EVALUACION ECONOMICA, SOCIAL Y AMBIENTAL DE LOS PLANES DE EXPANSION EN EL SECTOR ELECTRICO COLOMBIANO

Carlota María Nicholls

Interconexión Eléctrica S. A.

Ricardo Agustín Smith
Oscar José Mesa

Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.
Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

RESUMEN

En el presente trabajo se expone la aplicación de la técnica bajo objetivos múltiples ELECTRE, en el campo de selección de los planes de expansión en el sector eléctrico colombiano. Inmerso dentro del marco de la planeación estratégica, donde el análisis multiobjetivo es considerado elemento primordial porque permite apreciar los resultados esperados sobre los objetivos que se buscan.

1.INTRODUCCION

A medida que los países se hacen más dependientes de la generación de energía eléctrica, sus sistemas eléctricos han experimentado un proceso continuo de crecimiento. Puesto que ellos se desarrollan mas por superposición y no por sustitución, tales sistemas se han hecho cada vez mas complicados y, por tanto, encontrar la expansión más apropiada es una labor relativamente compleja.

El propósito general del desarrollo del sistema eléctrico es construir y operar un sistema de suministro que produzca de manera confiable la cantidad de energía y potencia eléctrica deseada, la cual debe poseer un nivel de calidad y confiabilidad especificado. En este proceso, se debe hacer el mejor uso de los recursos escasos, tales como los monetarios y los de energía; al mismo tiempo, se debe procurar la protección del medio ambiente y el mejoramiento del nivel de vida.

La construcción de los sistemas de generación, transmisión, subtransmisión y distribución demanda enormes recursos económicos y humanos. Siempre se ha aceptado, con razones inobjetables, que los beneficios superan grandemente a los costos. En efecto, la energía eléctrica, en el mundo moderno, se ha convertido en un insumo primordial para el desarrollo de los distintos sectores económicos. Sin embargo, el gran potencial estudiado de recursos de generación (especialmente hidroeléctricos y térmicos) ha conducido a que se disponga de un gran número de planes alternativos de expansión, cada uno de ellos con características y efectos económicos y sociales bien distintos. La diferencia no está en la prestación misma del servicio, ya que el objetivo básico del plan es atender la demanda de la mejor manera posible, sino en que los insumos requeridos pueden diferir de acuerdo con la configuración del plan, los beneficios y costos intrínsecos de los proyectos son distintos y hay efectos en el desarrollo regional diferentes.

Las recomendaciones de adopción de un plan en Colombia tradicionalmente se han basado en un análisis clásico de criterio empresarial (análisis económico y financiero). Si bien se considera que los resultados de este tipo son de mucha importancia en la toma de decisiones, es conveniente realizar estudios adicionales para visualizar el impacto que las decisiones tienen considerando el interés nacional y de la colectividad. Mas aún, los proyectos de inversión que tienen acceso a fondos financieros deben no solamente ser analizados desde la perspectiva de su viabilidad financiera -perspectiva absolutamente necesaria- sino que además se incorpore en el análisis su articulación con los objetivos del Estado y su contribución al bienestar común.

Con el fin de lograr un balance satisfactorio entre los objetivos planteados se ha escogido para la realización de este trabajo tres de ellos, descritos por: minimización del valor presente de costos de las alternativas valorándolos a precios de eficiencia, los cuales permiten tomar en cuenta el verdadero valor de los bienes requeridos para la economía nacional; maximizar la función de utilidad multiatributo de los indicadores sociales como los efectos distorsionantes del mercado sobre los principales agentes de la economía (mano de obra, producción nacional y gobierno) y el efecto de la alternativa sobre el valor agregado; y por último la minimización de una calificación ambiental de los proyectos que conforman la alternativa, brindada por una ponderación de los efectos más deletéreos.

Una vez evaluado individualmente cada objetivo, el paso siguiente será la evaluación integral de la alternativa bajo objetivos múltiples, la cual se realiza haciendo uso de una de las técnica discretas desarrollada por Roy en 1982, denominada ELECTRE II, que permite un ordenamiento completo de las secuencias planteadas como técnicamente factibles.

2. MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACION DE PLANES DE EXPANSION EN EL SECTOR ELECTRICO

Indiferente de su nivel económico, tanto las naciones industrializadas como los países en vía de desarrollo están en el proceso continuo de resolver el objetivo económico de distribuir recursos limitados, tales como capital, divisas, tierra, mano de obra y recursos naturales, entre las diferentes necesidades. Es una experiencia en planeamiento que el uso de los recursos limitados de un sector reduce los recursos disponibles para otro sector. El sobreestimar un objetivo puede significar el sacrificio de otras metas. Para hacer la selección se requiere conocer la urgencia social relativa, esto es, los objetivos de desarrollo, los méritos económicos al distribuir fondos públicos disponibles, el trabajo y el conocimiento de los recursos que se tienen al alcance.

Como consecuencia de lo anterior, surge la necesidad de investigar la expansión adecuada de los sistemas de generación y transmisión de energía eléctrica que se necesitan para proporcionar los niveles de consumo requeridos según sean los objetivos de desarrollo socioeconómico del país, expansión que es susceptible de una optimización que garantice costos mínimos.

Dentro del proceso de desarrollo socioeconómico del país. la gestión del sector eléctrico desempeña un papel muy importante debido principalmente a las siguientes razones:

-Los proyectos de generación, especialmente los hidroeléctricos, son de gran intensidad de capital de manera que tienen un efecto significativo en la capacidad financiera del país.

-Los proyectos de generación hidroeléctrica, por lo general, tienen usos adicionales que involucran otros sectores económicos.

-Existe una fuerte correlación entre la disponibilidad de electricidad y el desarrollo de otros sectores económicos.

-En la producción de electricidad se presenta una conjunción del uso de varios recursos energéticos (agua, petróleo, gas, carbón, etc) por lo que el sector eléctrico está ligado al desarrollo de los sectores de las fuentes primarias correspondientes.

Es así como la evaluación socioeconómica de los planes de expansión del sector deberían basarse en las siguientes premisas:

-El sector eléctrico debe satisfacer la demanda de energía de los diferentes sectores, regiones y grupos de consumo.

-La expansión y la operación del sistema eléctrico deben seguir las políticas de menor costo.

-La distribución de los costos de suministro de energía eléctrica entre los diferentes sectores, regiones o grupos de consumo, además de contemplar un rendimiento adecuado sobre la inversión realizada para proporcionar el servicio, deben reflejar el costo asociado con cada consumidor.

Dados los objetivos del planeamiento, expresados en términos de la demanda por potencia y de los requerimientos de energía, los principales temas para el estudio de planeamiento del sector eléctrico comprende la determinación de los recursos energéticos disponibles y el establecimiento de estrategias de planeamiento que sean apropiadas desde el punto de vista técnico y que posean factibilidad económica y viabilidad financiera.

En el campo que atañe a esta investigación, el criterio general de planeamiento es minimizar una función objetivo equivalente a la suma de los costos de construcción, administración, mantenimiento y operación

para las plantas hidroeléctricas y térmicas. Esto requiere el establecimiento de comparaciones económicas entre secuencias de expansión a través del tiempo. El valor de la función objetivo es, por consiguiente, el valor actual de los costos de expansión y operación del sistema eléctrico en el futuro y de los indicadores sociales asociados.

A través de los años se ha planteado el desarrollo del país sin evaluar las repercusiones ecológicas que tendría sobre el medio físico y biótico cualquier actividad que suponga alteraciones importantes, como el deterioro de bosques, el uso inadecuado del suelo agrícola, la irrigación, la colonización, la construcción de presas, el uso de combustibles, el tratamiento de residuos, etc. Es así como actualmente se aprecia cada vez más, una alta importancia a los factores ambientales en la evaluación de proyectos y los planes de desarrollo nacionales, elemento que es igualmente aplicable a la planeación del sector eléctrico.

3. LA EVALUACION DE PROYECTOS EN EL PLAN DE EXPANSION

En casi todos los países en desarrollo, el gobierno nacional desempeña una función importante en la formulación y evaluación de proyectos de inversión y está por lo general en condiciones de guiar el desarrollo del país, ya sea mediante la inversión directa en el sector público o imponiendo controles a la inversión privada.

Paralelamente a esta autoridad del gobierno para controlar las inversiones nuevas, va su responsabilidad de perseguir políticas orientadas al interés nacional. Por ende, los proyectos han de formularse y evaluarse de tal manera que puedan escogerse aquellos que contribuyan más al bienestar general del país.

Importa en este caso la evaluación de proyectos que suministre información relevante y útil para el proceso de toma de decisiones, es decir la factibilidad del proyecto a la luz de criterios particulares y el planeamiento de las recomendaciones correspondientes.

El proceso de evaluación consiste en emitir un juicio sobre la bondad o conveniencia del proyecto, para lo cual es necesario definir previamente el o los objetivos perseguidos.

