

1.3 METODOLOGIAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Actualmente existe un gran número de métodos para la evaluación de impactos ambientales, muchos de los cuales han sido desarrollados para proyectos específicos, impidiendo su generalización a otros. Sanz (1991) afirma que hasta esa fecha, eran conocidas más de cincuenta metodologías, siendo muy pocas las que gozaban de una aplicación sistemática. Dichos métodos se valen de instrumentos, los cuales son agrupados por el autor en tres grandes grupos, así: Modelos de identificación (listas de verificación causa-efecto ambientales, cuestionarios, matrices causa-efecto, matrices cruzadas, diagramas de flujo, otras), Modelos de previsión (empleo de modelos complementados con pruebas experimentales y ensayos "in situ", con el fin de predecir las alteraciones en magnitud), y Modelos de evaluación (cálculo de la evaluación neta del impacto ambiental y la evaluación global de los mismos).

Por su parte, Magrini (1990) diferencia dos grandes grupos de técnicas para la evaluación de impactos: Métodos tradicionales para la evaluación de proyectos y Métodos cuantitativos. Los primeros corresponden a técnicas que hacen sus mediciones en términos monetarios (caso relación Beneficio/Costo), cuya principal limitante es la dificultad que representa el establecer valoración económica a los distintos factores que definen la calidad del medio (polución, aire, contaminación de aguas, etc.).

Los métodos cuantitativos consisten en la aplicación de escalas valorativas para los diferentes impactos, medidos originalmente en sus respectivas unidades físicas. En estos se diferencian dos grupos, el primero permite la identificación y síntesis de los impactos (listas de chequeo, matrices, redes, diagramas, métodos cartográficos), y un segundo grupo incorpora, de forma más efectiva, una evaluación pudiendo explicitar las bases de cálculo (Batelle, hoja de balance y matriz de realización de objetivos).

Se tienen además métodos integrales que hacen posible la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, mediante adopción y medición de indicadores ambientales y funciones de transformación que permiten su comparación directa.

A continuación se hace una breve descripción de algunos de los métodos mencionados, siendo necesario remitirse a la fuente original en caso de requerirse mayor nivel de detalle.

1.3.1 Métodos cartográficos. Se desarrollaron en el ámbito de la planificación territorial para la evaluación de los impactos ambientales de uso del territorio. También se les conoce como métodos de transparencias y gráficos. Básicamente consisten en la superposición -sobre un mapa del área de estudio, convenientemente subdividida- de transparencias dedicadas a un factor ambiental e identificadas con códigos (color, números, otros) que indican el grado de impacto previsible de cada subzona en caso de llevarse a cabo un proyecto o actividad. La gradación de tonos de color se utiliza para dar idea de la mayor o menor magnitud del impacto (Sanz, 1991).

Sin embargo sus resultados son limitados, principalmente por el número de impactos que pueden ser analizados en una misma operación. El alto grado de versatilidad y desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) permiten hoy día darle mayor aplicación a esta metodología. Las técnicas cartográficas pueden ser buenas herramientas de comunicación, especialmente en estudios del medio físico; son de gran utilidad en las reuniones con el público y en actividades para la difusión o aclaración de conceptos a éste en el proceso de planificación (Estevan, 1999).

1.3.2 Listas de chequeo, control o verificación. Son relaciones categorizadas o jerárquicas de factores ambientales a partir de las cuales se identifican los impactos producidos por un proyecto o actividad específica. Existen listas de chequeo elaboradas según el tipo de proyecto, haciendo identificación expresa de los elementos del medio que en forma particular resultan impactados por las actividades desarrolladas en el marco del mismo. Además de permitir la identificación, bien podrían asimismo incorporar escalas de valoración y ponderación de los factores, ante lo cual Magrini (1990) anota que a pesar de que constituyen una forma concisa y organizada de relacionar los impactos, no permiten la identificación de las interrelaciones entre los factores ambientales.

La mayor ventaja que presentan las listas de chequeo es que ofrecen cubrimiento o identificación de casi todas las áreas de impacto; sin embargo, representan básicamente un método de identificación cualitativo, limitándose su alcance en el proceso de EIA, a un análisis previo.

Las listas de chequeo pueden clasificarse, según su nivel de desarrollo, en cuatro tipos (Estevan, 1999), los cuales se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de listas de chequeo de acuerdo a su nivel de desarrollo

| Tipo | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| Simples | Analizan factores o parámetros sin ser estos valorados o interpretados. |
| Descriptivas | Analizan factores o parámetros y presentan la información referida a los efectos sobre el medio. |
| De verificación y escala | Incluyen, además de lo anterior, una escala de carácter subjetivo para la valoración de los efectos ambientales. |
| De verificación, escala y ponderación | Introducen a las anteriores unas relaciones de ponderación de factores en la escala de valoración. |

Las listas de chequeo simples y descriptivas son las más comúnmente empleadas en los primeros estadios de la EIA, previa valoración de impactos. Ejemplos de ellas se incluyen en el Anexo 1, donde se tiene un listado de los factores ambientales empleados para un proyecto de gasoducto en los Estados Unidos de América (Canter, 1998), el cual incluye la categoría y comentarios correspondientes, a la manera de sugerencias e indicaciones. Se tiene además una lista de chequeo ambiental considerada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA- para proyectos industriales, y ejemplos de listas de verificación del Banco Mundial para Proyectos Petrolíferos (Estevan, 1999).

Las listas de chequeo simples pueden estructurarse a manera de cuestionario, para lo cual se formula una serie de interrogantes relativos a la posible ocurrencia de impactos sobre los diferentes factores producidos por un determinado proyecto. Un ejemplo de este tipo de lista para centrales térmicas, propuesto por el Banco Mundial, así como una lista de chequeo descriptiva para proyectos de urbanización, se incluyen en el Anexo 1.

En síntesis, ambos tipos de listas –simples y descriptivas- proporcionan un enfoque estructurado para la identificación de impactos y factores ambientales concernidos en el marco ejecutorio de una EIA. La adecuada adopción y empleo de estas listas condiciona en buena medida el éxito alcanzado por el ejercicio evaluativo, ya que se corresponde prácticamente con su punto de partida, y de él dependerá el desarrollo secuencial de pasos posteriores que conducirá finalmente a la valoración y síntesis de impactos, y a la formulación del plan de manejo ambiental del proyecto.

1.3.3 Métodos matriciales. Los métodos matriciales son técnicas bidimensionales que relacionan acciones con factores ambientales; son básicamente de identificación. Los métodos matriciales, también denominados matrices interactivas causa-efecto, fueron los primeros en ser desarrollados para la EIA. La

modalidad más simple de estas matrices muestra las acciones del proyecto en un eje y los factores del medio a lo largo del otro. Cuando se prevé que una actividad va a incidir en un factor ambiental, éste se señala en la celda de cruce, describiéndose en términos de su magnitud e importancia (Canter, 1998). Uno de los métodos matriciales más conocido es el de la Matriz de Leopold, desarrollado en 1971 para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos de América.

La Matriz de Leopold está constituida por 100 columnas en las que se representan las acciones del proyecto, y 88 filas relacionadas con factores ambientales, produciendo un total de 8.800 posibles interacciones. Dada la dificultad de trabajar con tal número de interacciones, normalmente se hace con matrices reducidas para 100 o 150, de las cuales un máximo de 50 es significativo.

El principio básico del método consiste, inicialmente, en señalar todas las posibles interacciones entre las acciones y los factores, para luego establecer, en una escala que varía de 1 a 10, la Magnitud e Importancia de cada impacto identificando si éste es positivo o negativo.

Con respecto a la valoración de la Magnitud, ésta es relativamente objetiva o empírica puesto que se refiere al grado de alteración provocado por la acción sobre el factor medioambiental. Por otra parte, la puntuación de la Importancia es subjetiva, ya que implica atribución de peso relativo al factor afectado en el ámbito del proyecto.

El establecimiento de estos pesos constituye uno de los puntos más críticos en la Matriz de Leopold, dado que no explicita claramente las bases de cálculo de las escalas de puntuación de la Importancia y de la Magnitud.

Otros aspectos criticables pueden ser señalados (Magrini, 1990) –al igual que para las listas de chequeo– como la no identificación de interrelaciones entre los impactos, lo que puede llevar a repetidos conteos o a la subestimación de los mismos, así como el poco énfasis atribuido a los factores sociales y culturales.

Una cuestión muy discutida en el uso de esta técnica es la pertinencia o no de calcular un Índice Global de Impacto Ambiental (IGIA) resultante de la suma ponderada (Magnitud x Importancia) de los impactos específicos. Un ejemplo resumido de la matriz para un proyecto dado se presenta a continuación (Cuadro 1), en donde puede apreciarse el cálculo del IGIA y la disposición en la matriz de las calificaciones asignadas a la Magnitud y a la Importancia.

Se puede apreciar que los números dispuestos en la parte superior de cada celda representan la Magnitud y van acompañados de un signo (+ o -), según el impacto sea benéfico o adverso al factor ambiental analizado. Por su parte, los números localizados en la parte inferior de cada celda representan la Importancia que tiene el impacto sobre el factor.

| Cuadro 1 | | | | |
|--|--------------|---|-----------|---|
| Cálculo del Índice Global de Impacto Ambiental (IGIA) | | | | |
| Acciones | Construcción | | Operación | |
| Factores | | | | |
| Calidad del agua | -4 | 3 | -1 | 1 |
| Calidad del aire | -2 | 2 | -1 | 1 |
| Fauna silvestre | -6 | 9 | -5 | 5 |
| Vegetación | -6 | 8 | 5 | 6 |
| IGIA= | =115 | | | |

Dada la naturaleza diferente de los impactos, no resulta conveniente el cálculo de un índice global, sino mejor la elaboración de matrices para diferentes alternativas y la comparación entre las mismas al nivel de cada efecto significativo específico. De cualquier forma, es importante señalar que el índice global sólo podrá ser calculado si existe compatibilidad entre las escalas utilizadas para los diferentes impactos, ya que solamente escalas de intervalo están sujetas a manipulación matemática. Así, efectos medidos en escalas nominales u ordinales deberán ser convertidos a aquél tipo de escala (Estevan, 1984).

Ya que la Matriz de Leopold no explicita en principio las bases de cálculo de las escalas, el cálculo del Índice, si bien es útil para indicar el grado global del impacto de un proyecto determinado, no es aconsejable, a no ser que sean incorporadas las consideraciones antes mencionadas. Es además importante resaltar que el índice global de un proyecto sólo tiene sentido si es referenciado a los índices globales de las alternativas del mismo. En el Anexo 2 se presenta un listado de algunas de las acciones de proyectos y factores ambientales considerados por la Matriz de Leopold. A manera de ejemplo, en el Cuadro 2 se presenta una matriz de Leopold simplificada, para la fase de funcionamiento de un proyecto vial. Allí se consideran únicamente algunos de los elementos correspondientes a los factores socioculturales y socioeconómicos, así como unas pocas actividades de la fase de operación y funcionamiento de la carretera en cuestión.

De conformidad con el ejercicio de identificación cualitativa - vía esta matriz de causalidad- se tienen como impactos significativos -resaltados en negrita- los indicados a su vez en el Cuadro 3.

En principio, se admite que aquellas filas y columnas que aparezcan con mayor número de marcas o señales, corresponden a los factores y acciones de mayor relevancia. En la misma dirección, puede indicarse - si bien el computo aritmético no es conceptualmente acertado- que aquellos mayores valores provenientes de las sumas de magnitudes e importancias por separado, corresponderán, según arreglo a filas o columnas, a los factores del medio mayormente afectados y las acciones que producen mayores impactos, respectivamente.

