ambiental al realizar una inversión para prevenirlo o mitigarlo. La normalización de términos de referencia, el desarrollo de metodologías de evaluación de impactos y soluciones de compromiso (sistemas de calidad ambiental) han evitado de alguna manera que se presenten las externalidades.

- Incertidumbre en la ocurrencia de los impactos.

La dinámica de los ecosistemas y de las condiciones sociales puede obligar a acciones ambientales sobre impactos que en un principio no se presentaron o no se hicieron evidentes durante el avance del proyecto. También puede haber incertidumbre en los riesgos naturales asociados a los proyectos, con consecuencias en el medio natural o social. Posteriormente Angel *et al* (1996) complementan la situación de incertidumbre en los impactos, al

mencionar que estos pueden operar en condiciones de umbral, o generarse como consecuencia de encadenamientos de orden ecológico o social cuya dinámica solamente es identificable en períodos de tiempo considerables. Para superar esta limitante, se proponen indicadores de seguimiento ambiental, como parte de los programas de monitoreo.

- **Calidad de información de los estudios ambientales.**

Los llamados “estudios ecológicos y socioeconómicos” existentes antes de la Ley 99, en su mayoría no presentaron costos correspondientes a programas de manejo. En otros, la experiencia en el manejo de efectos ambientales era precaria. Los estudios de factibilidad y diseño realizados entre 1980 y 1992, presentaron diversidad de alcances en la evaluación de impactos. Dado que los aspectos ambientales se han logrado considerar de manera gradual, para proyectos con estudios más antiguos (antes de 1992) se ajustó el valor de imprevistos. El trabajo previo de identificación de impactos en centrales hidroeléctricas en operación aportó criterios para la definición de costos de los proyectos (CASEC, 1991).

3.3 Estructura de costos para proyectos de generación

En las Tablas 1 y 2 se presentan los tipos de acciones ambientales, especificadas como programas ecológicos (extendidos a los componentes físico y biótico) y socioeconómicos. Estos se basaron en la información disponible de proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos (de carbón) en etapas avanzadas. Los programas presentados se costearon con base en tablas de costos unitarios y se aplicaron como referencia a los proyectos. En cada proyecto se calcularon los costos de los programas (Tablas 1 y 2) y posteriormente se les adicionó un valor de imprevistos, cuyos valores variaban entre 10 y 40 %, dependiendo de las limitaciones encontradas en los estudios. Actualmente algunos de estos programas se han incorporado como costos técnicos (por ejemplo la remoción de vegetación en zonas a inundar), para lo cual las guías ambientales y términos de referencia facilitan al proponente del proyecto dicha separación de costos. La estructura de costos comprendía programas preventivos, mitigatorios y compensatorios que las empresas propietarias adelantaron como cumplimiento de la legislación. No se especificaron las inversiones adicionales, como las que se derivan actualmente de la ejecución de políticas ambientales corporativas.

TABLA 1. ACCIONES AMBIENTALES EN PROYECTOS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Componente ambiental	Programa	Tipo de costo
Ecológicos	Control y vigilancia de recursos naturales las zonas de conservación, de protección en el perímetro del embalse. Complementado con programas de educación ambiental.	Prevención
	Acciones agroforestales para mejorar la cobertura vegetal de las cuencas cercanas a las obras del proyecto.	Mitigación y corrección
	Acciones piscícolas para evaluar las posibilidades de utilización de los embalses y de usos alternos como estanques.	Monitoreo y compensación
	Restauración de áreas degradadas en zonas de material de préstamo de aluvión y cantera, zonas de botaderos de desechos de construcción y restauración de vías de acceso.	Corrección
	Control hidrológico para defender cauces y predios ribereños de la acción erosiva por aumento de caudales. También pretende minimizar la alteración de ciénagas por cambios hidrológicos en la operación de embalses.	Prevención
	Control sanitario para mejorar las condiciones de calidad de aguas que alimentan los embalses.	Prevención
	Remoción de vegetación del embalse para evitar el riesgo de eutrofización de las aguas del embalse y deterioro de las corrientes agua abajo.	Prevención
	Rescate de flora y fauna para preservar especies endémicas y adaptarlas a medios semejantes en áreas cercanas.	Prevención
	Investigaciones y monitoreos para evaluar los efectos ecológicos de las actividades de construcción y operación de los proyectos sobre los ecosistemas existentes.	Monitoreo
Socioeconómicos	Reasentamiento de población desplazada a causa de las obras proyecto	Compensación
	Planes preventivos y de adecuación de poblados, ocasionados por la afluencia de población vinculada en forma directa e indirecta al proyecto.	Prevención
	Recuperación de las actividades productivas previas a la construcción.	Corrección y compensación
	Otros programas sociales que no se han incluido los costos de programas anteriores (comunicación, rescate arqueológico, salud, recreación, estudios complementarios, etc.)	Mitigación y monitoreo
	Fondos de Ley 56 de 1981 (Equivale al art. 45 de transferencias del sector eléctrico de la Ley 99 de 1993)	Compensación