3.1 Evaluación del Objetivo Económico

Cuando se elige un proyecto o alternativa con preferencia a otro, la selección tiene consecuencias que influyen en el empleo, la producción, el consumo, el ahorro, los ingresos de divisas, la distribución del ingreso y otros aspectos que interesan a los objetivos nacionales.

La evaluación de proyectos (en sentido general) tiene la finalidad de ver si esas consecuencias, consideradas conjuntamente, son convenientes a la luz de los objetivos de la planificación nacional. Esta evaluación puede entenderse como una forma particular de regulación cuya principal ventaja estriba en la descentralización del proceso decisorio contrapesado con la necesidad de usar criterios consistentes entre si y entre los diferentes proyectos evaluados.

La definición del plan de expansión, en razón de que involucra un número grande de proyectos tanto de generación como transmisión, constituye un caso típico de selección de alternativas de inversión y como tal, debe estar orientado a la asignación óptima de los recursos disponibles. Una manera de lograrlo es introduciendo, explícitamente, el criterio de eficiencia económica en la toma de decisiones de inversión. De acuerdo con este criterio los precios utilizados para contabilizar las diferentes transacciones económicas deben reflejar el valor que tiene para el país los recursos comprometidos en dichas transacciones.

La utilización de este criterio de eficiencia para la evaluación, se sustenta en la afirmación de que los precios de mercado, debido a las imperfecciones y rigideces que en un momento dado existen en sus mecanismos de determinación, no reflejan el valor real (beneficio o costo) que significan para la economía en su conjunto, ya sea por el uso de los factores o del producto final y por lo tanto se hace necesario introducir un sistema distinto de valoración los llamados en términos generales "Precios de Cuenta".

En teoría los precios de cuenta serían los resultados de un sistema en equilibrio en el que hubiese un pleno y eficiente uso de recursos y factores, en condiciones de competencia perfecta y donde no existieran economías internas y externas, en tales condiciones y de acuerdo al principio de racionalidad económica, los precios de los factores y productos reflejarían su costo y beneficio real para la economía como un todo. Es pues, un precio calculado teniendo en cuenta ciertos objetivos tales como la maximización del crecimiento económico, el mejoramiento de la posición de la balanza de pagos y la promoción de oportunidades de empleo y que a la vez, sea compatible con las políticas de desarrollo y la dotación de recursos del país.

En la práctica este esquema es referencial por una parte porque la economía es dinámica y el esquema descrito es estático, y además porque el bienestar de la comunidad no es una abstracción generalizable y permanente, sino el reflejo de políticas económicas y sociales específicas y particularizadas.

Para el sector eléctrico, con el fin de tomar en cuenta el valor económico de los recursos (bienes, servicios y factores de producción) que serían demandados por los diferentes proyectos de generación y transmisión, se realiza la valoración a precios de cuenta de cada una de las alternativas de expansión.

Para la estimación de los precios de cuenta más específicamente "Precios de Eficiencia", se utiliza la metodología LMST (IDM Little, James Mirrlees, Lyn Squire y Herman Van der Tak) que es una combinación de los métodos de evaluación promulgados por la Organización Europea de Cooperación y Desarrollo Económico -OCDE- y el Banco Mundial. El propósito del método es valuar insumos y productos de manera que se maximice el valor económico neto de cada proyecto financiado, sin tener en cuenta quienes son los beneficiarios.

Un concepto medular del sistema de precios de cuenta LMST, es el aserto de que las oportunidades que el comercio internacional le ofrece al país, constituyen la base para calcular el valor económico tanto de su producción interna como de los factores productivos de la economía nacional. Con este criterio lo que se desea es reflejar la opinión de que el comercio internacional, ofrece a un país oportunidades de comprar y vender mercancías o servicios y que esas oportunidades deben tenerse en cuenta en la política de inversión pública.

Esta valoración consiste en que, para cada proyecto opcionado a conformar alternativas de expansión, se calculan los precios de eficiencia, con base en la metodología LMST (Power, 1981), para cada rubro de inversión en los que fue posible su desagregación (ISA, 1985), y para los gastos de administración, mantenimiento y combustible (ISA, 1988) de cada proyecto de las alternativas de expansión.

En el año 1987, el Centro de Estudios sobre el Desarrollo Económico (CEDE) de la facultad de Economía de la Universidad de los Andes, adelantó un estudio sobre la estimación de los precios de cuenta en el marco de las matrices Insumo-Producto (IP) y Semi-Insumo-Producto (SIP, Cada matriz describe la utilización de productos nacionales e importados por parte de los distintos sectores productivos del país.) para la industria manufacturera colombiana (Mejía y Roda, 1987). En este estudio se calcularon unas Razones de Precios de Cuenta -RPC- (Como se acaba de señalar, la metodología LMST establece que los precios de cuenta relevantes para la valoración de bienes y servicios son los precios internacionales. La estimación de esos precios de cuenta, sin embargo no es directa y se hace necesario la utilización de las RPC. Cada RPC es un precio relativo que indica el valor real del bien (en precios de cuenta) en términos de su precio de mercado. La divergencia que puede presentarse entre estos precios (RPC diferente a uno) corresponde a una serie de rubros que hacen que el precio interno sea diferente del que regiría en condiciones de libre comercio. Para el cálculo de las distintas RPC es necesario estimar los distintos elementos que concurren a la formación del precio de mercado del bien o servicio en cuestión) que serán las que se utilizarán para el cálculo de los precios de cuenta de los insumos requeridos para la construcción de los proyectos. En la Tabla 1 se presentan las principales RPC calculadas para los insumos en que se ha desagregado la construcción de los proyectos de generación y/o transmisión en el sector.La etapa final de la evaluación económica la constituye la comparación de los costos de las diferentes alternativas seleccionadas.Para la comparación económica de alternativas en el plan de expansión se sigue un proceso en dos fases:

En la primera, se formulan secuencias de proyectos que constituyen alternativas de expansión y son sometidas a un proceso iterativo de optimización -simulación estocástica empleando las herramientas de planeación del mediano plazo, buscando establecer el programa de entrada en operación de los proyectos de cada secuencia que satisfaciendo las demandas de energía y potencia en el sistema con un nivel dado de calidad y confiabilidad, minimice el valor presente de los costos de inversión, operación, administración, mantenimiento y de acciones socioeconómicas (Entre los costos de acciones socioeconómicas consideradas están: impactos relacionados con el desplazamiento y reasentamiento de la población, adecuación de servicios en poblados huésped, plan de restablecimiento de la producción y del empleo desplazado por el proyecto, programas sociales preventivos o correctivos para la población desplazada y huésped, estudios pendientes y partidas de la ley 56/81, además de la previsión para inversiones socioeconómicas no presupuestadas) de cada proyecto, durante el período de planeamiento.

Paralelamente con este proceso se incluyen para cada secuencia, las líneas de transmisión que conectan los proyectos considerados a la red de transmisión existente

TABLA 1

RAZONES DE PRECIOS DE CUENTA SECTORIALES

Insumos	RPC	Fuente
Mano de obra		
• Calificada	0.72394	RPC de la mano de obra calificada
• Semicalificada	0.68885	Promedio de las RPC de mano de obra calificada y no calificada.
• No calificada	0.65377	RPC de la mano de obra no calificada.
Materiales		
• Cemento y aditivos	0.70777	Sector CIIU 3692: Fabricación de cemento, cal y yeso.
• Aceros	0.74819	Sector CIIU 3710: Industrias básicas de hierro y aceros.
• Combustibles y lubricantes	0.74697	Sector CIIU 3540: Derivados del petróleo y del carbón.
• Dinamita	0.77228	Sector CIIU 3529: Fabricación de productos químicos neo
• Instalaciones eléctricas	0.75628	Sector CIIU 3839: Construcc. de aparatos y suministros eléctricos.
• Varios	0.66344	Sector CIIU 3904: Manufacturas diversas.
• Madera	0.70582	Sector CIIU 3311: Aserraderos y talleres de maderas.
Equipo (Generación y Transmisión)	0.73174	Factor de Conversión de la Inversión FCI
Equipo Obra Civil	0.73174	Factor de Conversión de la inversión FCI
Obra Civil de transmisión	0.73174	Factor de Conversión de la inversión FCI
Infraestructura	0.73814	Factor de Conversión estándar FCE.
Imprevistos	0.72394	Factor de Conversión de consumo FCC
Ingeniería y Administración	0.72394	Factor de Conversión de consumo FCC

Fuente:
CEDE. "Evaluación Económica de los Proyectos y Razones de Precios de Cuenta para la Industria Colombiana". Universidad de los Andes. Bogotá, 1987.

y se definen las líneas de refuerzo que requiere el sistema interconectado.