De conformidad con lo expresado, podrían ser destacadas como las acciones más importantes en la fase de funcionamiento de la carretera, el tráfico urbano e interurbano, como positivos, y el ruido por circulación de automotores, como negativo.

| Cuadro 3 | | |
|---|-----------------|---------------------------------------|
| Impactos significativos en la Matriz de Leopold (Cuadro 2) | | |
| Casilla | Carácter | Efecto |
| 10a / Ea | Positivo | Mejoramiento del tráfico urbano |
| 10a / Eb | Positivo | Mejoramiento del tráfico interurbano |
| 10a / Ha | Negativo | Incremento de ruido debido al tráfico |
| 11a / Fb | Positivo | Aumento de la seguridad vial |

En la fase de funcionamiento, todos los factores del orden sociocultural y económico considerados, se verían afectados benéficamente, siendo los de mayor relevancia los servicios de infraestructura (red vial) y los usos del territorio (zona residencial e industrial).

De aquí que, e insistiéndose en que se emplee únicamente con fines orientativos en los primeros estadíos de la EIA, los valores mayores parciales de las ordenadas permitirán identificar las acciones del proyecto que producen los mayores impactos, en tanto que, los valores mayores parciales de las abscisas, señalarán aquellos elementos ambientales alterados en mayor grado por el proyecto.

Este análisis permite entonces identificar, en un comienzo, aquellas acciones para las cuales es necesario diseñar medidas de mitigación, y asimismo aquellos factores del medio más necesitados de atención en razón de resultar mayormente afectados.

En síntesis, la Matriz de Leopold servirá, entre otros propósitos, a los de identificar interacciones factor ambiental – acción del proyecto; identificación del carácter benéfico o adverso del impacto producido; valoración preliminar de éstos; y todas las anteriores en fases temporales del proyecto, esto es: construcción; funcionamiento, explotación y/u operación; y abandono o desmantelamiento.

Otro método matricial de gran sencillez, empleado para la valoración de impactos ambientales, se basa en la definición de un enunciado básico que describe en palabras el impacto generado, el cual recibe el nombre de Consideración Ambiental. Esta consideración se dispone, junto con otras características de los impactos que a continuación se describirán, como columnas, así: Dirección, Magnitud, Importancia y Evaluación, esta última resultado del producto combinado de los valores asignados a las anteriores características.

Se tienen además dos columnas separadas encabezadas con las sílabas SÍ y NO, haciendo alusión a si el proyecto o actividad produce o no el efecto en el indicador correspondiente (o consideración ambiental), lo cual se señala con una cruz (X) en la celda respectiva.

La columna Dirección (DIR) especifica si el proyecto afecta directamente el indicador correspondiente, lo cual se indica como en el caso anterior con una cruz (X). Por su parte, la Magnitud definida en términos semejantes a los utilizados en la Matriz de Leopold, se califica a diferencia de aquella en una escala que varía de -3 a +3 (Tabla 5), conforme la magnitud del efecto producido sobre el indicador. Finalmente la Importancia del impacto producido sobre el indicador se evalúa en una escala de 0 a 3, conforme se expone en la Tabla 6.

Tabla 5. Calificación de la Magnitud en metodología matricial

| Descripción | Valor asignado |
|---|----------------|
| Daño grave al indicador | -3 |
| Daño medio al indicador | -2 |
| Daño menor al indicador | -1 |
| Daño insignificante al indicador | 0 |
| Pequeño efecto positivo sobre el indicador | +1 |
| Efecto medianamente positivo sobre el indicador | +2 |
| Efecto grandemente positivo sobre el indicador | +3 |

Tabla 6. Calificación de la Importancia en metodología matricial

| Descripción | Valor asignado |
|---|----------------|
| Sin importancia para el indicador | 0 |
| Poco importante para el indicador | 1 |
| Medianamente importante para el indicador | 2 |
| Muy importante para el indicador | 3 |

El índice global de impacto se obtiene de la sumatoria de los productos entre Magnitud e Importancia para cada indicador, cuyos valores parciales son por su parte consignados en la columna EVALUACION. Para efectos prácticos de la cuantificación de impactos, el proyecto puede ser separado en componentes, y para cada uno de ellos elaborada una matriz. Así por ejemplo, se tendrá una para aspectos socio-económicos, otra para los relativos a la calidad del agua, otra para los aspectos paisajísticos, etc., dependiendo ello de las características particulares del proyecto. Asimismo, la descripción que se hace para cada consideración ambiental, puede ir proyectada en el tiempo a diferentes escalas, para impactos en el corto, mediano o largo plazo.

Un ejemplo que ilustra la utilización del método se presenta en el Cuadro 4, en el cual se evalúan los aspectos relativos a la flora y la fauna. En el Anexo 3 se presentan además, para fines orientadores, matrices genéricas, inconclusas por demás, correspondientes a diferentes elementos ambientales.

Otra variante de los métodos matriciales de relativa simplicidad, empleada para la valoración global cualitativa, consiste en la disposición como filas de impactos ambientales, y como columnas de una serie de atributos, conducentes a la formulación de un dictamen y valoración final según arreglo a cuatro categorías: compatible, moderado, severo, crítico. Este modelo matricial permite valorar en términos cualitativos impactos previamente identificados y descritos, en el medio, producto de la implementación de

un proyecto; en este sentido, son usualmente construidas una matriz para la fase de construcción y otra para la de funcionamiento.

| Cuadro 4 Evaluación matricial de aspectos de flora y fauna | | | | | | |
|---|----|----|-----|-----|-----|------------|
| Consideración ambiental | Sí | No | Dir | Mag | Imp | Evaluación |
| Afectará el proyecto una zona de especial importancia ecológica por las características de la flora y la fauna existentes | | | | | | |
| Afectará el proyecto especies de animales acuáticos o terrestres considerados económicamente importantes | | | | | | |
| El proyecto afectará la producción y alimentación de la fauna existente en el área de influencia | | | | | | |
| Se producirá por la construcción del botadero alta mortandad de especies acuáticas y terrestres | | | | | | |
| Se reducirán significativamente espacios para nidificación y oferta alimenticia para especies de aves | | | | | | |
| Efecto total = \sum Evaluación | | | | | | |

De cara a la valoración cualitativa de los impactos ambientales en ambas etapas del proyecto -construcción y funcionamiento- las diferentes interacciones factor ambiental-acción del proyecto, y sus posibles sinergias, son caracterizadas según arreglo a las categorías presentadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Valoración cualitativa de impactos ambientales

| Característica | Impactos |
|--------------------------|--|
| Relación causa – efecto | Directo – Indirecto |
| Significado | Positivo – Negativo |
| Proyección en el espacio | Localizado – Extenso |
| Recuperación | Recuperable – Irrecuperable |
| Reversibilidad | Reversible – Irreversible |
| Proyección en el tiempo | Temporal – Permanente |
| Detección en el tiempo | Corto – Medio – Largo plazo |
| Sinergia | Sí – No |
| Riesgos | Posibilidad de ocurrencia |
| Magnitud | Compatible – Moderado – Severo - Crítico |

El dictamen final, considera las categorías de impacto ambiental compatible, moderado, severo y crítico, cuyas acepciones, de conformidad con el Real Decreto Legislativo 1131/1988 de 20 de septiembre (España)¹, son las siguientes:

- Impacto ambiental compatible: aquél cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa prácticas protectoras o correctoras.
- Impacto ambiental moderado: aquél cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.
- Impacto ambiental severo: aquél en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aún con esas medidas, aquella recuperación precisa un período de tiempo dilatado.
- Impacto ambiental crítico: aquél cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

En el Cuadro 5, y a manera de ejemplo, se expone la EIA de un proyecto termoeléctrico, donde se emplea el método de valoración cualitativa expuesto. Previa realización de este ejercicio valorativo, han sido empleados métodos de identificación de impactos, de cuyo análisis de significancia se derivan las acciones del proyecto, y los efectos inducidos en el medio por ellas, durante las fases de construcción y funcionamiento.

Por su parte, las matrices de valoración cualitativa, para ambas fases, se presentan en los cuadros 6 y 7, siendo los siguientes los significados correspondientes a las abreviaturas allí empleadas: +: positivo; -: negativo; Loc: localizado; Afecc. recursos protegidos: afecta a recursos protegidos; Sev: severo; Ext: extenso; Prob. Ocurr: probabilidad de ocurrencia; Crit: crítico; Dir: directo; Rec: recuperable; Adm: admisible; Ind: Indirecto; Irrec: irrecuperable; No Adm: no admisible; Temp: temporal; Rev: reversible; Comp: compatible; Perm: permanente; Irrev: irreversible; Mod: moderado.

¹ Por el que se aprueba el reglamento para la ejecución del RDL 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de

Con la intención de ilustrar las interpretaciones que se pueden desprender del análisis de estas herramientas de evaluación, se presenta una descripción sintética del proceso de EIA realizado para el proyecto en cuestión (Cuadro 8), incorporando además -de manera preliminar- las posibles líneas de intervención de cara a la gestión de medidas correctoras.

1.3.4 Redes. Las redes representan un avance en relación con las técnicas anteriores, ya que establecen relaciones de tipo causa-efecto, permitiendo una mejor identificación de los impactos y de sus interrelaciones. Estos diagramas son métodos que integran las causas de los impactos y sus consecuencias, mediante la identificación de las interrelaciones existentes entre las actividades o acciones causales y los factores ambientales impactados, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios (Canter, 1998).

Uno de los métodos más conocidos es el de Sorensen, elaborado en 1971 para analizar diversos tipos de uso del suelo en regiones costeras. Se trata principalmente de una técnica de identificación de efectos, que parte de la caracterización de diferentes usos del suelo, los cuales se desdoblaron o explican en diversos factores causales, que a su vez implican impactos ambientales clasificados en: Condiciones iniciales-Consecuencias-Efectos. Además de presentar una red compuesta de diversos grupos de efectos, el método indica igualmente acciones correctivas y mecanismos de control (Magrini, 1990).

La técnica pretende poner de relieve las interacciones entre componentes ambientales y, por tanto, las relaciones causa-efecto de segundo, tercero y más alto grado (Sanz, 1991). Se hace una lista de las acciones del proyecto, las cuales se ligan a cambios en el entorno mediante relaciones causa-efecto, lo que el método describe como "condiciones de cambio". Posteriormente son adicionadas, como columnas, Acciones Correctivas y Mecanismos de Control, para cada uno de los impactos finales. En términos prácticos, el método comienza con la identificación de las acciones que hacen parte del proyecto, y cómo éstas producen diversos tipos de impacto, en tres fases: Condiciones Iniciales-Consecuencias-Efectos.

Cuadro 5
Identificación de impactos en un proyecto termoeléctrico

| Factor ambiental | Acciones del proyecto | Efectos | Fase ² |
|--|---|--|--------------------|
| Geología y geomorfología | -Apertura-mejora de accesos -Movimiento tierras y maquinaria -Toma y descarga agua refrigeración -Obra civil central -Montaje edificios e instalaciones | Alteración relieve | C |
| Edafología | -Apertura-mejora de accesos -Movimiento tierras y maquinaria -Montaje edificios e instalaciones | -Disminución calidad suelos -Compactación suelos -Cambios en dinámica sedimentación-erosión -Pérdida de suelo | C C C/F F |
| Hidrología | -Apertura-mejora de accesos -Toma y descarga agua refrigeración | -Cambios en dinámica sedimentación-erosión -Contaminación térmica y por sólidos en suspensión -Disminución en caudales -Contaminación aguas | C F F F |
| Aire | - Vertido efluentes tratados -Apertura-mejora de accesos -Movimiento tierras y maquinaria -Toma y descarga agua refrigeración y Central -Emisión contaminantes atmosféricos | -Cambios calidad aire -Contaminación atmosférica -Aumento ruido y vibraciones -Contaminación atmosférica | C C C/F F |
| Vegetación | -Apertura-mejora de accesos -Movimiento tierras y maquinaria | -Destrucción vegetación -Destrucción vegetación -Disminución calidad de hábitats | C C C |
| Fauna | -Emisión contaminantes atmosféricos -Apertura-mejora de accesos | -Afección cultivos y bosques remanentes -Colisión aves -Disminución calidad de hábitats | C/F C/F C/F |
| | -Movimiento tierras y maquinaria -Producción ruido y vibraciones -Toma y descarga agua refrigeración | -Disminución calidad de hábitats -Estrés en poblaciones -Muerte peces | C C/F F |
| Paisaje | -Apertura-mejora de accesos -Edificios -Chimenea | Disminución calidad paisajística | C/F |
| USOS DEL SUELO | | | |
| Agricultura | Uso recursos hídricos | Disminución recursos hídricos | F |
| Pastos | Ocupación suelo Accesos ampliación red vial | Afección espacios | C/F |
| ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS | | | |
| Empleo | -Construcción instalaciones -Operación Planta | -Generación empleo -Generación empleo | F C/F |
| Actividades económicas tradicionales | -Construcción y operación | -Desviación y disminución | F |
| Nivel aceptación proyecto PIB regional | -Construcción y funcionamiento | -Posiciones a favor y en contra | C/F |
| Conflictos sociales | -Construcción y funcionamiento -Construcción y funcionamiento | -Alteración diferencial -Alteración relaciones entre grupos | C/F C/F |