3.4 Costos en líneas de transmisión

Para este tipo de proyectos, los estudios previos han contribuido a la expansión en la transmisión, y específicamente a la construcción del modelo de costos. Dentro del proceso de optimización de los costos ambientales, se mencionan:

- El desarrollo de una metodología de selección de alternativas de proyectos de transmisión (ISA, 1996), en la cual se evalúan alternativas de costos de gestión ambiental, partiendo desde niveles mínimos de costos: acciones por impacto y por dimensión, diferenciados por zonas geográficas y tramos del proyecto.
- El estudio de Posibilidades y Restricciones Ambientales – ARA, (ISA, 1998), que formula indicadores de costos de gestión ambiental, dando señales económicas para planear el costo de gestión ambiental de los futuros proyectos, en tres niveles de costo: alto, medio y bajo. Los indicadores se construyeron a partir de datos históricos de inversión en PMA entre 1994 y 1998; con los valores de inversión de cada proyecto y su correspondiente longitud, se construye un indicador de costo por kilómetro de línea.
- Análisis de costos en un esquema de regulación. ISA (1999) hace una nueva revisión de indicadores para configurar una propuesta a los reguladores sobre costo de las unidades constructivas, en cumplimiento de la Resolución CREG 051/98, tanto para proyectos de

líneas como de subestaciones y se complementaron los costos por unidad de gestión de los programas implementados para atender los impactos. En el mismo informe ISA menciona la incorporación de los costos ambientales en programas sistematizados de líneas y subestaciones, para tener una mejor estimación de costos unitarios, con base en precios históricos. En el proceso de oferta de proyectos de transmisión, necesariamente se deben adicionar los costos ambientales a los demás costos de construcción y de operación.

4. EL MODELO DE COSTOS AMBIENTALES PARA LA PLANEACION INDICATIVA DEL SECTOR ELECTRICO.

En este numeral se presenta el desarrollo reciente del modelo CGA – UPME, Costos de Gestión Ambiental, (Tractebel - Mejía & Villegas, 2001c) a partir de la identificación de indicadores de impacto que expresen los posibles impactos asociados a proyectos del sector eléctrico (generación y transmisión), así como también el diseño de indicadores de costo de medidas de manejo de dichos impactos. El concepto de sostenibilidad ambiental tan extendido en formulación de políticas, está ligado a múltiples factores que hacen difícil su aplicación, ya sea en escenarios de la planeación sectorial ó privada. Es un elemento a considerar en la formulación de indicadores ambientales para su seguimiento a largo plazo.

TABLA 2. ACCIONES AMBIENTALES EN PROYECTOS DE GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA (1)

Componente ambiental	Programa	Tipo de costo
Ecológicos	Disposición final de cenizas para controlar focos de contaminación del aire, el suelo y el agua. El costo de control de emisiones hace parte de los costos de la planta.	Corrección
	Tratamiento y disposición de desechos líquidos tales como lixiviados de patios de ceniza y de carbón, y de la planta. También incluye tratamiento de desechos domésticos	Corrección
	Sistema de monitoreo ambiental para los aspectos hidrológicos, meteorológicos, de calidad de aire y agua.	Monitoreo
	Áreas verdes de amortiguamiento en franjas protectoras que permitan disminuir la contaminación atmosférica y visual ocasionada por la planta.	Mitigación
Socioeconómicos	Reasentamiento de población desplazada a causa de las obras proyecto.	Compensación
	Planes preventivos y de adecuación de poblados, ocasionados por la afluencia de población vinculada en forma directa e indirecta al proyecto.	Prevención
	Recuperación de las actividades productivas previas a la construcción .	Corrección y compensación
	Otros programas sociales que no se han incluido los costos de programas anteriores (comunicación, rescate arqueológico, salud, recreación, estudios complementarios o pendientes de factibilidad, etc.)	Mitigación y monitoreo
Fondos de Ley 56 de 1981 (Equivale al art. 45 de transferencias del sector eléctrico de la Ley 99 de 1993)		Compensación

1. Para la definición de costos se consideraron solamente proyectos que se operaban con carbón.

4.1 Descripción del modelo y metodología

El modelo de costos de gestión ambiental CGA – UPME permite la conformación de una base de datos de costos ambientales de referencia y su actualización. De esta manera se establece un sistema de indicadores ambientales para la planeación del sector eléctrico. La herramienta desarrollada incorpora las experiencias en gestión ambiental al proceso de planeación del sector eléctrico colombiano, específicamente con datos de costos de programas presupuestados ó ejecutados en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y líneas en construcción.