En este estudio el conjunto de alternativas analizadas se presenta en la Tabla 2.

En la segunda fase, se procede a la evaluación económica de las alternativas, en cuanto a la determinación del impacto real sobre la economía nacional de la desviación de los recursos de su uso alternativo más eficiente desde el punto de vista económico. La evaluación se realiza a precios de eficiencia y tomando como numerario (el concepto numerario hace referencia a la necesidad de definir una unidad de medida (unidad de cuenta) homogénea que permita traducir a una base común el flujo de costos y beneficios atribuibles a un proyecto o conjunto de proyectos en particular) la divisa libremente disponible en manos del gobierno.

Cabe destacar que la dependencia de los proyectos de generación y transmisión en el sistema interconectado se toma en cuenta a través de las alternativas, es decir, en la práctica se efectúa la evaluación del programa de inversión (generación y transmisión), operación, administración y mantenimiento, energía no servida y las debidas correcciones terminales para eliminar desequilibrios entre las alternativas al final del período de evaluación, a fin de establecer un ordenamiento por méritos económicos.

Adicionalmente, se realiza un análisis de factibilidad financiera identificando los desembolsos de capital requeridos año por año por el sector eléctrico para cada consecuencia, expresados en precios de mercado.

3.2 Evaluación del Objetivo Social

La evaluación de proyectos desde un enfoque social persigue establecer la verdadera conveniencia de materializar un proyecto de inversión para la comunidad en su conjunto, de manera que se programen las inversiones de tal forma que ellas tengan el mayor impacto positivo en el producto nacional.

La evaluación social teóricamente, se desarrolla valorando los proyectos con los denominados "precios sociales", los cuales incorporan los supuestos sobre una economía en desarrollo en el sentido de que en ellos se tiene en cuenta expresamente las limitaciones de las inversiones del sector público y el hecho de que una unidad de consumo tiene valores diferentes para personas con ingresos diferentes.

El estimar los precios sociales lleva implícito el enfrentar una serie de dificultades que van desde el hecho de que los objetivos sociales son un compendio de objetivos individuales de los miembros de la sociedad, los cuales muchas veces se encuentran en conflicto. Además de que, dentro del contexto de bienestar existen elementos no directamente cuantificables que dificultan la obtención de un patrón de medida del bienestar social que nos permita comparar o evaluar las diferentes alternativas.

En términos generales los países en desarrollo tienden a lograr en el aspecto social, un estimativo de redistribución del impacto o consumo, obteniendo a partir de ponderaciones, unos precios sociales para valorar sus proyectos. Para estimar esos factores de ponderación, se hace necesario enfrentar una serie de supuestos sobre cómo se va a lograr el efecto, si es a través de las inversiones o a través del sistema tributario o subsidios corrientes del gobierno.

Otra dificultad en la estimación de los precios sociales es que ellos respondan a juicios cualitativos de valor, que en última instancia pueden llevar a que el gobernante, quien debe ponderar el valor político, pierda de vista finalmente la medida correcta del costo económico de su decisión política.

Ante la imposibilidad en la estimación de los precios sociales, se ha decidido realizar la evaluación social de las alternativas de expansión mediante la cuantificación de efectos que esta expansión traerá al país. La idea será buscar una serie de indicadores que puedan brindar una estimación social a los responsables de tomar la decisión. Los indicadores escogidos se dividen en dos grupos: el primero, tiene que ver con los efectos de la distorsión del mercado distribuido en varios agentes de la economía, y el segundo con algunos indicadores macroeconómicos que pueden reflejar el desarrollo económico implicando ello, en última instancia, un beneficio para la sociedad.La evaluación de los efectos distorsionantes del mercado se pretende realizar para indagar la cantidad de transferencias existentes entre los diferentes agentes involucrados (mano de obra discriminada en calificada, semicalificada y no calificada en la realización de una alternativa, empresas nacionales, empresas extranjeras y gobierno). La forma de cálculo de estos indicadores se hará tomando la diferencia entre los valores presentes de costos a precios de mercado y eficiencia para cada insumo o actividad relacionada con cada agente.La evaluación de los indicadores macroeconómicos se realiza con el objetivo de medir la consecuencia que la alternativa de expansión trae sobre el empleo, las divisas y el valor agregado. Para la

TABLA 2
SECUENCIAS DE EXPANSION GENERACION - TRANSMISION 1984 -2002
ESCENARIO CON TASA DE CRECIMIENTO DEL 5.7% (1)

AÑO DEM. (GWH)	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7	ALT8	ALT9	ALT10	ALT11	ALT12	ALT13	ALT14
1996 48286	URR1 OCT	URR1 OCT	URR1 OCT	T150 JUL URR1 OCT	T300 OCT	T150 OCT URR1 OCT	T300 OCT	T150 OCT URR1 OCT	URR1 ENE	MIE2 OCT	T150 JUL	T150 JUL	URR1 JUL	MIE2 OCT
1997 51054	MIE1 ABR MIE2 ABR POR2 JUL	MIE1 ABR MIE2 ABR CAL3 JUL	MIE1 ABR MIE2 ABR POR2 JUL	MIE1 ABR MIE2 JUL CAL3 OCT	URR1 ENE CAL3 ABR MIE1 OCT	MIE1 ABR MIE2 ABR	MIE2 ABR POR2 ABR	MIE2 ABR POR2ABR	MIE2 ENE POR2 ABR	POR2 ENE T300 JUL	MIE2 ENE T150 ABR POR2 ABR	MIE2 ENE POR2 ABR T150 JUL	MIE2 ENE POR2 ABR	POR2 ENE T300 JUL
1998 53875	POR2 ENE				MIE2 JUL	POR2 ABR	T300 ENE	NECA AGR	T300 ENE	NECA OCT	T300 ENE	FONC ENE	NECA ENE	NECA JUL
1999 56645	NECA ENE	NECA ABR	NECA ENE	POR2 ENE NECA OCT	POR2 ENE	NECA ENE	NECA JUL	FONC OCT	FONC ENE NECA JUL		FONC ENE	T300 ENE	FONC JUL POR3 OCT	FONC OCT POR3 OCT
2000 59852	FONC ENE POR3 ABR	FONC ABR POR3 JUL	POR3 ENE T300 JUL	FONC ENE	NECA ENE POR3 JUL	FONC ENE	POR3 ABR FONC JUL	POR3 ABR	POR3 JUL	FONC ENE POR3 ENE T300 OCT	NECA ENE	NECA ENE		
2001 63018				POR3 ENE		POR3 ENE					POR3 ENE	POR3 ENE	PAT1 OCT	
2002 66339	PAT1 ABR	PAT1 JUL	PAT1 ABR	PAT1 JUL	PAT1 JUL	PAT1 ABR	PAT1 ABR	PAT1 ENE	PAT1 ENE	PAT1 ENE	PAT1 ABR	PAT1 ABR		PAT1 ENE

(1): CAL3: Calima III, MIE1: Miel I, MIE2: Miel II, NECA: Necmi A, POR2: Porce II, POR3: Porce III, PAT1: Patia I, PAT2: Patia II, URR1: Urra I, T150: Térmica de 150 MW, T300: Térmica de 300 MW.

estimación de estos índices se tomaron relaciones del valor presente de cada ítem involucrado con respecto al valor presente de costo total.

3.3 Evaluación del Objetivo Ambiental

El objetivo final de la política de medio ambiente es la protección de la salud del hombre y la conservación en cantidad y calidad, de todos los recursos que condicionan y sustentan la vida: el aire, el agua, el suelo, el clima, las especies de flora y fauna, las materias primas, el hábitat y el patrimonio natural y cultural del hombre (Estevan, 1984).

Las políticas iniciales, orientadas hacia la lucha contra la contaminación y el deterioro, han evolucionado progresivamente hacia una política global y preventiva; ello es así, porque las interrelaciones entre los diversos recursos y su gestión, exigen la puesta en marcha de estrategias globales, en el que ocupa un papel fundamental el principio de prevención.

La participación o inserción de la política ambiental en el desarrollo económico y social debe reflejarse de ahora en adelante en una mayór incorporación de la dimensión ambiental en las decisiones y actividades que involucran todos los sectores económicos del país.

Durante años se ha señalado que la protección ambiental resultaba excesivamente costosa y frenaba el desarrollo. Con la experiencia de pasados años en países desarrollados se ha podido constatar que este concepto no es cierto. Se ha comprobado que ambas políticas, desarrollo y protección del medio ambiente son perfectamente compatibles. A la concepción económica tradicional, que considera el medio ambiente como fuente de recursos extractivos, se añade posteriormente su reconocimiento explícito como suministrador de un conjunto de importantes servicios de tipo recreativo y de calidad de vida. Es así como la prevención de impactos ambientales es necesaria en todo programa de desarrollo, pero especialmente en las grandes obras públicas como lo son las de carácter de generación de energía eléctrica, ya sean hidráulicas o térmicas.