² C: construcción; F: funcionamiento

Cuadro 6
Evaluación de impacto ambiental de una central térmica -Etapa de construcción

| Valoración cualitativa de los principales impactos | Caracterización de los impactos | | | | | | | | | | | | | | | | Dictamen y valoración | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---|-----|-----|----------------------|----|------|------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|--|----|-----------------------|----|------------|-----|--------|------|-----|-----|------|--|
| | + | - | Dir | Ind | Sinergia-acumulación | | Temp | Perm | Loc | Ext | Rec | Irrec | Rev | Irrev | Afecc Recursos Protegidos ³ | | Medidas correctoras | | Prob Ocurr | Adm | No Adm | Comp | Mod | Sev | Crit | |
| | | | | | Sí | No | | | | | | | | | Sí | No | Sí | No | | | | | | | | |
| Aire | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contaminación | | x | x | | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | M | x | | | x | | | |
| Ruido | | x | x | | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Hidrología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Red drenaje | | x | | x | | x | x | x | x | | | x | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Aguas superficiales | | x | x | | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | B | x | | | | x | | |
| Calidad | | x | x | | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | M | x | | | x | | | |
| Suelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Geología | | x | | x | | x | | x | x | | | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Geomorfología | | x | x | | | x | | x | x | | | x | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Edafología | | x | x | | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Erosión | | x | | x | | x | x | | x | | x | | | | | x | x | | M | x | | | | x | | |
| Biota | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cultivos | | x | | x | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Vegetación terrestre | | x | | x | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Vegetación acuática | | x | x | x | | x | x | | x | | x | | | | | x | x | | M | x | | | | x | | |
| Fauna | | x | x | x | | x | x | | x | | x | | | | | x | | x | M | x | | | | x | | |
| Paisaje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paisaje | | x | x | | | x | | x | x | | | | x | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Medio socioeconómico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida suelo | | x | x | | | x | | x | x | | | | x | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Empleo | x | | x | x | | x | x | | | | | | | | | x | | x | A | x | | | x | | | |
| Medio sociocultural | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Afección espacios | | x | | x | | x | | x | | x | | | | | | x | | x | B | x | | | x | | | |
| Nivel aceptación | x | | x | x | | x | | x | x | | | | | | | x | | x | M | x | | | x | | | |

³ Dada la disminución numérica de las poblaciones ictiofónicas y su importancia en el contexto socioeconómico, se consideran en este análisis como recursos protegidos.

| Cuadro 7 Evaluación de impacto ambiental de una central térmica - Etapa de funcionamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---|-----|-----|----------------------|----|------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|---------------------------|-----------------------|---------------------|----|-------------|-----|--------|------|-----|-----|------|
| Valoración cualitativa de los principales impactos | Caracterización de los impactos | | | | | | | | | | | | | | | Dictamen y valoración | | | | | | | | | |
| | + | - | Dir | Ind | Sinergia-acumulación | | Temp | Per m | Loc | Ext | Rec | Irrec | Rev | Irrev | Afecç Recursos Protegidos | | Medidas correctoras | | Prob Occurr | | | | | | |
| | | | | | Sí | No | | | | | | | | | Sí | No | Sí | No | | Adm | No Adm | Comp | Mod | Sev | Crit |
| Aire | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calidad | | x | x | x | | x | | x | | x | | | | | | x | x | | A | | x | | | | x |
| Ruido | | x | x | | | x | | x | X | | | | x | | | x | | x | M | x | | | x | | |
| Hidrología | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Disminución caudales | | x | x | | x | | | x | | | | | x | | | x | | x | A | | x | | | | x |
| Vertido efluentes | | x | x | | | x | x | | X | | | x | | | | x | | x | B | x | | x | | | |
| Contaminación térmica | | x | x | | | x | | x | X | | | | x | | | x | | x | A | x | | | | x | |
| Caudal ecológico | | x | x | | x | | | x | X | | | | x | | | x | | x | M | x | | | | x | |
| Residuos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceites y grasas | | x | | x | | x | x | | X | | | | | | | x | | x | B | x | | x | | | |
| Industriales | | x | | x | | x | x | | X | | | | | | | | | x | B | x | | x | | | |
| Asimilables a urbanos | | x | | x | | x | x | | X | | | | | | | | | x | B | x | | x | | | |
| Suelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alteración cubierta | | x | x | | x | | | x | | x | | | | | | x | | x | A | x | | | | x | |
| Cultivos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agrícolas | | x | x | x | | x | | x | | x | | | | | | x | | x | A | x | | | | x | |
| Pastos | | x | x | x | | x | | x | | x | | | | | | x | | x | A | x | | | | x | |
| Biota | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vegetación | | x | x | x | | x | | x | | x | | | | | | x | | x | M | x | | | x | | |
| Aves | | x | x | x | | x | | x | | x | x | | | | | x | | x | M | x | | | x | | |
| Ictiofauna | | x | x | x | x | | | x | | x | x | | | | | x | | x | A | | | x | | | x |
| Paisaje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paisaje | | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | | | x | | x | M | x | | | | x | |
| Medio socioeconómico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Empleo | x | | | x | x | | | x | x | | | | | | | | | | A | x | | | x | | |
| Alteración actividades económicas tradicionales | | x | x | x | x | | | x | x | x | | | | | | x | x | | M | x | | | | x | |
| Incremento PIB regional | x | | | x | | | | x | x | | | | | | | | | | A | x | | | x | | |
| Medio sociocultural | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conflictos sociales | | x | x | x | x | | | x | x | x | | | | | | x | x | | M | x | | | | x | |
| Nivel aceptación proyecto | x | x | x | x | | | | x | x | | | | | | | | | | M | x | | | | x | |

Cuadro 8 Análisis de matrices del proyecto termoeléctrico

Se destaca que los impactos derivados de la etapa de construcción son en su totalidad admisibles, destacándose por su parte entre ellos, la afección de las aguas superficiales, la activación de procesos erosivos, y la incidencia negativa sobre la vegetación y fauna acuática, todos ellos calificados como impactos moderados. En ninguno de los casos se evidencian impactos severos o críticos, correspondiendo el resto de impactos a la categoría compatibles.

Aparentemente se requerirían medidas correctoras relativas a la potenciación de la fenomenología erosiva, que podrían incluir programas de repoblamiento vegetal acompañados de remodelado de terreno, captura de aguas de escorrentía y disposición sobre el mismo de diques u otras obras de carácter transversal. Por otra parte, relativo a las afecciones sobre la vida acuática, sería necesario controlar vertidos de sedimentos; aguas residuales; aceites usados y demás sustancias de forma directa, a cuyo efecto pueden adoptarse diversas estrategias, como trampas y sistemas de pretratamiento, entre otras.

Durante la etapa de funcionamiento de la Central, se tienen impactos ambientales más significativos, destacándose tres de ellos como críticos. El primero de ellos es relativo al efecto contaminante por gases emitidos a la atmósfera; si bien se proyecta la adopción de equipos y tecnología para su control, del informe técnico se prevé – dado el régimen de vientos y los rasgos geomorfológicos – la generación de elevadas concentraciones de material particulado ($> 70\mu\text{g}/\text{m}^3$) sobre un área muy extensa.

Por otra parte, el impacto sobre las aguas es de gran significado ya que la afección de caudales derivará en desabastecimiento del recurso que lo utilizan en sus actividades corrientes y que ya hoy acusan escasez del mismo; esta situación se hace más acuciosa a través de la prospectiva, ya que el incremento de tierras aplicables a la agricultura demandará mayores cantidades del recurso para el riego. Además, esta disminución de caudales está íntimamente ligada al impacto derivado sobre el caudal ecológico –calificado como moderado– a su vez agravado por la contaminación térmica –impacto de carácter severo– producida por el vertido de aguas calientes provenientes del sistema de enfriamiento (condensador).

Dado el sinergismo entre impactos, el final producido sobre la ictiofauna se califica como crítico, en cuyo análisis preliminar se hace consideración del carácter de algunas de las especies de peces afectadas como amenazadas; dadas las implicaciones que sobre la economía regional y sobre el medio ambiente y recursos asociados, pueden tener los tres impactos señalados, éstos han sido considerados no admisibles. Dentro de los impactos moderados se tienen entre otros: el ruido generado por el funcionamiento de la Central, la afección negativa del paisaje por la infraestructura y área de explotación, la alteración de las actividades económicas tradicionales y la generación de conflictos sociales. Se destacan como impactos positivos la generación de empleo y el incremento del PIB regional, considerados como impactos compatibles.

El nivel de aceptación del Proyecto se indica simultáneamente como impacto positivo y negativo, dado que se puede tener respuesta diferencial según el grupo poblacional que se trate, y exhibe alto grado de incertidumbre dada la existencia previa de conflictos sociales en donde se involucran diferentes actores: agricultores, ganaderos, pescadores y poblaciones indígenas.

Si bien se ha indicado la existencia de impactos ambientales no admisibles que impedirían la ejecución del Proyecto, es asimismo claro que el desarrollo no debe detenerse, sino mejor enmarcar los proyectos que lo generan en políticas ambientalmente sostenibles. Puede afirmarse que los conflictos derivados de la ejecución del Proyecto son importantes, y requerirían por tanto de modificaciones al Proyecto desde su definición para algunos de sus aspectos y/o la adopción de serias medidas de prevención, mitigación, control y compensación de los impactos, dentro de los cuales ocupan primera fila las comunidades humanas involucradas.

Una forma de hacer este análisis es mediante la utilización de vectores o flechas, disponiendo las acciones horizontalmente como filas, con sus correspondientes impactos en la forma secuencial descrita. Así por ejemplo, la construcción de una fábrica en un sector rural podría contemplar, entre muchas otras, las acciones e impactos representados en la Figura 7.

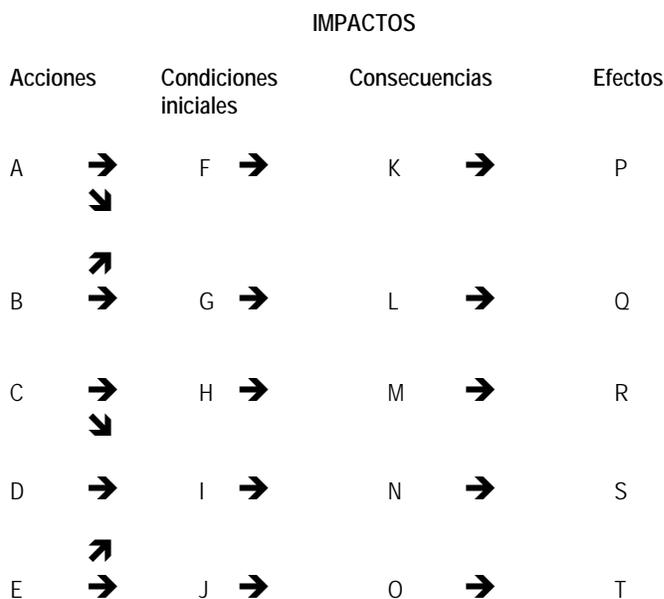


Figura 7. Esquema gráfico de Redes. A: Remoción vegetación, B: Excavaciones, C: Montaje de infraestructura, D: Adecuación de bodegas, E: Construcción de carreteras, F: Pérdida capa superficial suelo, G: Desprotección suelo, H: Aumento superficie escorrentía, I: Disminución áreas silvestres, J: Aumento tráfico vehicular, K: Pérdida fertilidad y propiedades suelo, L: Arrastre partículas a cuerpos agua, M: Remoción suelo por salpicadura y escorrentía, N: Disminución oferta ambiental a fauna silvestre, O: Contaminación por ruido y gases, P: Muerte flora y difícil colonización vegetal, Q: Contaminación cuerpos de agua, R: Generación surcos y cárcavas (erosión), S: Muerte y migración fauna silvestre, T: Afectación salud humana.