El modelo CGA está basado en variables georeferenciadas para estimar los costos de proyectos en etapa de prefactibilidad, lo que muestra un avance en la articulación de dos elementos claves de la gestión ambiental: Evaluación de los impactos y formulación de PMA. Los impactos identificados en etapa preliminar se relacionan, a través de indicadores, con los costos de programas típicos de gestión para proyectos específicos del sector. La primera aproximación del ciclo de indicadores *Presión - Estado - Respuesta*, la presentó la OECD (1994), en el cual los indicadores de presión son los equivalentes a los indicadores de impactos que se pueden causar por algunos elementos y actividades de un proyecto. Los indicadores de estado son los equivalentes a los de línea base de los DAA e EIA y los de respuesta sólo se pueden evaluar mediante seguimiento *in situ* durante ó después de la etapa de ejecución de las obras y están por fuera del alcance del modelo, pues requieren estudios ex-post. El modelo de costos se basa en una evaluación ex-ante de los impactos, para la cual las evaluaciones ex-post son pertinentes como la que hizo ISA (1993) para el Ministerio de Minas y Energía. La tendencia es aplicar sistemas de autogestión ambiental, por lo que es conveniente que se continúe el monitoreo de indicadores hasta etapas avanzadas del proyecto y así disponer de una retroalimentación en la formulación de indicadores en nuevos proyectos que todavía no tienen DAA o EIA, según sea el caso.

Se presenta la secuencia metodológica del modelo CGA, pero precisando mediante notaciones, la versión estructural del modelo desarrollado por Tractebel (2001c):

- **Identificación de impactos.** A partir de los estudios disponibles, las guías ambientales y de informes del sector eléctrico, se definieron los impactos

potencialmente negativos (asumiendo previamente que no tienen medidas de manejo para resolverlos). Entonces la identificación de impactos i , se desagrega para el proyecto p (generación hidráulica ó térmica y transmisión), en la etapa e (construcción ó operación), y también por dimensiones d (física, biótica, social, económica y cultural). El único impacto positivo considerado fue el de transferencias de Ley 99, que el modelo presenta como “otros costos”, pues no son propiamente una medida de manejo de impactos, y son costos en que incurre el propietario del proyecto. Por eso se excluyó del cálculo de indicadores de impacto pero no de costo.

- **Construcción de indicadores de impacto I :** Se elaboraron los indicadores considerando un conjunto de variables que son de dos tipos: variables X_p que son las asociadas a las características técnicas del proyecto p y otras variables X_i , asociadas al medio natural o social e inciden en un impacto i . Toda la información de las variables X_i se tomó de mapas temáticos, por lo general a escala 1:500.000. Consecuentemente los indicadores I , varían espacialmente porque sus variables independientes X_p y X_i , están georeferenciadas. Teniendo en cuenta que se trabaja con un sistema de información geográfico (SIG), también hay variables calculadas X_s que se basan en relaciones entre X_p y X_i , ó entre varias del mismo tipo X_p ó X_i .
- Un indicador puede contener uno o más variables que “pesan” más que otras. Por lo que se resulta conveniente ponderarlos, mediante pesos w_i para cada variable X_p y X_i . Los pesos propuestos en el modelo se acordaron por el grupo interdisciplinario que llevó a cabo los estudios.
- **Definición de “costos estimados unitarios”.** Al igual que en la metodología utilizada en 1992, es fundamental disponer una base de datos de costos unitarios. Para hacer la mejor estimación de los costos unitarios se hicieron talleres con algunas empresas que conforman el CASEC, las cuales suministraron información reciente de los programas del plan de manejo ambiental en etapa de diseño, construcción y operación de los proyectos. Así mismo se tuvo en cuenta la experiencia de la consultoría en costos ambientales causados en proyectos de generación y transmisión. La información recolectada y homogeneizada por programas equivalentes se denominó *costos históricos*, pues proviene de datos