La importancia de los impactos locales y regionales está en relación directa con los intereses de los afectados, por consiguiente es necesario valorar las necesidades energéticas para el desarrollo nacional frente a los intereses de las comunidades locales que se ven forzadas a entregar los recursos naturales y el territorio que ocupan.

En la evaluación de los proyectos dentro del sector eléctrico, aparte de los criterios de eficiencia económica, se debe considerar: la importancia de los ecosistemas, la mejora en la calidad de vida y la necesidad de hacer un uso más racional del medio ambiente, para entregar un mundo menos deteriorado a las generaciones futuras.

Esta evaluación es un objetivo difícil de alcanzar ya que la estimación de costos de carácter ambiental necesariamente debe responder a un conocimiento de la problemática asociada a cada proyecto.

Para la valoración de estos impactos ambientales, debe decirse que los únicos costos que pueden considerarse en la actualidad son aquellos programas de manejo, más o menos estructurados, que poseen una pequeña fracción de los proyectos estudiados. Sin embargo, esto dista mucho de ser la verdadera valoración del daño ambiental, el cual debería ponderar la importancia, permanencia, reversibilidad y mitigabilidad de cada efecto.

Conscientes de la importancia de la evaluación ambiental de los planes de expansión, ISA, a través de su Oficina Ambiental, emprendió el desarrollo de una metodología que consta de tres etapas, la primera, de una calificación ambiental de los proyectos en forma individual; la segunda de la evaluación ambiental de los proyectos integrando los aspectos sociales y biofísicos en la misma función multiobjetivo, con el objeto de introducir juicios de valor al decisor a nivel ambiental; y la tercera en una evaluación integral del plan de expansión. En la actualidad se encuentra disponible la primera etapa, que se retomará en este trabajo, y se encuentra basada en la caracterización de los efectos ecológicos (ISA, 1988). El objetivo de esta caracterización o calificación es la de comparar ambientalmente y separadamente los proyectos hidráulicos y térmicos mas opcionados a conformar el plan y recomendar la selección de los menos deletéreos desde este punto de vista.

Para la calificación, el punto de partida es el universo de proyectos de generación, de energía eléctrica en las etapas de factibilidad y diseño, considerados dentro de las consecuencias o planes alternativos de expansión. Las características del proceso seguido son:

-Se efectúa una clasificación de los proyectos, evaluándolos en forma individual proporcionando un criterio adicional para seleccionar la mejor secuencia de expansión.
-Se evalúa en forma independiente las térmicas de las hidroeléctricas.
-Se proporciona un ordenamiento y síntesis de la

información existente acerca de los proyectos de generación.
-En la "evaluación cualitativa" de aspectos socioeconómicos no se tienen en cuenta los proyectos térmicos.

Es así como en la metodología de la calificación ambiental se parte de una lista de efectos o aspectos ambientales típicos asociados a cada tipo de proyecto; se tienen trece efectos para los hidroeléctricos y ocho para los termoeléctricos, los cuales se evidenciaron a través de parámetros o relaciones interparámetros denominados indicadores ambientales. Estos, se diseñaron de tal forma que un alto valor indica siempre un mayor efecto ambiental deletéreo esperado. Conformados los índices y el grupo de efectos ecológicos se procede a su cálculo para llegar a una calificación de cada proyecto.

Se sabe que los efectos ambientales evaluados tienen importantes variables según las zonas geográficas, los usos actuales y futuros de los recursos afectados, la posibilidad o no de mitigación y control, la permanencia espacio-temporal y muchas otras variables. Sin embargo, en el estado de este trabajo no se han establecido los elementos de juicio para ponderar, en cada caso específico, la importancia o peso que se debe dar a cada indicador ambiental en la evaluación. Por esta razón se asume igual peso para todos los indicadores y con base en ellos se procede a la calificación.

Considerando los proyectos más opcionados a conformar el plan de expansión, en la Tabla 3 se presenta la calificación ambiental para cada uno de ellos. Estos se encuentran jerarquizados de mayor a menor efecto deletéreo esperado.

En la evaluación a nivel de alternativas, utilizando la calificación presentada, se tendrán en cuenta dos supuestos primordiales:

- Los efectos ambientales utilizados para la calificación y por ende ella misma, se consideran constantes a través del período de planeación, lo mismo que el medio ambiente en el que fueron evaluados.

- La evaluación se realiza haciendo uso de la regla de Hotelling (Ene, 1982, pág. 159) la cual dice que "el valor intrínseco económico de los recursos naturales crece en el tiempo al valor de la tasa social de descuento". Esta regla determina la trayectoria pero no el nivel del recurso, que en última instancia es lo necesario, dado que se tiene una calificación ambiental y no una valoración.

TABLA 3. Calificación ambiental de los proyectos más opcionados a conformar el plan de expansión

PROYECTOS HIDROELECTRICOS	
Patía I	64.81
Nechí A	62.06
Calima III	58.56
Porce III	53.59
Urrá I	52.75
Miel II	46.90
Porce II	43.43
Fonce	38.15
Miel I	31.80
PROYECTOS TERMOELECTRICOS	
Zipa VI	55.60
San Jorge	50.05
Tibitá 300	30.34
Amagá 300	18.50
Amagá 150	15.42

Teniendo en cuenta los supuestos anteriores, la evaluación se realiza para cada alternativa, calculando el valor presente de la calificación ambiental de cada proyecto que conforma la secuencia analizada a la tasa de descuento de cero. Esto debido a que si el valor del recurso crece a la tasa de descuento y luego se desea el valor presente del mismo, se anularían las tasas, quedando sólo la sumatoria de la calificación.

4. EL ANALISIS MULTIOBJETIVO

El análisis multiobjetivo estudia simultáneamente las contribuciones que cada plan alternativo hace a los diferentes objetivos seleccionados para la planificación, es decir que cada plan o proyecto se evalúa desde diferentes objetivos, lo que contribuye a una mayor eficiencia social de la solución escogida.

En este análisis la decisión óptima depende de los juicios sobre la importancia relativa entre los objetivos , esto es, las preferencias del encargado de tomar la decisión.

La planeación multiobjetivo involucra tres pasos (Loucks, 1981):

-Cuantificación de los objetivos. Es la adopción de alguna cantidad escalar (numérica) que suministra un indicador sobre que tan bien un objetivo debe ser alcanzado; ésta cuantificación no requiere que todo los objetivos sean descritos en unidades comparables, ni que los costos y beneficios monetarios sean asignados a todos los objetivos.

-Formulación del plan. La meta de la formulación del plan multiobjetivo es la generación de un conjunto de planes tecnológicamente eficientes y aceptables.

-Selección del plan. Esta fase involucra los responsables de aprobar o no los planes alternativos. Se ha propuesto que usando un número de esquemas iterativos o interactivos que requieren de la participación de los que toman las decisiones, como planeadores y analistas, se puede llegar a una solución. Cada método difiere en el tipo de información requerida del decisor, por lo tanto, el mejor método para una situación en particular dependerá no solamente del método en sí, sino también del decisor, del proceso de decisión y de la responsabilidad que adoptaron el decisor y el analista.

En el análisis multiobjetivo el criterio de optimalidad es reemplazado por el de no inferioridad, que es equivalente al de soluciones no dominadas empleado por los matemáticos o al de soluciones eficientes u óptimas de Pareto utilizadas por los economistas. Es así como una solución es no inferior, si no existe otra solución factible que logre un mejoramiento en uno de los objetivos, sin causar desmejoramientos en por lo menos uno de los objetivos restantes. Cuando todos los objetivos han sido maximizados individualmente, una solución factible será no inferior, si es que no existen otras soluciones factibles en el sector noreste de dicha solución.

Debido a que se tiene un conjunto de soluciones y no una sola solución, se hace necesario escoger la solución que finalmente va a ser implementada. Este proceso de escogencia se hace considerando la estructura de preferencias el encargado de tomar la decisión.

Hay un número de diferentes técnicas usadas en el planeamiento de múltiples objetivos. Estos métodos incluyen (Goodman, 1984, pág. 39-40):

-Maximización de un objetivo con restricciones (especificando valores límites) sobre otros objetivos.

-Formulaciones de planes alternativos, enfátizando cada uno de los diferentes objetivos. De este desarrollo se encuentra un plan de objetivos conjunto, alrededor de procesos de consenso y trato entre los participantes en la toma de decisiones.

-Uso de un sistema explícito de pesos realizado con múltiples objetivos medibles; esto permite la maximización de una función de utilidad o función de bienestar o el uso de relaciones de tasas de intercambio entre objetivos.

-Uso de valores meta de las componentes de todos los objetivos con funciones que expresan penalizaciones o beneficios que se obtienen de esas metas.