El análisis debe haber comenzado previamente, con la identificación de la relación existente entre cada una de las acciones y los diferentes componentes del proyecto. Así por ejemplo, la factoría bien podría estar compuesta por un área de infraestructura física o instalaciones principales, por otra de vías de acceso y complementarias, y por una última de estacionamientos. Debe por tanto identificarse cómo tienen lugar las acciones en cada una de ellas, lo cual puede hacerse fácilmente mediante el empleo de representaciones gráficas, de tipo tabular (Tabla 8).

Tabla 8. Identificación relaciones acciones-componentes del proyecto

| Acciones | A | B | C | D | E |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Áreas | | | | | |
| Instalaciones | xxx | xxx | xxx | xxx | |
| Vías de acceso | xxx | xxx | | | xxx |
| Estacionamiento | xxx | xxx | | | |

Cada punto de cruce - en este caso representado por las celdas - indica las acciones que tienen lugar en las diferentes áreas. Mediante un esquema similar se determina además qué acciones en conjunto dan lugar a un impacto concreto, o lo que es lo mismo, qué acciones producen en conjunto o por separado el

mismo efecto (Tabla 9). Así por ejemplo, para el caso que se ilustra, se tienen cinco efectos diferentes, pero bien podrían ser cuatro o tres siempre y cuando las acciones analizadas confluyeran en un efecto común.

Tabla 9. Identificación relaciones acciones del proyecto-efectos ambientales

| | | A | B | C | D | E |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | ← | xxx | xxx | | | |
| 2 | ← | xxx | xxx | | | |
| 3 | ← | | | xxx | | |
| 4 | ← | | | xxx | xxx | xxx |
| 5 | ← | | | | | xxx |

El análisis conjunto de ambos diagramas traería como interpretación, por ejemplo, que el montaje de infraestructura (C) tendría lugar en el área de instalaciones, y generaría como impactos la muerte y migración de especies animales (S) y la generación de surcos y cárcavas (R). Este diagrama permite la confección del esquema de flechas inicialmente presentado.

Los resultados del análisis se pueden presentar gráficamente, mediante un conjunto de recuadros, que comprenden por una parte los posibles impactos adversos, y por otra las acciones correctivas y los mecanismos de control (Cuadro 9).

El método, se destaca por permitir la identificación de efectos primarios, secundarios y terciarios, y las relaciones causa-efecto que origina la cadena; sin embargo, tal identificación tiene una connotación subjetiva, ya que a pesar de dejarse en manos de especialistas, ésta no tiene un procedimiento normalizado para decidir las relaciones causa-efecto o su importancia relativa. Además, las redes tienden a ser complejas y su comprensión por tanto, resulta en ocasiones difícil (Sanz, 1991, Canter, 1998).

| Cuadro 9 Formato de presentación de resultados del método de redes de Sorensen | | | | |
|---|---------------|---------|--|------------------------------------|
| Posibles impactos adversos | | | Acciones correctivas | Mecanismos de control |
| Condiciones iniciales | Consecuencias | Efectos | | |
| 1. F | K | P | Siembra árboles y arbustos | |
| 2. G | L | Q | | |
| 3. H | M | R | Adecuación trinchos y coberturas vegetales | Pronta y rápida ejecución de obras |
| 4. I | N | S | Siembra de especies de buena oferta para fauna | Proteger algunas áreas boscosas |
| 5. J | O | T | Programas de educación | Programación jornadas de trabajo |

Magrini (1990), expone una modificación introducida al método propuesto por Sorensen, la cual fue desarrollada por Rau en 1980. Dicha modificación introdujo valoraciones de los parámetros Magnitud, Importancia y Probabilidad, para el cálculo de un IGIA. Aunque presenta ventajas comparativas con el método en su forma convencional, persisten en este enfoque problemas conceptuales relativos a la determinación de la Importancia, además de ser relativamente complejo garantizar el uso de escalas intervalares para todos los impactos. Así, si por un lado la introducción del parámetro Probabilidad representa un avance en el sentido de romper con la óptica determinística, por otro lado implica una nueva dificultad, representada en la limitada disponibilidad –entre otras- de registros históricos que permitan su cálculo.

Para efectos operativos, la presentación se hace en forma tabular, disponiendo como columnas los impactos, la Magnitud, la Importancia y la Probabilidad de ocurrencia. La Magnitud e Importancia se califican ambas mediante escala de intervalo de 1 a 10, en tanto que la Probabilidad de 0 a 1.

Para cada impacto identificado, en la columna correspondiente a Probabilidad, se coloca la acción que lo genera o el impacto previo que lo produce. Así por ejemplo, para el efecto T (afectación de la salud humana), se tiene como impacto previo la “contaminación por ruido y gases” (impacto “O”), siendo su designación:

O → T (0,7)

por cuatro categorías ambientales que se desdoblan en 18 componentes, los cuales a su vez se subdividen en 78 parámetros. La determinación del grado de impacto para cada parámetro ambiental viene dado por la Ecuación 5.

$$UIA = UIP \times QA \quad (5)$$

donde:

UIA: Unidad de Impacto Ambiental

UIP: Unidad de Importancia

QA : Índice de Calidad Ambiental

La técnica de transformación de los datos en UIA, sigue entonces los siguientes pasos:

1. Transformar, de acuerdo con la función correspondiente, el valor del parámetro a su equivalencia de QA.
2. Ponderar la importancia del parámetro, con base en su importancia relativa dentro del medio ambiente.
3. Expresar el impacto como resultado de multiplicar los valores recién ofrecidos.

El Índice de Calidad Ambiental (QA) es determinado a partir de la medición de parámetros en sus respectivas unidades y posterior conversión, a través de funciones características de cada parámetro (escalares), en una escala intervalar entre 0 y 1; estos escalares pueden variar de conformidad con la naturaleza del parámetro y del ecosistema considerado (Magrini, 1990). Las funciones en cuestión se corresponden con las funciones de transformación (apartado 1.3.7); el sistema propone una serie de gráficas para la obtención de estos índices de calidad. En la Figura 8 se presentan las gráficas correspondientes a los parámetros usos del suelo, diversidad de especies, erosión del suelo y sensaciones, con sus correspondientes estimadores.

Así, el modelo indica el sistema para establecer la función de transformación del valor QA de un determinado parámetro (i) en función de su magnitud (M), de conformidad con la Ecuación 6.

$$CA_i = f(M_i) \quad (6)$$

Para evaluar la calidad del estado de un parámetro definido por su magnitud, tendrá que establecerse, inicialmente, la función de transformación $f(M_i)$ que le corresponda, estando representados, el índice de calidad QA , en las ordenadas, y la magnitud en las abscisas. Así, para cada valor de magnitud de un parámetro, bastará llevarlo sobre las abscisas, obteniéndose así su correspondiente valor QA en las ordenadas.

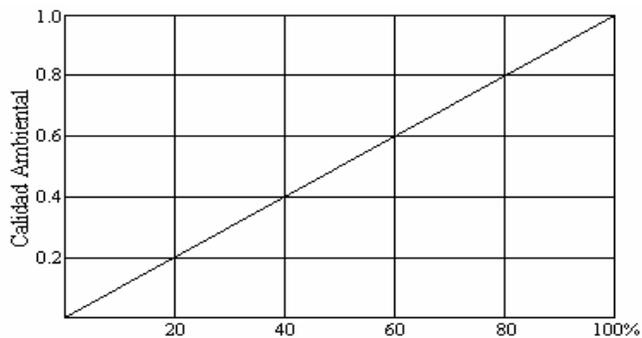
Por otra parte, la unidad de importancia (UIP) es fijada "a priori" completando un total de 1000 puntos distribuidos en categorías, componentes y parámetros, a través de consultas a grupos de expertos (Anexo 4). La distribución de los puntajes a través de componentes y parámetros puede apreciarse en el Cuadro 11, distribuidos en cuatro categorías principales: Ecología, Contaminación Ambiental, Aspectos Estéticos y Aspectos de Interés Humano.

Para cada parámetro, el sistema establece la comparación de su situación "con proyecto" y "sin proyecto", obteniéndose el impacto neto del proyecto sobre cada parámetro, mediante el uso de la Ecuación 7. Este valor puede ser positivo, en caso de verse favorecido el parámetro por la implementación del proyecto, o negativo en caso contrario.

$$UIA_i \text{ Proyecto} = UIA_i \text{ con proyecto} - UIA_i \text{ sin proyecto} \quad (7)$$

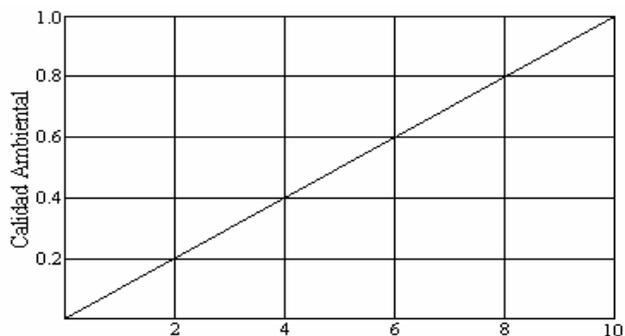
Dado que los valores genéricos de UIA son comparables por referirse a una escala común, es válido obtener por suma los valores de cambio neto recién obtenidos, y establecer comparaciones entre diversas alternativas para un mismo proyecto. Pueden además ser observados los impactos más significativos ocurridos sobre categorías, componentes y/o parámetros de interés particular.

El estimativo final entonces, puede hacerse a través del cálculo de un IGIA, dado por la diferencia entre la UIA total al realizar el proyecto y la UIA sin la realización de aquél, de acuerdo a la Ecuación 8. La técnica permite la identificación de los impactos más significativos que deberán someterse a un análisis cualitativo más detallado.



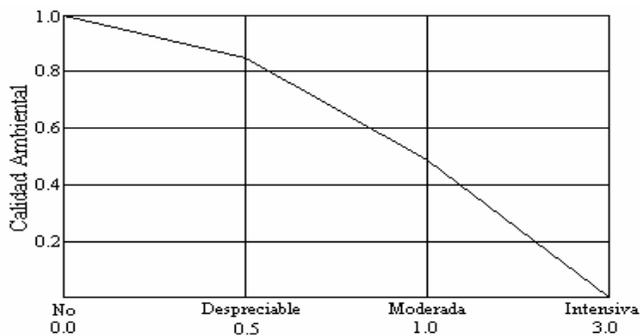
(a) *Parámetro:* Uso del suelo.

Estimación del parámetro: Suma ponderada de la superficie de cada tipo de uso del suelo (natural 1; forestal 0.8; agrícola 0.6; residencial 0.4; comercial 0.2; industrial 0) expresada en términos de la superficie total.



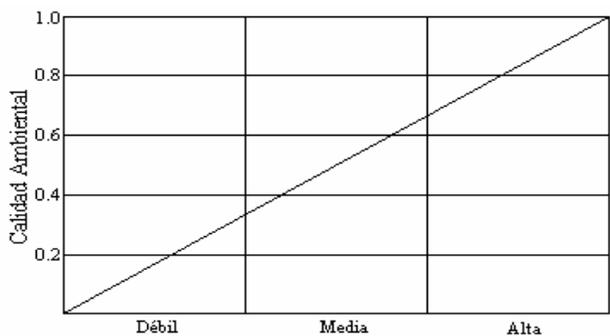
(b) *Parámetro:* Diversidad de especies.

Estimación del parámetro: Número de especies por mil individuos.



(c) *Parámetro:* Erosión del suelo.

Estimación del parámetro: Sedimentos aportados en acre pie/milla cuadrada/año.