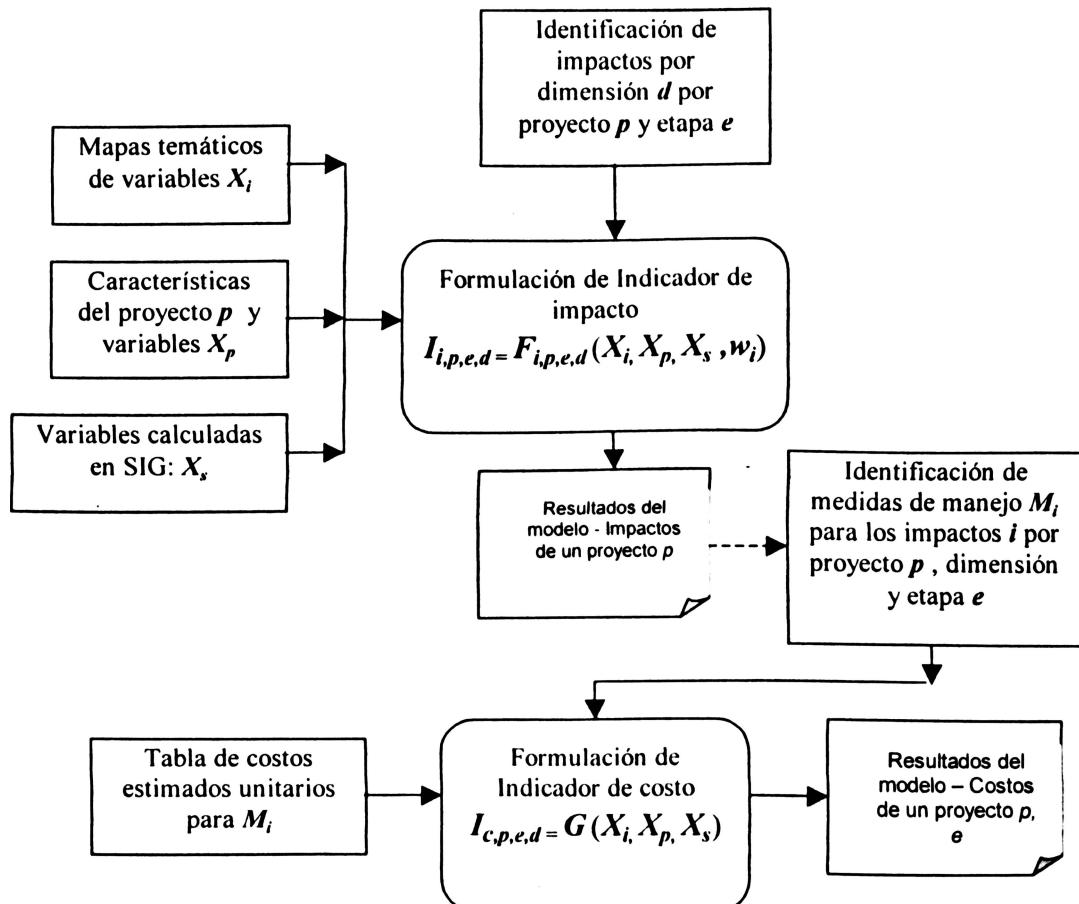
reales presupuestados o ejecutados. El siguiente paso fue definir los *costos estimados unitarios* por programa y tienen una variable de referencia \$US/km, \$US/km², \$US/habitante, etc., para expresarlos como costos unitarios y el criterio de estimación es el promedio de los costos históricos. El ejercicio de estimación de costos es como si se preparase un presupuesto para un determinado proyecto. De esta manera se articulará con una variable representativa de la extensión o magnitud del impacto potencial de un proyecto, como distancia, área o población.

- **Construcción de indicadores de costos I_i :** Se buscó una correspondencia entre un indicador de impacto I_i y la medida de manejo M_i que atiende o resuelve ese impacto i para el proyecto p . El indicador de costo I_i es la valoración de M_i y se obtiene de operar una variable X_p del proyecto o una variable X_s asociada al impacto, con el costo estimado de realizar M_i .
- **Validación de costos:** El modelo calcula para un

proyecto los indicadores de costo I_c . Posteriormente se comparan estos costos con los históricos, asumiendo las misma localización geográfica del proyecto con información conocida. Si existe una diferencia notoria, se realizan revisiones sobre los costos estimados unitarios o ajustes sobre los factores de complejidad, porque a su vez afectan el costo, hasta encontrar una similitud entre los costos históricos y aquellos calculados por el método de los costos estimados unitarios. Se obtiene entonces el indicador de costo para el programa determinado ó medida de manejo M_i , y varía con el tipo de proyecto, ya sea de generación o de transmisión.

El modelo también calcula otros costos de la gestión, como los de realización de estudios, trámites de obtención de licencias y pago de transferencias de Ley 99, que no se incluyen en este documento, con el fin de hacer énfasis en los costos de gestión mencionados en el numeral 2. La secuencia metodológica presentada se ilustra en la Figura 1.

FIGURA 1. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL MODELO DE CGA – UPME.



4.2 Indicadores de impacto ambiental

El concepto el indicador de impacto ambiental refleja una condición de afectación de una dimensión ambiental o "factor ambiental" como el mencionado por Conesa-Fernández (1995). De acuerdo con la fórmula aplicada para cada indicador se obtendrá un valor, el cual estará ubicado en uno de los rangos definidos de afectación: poco significativa ó baja (calificación de 0 a 4), media (calificación de 4 a 7) y alta (calificación de 7 a 10). El valor para cada variable que compone el indicador se establece de acuerdo con el grado de complejidad de la gestión ambiental, siendo 10 el más complejo. La formulación del indicador de impacto se obtiene mediante la expresión genérica:

$$I_{i,p,e,d} = F_{i,p,e,d}(X_i, X_p, X_s, w_i) \quad i = 1 \dots n \quad \text{impactos (1)}$$

Donde $F_{i,p,e,d}$ define la fórmula de cálculo del indicador para cada impacto, por proyecto, etapa y dimensión analítica ambiental. Se han predefinido también los pesos w_i para cada variable X_p, X_i y X_s , dependiendo de cómo se formule el indicador I_i . Debe tenerse en cuenta que al estar georeferenciadas estas variables, sus valores posibles entre 0 y 10, se obtienen mediante tablas de clasificación de los rangos, que califican las características físicas para llevarlas finalmente a la misma escala de valores.

En total se consideraron 19 indicadores de impacto I_i , algunos de ellos comunes a los tipos de proyectos: Físicos 6, bióticos 5, sociales 3, económicos 1 y culturales 4, tal como se indica en la Tabla 3. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de algunos indicadores y variables asociadas, para las dimensiones física y biótica. Los indicadores de impacto y las variables a considerar en el indicador dependen del tipo de proyecto y su etapa.