En muchos casos el tratamiento de múltiples objetivos es limitado por sus consideraciones implícitas en la racionalidad o valor de juicios de los planeadores quienes desarrollan un procedimiento particular en la formulación y análisis del proyecto.

4.1 Aplicación del análisis multiobjetivo a la búsqueda del plan de expansión en el sector eléctrico.

Son muchas las técnicas de análisis multiobjetivo utilizadas en problemas concretos de planeamiento en diversas áreas y han sido objeto de grandes discusiones entre los expertos acerca de su operatividad y de su aceptabilidad por parte de los encargados de tomar la decisión. La técnica multiobjetivo que utiliza "funciones de utilidad multiatributo - FUM", ha sido bastante aplicada en la expansión de sistemas privados de suministro de electricidad (Metodología SMARTE por Merril, Schweppe y White en 1982; Modelo DEFNET por Lo, Campo y Ma en 1987; etc.) y se muestran muy atractivas para ser aplicables en Colombia, pero haciendo algunos cambios a la forma de las metodologías de planeamiento actuales.

En general hay que tener en cuenta, que el proceso de uso de las técnicas de análisis multiobjetivo, una vez especificadas las alternativas, como es el caso del planeamiento del sector, consiste en:

-Especificar el conjunto común de criterios relevantes para la evaluación (menor costo, mayor beneficio social, menores impactos ambientales negativos, etc).

-Determinar los niveles de los criterios para cada alternativa.

-Escoger el plan más adecuado, basándose en alguna técnica disponible.

Tal vez uno de los métodos más conocidos y más eficientes para el anterior propósito es el ELECTRE, técnica que se utiliza en este trabajo para la evaluación integral de alternativas de expansión; ella fue seleccionada por su operatividad con los modelos existentes, porque permite trabajar con criterios diferentes y establece un ordenamiento completo de las alternativas factibles.

Debido al hecho de que la aplicación de las técnicas de análisis multiobjetivo puede hacerse a todos los niveles de planeamiento, y en el caso concreto de la evaluación social se tiene que este objetivo es medido por distintos atributos, se aplicará la técnica de funciones de utilidad multiatributo -FUM- para determinar un único valor de este objetivo, y de esta manera continuar con la evaluación integral de las alternativas teniendo cada objetivo identificado por un único atributo. Se escoge la técnica de la FUM para la medida del objetivo social, porque se pretende en primer lugar acercarse a la estimación de una curva social de indiferencia, además de requerirse para la evaluación, la consideración explícita de las tasas de intercambio entre atributos.

4.2 Análisis multiatributo dentro del objetivo social-método FUM

Las funciones de utilidad multiatributo se basan en el supuesto de "independencia en las preferencias y las utilidades", además de que se expresa en alguna de las siguientes formas funcionales:

$$U(X) = \sum_{i=1}^{n} K_i U_i (X_i) \qquad (1)$$

aditiva

$$1+kU(X) = \prod_{i=1}^{n} [1+KK_{iU_i}(X_i)] \qquad (2)$$

multiplicativa

donde X_i representa los niveles de los diferentes atributos, U_i son las funciones de utilidad escaladas de cero a uno, K_i son constantes de escalamiento encontradas de acuerdo a la importancia de cada atributo, son positivas y menores que uno y K es una constante de escalamiento que satisface la ecuación:

$$1+K = \prod_{i=1}^{n} [1+KK_i] \qquad (3)$$

En este trabajo se utiliza la forma multiplicativa.

Los juicios de valor y las actitudes al riesgo, en esta técnica se modelan por medio de las funciones de utilidad individuales para cada atributo. Para reflejar estas individuales para cada atributo. Para reflejar estas funciones en el objetivo social, se supone tres estructuras generales de preferencias del decisor de acuerdo con actitudes al riesgo, ellas son: indiferente, propenso y adverso, identificadas por las siguientes formas funcionales:

$$Y = aX+b \quad indiferente$$

$$Y = a(b \times EXP(cX) - 1)$$

propenso

$$Y = a(1+b \times EXP(cX))$$

averso

donde a, b y c representan los parámetros o constantes de las funciones.

Definidas las funciones, el paso siguiente es aplicar la forma de la FUM (ecuación 2), donde se hace necesario encontrar las constantes de escalamiento K y K_i; para ello se debe resolver el sistema de ecuaciones planteado por el ordenamiento de los objetivos y la evaluación de los intercambios entre pares de ellos.

Analizando los atributos que definen el objetivo social, se puede colegir que tanto la producción extranjera, los efectos sobre el empleo y las divisas no presentan para las alternativas diferencias importantes, por tanto, sólo se toman los cuatro atributos restantes para definir el objetivo social. Para la evaluación de la FUM, se plantean veinticuatro posibles combinaciones de ordenamiento de los objetivos, que se tomarán en cuenta para ser evaluadas junto con las tres actitudes supuestas del nivel de importancia entre los atributos, dando

importancia a las combinaciones cuyo primer objetivo es la contribución al valor agregado y cuando se presenta una actitud de gran importancia a todos los objetivos.

4.3 Análisis multiobjetivo dentro de la evaluación integral de alternativas de expansión - método ELECTRE

Para la evaluación de las alternativas de expansión se ha planteado la consideración de que se deben elegir aquellas que aporten mayor beneficio a la comunidad, reflejando lo anterior mediante el cumplimiento de tres objetivos esenciales, mínimo costo de inversión y operación satisfaciendo una demanda de energía con alto grado de confiabilidad, máximo bienestar dado por la maximización de una función de utilidad multiatributo en el objetivo social y minimización de la calificación ambiental de las alternativas.

Tomando las tres evaluaciones individuales de los objetivos, en la Tabla 4 se presenta un resumen de ellas.

Para el objetivo económico puede observarse que aunque con variaciones importantes en fechas de entrada, las secuencias con menores costos tienden a concentrarse en torno a las térmicas de 300 MW (Amagá y Tibitá). Esta similitud entre las alternativas, tendrá dos efectos importantes a nivel de estructura de costos y su valoración económica. Primero, serán mínimas las diferencias en la participación de los distintos insumos en la estructura de costos de cada alternativa; y segundo, en la valoración no se presenta, en rasgos generales, grandes diferencias entre alternativas, las presentadas se deben fundamentalmente en la presencia o no de las térmicas. Sin embargo, las que entre el ramillete de alternativas presentan mejores oportunidades a nivel económico son la 1, 3, 8, 13 y 14.

Los resultados de las evaluaciones del objetivo social brindan una buena respuesta al objetivo, los valores de la función se encuentran en un intervalo muy aceptable como lo es de 0.8 a casi 1.0, distinguiéndose las alternativas 13 y 14 en casi todas las combinaciones.

Dentro de la evaluación ambiental podemos observar que las alternativas con proyectos térmicos e hidroeléctricos de poca capacidad se ven favorecidos en el ámbito ambiental. Las alternativas 13 y 14 presentan las mejores opciones desde este punto de vista. Es de aclarar, que esta evaluación no es la más idónea, pero es una aproximación ya que una estimación de costos de carácter ambiental requiere de una tipificación, cuantificación y jerarquización de efectos, lo cual es difícil de realizar, pues aún no se tiene el suficiente conocimiento de los proyectos y metodológicamente no se ha desarrollado una técnica de cuantificación.

A nivel general se puede observar en la tabla 4 que existen tres alternativas claramente dominadas por las otras, ellas son las alternativas 2, 4 y 5, por tanto es posible eliminarlas del análisis y continuar solo con las once restantes.

En la aplicación del ELECTRE, se trata de encontrar un subconjunto de soluciones no dominadas de acuerdo con las preferencias (juicios de valor) del decisor. Una alternativa i pertenecerá a dicho subconjunto, si es posible afirmar que la alternativa i se prefiere a la j (y se denota i > j) desde casi todo punto de vista. El subconjunto se construye con la ayuda de la definición de unas relaciones binarias entre las alternativas, denominadas relaciones de mejor rango y que capturan las preferencias del decisor.

Para realizar el ordenamiento, el método utiliza varios niveles de concordancia y discordancia que producen las relaciones extremas fuerte R_s y débil R_w. Con estas relaciones se construyen dos gráfos los cuales se utilizan para obtener dicho ordenamiento.

El índice de concordancia está definido como:

$$c(i,j) = \frac{W^+ + W^-}{W^+ + W^= + W^-} \qquad (4)$$

donde:

W^+: suma de pesos de los criterios para los cuales i es preferida a j.

$W^=$: suma de pesos de los criterios para los cuales i es igual a j

W^-: suma de pesos de los criterios para los cuales j es preferida a i.