(d) *Parámetro:* Sensaciones.

Estimación del parámetro: Estimación subjetiva de la sensación.

Figura 8. Funciones de transformación a. Uso del suelo b. Diversidad de especies c. Erosión del suelo d. Sensaciones. Fuente: Adaptado de Gómez (1999).

$$UIAp = UIAcp - UIAcp \quad (8)$$

Donde:

UIAp: Unidad de Impacto Ambiental por proyecto

UIAcp: Unidad de Impacto Ambiental con proyecto = $\sum_{i=1}^n UIAcp_i$

UIAsp: Unidad de Impacto Ambiental sin proyecto = $\sum_{i=1}^n UIAsp_i$

A pesar de que este método presenta ventajas en relación con los ya descritos, dado que hace explícitas las bases de cálculo, presenta limitaciones en cuanto a la identificación de las interacciones entre impactos, pudiendo llevar a repetidos conteos y a la subestimación de los mismos. Si bien puede ser considerada una ventaja tener claras las bases de cálculo -lo que le confiere en la práctica la cualidad sistemática al ser aplicado- la asignación de puntajes a las diferentes categorías consideradas por este desarrollo metodológico, implica de hecho cierta subjetividad y amarre o condicionamiento a las mismas.

Otro aspecto a considerar, no sólo aquí sino también en las demás técnicas que emplean escalas como unidad común de medición, es que cuando se hace uso de ellas, en realidad se comparan y se suman impactos de naturaleza distinta.

La versión original de la matriz de Batelle, ha sido con frecuencia modificada para la evaluación de impactos ambientales en diversos tipos de proyectos y emplazamientos. Valiéndose de su estructura original y de las funciones de transformación para ella formuladas, y de algunas otras disponibles en la literatura especializada, es posible, modificando la distribución y asignación de puntajes, valorar cuantitativamente el impacto ambiental de un proyecto específico. Esta versatilidad, y su clara explicitación de las bases de cálculo, constituyen ventajas comparativas con otras herramientas de valoración. Además, dado que los índices ponderales de cada parámetro representan su importancia dentro de un sistema global - el cual es el mismo para cualquier proyecto que vaya allí a ser evaluado - tales índices no variarán de un proyecto a otro en emplazamientos similares, con lo cual se reduce subjetividad en la evaluación.

Cuadro 11
Distribución puntajes Método de Batelle

| Ecología 240 | Contaminación ambiental 402 | Aspectos estéticos 153 | Aspectos de interés humano 205 |
|---|---|--|--|
| Poblaciones terrestres Pastos (14) Cosechas (14) Veg. natural (14) Plagas (14) Animales caza terrestre (14) Poblaciones acuáticas Pesca comercial (14) Veg. natural (14) Plagas (14) Pesca deportiva (14) Aves acuáticas (14) 140 | Contaminación de agua Pérdidas en las c.h. (20) DBO (25) Oxígeno disuelto (32) Coliformes fecales (18) C. inorgánico (22) N. inorgánico (25) Fosfato inorgánico (28) Pesticidas (16) pH (18) Variación de flujo (28) Temperatura (28) Sólidos disueltos (25) Sustancias tóxicas (14) Turbidez (20) 318 | Suelo Material geológico superficial (6) Relieve y topografía (16) Extensión (10) 32 Aire Olor y visibilidad (3) Sonidos (2) 5 Agua Presencia de agua (10) Interfase suelo y agua (16) Olor y materiales flotantes (5) Área de la superficie de agua (10) Márgenes arboladas y geológicas (10) 52 | Valores educacionales y científicos Arqueológico (13) Ecológico (13) Geológico (11) Hidrológico (11) 48 Valores históricos Arquitectura y estilos (11) Acontecimientos (11) Personales (11) Religiones y culturas (11) Fronteras (11) 55 |
| Hábitats y comunidades terrestres Cadenas alimenticias (12) Uso del suelo (12) Especies amenazadas (12) Diversidad de especies (14) Hábitats y comunidades acuáticas Cadenas alimenticias (12) Especies amenazadas (12) Características fluviales (12) Diversidad de especies (14) 100 | Contaminación atmosférica Monóxido de Carbono (5) Hidrocarbonatos (5) Oxidos de Nitrógeno (10) Partículas sólidas (12) Oxidantes fotoquímicos (5) Oxidos de Azufre (10) Otros (5) 52 | Biota Animales domésticos (5) Animales salvajes (5) Diversidad tipos vegetación (9) Variedad dentro de tipos de vegetación (5) 24 Objetos artesanales Objetos artesanales (10) 10 | Culturas Indígenas (14) Otros grupos étnicos (7) Grupos religiosos (7) 28 Sensaciones Admiración (11) Aislamiento (11) Misterio (4) Integración con la naturaleza (11) 37 |
| Ecosistemas Únicamente descriptiva | Contaminación del suelo Uso del suelo (14) Erosión (14) 28 | Composición Efectos de composición (15) Elementos singulares (15) 30 | Estilos de vida (Patrones culturales) Oportunidad de empleo (13) Vivienda (13) Interacciones sociales (11) 37 |
| | Contaminación por ruido Ruido (4) 4 | | |

A manera ilustrativa, se expone a continuación el empleo adaptativo de la matriz tipo Batelle, en la EIA del proyecto de construcción de la carretera Uribe–Kosta, tramo Artaza–Berango, en Biskaia (España) (Barrera, 1999). Este corredor constituye una carretera tipo autovía de nueva implantación con dos calzadas de dos carriles y arcén en cada sentido, siendo su longitud 5,6 km.

La matriz en cuestión (Cuadro 12) se configura con base en 55 parámetros o factores ambientales, agrupados en 19 componentes ambientales (Flora, Fauna, ..., Efecto barrera y Bienes culturales), reunidos a su vez en 4 categorías ambientales, cuyos índices ponderales asignados son:

- Medio natural: 110 unidades
- Contaminación ambiental: 90 unidades
- Aspectos socioeconómicos: 200 unidades
- Aspectos socioculturales: 100 unidades

De esta forma, se tendrá un total de 500 unidades como valor óptimo en el marco del ejercicio evaluativo.

La asignación de puntaje en cuestión obedece a la situación actual particular del sitio donde se localizará el proyecto; se observa que el medio natural recibe únicamente 110 unidades, ya que éste se encuentra muy alterado por la acción humana, y la obra incidirá muy poco sobre el mismo. Por otra parte los aspectos socioculturales y socioeconómicos reciben en conjunto 300 puntos, dada su importancia en el área de influencia del proyecto.

Los datos son consignados en la hoja resumen tipo Batelle, la cual se estructura según arreglo a las categorías, componentes y parámetros ambientales ya señalados; allí se registran los valores para cada parámetro, del producto de la Calidad Ambiental por la Importancia. A manera de ejemplo, se presentan en el Cuadro 13 los datos correspondientes al componente “usos del suelo” del proyecto en cuestión, así como el registro correspondiente al total del mismo. Como puede observarse, sobre un valor óptimo de 500 puntos (Calidad ambiental igual a 1 para todos los parámetros ambientales), la situación actual del medio -en sus 4 categorías- alcanza un valor de 386,55 unidades, en tanto que con la construcción del proyecto su valor es de 375,17 unidades, siendo la diferencia neta de -11,38 unidades.

| Cuadro 12 Matriz tipo Batelle de proyecto vial (Barrera, 1999) | | | |
|--|---|---|--|
| Medio Natural 110 | Contaminación Ambiental 90 | Aspectos Socioeconómicos 200 | Aspectos Socioculturales 100 |
| Flora Árboles (5) Arbustos (5) Hierbas (5) Plantas acuáticas (10) Microflora (5) Especies singulares (5) Diversidad (5) 40 | Ruido Ruido (32) Vibraciones (3) 35 | Usos del suelo (32) Expropiaciones (25) Integración en el planeamiento (6) 72 | Demografía Movimientos población (10) Distribución espacial (10) 20 |
| | Contaminación de Aguas Aguas superficiales (3) Aguas subterráneas (3) Canalización (4) R. Gobelás 10 | Empleo Directo (15) Indirecto (15) 30 | Infraestructuras Mejora infraestructura vial (10) Reducción tiempos transporte (10) Paseos peatonales y pistas de ciclistas (5) Accesos playas Sopelana (10) 35 |
| Fauna Aves (5) Reptiles (5) Mamíferos (5) Insectos (5) Especies acuáticas (5) Especies singulares (5) Efecto barrera (10) 40 | Contaminación Atmósfera Partículas (5) NOx (4) HC (2) CO (2) Pb (2) Olores (3) Visibilidad (2) 20 | Incidencia en: Sector primario (15) Sector secundario (18) Sector terciario (20) 53 | Aumento seguridad vial (10) 10 |
| | Suelo Contaminación (3) Calidad (3) Erosión (49) Inestabilidad laderas (5) 15 | Potencial desarrollo áreas periurbanas (5) Sistema territorial (8) 13 | Efecto barrera sobre la población (25) 25 |
| Ecosistema Somera descripción Principales biotopos () 30 | Saneamiento y restauración embalse Bolue 10 | Condicionamientos económicos Comarcales (32) 32 | Bienes culturales Patrimonio artístico (4) Lugares geológicos (2) Conjuntos urbanos singulares (2) Vías pecuarias (2) 10 |

De acuerdo con esto, el cambio neto es muy bajo, lo cual puede atribuirse a la degradación actual del área y a los diversos impactos positivos que conlleva la construcción y puesta en funcionamiento de la carretera. Como se desprende asimismo de la hoja resumen simplificada, presentada en el Cuadro 14, el sistema contempla a su vez un mecanismo de señales de alerta, diferenciando señales mayores de señales menores, las cuales se definen con base en un valor umbral de cambio neto. En el caso particular del proyecto analizado, se tienen 8 señales menores y 9 mayores, para un total de 17 señales.

A las señales de alerta correspondientes a cambios netos negativos deberá prestarse especial atención, ya que implican cambios de carácter adverso sustanciales por implementación del proyecto; en el proyecto vial, éste sería el caso del cambio en los valores del ruido.

| Cuadro 13 | | | | | |
|---|-----------|---------------|------------------------------|---------------|----------------------|
| Hoja de resultados tipo Batelle para componente "usos del suelo" y totales (Barrera, 1999) | | | | | |
| Componente | Peso UIP | Con proyecto | Valor en UIA Sin proyecto | Cambio neto | Señales de alerta |
| Usos del suelo | | | | | |
| Usos del suelo | 32 | 30,4 | 32,0 | -1,6 | Menor |
| Expropiaciones | 25 | 5,0 | 25,0 | -20,0 | Mayor |
| Integración en planeamiento | 15 | 14,25 | 15,0 | -0,75 | Menor |
| Subtotal | 72 | 49,65 | 72,0 | -22,35 | |
| TOTAL PROYECTO | | | | | |
| I. MEDIO NATURAL | | 91,0 | 101,0 | -10,00 | 3 |
| II. CONTAM. AMBIENTAL | | 58,92 | 79,0 | -20,08 | 7 |
| III. FACT. SOCIOECONÓMICOS | | 155,25 | 146,55 | +8,70 | 5 |
| IV. FACT. SOCIOCULTURALES | | 70,0 | 60,0 | +10,00 | 2 |
| TOTAL | | 375,17 | 386,55 | -11,38 | 17 |

1.3.6 Calificación ambiental. Esta propuesta metodológica, desarrollada por Arboleda (1994), busca identificar y evaluar los impactos generados por la construcción y realización de obras de diferente magnitud, sobre las condiciones medioambientales que pueden resultar afectadas. Ha sido empleada por las Empresas Públicas de Medellín (EPPM) en diversos proyectos, y aprobada por organismos tanto nacionales como internacionales, cuyas funciones se relacionan con el manejo y/o regulación del medio ambiente.

Las principales características de la metodología, son las siguientes:

- Es ágil, confiable, y de fácil comprensión.
- Tiene aplicabilidad en todo tipo de proyecto y para cualquier nivel de información disponible.
- Su desarrollo es de tipo secuencial de forma tal que lo obtenido en una fase, sirve como insumo para la siguiente.
- Puede someterse a ajustes, de acuerdo con las necesidades de cada proyecto.