En el ejemplo de la Tabla 5, se presentan para un proyecto de generación térmica en construcción. Las tres variables necesarias para calcular el impacto *Presión sobre el recurso fauna acuática* son: Dos variables del tipo X_i : sedimentación y vertimientos, y una variable asociada al proyecto X_p : combustible. Estas se denominan las variables primarias del indicador. Cada variable tiene un porcentaje de participación o importancia dentro del resultado final del indicador (primer ponderador w_i). De la variable sedimentación Sd hacen parte dos variables secundarias: susceptibilidad a la erosión y tipo de cuerpos de agua, ríos en este caso. Esta última, se multiplica por un segundo ponderador con mayor peso (80%) porque se relaciona más directamente con el efecto sedimentación

sobre un cuerpo de agua receptor y que se representa con w_j . La ecuación para el indicador *Presión sobre el recurso fauna acuática PFA* se expresa en términos generales como:

$$I_{PFA,\text{térmica,construcción}} = w_i (Sd) + w_j Vr + w_k Tc \quad 2)$$

$Sd = w_1 * SE + w_2 * R$ es la sedimentación en el cuerpo receptor. La idea es combinar la susceptibilidad a la erosión con la evaluación del tipo de río. Se infiere que entre más grande sea un río, mayor es la diversidad de la biota acuática que se afecta. Si el grupo de análisis recomienda pesos de variables primarias $w_1 = w_2 = 0.4$ y $w_3 = 0.2$, y pesos de variables secundarias, la ecuación 1 quedará así:

$$I_{PFA,\text{térmica,construcción}} = 0.4 (0.2 * SE + 0.8 * R) + 0.4 Vr + 0.2 Tc = 0.08 * SE + 0.32 * R + 0.4 Vr + 0.2 Tc \quad (3)$$

Donde,

SE: Susceptibilidad a la erosión potencial erosiva de la zona, calculada como indicador en función de otras variables (ver Tabla 5)

R: Categoría de los ríos: 1 (mayor caudal) a 3 (menor caudal, menor capacidad de arrastre)

Vr: Vertimientos de aguas servidas domésticas e industriales sobre la corriente receptora

Tc: Tipo de combustible (carbón o gas)

Como se observó, las variables se calculan en función de las variables ambientales georeferenciadas SE y R, y Tc se conoce del proyecto. El sistema de información geográfica internamente toma los valores de entrada y en la tabla de clasificación de rangos de la variable, determina el valor del impacto en escala de 0-10 para esa variable, que posteriormente se aplicará en la ecuación 3. Teniendo en cuenta las posibilidades del SIG, las variables que se construyen a partir de información temática se pueden cruzar con el área requerida por el proyecto, para determinar la distribución relativa de otra variable temática que varía dentro de los límites del proyecto, por ejemplo la cobertura vegetal a lo largo de una línea de transmisión.

4.3 Indicadores de costos de gestión ambiental

Se encontró que era mejor clasificar los costos por tipo de proyecto y por la etapa en que se encuentran, siendo mayores los costos ambientales en construcción que en operación. Como se explicó en la Figura 1, el modelo toma los programas representativos por tipo de proyecto,

calcula sus costos, en función de las variables específicas del mismo y de los costos estimados unitarios. En la Tabla 6 se indican los tipos de programas aplicados por proyecto. Siempre se busca articular la medida de manejo al indicador de impacto. Por ejemplo para proyectos de transmisión en operación, si el indicador de impacto es *Presión sobre el recurso vegetal*, el programa de manejo es la optimización de la poda de vegetación en el corredor de la línea, el cual tiene un costo específico.

4.4 Estructura operativa del modelo

El modelo comprende 4 módulos: Ingreso de datos, Procesamiento en SIG, Cálculo de Indicadores de impacto y costo, y uno para Mantenimiento y actualización. En este último se cargan todas las bases de datos como mapas temáticos y se pueden modificar los pesos asignados en las fórmulas de indicadores. Como ilustración las Figuras 2, 3 y 4 muestran ejemplos de resultados de una simulación de prueba del modelo CGA-UPME a un proyecto de generación térmica a gas, con información básica del proyecto, sus indicadores de impacto y los costos esperados en la etapa de construcción. En la parte inferior de la Figura 4, se muestra la posibilidad de simular los costos ambientales en la etapa de operación, así como los costos de los estudios ambientales. La UPME como ente planificador administrará y operará el modelo y mantendrá una coordinación con institutos que conforman el Sistema de Información Nacional Ambiental, SINA, para alimentar el modelo con la información ambiental. Por otra parte es importante mantener actualizados los costos unitarios de referencia con base en los PMA de los EIA. Finalmente, con el modelo presentado, se evita calcular los costos ambientales como un porcentaje del costo total de un proyecto, procedimiento que desconoce las características ambientales del sitio o zona donde se ubica y las específicas del proyecto.