El índice de discordancia está definido como:

$$d(i,j) = \frac{\max\left(\Gamma_k(x_j) - \Gamma_k(x_i)\right)}{\Theta_k\left(\Gamma_k(x_j)\right)} \qquad (5)$$

TABLA 4
RESUMEN DE LAS EVALUACIONES INDIVIDUALES DE CADA OBJETIVO

ALTERNATIVA	ECONOMICO US $ X 1000 (1)	SOCIAL						AMBIENTAL
		COMBINACIONES CASO IMPORTANTE (2)						(3)
		1	2	3	4	5	6	
ALT1	2233599	0.9443	0.9464	0.9431	0.9624	0.9639	0.9602	393.5
ALT2	2324022	0.6174	0.6616	0.6939	0.6751	0.7160	0.7472	452.1
ALT3	2268814	0.9587	0.9467	0.9329	0.9763	0.9682	0.9580	385.7
ALT4	2386504	0.2174	0.2038	0.2646	0.2357	0.2211	0.2853	467.5
ALT5	2417612	0.7288	0.6734	0.6600	0.8000	0.7517	0.7383	444.2
ALT6	2313443	0.8578	0.8393	0.8255	0.8931	0.8766	0.8623	408.9
ALT7	2345539	0.9207	0.8953	0.8392	0.9609	0.9438	0.9091	357.8
ALT8	2161307	0.9761	0.9711	0.9638	0.9855	0.9823	0.9766	377.1
ALT9	2234608	0.9424	0.9250	0.9089	0.9641	0.9511	0.9381	392.0
ALT10	2277440	0.9533	0.9431	0.9147	0.9765	0.9702	0.9527	357.8
ALT11	2310402	0.9184	0.8948	0.8372	0.9567	0.9399	0.9019	410.3
ALT12	2304287	0.9234	0.9039	0.8526	0.9582	0.9442	0.9098	410.3
ALT13	2091251	0.9944	0.9950	0.9945	0.9961	0.9964	0.9958	361.7
ALT14	2131118	0.9948	0.9952	0.9882	0.9981	0.9983	0.9948	339.3

(1) Objetivo económico evaluado como el valor presente de costos a una tasa de descuento del 12%

(2) Objetivo social evaluado como la Función de Utilidad Multiatributo de los efectos distorsionantes del mercado y el efecto sobre el valor agregado.

(3) Sumatoria de la calificación ambiental de los proyectos que constituyen una alternativa.

TABLA 5
ORDENAMIENTO PRESENTADO POR EL MODELO ELECTRE II.

COMBINACION		1 4 2 3			2 4 1 3			3 4 1 2	
CASO	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
ALTERNATIVA	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3
ALT1	4 3 4	4 2 4	4 3 4	4 3 4	4 3 4	4 5 4	4 5 6	5 7 7	4 5 4
ALT3	10 9 10	10 7 9	10 8 10	10 8 9	10 8 9	10 10 10	10 8 8	8 9 9	10 8 10
ALT6	5 4 5	5 3 5	5 3 5	5 3 4	5 3 4	5 4 5	5 3 2	1 1 1	5 3 5
ALT7	11 9 10	11 8 10	11 8 10	11 8 9	11 8 9	11 10 10	11 8 8	9 9 9	11 8 10
ALT8	3 4 3	3 3 3	3 3 3	3 3 3	3 3 2	3 3 3	3 3 4	3 5 5	3 3 3
ALT9	6 5 6	6 4 6	6 4 5	6 4 5	6 4 5	6 6 6	6 4 4	2 2 2	6 4 6
ALT10	7 6 7	7 5 7	7 5 7	7 5 8	7 5 8	7 7 7	7 5 5	4 4 4	7 5 7
ALT11	9 8 9	9 7 9	9 7 9	9 7 8	9 7 8	9 9 9	9 7 7	7 8 8	9 7 9
ALT12	8 7 8	8 6 8	8 6 8	8 6 7	8 6 7	8 8 8	8 6 6	6 6 6	8 6 8
ALT13	2 2 2	2 4 2	2 2 2	2 2 2	2 2 3	2 2 2	2 2 3	6 6 6	2 2 2
ALT14	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	2 3 3	1 1 1
COMBINACION		4 1 2 3			4 2 1 3			4 3 1 2	
CASO	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
ALTERNATIVA	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3	P1 P2 P3
ALT1	4 2 4	2 1 2	4 3 4	4 3 4	5 3 2	4 3 4	4 5 5	4 5 5	4 5 4
ALT3	10 9 10	10 7 9	10 9 10	10 8 9	10 7 6	10 8 10	10 8 10	10 8 10	10 8 10
ALT6	5 4 5	4 3 4	5 4 5	5 3 4	3 1 1	5 3 5	5 3 4	5 3 4	5 3 5
ALT7	11 10 11	11 8 10	11 9 10	11 8 9	11 8 7	11 8 10	11 8 10	11 8 10	11 8 10
ALT8	3 6 3	5 4 5	3 4 3	3 3 3	4 5 4	3 3 3	3 3 3	3 3 3	3 3 3
ALT9	6 5 6	6 4 6	6 5 6	6 4 5	6 3 2	6 4 6	6 4 6	6 4 6	6 4 6
ALT10	7 6 7	7 5 7	7 6 7	7 5 6	7 4 3	7 5 7	7 5 7	7 5 7	7 5 7
ALT11	9 8 9	9 7 9	9 8 9	9 7 8	9 6 5	9 7 9	9 7 9	9 7 9	9 7 9
ALT12	8 7 8	8 6 8	8 7 8	8 6 7	8 5 4	8 6 8	8 6 8	8 6 8	8 6 8
ALT13	2 3 2	3 5 3	2 2 2	2 2 2	2 4 3	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2
ALT14	1 1 1	1 2 1	1 1 1	1 1 1	1 2 2	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1

COMBINACION: Comparaciones en ordenamiento de atributos sociales.
1: Mano de obra, 2: Producción Nacional, 3: Gobierno, 4: Contribución al Valor Agregado.
CASOS DE IMPORTANCIA: C1: Indiferente, C2: Poco importante, C3: Importante.
PESOS ASIGNADOS: P1 = 0.7, 0.2, 0.1 ; P2 = 0.5, 0.4, 0.1 ; P3 = 0.5, 0.3, 0.2.

donde

k: Criterio

$\Gamma_k(X_j)$: Transformación a una escala del nivel de criterio k que es satisfecho por la alternativa x_j

θ_k: Parámetro que controla la importancia que el decisor otorga a las diferencias de nivel de las alternativas en el criterio k.

Es así como se hace necesario que el decisor plantee los pesos relativos que él asigna a cada uno de los objetivos (W_j) y los niveles mínimo de acuerdo (p^-, $p^{\leftrightarrow}$, p^*) y máximo de desacuerdo ($q^{\leftrightarrow}$, q^*) para definir los índices de concordancia y discordancia con el objeto de encontrar la relación de mejor rango entre las alternativas. (Goicochea y otros, 1982).

Para la evaluación de planes de expansión se ha de suponer, a fin de ilustrar las posibles soluciones según una mayor o menor preferencia hacia uno u otro objetivo, tres estructuras de asignación de pesos relativos, de acuerdo al grado de importancia real que se le podría dar a cada objetivo y una estructura de niveles de definición de los índices de acuerdo y desacuerdo con base en una actitud general hacia ellos por parte del decisor.

En la tabla 5 se presentan los resultados de la aplicación de la técnica ELECTRE II. La alternativa que mejor ordenamiento presenta para todas las combinaciones (juegos de pesos y actitudes en la evaluación del objetivo social) es la alternativa 14, seguida en casi todos los casos por las alternativas 13 y 8. La secuencia 14 tiene la peculiaridad de tener una térmica de 300 MW que le brinda al sistema, desde el punto de vista técnico una mayor seguridad para satisfacer la demanda de potencia pico, y desde los puntos de vista social y ambiental, menores efectos negativos.

En el plan de expansión analizado se presenta como una de las alternativas más atractivas, para el sector eléctrico en particular, la denominada 14, que tiene la característica de no incluir al proyecto hidroeléctrico Urrá I. Ahora bien, desde el punto de vista nacional, es sabido que el Valle del Sinú se encuentra sometido a continuos desbordamientos del río del mismo nombre, que alimenta al proyecto citado, con las consiguientes pérdidas que se derivan de la ocurrencia de tales fenómenos en un área con un importante aprovechamiento agrícola y ganadero. El último de estos desbordamientos, ocurrido en agosto de 1988, tuvo consecuencias desastrosas, lo que ha llevado al gobierno, y particularmente al sector eléctrico a considerar este proyecto dentro del contexto de aprovechamiento múltiple que permita mitigar las consecuencias de este fenómeno.

Así, dentro de los análisis se hace necesario tener en cuenta el hecho de la necesidad de construir el proyecto Urrá I, por los beneficios intersectoriales que trae su incorporación en el plan. Estimativos de estos beneficios, coinciden que la construcción del proyecto trae un ahorro en alrededor de 46 millones de dólares, cuyo efecto al incluirlo en las evaluaciones presentadas en el objetivo económico, cambiarían la decisión y se excluiría la alternativa 144, además de presentarse con ello un efecto eminentemente social de favorecer a esta región y a las personas que en ella habitan.