La metodología se desarrolla en tres fases, así:

- i. Desagregación del proyecto en componentes.
- ii. Identificación de impactos.
- iii. Evaluación de impactos.

A continuación se describe cada una de ellas.

1.3.6.1 Fase 1: Desagregación del proyecto en componentes. La primera actividad que se propone abordar, es la identificación de las diferentes actividades que tienen lugar en la ejecución de la obra o proyecto; dichas actividades se agrupan en componentes. Un ejemplo, para el caso de un aprovechamiento forestal (Arboleda, 1994), sugiere la consideración de los siguientes componentes:

- Construcción de vías o caminos.
- Construcción de campamentos.
- Construcción de patios de acopio.
- Tala o apeo de los árboles.
- Transporte menor.
- Apilado, cargue, y descargue de camiones.
- Transporte mayor.

1.3.6.2 Fase 2: Identificación de los impactos. Esta fase busca identificar cuáles son los impactos producidos en el ambiente, como consecuencia de las acciones que demanda un determinado componente del proyecto. Para tal efecto, se emplea un método gráfico de Diagramas de Flujo, en forma similar al

método de redes descrito. Los diagramas permiten analizar en forma secuencial la relación Proyecto-Ambiente, conforme cada acción de un determinado componente va generando cambios en el ambiente; este análisis se hace para cada componente, y está compuesto por tres elementos básicos:

Acción: Actividades necesarias para la ejecución o construcción de un componente o para su puesta en funcionamiento.

Efecto: Proceso de tipo físico, biótico o social (económico o cultural) que puede afectarse por una acción determinada del proyecto, y que puede generar alteraciones en las relaciones que gobiernan la dinámica de los ecosistemas.

Impacto: Es el resultado final (benéfico o perjudicial) que se produce en alguno de los elementos ambientales a raíz de cambios generados por una acción del proyecto.

Como puede observarse, es de vital importancia lograr una alta compenetración con las características del proyecto que se evalúa, ya que de ello depende la identificación acertada de todos los posibles impactos que se pueden generar sobre el medio. La falta de cuidado en tal sentido, bien podría traer como consecuencia la degradación paulatina de elementos ambientales con todas sus implicaciones.

Los tres elementos se organizan esquemáticamente, en forma columnar. Por debajo de los elementos se disponen sus formas descriptivas; dicho diagrama -como ya se mencionó- se confecciona para cada componente del proyecto. El diagrama posibilita en la parte correspondiente a Efecto, realizar un análisis secuencial que va de lo general o particular, identificando cómo un efecto derivado de una acción particular, puede ser a su vez desagregado en otros efectos más específicos, cuyo análisis conjunto permite la identificación del impacto o impactos.

Tal análisis puede apreciarse en la Figura 9, en donde se expone para el caso de una acción particular del componente "Construcciones superficiales", en el marco ejecutorio del proyecto de construcción de una urbanización campestre.

1.3.6.3 Fase 3: Evaluación de los impactos. De la anterior fase se obtuvo como resultado final, un listado de los impactos generados por cada uno de los componentes. Luego es pertinente su evaluación

con base en su significancia. Cada impacto se evalúa individualmente, mediante una expresión denominada "Calificación Ambiental (Ca)", obtenida con base en cinco factores característicos de cada impacto incluidos en ella (Ecuación 9).

$$Ca = C (P [EM + D]) \quad (9)$$

Donde:

Ca: Calificación ambiental (0.1 - 10.0)

C: Clase (+ o -)

P: Presencia (0.0 - 1.0)

E: Evolución (0.0 - 1.0)

M: Magnitud (0.0 - 1.0)

D: Duración (0.0 - 1.0)

A continuación se detalla un poco más cada uno de los factores.

Clase (C): es el sentido que tiene el cambio ambiental producido, pudiendo ser positivo(+) o negativo (-), según el medio se vea beneficiado o perjudicado, respectivamente.

Presencia (P): representa la probabilidad de que el impacto que se enuncia tenga lugar efectivamente, para lo cual se expresa como el porcentaje de probabilidad de ocurrencia.

Duración (D): corresponde al período de tiempo de existencia activa del impacto -persistencia- y sus consecuencias; su evaluación se hace conforme al tiempo que permanece el impacto (muy largo, largo, corto).

Evolución (E): representa la velocidad de desarrollo del impacto desde su aparición hasta que se desarrolla plenamente con todas sus consecuencias; se expresa en unidades relacionadas con la velocidad con que se presenta el impacto (rápido, lento).

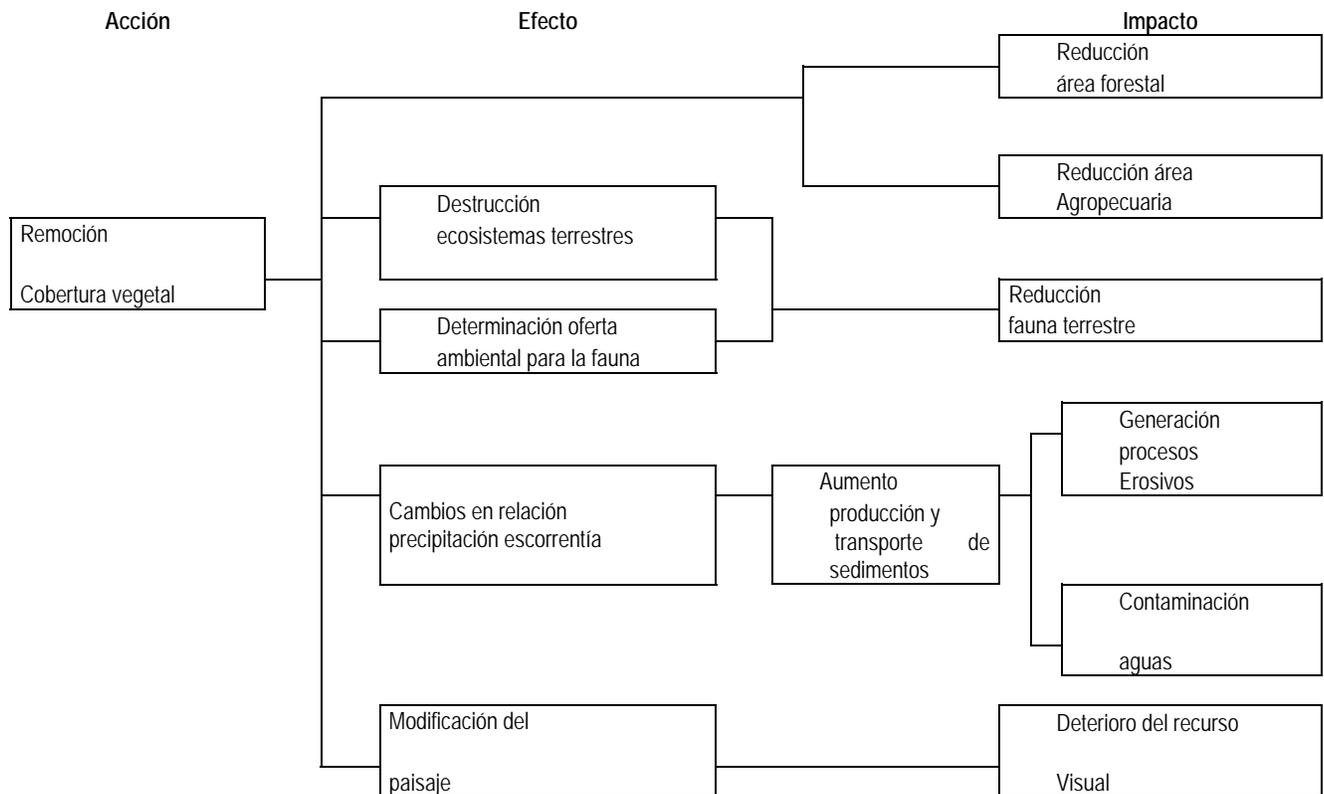


Figura 9. Diagrama para el componente " Construcciones superficiales" de una urbanización campestre.

Magnitud (M): evalúa la dimensión del cambio ambiental producido; se sugiere la presentación de los valores en términos de magnitud relativa (porcentaje) a través de comparaciones del valor del elemento ambiental afectado con y sin proyecto, en una determinada zona de influencia. Por ejemplo:

- Área afectada por tala de bosques y área total con ellos.
- Áreas con potencial paisajístico afectadas contra áreas con tales cualidades, en total, presentes en la zona de influencia.
- Longitud de corrientes de agua afectadas por sustancias contaminantes, contra la longitud total de cauces en un área determinada.
- Número de familias a relocalizar contra número de familias presentes en el área de influencia del proyecto.

Una forma alternativa para su cálculo, es mediante la utilización de funciones de calidad ambiental, las cuales relacionan la magnitud del impacto, con un valor de calidad ambiental; éstas se corresponden con

las funciones de transformación (apartado 1.3.7), sin embargo, su obtención conlleva mayor grado de dificultad.

Tabla 10. Rangos y valoración de los criterios de evaluación usados por EEPPM en un proyecto hidroeléctrico (Arboleda, 1994)

| Criterio | Rango | Valor |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Clase | Positivo (+) Negativo (-) | |
| Presencia | Cierta | 1,0 |
| | Muy probable | 0,7 |
| | Probable | 0,3 |
| | Poco probable | 0,1 |
| | No probable | 0,0 |
| Duración | Muy larga o permanente (>10 años) | 1,0 |
| | Larga (>7 años) | 0,7-1,0 |
| | Media (> 4 años) | 0,4-0,7 |
| | Corta (> 1 año) | 0,1-0,4 |
| | Muy corta (<1 año) | 0,0-0,1 |
| Evolución | Muy rápida (< 1 mes) | 0,8-1,0 |
| | Rápida (< 12 meses) | 0,6-0,8 |
| | Media (< 6 meses) | 0,4-0,6 |
| | Lenta (<24 meses) | 0,2-0,4 |
| | Muy lenta (> 24 meses) | 0,0-0,2 |
| Magnitud | Muy alta: $Mr^4 > 80 \%$ | 0,8-1,0 |
| | Alta: $Mr = 60-80\%$ | 0,6-0,8 |
| | Media: $Mr = 40-60\%$ | 0,4-0,6 |
| | Baja: $Mr = 20-40\%$ | 0,2-0,4 |
| | Muy baja: $Mr < 20\%$ | 0,0-2,0 |
| Importancia ambiental ⁵ | Muy alta: $Ca = 8,0-10,0$ | |
| | Alta: $Ca = 6,0-8,0$ | |
| | Media: $Ca = 4,0-6,0$ | |
| | Baja: $Ca = 2,0-4,0$ | |
| | Muy baja: $Ca = 0,0-0,2$ | |

Cada criterio o factor es calificado numéricamente de acuerdo a un rango que se establece inicialmente en forma cualitativa, y el cual depende de las características del proyecto que se evalúa; dichos rangos vienen dados en su forma cualitativa, conforme se presenta en la Tabla 10, ejemplificando el caso de un proyecto hidroeléctrico.

⁴ Magnitud relativa

⁵ Corresponde a la calificación ambiental (Ca) estimada mediante la Ecuación 10

Las aplicaciones del modelo sugerido plantearon la necesidad de introducir unas constantes de ponderación a las dos partes que lo conforman, con el fin de equilibrar los pesos relativos que cada una de ellas tiene. Lo anterior surgió a raíz de la detección que se hizo de incoherencias con los resultados obtenidos a través de otras metodologías o por calificaciones dadas por especialistas en la materia.

Para el efecto se propuso la introducción de dos variables **a** y **b** cuya suma debe ser igual a 10; de esta forma, el valor absoluto de C_a varía entre cero y diez (0 - 10), valor que se convierte luego a una expresión que indica la importancia del impacto (Tabla 10).

El modelo, de acuerdo a lo planteado, viene dado por la Ecuación 10.

$$C_a = C (P [a E M + b D]) \quad (10)$$

El autor utiliza los valores 7 y 3 para las constantes de ponderación **a** y **b**, respectivamente, para el caso de un proyecto hidroeléctrico.