5. CONCLUSIONES

En las etapas previas de los proyectos, como son reconocimiento y prefactibilidad, y aún iniciando etapas más avanzadas como factibilidad, el conocimiento de costos de gestión ambiental era precario o inexistente. Sin embargo en el contexto de planeación del sector eléctrico, los desarrollos metodológicos en este tema han sido significativos en la última década, especialmente para

adecuarse a la cambiante regulación. A pesar de ello la elaboración de un plan de expansión indicativo, se tiene que basar en información escasa de proyectos en etapas preliminares. Considerando esta limitante, la Unidad de Planeamiento Minero - Energético (UPME) como entidad responsable de planificación energética, conjuntamente con empresas líderes en el sector, ha desarrollado metodologías para su estimación, basadas en indicadores de impacto y en la formulación de programas de manejo de los mismos. Aspectos reseñados en este documento, como son la complejidad ambiental, calidad de información y la incertidumbre en los impactos, se han venido superando con la experiencia en la gestión ambiental del sector eléctrico, reconocida entre los países de la región y por la autoridad ambiental. El modelo de costos CGA – UPME desarrollado recientemente, permite conocer de manera anticipada los costos de la gestión de proyectos que harán parte de un plan indicativo en cualquier parte del territorio nacional, utilizando herramientas SIG y mapas temáticos de Colombia. Es fundamental mantener actualizada las bases de datos SIG, así como las de costos de referencia, tanto los históricos como los unitarios estimados, con el fin de cuantificar de manera más confiable los costos de gestión ambiental de los planes indicativo de expansión.

TABLA 3. TIPO DE PROYECTO Y ETAPA DONDE APLICA EL INDICADOR DE IMPACTO

DIMENSIÓN o INDICADOR DE IMPACTO I.		Proyecto p?	HIDROELÉCTRICAS	TERMOELÉCTRICAS	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
	Etapa e?	Construcción	Operación	Construcción	Operación
	Modificación de la calidad del agua	X	X	X	X
	Modificación de caudales	X			
FÍSICA	Modificación del ruido ambiental	X		X	X
	Modificación de la calidad del aire: material particulado	X		X	X
	Modificación de la calidad del aire: emisión de gases			X	
	Susceptibilidad a la erosión	X	X	X	X
	Modificación de la cobertura vegetal	X		X	X
	Influencia de la fragmentación	X	X		X
BIÓTICA	Presión sobre el recurso vegetal	X	X	X	X
	Presión sobre el recurso fauna terrestre	X	X	X	X
	Presión sobre el recurso fauna acuática	X	X	X	X
	Susceptibilidad de afectar a la comunidad	X		X	X
SOCIAL	Susceptibilidad de modificar la estructura social	X		X	X
	Población potencialmente desplazada	X		X	X

TABLA 4. EJEMPLO DE INDICADORES Y VARIABLES

Indicador de impacto I_i	Impactos y dimensión	Variables X_p , X_i y X_s
DIMENSIÓN FÍSICA		
Modificación de caudales	Disminución de caudales Degrado del lecho Modificación del hábitat de la fauna y flora acuática Cambios morfológicos desde el sitio de presa Afectación del uso del recurso agua Generación de molestias a la comunidad	Caudal afectado Características de la población Usos del agua y del suelo localizados aguas abajo del área de vertimiento Cuerpos de agua afectados
Susceptibilidad a la erosión	Pérdida de suelo Generación de procesos erosivos	Pendientes, Cobertura , Tipo de suelo y Pluviosidad
DIMENSIÓN BIÓTICA		
Presión sobre el recurso Fauna Acuática	Contaminación física, química y biológica del agua Afectación de la dinámica acuática	Sedimentación Vertimientos Disminución de caudales Cambio de sistema lótico a léntrico Tipo de combustible utilizado en las térmicas

TABLA 5. INDICADOR: PRESIÓN SOBRE EL RECURSO FAUNA ACUÁTICA PARA TERMOELÉCTRICAS EN CONSTRUCCIÓN

Nº	Ponderador w_i %	Variable primaria	Variable secundaria	Ponderador	Clasificación	Valor
		X_p, X_i	X_p, X_i	%		
1	40%	Sedimentación Sd	Susceptibilidad a la erosión	20%	1 - 4	1
			SE	20%	4 - 7	4
			Categoría del río	7 - 10	10	
				3	10	
				2	6	
				1	2	
2	40%	Vertimientos $Vr = 0.4 * R$	Categoría del río	3	10	
				2	6	
				1	2	
3	20%	Tipo Combustible	100%	3	10	
				2	6	
				1	2	
				Carbón	5	
				Gas	3	