Se concluye entonces, que incluyendo el efecto del proyecto Urrá I, el conjunto de las mejores alternativas está dado por las secuencias 13, 8, 1, 6 y 9.

En cuanto al método ELECTRE en sí, cabe resaltar algunas ventajas y desventajas.

- Limitaciones del método

- El método es algo acomodado a las circunstancias. Las medidas de concordancia y discordancia usadas son razonablemente intuitivas, pero otras medidas podrían ser especificadas. Se encuentra en la literatura algunos ensayos con diferentes medidas (ver Roy - 1977, Moscarola - 1977). Es de esperar que los resultados sean sensibles a las medidas empleadas.

- Los pesos usados para brindar mayor o menor importancia relativa a los objetivos en el análisis, tienen diferentes implicaciones y sus interpretaciones pueden ser empleadas por otras técnicas de análisis multiobjetivo. En realidad, ningún estudio en la literatura ha reportado la forma como el ente que toma las decisiones se enfrenta con el proceso de asignación de pesos, si existe o no una manera consistente en ese proceso, y cómo se podría realizar una asignación compensatoria y si se puede dar este caso.

Parece que el método es algo limitado en su uso, si se hace difícil la identificación del número máximo o mínimo de alternativas y los límites para criterios

específicos. Por lo cual, para una situación de ordenamiento parcial es poco probable su utilización. Sin embargo, Roy ha planteado para ello la necesidad de un análisis más detallado, que involucre las tasas de intercambio entre los criterios.

Ventajas del método

El método es muy conveniente para clasificar un gran número de alternativas y reducirlo a un pequeño conjunto teniendo en cuenta algunas consideraciones (aplicación del electre I). Si se desea un ordenamiento de las alternativas debe aplicarse el electre II.

El método no requiere mucha interacción con el decisor pues solo requiere que se suministren los criterios para la evaluación, los logros de las alternativas sobre los criterios y los pesos globales asignados.

Otro punto que es necesario tener en cuenta, para el análisis y decisión del plan de expansión, a pesar de que no es tema directo de este trabajo, es el de la búsqueda de planes robustos. Se refiere lo anterior, a la búsqueda de una medida de desempeño frente a la incertidumbre en las condiciones futuras en que se desarrollará el plan. Estas condiciones tienen que ver con los elementos del problema de planeamiento (variables exógenas) como la demanda de electricidad, los costos de las centrales, los costos de combustibles de las centrales térmicas, los costos de desempeño económico en el país, etc. Es de gran importancia este análisis, pues la toma de decisiones con criterios de robustez es una de las pocas maneras existentes para tener resultados de los estudios. La robustez podría incluso introducirse en el análisis multiobjetivo anterior como un objetivo adicional.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del estudio se dispone de una metodología de análisis y evaluación de diferentes alternativas de expansión en el sector eléctrico colombiano, la cual se basa fundamentalmente en la valoración económica a precios de eficiencia de los costos de las alternativas, la valoración a través de funciones de utilidad de impactos sociales, y en una calificación ambiental de los proyectos basada en indicadores de los impactos más deletéreos causados por la construcción de los proyectos.

Las principales conclusiones y recomendaciones encontradas en la elaboración del estudio son:

- La función de la evaluación económica, social y ambiental es orientar la asignación de los recursos de inversión hacia el cumplimiento de las políticas económicas, sociales y ambientales propuestas. Es por ello que para la aplicación de un modelo de evaluación, cualquiera que él sea, debe definirse previamente el marco de referencia, acorde con la orientación del proceso de desarrollo económico y social que se desea alcanzar, para posteriormente establecer los parámetros e indicadores que permitan una adecuada asignación de los recursos de inversión.

- Dado que la evaluación es un instrumento que permite identificar aquéllos proyectos de inversión cuya ejecución reportará un mayor beneficio a la comunidad, y que la finalidad de todo plan de desarrollo es la maximización del bienestar nacional, el modelo de evaluación debe interpretar las estrategias y políticas del plan nacional de desarrollo y traducirlas en criterios e indicadores cuya aplicación permita orientar el proceso de inversión hacia aquéllas alternativas de mayor impacto económico y social favorable.

- La evaluación económica, social y ambiental, dentro del contexto de planificación, cumple con el rol de elaborar los criterios, interpretando los objetivos, restricciones y prioridades de los planes de desarrollo, para seleccionar los proyectos y/o alternativas cuyos rendimientos permiten alcanzar las metas propuestas.

- Es necesario y recomendable la actualización de las RPC utilizadas cuando se presenten cambios en los precios relativos y los coeficientes tecnológicos de cualquiera de los sectores productivos, debido a que estas RPC fueron construidas mediante la matriz semi insumo-producto (SIP). Un cambio en los precios absolutos debido a la inflación, por ejemplo, afecta en proporción igual a todos los valores de la matriz y por lo tanto, la matriz de coeficientes técnicos permanece igual. Así, en este caso no sería necesario su actualización.

- Con el análisis multiobjetivo se ha logrado incorporar simultáneamente los diversos objetivos identificados, donde las preferencias se establecen con el uso de pesos que se podrían determinar a través de discusiones entre los grupos involucrados en el planeamiento de la expansión. Para este análisis se utiliza la técnica ELECTRE II que permite la incorporación de objetivos de valoración cualitativa y cuantitativa, con diferentes unidades de medición.
La mayor limitación presentada en el análisis multiobjetivo está en la determinación de los pesos dados a los objetivos identificados. Generalmente es difícil determinar un conjunto de pesos que represente

las verdaderas preferencias de los grupos involucrados, siendo recomendable, como lo fue en el caso de este trabajo, la elaboración de un análisis de sensibilidad para una gama de parámetros posibles de presentar en la consideración de objetivos múltiples.

La utilización de los pesos tiene la desventaja de tener cierta subjetividad cuando se trata de representar las preferencias de los grupos, puesto que, a éstos les es difícil determinar sus preferencias por un único conjunto de pesos objetivamente.

La utilización de los pesos tiene la desventaja de tener cierta subjetividad cuando se trata de representar las preferencias de los grupos, puesto que, a éstos les es difícil determinar sus preferencias por un único conjunto de pesos objetivamente.

-El análisis multiobjetivo permite incorporar simultáneamente y a un mismo nivel, los diferentes objetivos identificados en el problema de las alternativas de expansión, obteniéndose una equivalencia entre las medias convencionales y las no convencionales usadas para su evaluación. Esta incorporación se realiza a través de la identificación y valoración de criterios asociados a los objetivos relevantes.

-La principal tarea a desarrollar debe estar encaminada hacia el mejoramiento del nivel de información del sector. Se destaca la necesidad de conocer profundamente los impactos socioeconómicos y ambientales de los distintos proyectos de generación y transmisión.

-Es recomendable realizar la evaluación económica a los proyectos de distribución, ya que por lo extenso del grupo de proyectos involucrados en el sistema de expansión del sector, sólo se cubrió generación y transmisión.
-Valencia (1973) en uno de sus escritos comenta: "..la metodología de los múltiples objetivos exige un proceso claro y una planeación seria que identifique los objetivos, señalen los criterios de ponderación y establezca las normas contables. Así mismo, se hace muy necesario definir los mecanismos de interacción entre lo "político" y lo "técnico" que como se ha visto, aparecen siempre en estas cuestiones". Comentario que es válido en nuestro caso y conlleva a investigar la manera o mecanismo que permita incorporar el ingrediente político en los análisis.

-Es indispensable un estudio de la estructura de preferencias de los que toman la decisión en el sector, concretamente realizar un análisis de decisión donde cada grupo represente sus preferencias y compromisos; una técnica atractiva para ser aplicada es la teoría de decisión Bayesiana, que ofrece un modelo matemático para tomar decisiones frente a la incertidumbre.
-La técnica ELECTRE utilizada en este trabajo, para la evaluación de planes de expansión en el sector eléctrico, tiene la ventaja operativa de utilizar las herramientas de optimización y simulación para generar las alternativas y evaluarlas en cada objetivo identificado.

La forma de aplicación de la técnica permite, a través del análisis de sensibilidad presentado, poder concluir aquellas alternativas que se comportan de manera consistente a lo largo de las distintas combinaciones de análisis, caso de las alternativas 13,8,1 y 6.

-Los aspectos de incertidumbre exigen un tratamiento cuidadoso y completo sobre el rango de variación de las variables llamadas exógenas. Una equivocación, por ejemplo, en la proyección de variables exógenas como la demanda, el financiamiento externo y los costos de inversión y operación de los proyectos, pueden conducir a situaciones extremas de pérdidas (especialmente económicas) en países que comprometen una buena parte de sus recursos en la expansión de sus sistemas eléctricos.