A manera de ejemplo, se ilustra a continuación la aplicación de la metodología en el proceso de EIA producido por la construcción de un proyecto urbanístico campestre, para un impacto particular.

Impacto identificado: Reducción fauna terrestre.

Características del proyecto: Se destruirán 20 ha de bosque natural en un núcleo de 500 ha del mismo, para construcción y adecuación de vías y obras de infraestructura necesarias.

Calificación de los factores

Clase: Negativa (-). Se considera que el impacto es negativo por cuanto se romperá el equilibrio existente y flujo de energía, disminuyendo la oferta ambiental para las especies animales asociadas a dichas áreas boscosas.

Presencia: Cierta (calificación 1,0). La Presencia del impacto tiene total certeza dado que a dichos bosques se encuentran asociadas especies animales, las cuales dependen de ellos para su supervivencia.

Evolución: Rápida (Calificación 0,7). Se considera que la evolución será rápida, dado que la remoción de la cobertura vegetal para la construcción de vías e infraestructura tomará dos meses, no permitiendo la mitigación paulatina de los efectos resultantes en forma muy clara, especialmente en lo que respecta a la presencia de máquinas, cuya operación implica ruido que ahuyenta a los animales haciéndolos desplazar hacia sitios más distantes.

Duración : Muy larga (calificación 1,0). La duración del impacto será muy larga, ya que las obras que implican la remoción de cobertura vegetal serán de tipo permanente, quedando reducido dicho componente al acompañamiento silvicultural a manera de jardines y zonas verdes, de mínima extensión.

Magnitud: Para su determinación se propone establecer la comparación entre el área afectada por construcciones y el área total en bosques (20/500), dando como resultado una calificación muy baja (valor 0,04).

La calificación ambiental, con base en los cálculos expresados, viene dada por la Ecuación 11.

$$Ca = C [P [a E M + b D]] \quad (11)$$

$$Ca = - (1,0 [7,0 * 0,7 * 0,04 + 3,0 * 1,0]) = - 3,2$$

El valor calculado, -3.2, se corresponde con la categoría Calificación Ambiental Baja ($2,0 < Ca < 4,0$). Se puede decir entonces, con respecto a la reducción de la fauna terrestre por la construcción del proyecto urbanístico, que aquella es de tipo negativo pero con una importancia ambiental baja.

En los métodos analizados, se puede apreciar que las debilidades principales radican en la dificultad para asignar la Importancia de los impactos, ya que ello conlleva un alto grado de subjetividad. Existen por su parte otras metodologías que procuran contemplar las diferentes ópticas de los grupos involucrados; así por ejemplo, se han desarrollado metodologías como la Hoja de Balance de Planeación, la cual contabiliza en términos monetarios los costos y beneficios de las alternativas para las partes afectadas, las cuales se separan a su vez en productores (empresa, individuo, actividad, etc.) y consumidores (grupos afectados). Esta última separación implica dificultades ya que puede asimismo conllevar un alto grado de subjetividad, y resultar además complicada la valoración económica de ciertos impactos.

Saliéndole al paso a la primera dificultad mencionada, la Matriz de Realización de Objetivos evalúa los impactos de las alternativas en términos de costos y beneficios, a partir de las ponderaciones de los diferentes objetivos de la comunidad y de los grupos afectados, lo cual también, como se puede concluir, trae alto grado de complejidad y puede estar marcado por la subjetividad.

Las metodologías de más amplia utilización, a pesar de las limitaciones discutidas y de tratarse de valoraciones cualitativas no comparables, son las presentadas en los primeros apartados de este capítulo, destacándose entre los métodos matriciales la Matriz de Leopold y variaciones de la misma, dada su facilidad de aplicación. Sin embargo, dado que no permite el análisis de las posibles interacciones, resulta interesante la utilización de redes con la introducción de índices de cálculo o mínimamente, la complementación de sus resultados, con los esquemas de flechas de esta última metodología.

Debe resaltarse que los valores numéricos hallados, los cuales han sido denominados IGIA, no representan más que números, en tanto no estén referidos a un escenario comparativo. A este respecto es importante reportar la evaluación de impactos en proyectos mediante estas metodologías en dos escenarios distintos: proyecto sin medidas de mitigación y demás de tipo correctivo, y proyecto con tales medidas. Por otra parte, el análisis de los valores parciales de ordenadas y abscisas - como ya ha sido mencionado- es de vital importancia para identificar los elementos del medio mayormente afectados, y las actividades del proyecto que mayor efecto negativo tienen sobre éste.

Resulta destacable asimismo, el desarrollo metodológico de Arboleda (1994), en el cual se adopta una fase de análisis mediante redes o diagramas y se calcula una calificación ambiental, explicitando en cierta medida las bases de cálculo, aunque llevando implícitos asimismo criterios subjetivos para la determinación de algunos de sus factores.

A pesar de considerarse una ventaja la definición de las bases de cálculo por parte de la metodología de Batelle, y del empleo de funciones de calidad ambiental, debe notarse que la definición de los pesos asignados a cada parámetro conlleva subjetividad, máxime si es utilizada en tal forma para cualquier tipo de proyecto. Con esto en mente, bien podría pensarse en la definición de las bases de cálculo para cada proyecto con sus particularidades, o recoger la base conceptual que inspira la metodología para estructurar modelos de cuantificación similares, ya que, lo que sí queda claro es que el principio es consistente, pues

permite la aplicación sistemática eliminando en alguna medida la subjetividad resultante de distintos evaluadores al calificar buen número de parámetros considerados en otros desarrollos metodológicos.

1.3.7 Modelos integrales para la EIA. Dentro del conjunto de técnicas disponibles para la EIA, se tienen algunas que van más allá de la identificación y cuantificación de impactos; se trata de estructuras formales, que valiéndose de procedimientos estandarizados de tratamiento de la información, permiten en forma sintética identificar, predecir, valorar, e incluso analizar medidas correctoras, de impactos producidos por un proyecto, en una cualquiera de sus fases (Figura 10).

Estos métodos tienen en común el empleo de expresiones matemáticas que, calificando diversos atributos del impacto, conducen a la definición de cada elemento tipo de una matriz que organiza formalmente el proceso evaluativo.

El tratamiento que recibe la información allí consignada, mediante el empleo de funciones de transformación, trae como ventaja singular la valoración del impacto en unidades comparables o conmensurables, lo cual se indicará más adelante.

A continuación se hace una breve reseña del método elaborado por Domingo Gómez Orea (Gómez, 1988), el cual se corresponde con las características referidas. El modelo es bastante completo y permite, partiendo de un diagrama arborescente del sistema ambiental, hacer una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa del impacto ambiental, logrado esto último mediante el empleo de funciones de transformación. Además, posibilita comparar los impactos del proyecto, en los escenarios del medio, sin implementar medidas protectoras y con ellas.

La propuesta metodológica en cuestión representa bien los modelos de tipo integral, siendo sus procedimientos, en principio, similares, esto es:

- Cálculo de valores de importancia para factores.
- Selección y medición de indicadores para factores.
- Cálculo del impacto en unidades no comparables.
- Adopción o elaboración de una función de transformación.
- Cálculo del impacto en unidades comparables.

- Asignación de pesos para los diferentes niveles del sistema ambiental.
- Cálculo de valores de impacto comparables.
- Cálculo de estos valores, repitiendo el ciclo, ya con medidas de corrección incorporadas.

Si bien este modelo no es el único, sus procedimientos y cálculos son muy similares a otros de gran reconocimiento en la literatura especializada, pudiéndose indicar dentro de estos la propuesta metodológica elaborada por Vicente Conesa Fernández - Vitoria (Conesa, 1993, 1997), razón por la cual se remite a la fuente directa para su consulta, ya que su exposición en detalle es redundante para los propósitos de este texto.

1.3.7.1 Metodología para la EIA de Domingo Gómez Orea (Gómez, 1988). La evaluación se hace a partir de la formalización de una matriz o tabla de doble entrada, en la cual se disponen como columnas las acciones del proyecto, y como filas los factores ambientales; para esto, se arreglan en forma arborescente, desagregando el proyecto en tres niveles: fase, elemento y acción, y el ambiente en: medio, factor y subfactor.

En la matriz, cada celda o casilla de cruce, corresponde a un elemento tipo: impacto caracterizado en función de siete atributos, y sintetizado finalmente mediante su combinación en una expresión matemática que define su importancia. Los atributos de cada impacto que configuran cada elemento tipo, y su valoración, son los siguientes:

- Signo: indica el carácter benéfico o perjudicial del efecto, para lo cual se señala con un signo (+) o (-), respectivamente. En el caso de que el impacto sea previsible pero de difícil cualificación sin estudios específicos, se marca con una (x).
- Intensidad (I): grado de incidencia sobre el medio, valorándose como baja (1), media (2) y alta (3).
- Extensión (E): representa el área de influencia teórica del impacto, con relación al entorno del proyecto. El impacto será puntual cuando su localización sea precisa y poco extensa, siendo éste el caso de la tala de unos pocos árboles para la construcción de una bodega, en el marco de ejecución de un extenso proyecto de reforestación.

El impacto puntual recibirá una calificación de 1 punto, el impacto parcial de 2 y el impacto extenso de 3.

- Momento (M): tiempo que transcurre desde la ejecución de una actividad y la aparición del impacto por ella producida. Si dicho tiempo es cero, es decir, el efecto se produce inmediatamente, se trata de un impacto inmediato (3 puntos), si es a medio plazo -de 1 a 3 años- recibe una puntuación de 2, y si es a largo plazo -tiempo de aparición mayor a 3 años- recibe sólo 1 punto.
- Persistencia (P): se refiere al tiempo de permanencia del efecto, y puede ser temporal (1 punto), o permanente (3 puntos).
- Reversibilidad (R): es la posibilidad que existe de que las condiciones iniciales del medio puedan ser reconstruidas, una vez se haya producido el efecto. Se consideran cuatro categorías: imposible, a largo plazo, a medio plazo y a corto plazo, variando su valoración entre 4 y 1, en dicho orden.
- Posibilidad de introducir medidas correctoras: señala la posibilidad de que, mediante la introducción de tales medidas, puedan ser remediados los impactos producidos. Su valoración cualitativa diferencia cuatro categorías, según puedan éstas ser o no introducidas, y el momento en que sería ello factible: en la fase de proyecto (P), en la fase de obra (O), en la fase de funcionamiento (F), y si no es posible (N).

Una vez valorados los atributos, se procede a su conjugación matemática, mediante la Ecuación 12:

$$Importancia = +/- (3I + 2E + M + P + R) \quad (12)$$

La matriz de impactos hasta aquí obtenida, permite establecer una valoración cualitativa, que se corresponde con la primera parte del formato para EIA (Figura 10); con base en ella, pueden hacerse unas primeras interpretaciones acerca de los impactos que se producen por diferentes actividades de un proyecto. Así, la sumatoria de los valores de importancia calculada según filas, permitirá obtener una idea de los subfactores ambientales que resultan mayormente afectados por la ejecución del proyecto; de manera análoga, la sumatoria calculada por columnas, permitirá identificar las acciones del proyecto que producen los impactos más relevantes.

En esta matriz podrán así mismo ser señalados con banderas rojas o señales de alerta, aquellos impactos de imposible corrección y de alta puntuación.

Pasando a la complementación del lado derecho del formato para EIA -columnas 1 a 22- se diferencian tres conjuntos de procedimientos:

- i. Predicción de impactos
- ii. Valoración de impactos
- iii. Prevención de impactos.

i. Predicción de impactos: comprende las tres primeras columnas del formato: indicador de impacto, unidad de medida y magnitud del impacto en unidades inconmesurables. El resultado final de este primer procedimiento, permitirá entonces, a través de la adopción de un indicador, obtener la magnitud del impacto mediante la comparación de los escenarios "factor con proyecto" y "factor sin proyecto", generando su sustracción el cambio neto atribuible a la acción.