TABLA 6. PROGRAMAS DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

PROGRAMA	PROYECTO EN EL QUE APLICA					
	Hidroeléctrico		Termoeléctrico		Transmisión	
	Const	Oper	Const	Oper	Const	Oper
1 Tratamiento de aguas	X	X	X	X	X	
2 Monitoreo de la calidad del agua	i-1	X	i-1	X	X	
3 Monitoreo de aguas en el embalse			X			
4 Monitoreo del ruido	X			X	i-23	
5 Manejo de residuos sólidos	X	X	X	X	X	
6 Manejo de material particulado	X		X	X		
7 Estabilización y control de la erosión	X	i-8	i-8		X	
8 Reforestación y revegetalización	X	X	X	X	X	
9 Poda de árboles bajo la línea						X
10 Salvamento de flora durante el llenado	X					
11 Salvamento de fauna durante el llenado	X					
12 Manejo y conservación de la fauna terrestre y acuática	X	X	X	i-2	X	
13 Repoblamiento pesquero		X				
14 Educación ambiental	X	i-17	X	i-17	X	
15 Reasentamiento de población	X				X	
16 Información y participación comunitaria	X		X	i-17	X	
17 Gestión social		X		X		
18 Relaciones con la comunidad		i-17		i-17		X
19 Coordinación y desarrollo interinstitucional		i-17		i-17		X
20 Restitución de infraestructura productiva y cultivos	X					
21 Manejo minorías étnicas	X				X	
22 Rescate arqueológico	X		X		X	
23 Monitoreo de Aire, ruido, agua, suelo					X	

Programa i-n: incluido en el programa n.

6. RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a Gloria Luz Martínez, de Interconexión Eléctrica S. A., a Sandra Montoya, de Servicios Ambientales y Geográficos, SAG S.A. por sus valiosos aportes en el desarrollo de este artículo y a Alejandro Aguilar Amaya, Gerente de Servicios Ambientales y Geográficos, SAG S.A., por su autorización en la cita de textos referentes al desarrollo del modelo CGA - UPME. Así mismo a ISAGEN S.A, a María Cecilia Concha de UPME y a Tractebel Engineering Development, que apoyaron la participación del autor en el estudio sectorial “Construcción y aplicación de un sistema de indicadores de costos de gestión ambiental para el desarrollo sostenible del sector eléctrico colombiano”.

Térmica de Gas

PROYECTO EJEMPLO I

Fecha 21/08/01

COORDENADAS DEL PROYECTO

Este (X) 831600
Norte (Y) 1626600

AGENTE RESPONSABLE

Empresa EMPRESA
Responsable RESPONSABLE
Dirección DIRECCION
Teléfono 11111111

Remoción Cobertura Vegetal Si a la remoción de cobertura vegetal
Generación 250 MW

SUPERFICIE

Tipo de Relieve PLANO CONCAVA
Superficie 40 Ha

PORCENTAJES

Caudal Tomado 20 %
Caudal de Aguas Subterráneas 0 %
Factor de Utilización 50 %

GEOMEDIA

TECNOLOGÍA

Quemadores Bajo NOx
Sistemas de Desulfuración
Sistemas de Denitrificación

Planta Generación Térmica

Ciclo Combinado
Tasa del Dolar 2200 \$
Costos Técnicos 15000000 \$ US
Tiempo de Construcción 1 Años
Tiempo de Operación 30 Años