-El uso de las técnicas multiobjetivo es muy vasto, una buena aplicación y de gran importancia en la actualidad, es el de considerarlas en el análisis de proyectos de propósito múltiple (o multipropósito), considerando cada propósito como un objetivo (Goodman, 1984) y naturalmente teniendo en cuenta los elementos técnicos de cada uno de ellos. Su importancia radica en el hecho de que estos proyectos se han vuelto muy atractivos debido a la flexibilidad que introducen en el planeamiento bajo incertidumbre, pues el poder destinar un proyecto a otros usos puede ser una opción recomendable para alguna condición específica de evolución del futuro (Hashimoto, 1980).

-Los denominados métodos de prospección, se concentran en analizar las consecuencias futuras de las alternativas consideradas. Es interesante y recomendable, aplicar uno de los métodos disponibles para analizar el conjunto reducido de alternativas que brinda la aplicación ELECTRE. Vale destacar que entre los métodos disponibles se encuentran la opinión de expertos (paneles y delfi), escenarios y paradigmas, árboles y matrices de decisión, análisis de impactos cruzados y el KSIM; todos ellos analizan de una manera u otra las implicaciones de los supuestos sobre el presente y la evolución de la futura situación. Esto

conlleva a la búsqueda de un plan flexible.

-Es indiscutible que la evaluación integral de alternativas, considerando los objetivos planteados, trae en sus resultados diferencias apreciables con respecto a la consideración de un solo objetivo. Concretamente, comparando los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos en el plan de expansión vigente para el año de 1989, no se presentan mayores diferencias a nivel de recomendación, pero sí se plantean bondades concretas de este plan alternativo con respecto a los otros analizados . Además, se reafirma que el plan aprobado, trae muchas ventajas inherentes que con esta evaluación se confirman.

REFERENCIAS

Allet E.J. *Environmental Impact and Decision Analysis*. (mimeo) 30p.

Bell D., Keeney R. and Raiffa H. Conflicting Objectives in Decisions : *International Series on Applied Systems Analysis*. New York, 1977.

CEDE. *Evaluación Social de Treinta Proyectos Industriales en Colombia*. Bogotá, 1975. Universidad de los Andes, Facultad de Economía. CEDE. Documento 020.

Cohon J. and Marks D. Multiobjective Sreening Models and Water Resources Investment. *Water Resources Research*. Vol 9, No 4 (Ago, 1973). p. 826-836.

------. A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques. *Water Resources Research*. Vol 11, No 2 (Abr, 1975). p. 208-219.

Cohon J., Church R. and Sheir D. Generating Multiobjective Trade-Offs : An Algorithm for Bicriterion Problems. *Water Resources Research*. Vol 15, No 5 (Oct, 1978). p. 1001-1009.

Dasgupta P., Sen A. y Marglin S. *Pautas para la Evaluación de Proyectos*. ONUDI, 1972. Una versión más actualizada se encuentra en Hansen J.R. *Guía práctica para la evaluación de proyectos*. ONUDI, 1978.

David L. and Duckstein L. Multi-criterion Ranking of Alternative Long-Range Water Resources Systems. *Water Resources Bulletin*. Vol 12, No 4 (Ago, 1976). p. 731-754.

DNP, MINMINAS. *Estudio Nacional de Energía*. República de Colombia. Mejia, Millán y Perry Ltda. Jun,1982.

Duckstein L. and Opricovic S. Multiobjective Optimization in River Basin Development. *Water Resources Research*. Vol 16, No 1 (Feb, 1980). p. 14-20.

Energy Department Paper No 25. *Economic Benefits of Power Supply*. Washigton D.C., 1983.

Estevan M.T. *Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid, 1984.

Freeman A. and Haveman R. Benefit-Cost Analysis and Multiple Objectives: Currenett Issues in Water Resources Planning. *Water Resources Research*. Vol 16, No 6 (Dic, 1970). p. 1533-1539.

French S. *Multi-Attribute Theory*. University of Manchester. Jun, 1986. (mimeo) 32p.

Fontaine E. *Evaluación Social de Proyectos*. Ed. Universidad Católica. Instituto de Economía Pontificie Universidad Católica de Chile. Chile,1984.

Gabbani D. and Magazine M. *An Interactive Heuristic Approach for Multi-Criterion Integer Programming Problems*. Working Paper 148, Department of Management Sciences. University of Waterloo. Ontario,1981.

Goicochea A., Duckstein L. and Fogel M. Multiple Objectives Under Uncertainty : An Illustrative Aplication of PORTRADE. *Water Resources Research*. Vol 15, No 2 (Sep, 1979). p. 203-210.

Goicochea A., Hansen D. and Duckstein L. *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Aplications*. John Wiley, New York, 1982.

Goicochea A., Krouse M. and Antle L. An Approach to Risk and Uncertainty in Benefit - Cost Analysis of Water Resources Proyects. *Water Resources Research*, Vol 18, No 4 (Ago, 1982). p. 791-799.

Goodman A. *Principles of Water Resources Planning*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. 1984.

ISA., Departamento de Estudio Económicos y Financieros. *Indice de Costos de Construcción de Centrales Hidroeléctricas*. Medellín, 1985.

ISA. *Plan de Expansión. Normalización de la información básica en relación con proyectos hidroeléctricos, térmicos y de transmisión*. Medellín, 1987.

-----. *Evaluación de los Impactos Socioeconómicos de los Proyectos Hidroeléctricos considerados en el Plan de Expansión del Sistema Eléctrico Colombiano. Período 1994-2000*. Informe final. Medellín, 1988a.

ISA., Oficina Ambiental, Departamento de Planeación y Desarrollo Ecológico. *Proyectó de Externalidades. Calificación Ambiental de los Proyectos del Plan de Expansión*. Informe Final. Etapa I. Medellín, 1988b.

ISA., Oficina de Planeación. Unidad Plancamiento de la Expansión. *Sistema Eléctrico Colombiano. Análisis de la Expansión Generación - Transmisión. Período 1994-2000*. Revisión. Medellín, 1988c.

Keeney R. and Wood E. An Illustrative Example of

Use of Multiattribute Utility Theory for Water Resources Planning. *Water Resources Research.* Vol 13, No 4 (Ago, 1977). p. 705-712.

Little I. y Mirrlees J. Estudio Social del Costo-Beneficio en la Industria de Países en Desarrollo. *Manual de Evaluación de Proyectos.* Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos. Méexico, 1973.

Mejía F. y Roda P. *Evaluación Económica de Proyectos Industriales y Razones de Precio de Cuenta para la Industria Colombiana. Informe Fianl (3 vol),* CEDE, Bogotá, 1987. Volumen I.

Merrill H, Sheweppe F and White D. Energy Strategy Planning for Electric Utilities. Part I, SMARTE Methodology. *IEE Trans. PAS,* Vol PAS-101, No 2. (Feb, 1982).

Munsinghe M. *The Economic of Power System Reliability and Planning. Theory and case study.* A World Bank Research Publication. Washington, D.C., 1979.

----------. A New Aproach to Power System Planning. *IEEE. PAS* Vol 99. No 3 (May/Jun 1980).

Nicholls C. *Análisis Económico, Social y Ambiental de los Planes de Expansión en el Sector Eléctrico Colombiano.* Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, 1989. Tesis de Maestría.

ONUDI. *Guidelenes for Project Evaluation.* 1972.

-------. *Guía para la Evaluación Práctica de Proyectos. El Análisis de Costos - Beneficios Sociales en los Países en Desarrollo.* New York, 1978.

Powers, T. (Ed). *EL Cálculo de los Precios de Cuenta en la Evaluación de Proyectos. Estudios de Casos con base en el Método Little, Mirrless, Squire y Van der Tak.* Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C., 1981.

Roy B. A conceptual framework for a prescriptive Theory of "decision-aid", in *Multiple Criteria Decision Making.* Edited by M.K. Starr and M. Zeleny. North Holland, New York,1977. pp 179-210.

Squire I. y Van der Tak H. *Análisis Económico de Proyectos.* Banco Mundial, 1975.

Valencia D. *Optimización y Simulación de Sistemas de Recursos Hidráulicos.* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín, 1973.

White D. Multi-Objective Interactive Programming. *J.O.R.S.* 1980.

---------. *Introduction to Multiple Objective Methods.* University of Manchester. (mimeo). 10p.

---------. *A Selection of Multi-objective Interactive Programming Methods.* Department of decision Theory. University of Manchester. (mimeo) pp 99-126.

---------. References on Applications of Mathematical Programming Based Multiple Objective Methods and References from International Abstracts in *Operations Research on Applications of Mathematical Programming Based Multiple Objective.* University of Manchester. Abr, 1986.