BORRAR

CANCELAR

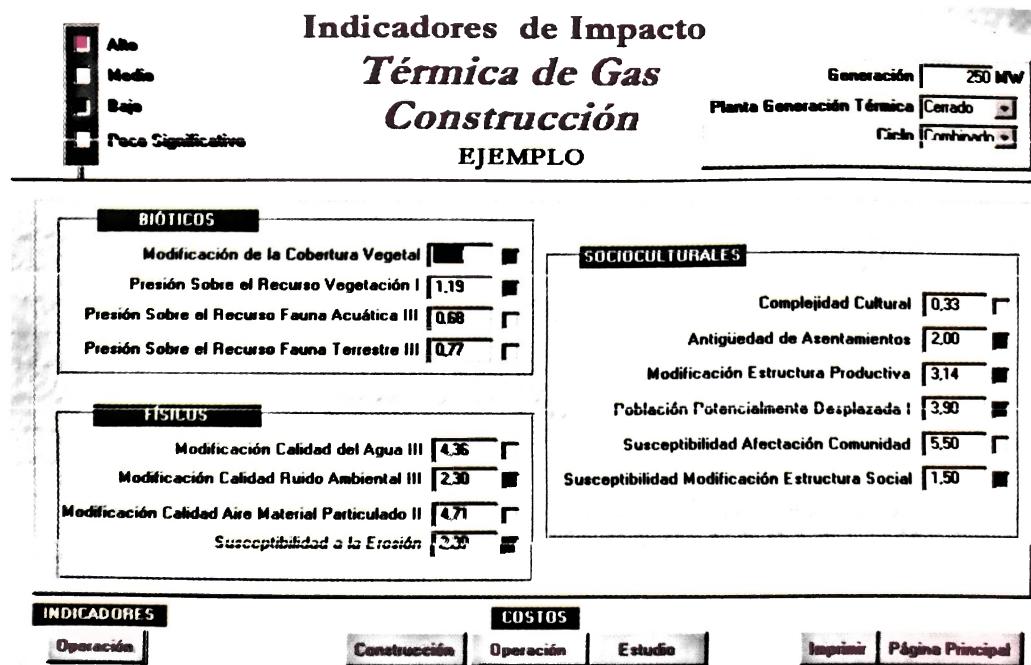


FIGURA 3. Resultados de indicadores de impacto del modelo CGA – UPME

Indicadores de Costos de Gestión Ambiental

Térmica de Gas Construcción

EJEMPLO

Generación

Planta Generación Térmica

Ciclo

Manejo y Conservación de la Fauna	<input type="text" value="10000.00"/>	Educación Ambiental	<input type="text" value="37.500,00"/>
Reforestación	<input type="text" value="70.740,61"/>	Manejo de Residuos Sólidos	<input type="text" value="28.737,50"/>
Monitoreo de Ruido	<input type="text" value="2.500,00"/>	Manejo Material Particulado	<input type="text" value="30.000,00"/>
Información y Participación	<input type="text" value="25.961,54"/>	Manejo de Aguas Residuales	<input type="text" value="75.000,00"/>
* Evaluación y Seguimiento	<input type="text" value="12.104,00"/>	Monitoreo y Rescate Arqueológico	<input type="text" value="50.000,00"/>
Gestión Ambiental del Contratista	<input type="text" value="225.625,00"/>	Gestión Ambiental del Dueño	<input type="text" value="28.500,00"/>
		Interventoría Ambiental	<input type="text" value="178.125,00"/>

Costo en Construcción

Costos expresados en \$ US

INDICADORES

COSTOS

* Evaluación y Seguimiento Costos Según Resolución 152/99 del Ministerio del Medio Ambiente

FIGURA 4. Resultados de indicadores de costos del modelo CGA – UPME

7. BIBLIOGRAFÍA

- Angel E., Carmona S. y Villegas, L. C., 1996. Gestión ambiental en proyectos de desarrollo. Fondo FEN, Primera edición, 290 páginas.
- CASEC, Comité Ambiental del Sector Eléctrico Colombiano, 1991. Caracterización ambiental de centrales hidroeléctricas. Informe del subgrupo de hidroeléctricas para el CASEC.
- Conesa-Fernández V., 1995. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 2a ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Departamento Nacional de Planeación, DNP, 2001. Estrategia para el mejoramiento ambiental del Sector Eléctrico. Documento CONPES 3120, 22 pg..
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1991a. Metodología para la Evaluación ambiental del Plan de Expansión. Documento OAPE – 144. Oficina Ambiental.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1991b. Los costos ambientales como parte de un sistema de costos de un proyecto hidroeléctrico. Documento OAPE-135, Dpto. de Planeación y Desarrollo Ecológico.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1993. Evaluación ambiental sectorial del Sector Eléctrico Colombiano. Informe final para el Ministerio de Minas y Energía.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1996. Metodología para la evaluación de alternativas de costos de gestión ambiental – Una visión jurídica, conceptual y método de selección de alternativas. Estudio de ASTP para ISA.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1998. Estudio de Posibilidades y Restricciones Ambientales Plan de Expansión ISA 2001-2010. Estudio del Instituto de Estudios Regionales de la Universidad de Antioquia, INER para ISA.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA, 1999. Costos de gestión ambiental: Desarrollos de ISA en el tema y línea de acción para su optimización. Documento STE 2110-208, elaborado por G.L. Martínez.
- Jurado J. L., 1992a. Metodología de evaluación ambiental de planes de expansión del sector eléctrico en Colombia. Seminario sobre Inversiones Energéticas y Medio Ambiente. Quito, Febrero 17-21 de 1992.
- Jurado J. L., 1992b. Estructura de Costos de acciones ambientales en Proyectos de Generación eléctrica en Colombia. Seminario sobre Inversiones Energéticas y Medio Ambiente. Quito, Febrero 17-21 de 1992.
- Ministerio del Medio Ambiente, 1994. Resolución 1753. Términos de referencia para Diagnóstico Ambiental de alternativas y Estudios de impacto ambiental.
- Ministerio del Medio Ambiente, 1999. Guías ambientales sectoriales para la elaboración de estudios ambientales en proyectos de transmisión, CD - ROM.
- OECD, 1994. Core set of environmental indicators, París.
- Unidad de Planeamiento Minero-Energético, UPME, 1997. Plan Energético Nacional 1997-2010, Autosuficiencia Energética Sostenible, Bogotá, 197 pg.
- Tractebel Development Engineering - Mejía & Villegas, 2001a. Construcción y aplicación de un sistema de indicadores de costos de gestión ambiental para el desarrollo sostenible del sector eléctrico colombiano. Resumen Ejecutivo, Julio 5 de 2001, 7 páginas.
- Tractebel Development Engineering - Mejía & Villegas, 2001b. Construcción y aplicación de un sistema de indicadores de costos de gestión ambiental para el desarrollo sostenible del sector eléctrico colombiano. Informe Fase 2, versión 2 para UPME, Marzo de 2001, 184 páginas.
- Tractebel Development Engineering - Mejía & Villegas, 2001c. Construcción y aplicación de un sistema de indicadores de costos de gestión ambiental para el desarrollo sostenible del sector eléctrico colombiano. Informe Final para UPME, Junio de 2001, 68 páginas.