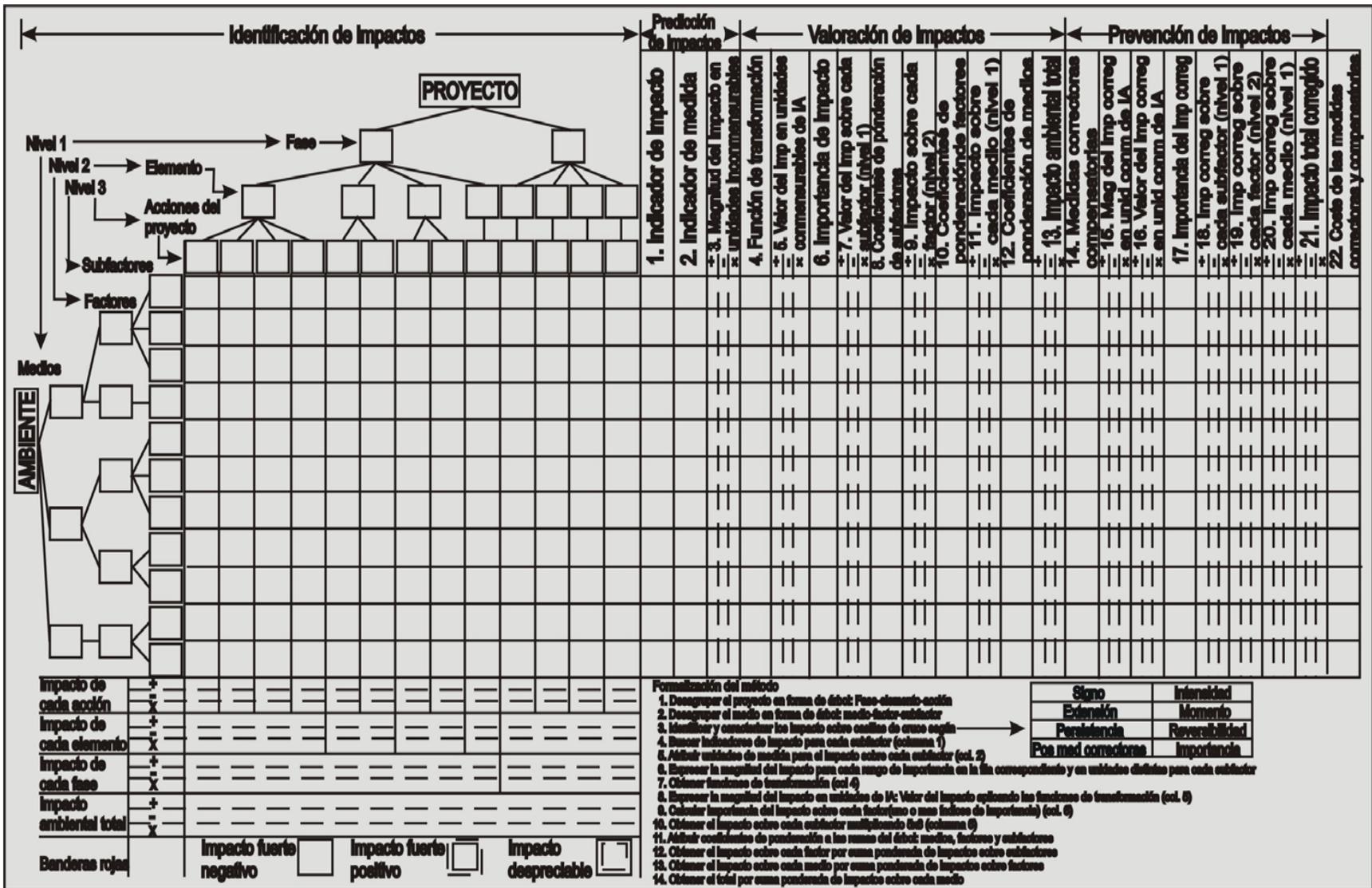


Figura 10. Formato para EIA. Fuente: Adaptado de Gómez (1988).

Para esto se parte de la elección de un indicador que permita medir adecuadamente cada factor ambiental. Así por ejemplo, y de manera simplista, en caso de la evaluación del impacto que tendría sobre el factor bosques naturales, la tala rasa de 10 ha para construcción de vías e infraestructura física (edificaciones) de un proyecto industrial, podría seleccionarse como indicador la superficie de bosques naturales afectada con relación a la superficie total, cuyas unidades vendrían dadas en porcentaje. El Cuadro 14 desarrolla el ejemplo propuesto.

ii. Valoración de impactos: la valoración de impactos que comprende las columnas 4 a 13, comienza por la adopción de una función de transformación, a través de la cual las magnitudes de los diferentes impactos, puedan ser comparadas en una escala intervalar homogénea, entre cero (0) y uno (1).

Los criterios para elaboración de funciones de transformación adoptan consideraciones legales (normativas de calidad, niveles de emisión e inmisión permisibles, etc.) y de tipo técnico, con base en opiniones de expertos. Para esto puede acudir a técnicas de convergencia como consultas a grupos de expertos o encuestas tipo Delphi (Anexo 4).

Estas funciones relacionan la magnitud de un factor ambiental -expresada a través de un indicador- con la calidad ambiental, la cual se valora entre 0 y 1 y que se corresponde con una forma abstracta de expresión del indicador.

Dado que los diferentes indicadores son llevados a la misma escala de valoración, y que la comparación que se establece relaciona la variación de la calidad ambiental con y sin proyecto, los valores así obtenidos son comparables.

El caso de relaciones directas corresponde a aquellos factores ambientales que se consideran positivos, como el de la calidad del paisaje, la biodiversidad, el número de especies endémicas, el nivel de empleo y el oxígeno disuelto en el agua, entre otros. Por el contrario, las relaciones indirectas están representadas por elementos indeseables, como es el caso del ruido, de la contaminación del aire y suelo, la ocurrencia de incendios e inundaciones, y las pérdidas de suelo, entre otros.

Cuadro 14
Predicción de impactos para un proyecto industrial

De acuerdo a lo anteriormente dicho, si para el ámbito del proyecto se contara con 40 ha de bosques naturales, se tendría:

- Indicador de impacto: Superficie de bosques naturales afectada
- Unidad de medida: Porcentaje (%)
- Magnitud del impacto en unidades inconmesurables:

| | |
|-----------------|-----|
| + Sin proyecto: | 0% |
| + Con proyecto: | 25% |
| + Neto: | 25% |

El valor así obtenido no es comparable con los correspondientes a otros factores, dados su diferente carácter y unidades de medida respectivas. Es importante hacer aquí notar que, en el caso de que varias acciones produzcan efectos de diferente importancia sobre un mismo factor, se tendrían varias casillas correspondientes a la magnitud, medidas a través del mismo indicador, pero de valoración diferente.

En el ejemplo en desarrollo, si la construcción de vías implica la destrucción de 1 ha de bosque natural, y la construcción de edificaciones por su parte 9 ha, se tendrán en la fila correspondiente al factor bosques naturales dos casillas de cruce o elemento tipo, para los cuales supongamos la siguiente calificación de atributos presentada abajo.

El impacto generado por la construcción de vías de acceso es negativo sobre el factor bosques naturales, ya que conlleva su eliminación, es de alta intensidad ya que implica su destrucción directa, y su extensión es puntual, ya que es muy localizada la destrucción del recurso en el ámbito del proyecto para la construcción de una carretera corta de acceso a la planta industrial. Una vez se presenta la acción ocurre el efecto - plazo de manifestación inmediato -, siendo éste permanente, irreversible y sin posibilidad de implementar medidas de corrección.

En el caso de la construcción de edificaciones, se tienen las mismas características de los atributos correspondientes al impacto anterior, con excepción de la extensión, la cual no permite una ubicación precisa dentro del entorno, dada la localización más o menos dispersa de algunos periféricos industriales.

Elemento tipo:
Construcción de vías x bosques naturales
Importancia = $-(3 \times 3 + 2 \times 1 + 3 + 3 + 4) = -21$

- Elemento tipo:
Construcción de edificaciones x Bosques naturales
Importancia = $-(3 \times 3 + 2 \times 2 + 3 + 3 + 4) = -23$

| | |
|---|-----|
| - | 3 |
| 1 | 3 |
| 3 | 4 |
| N | -21 |

| | |
|---|-----|
| - | 3 |
| 2 | 3 |
| 3 | 4 |
| N | -23 |

De esta forma, en la misma fila - bosques naturales - se tendrían dos impactos de magnitud diferente, tales que:

| Actividades | | | Indicador | Unidad | Magnitud | | | Importancia |
|-------------------|----------------------|-------------------------------|---|--------|----------|------|------|-------------|
| Subfactor | Construcción de vías | Construcción de edificaciones | | | Sin | Con | Neto | |
| Bosques naturales | - 21 | - 23 | Superficie de bosques naturales afectados | % | 0 | 2,5 | 2,5 | - 21 |
| | | | | | 0 | 22,5 | 22,5 | -23 |

Para la construcción de las funciones de transformación, se dispone sobre un sistema de coordenadas, en el eje de las abscisas, la magnitud correspondiente al indicador ambiental, y en el eje de las ordenadas el valor de la calidad ambiental, entre 0 y 1. Dichas funciones pueden ser continuas o discretas; en el caso de ajuste a curvas continuas, éstas pueden ser de diferentes formas: sigmoides, rectas, en campana,

semiesféricas, etc., todas las cuales pueden además ser directas o inversas, según los valores de ordenadas crezcan conforme lo hacen los de las abscisas, y viceversa, respectivamente (Figura 11).

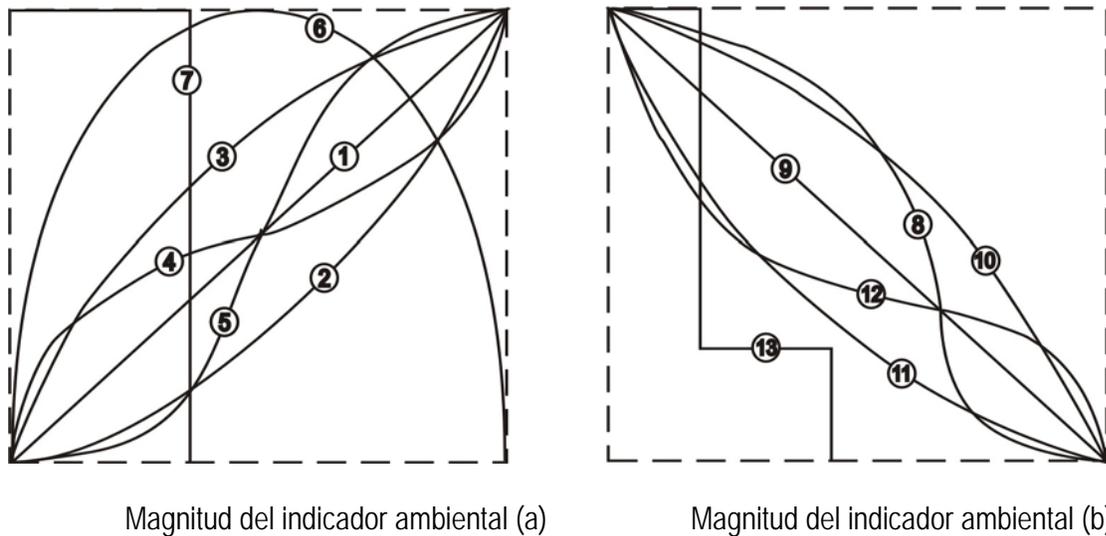


Figura 11. Formas típicas de funciones de transformación. Fuente: Adaptado de Gómez (1999). a) Formas directas: 1. La calidad ambiental es proporcional a la magnitud del factor ambiental. Ej. Vegetal natural. 2. La calidad ambiental crece menos que proporcionalmente a la magnitud del factor cuando ésta es escasa y mas que proporcionalmente cuando está próxima a su límite superior. Ej. Complejidad de la vegetación. 3. La calidad ambiental se magnifica cuando el factor está escasamente representado y crece menos que proporcionalmente cuando abunda. Ej. Suelo agrícola productivo, olores. 4. La calidad ambiental se magnifica en los extremos y se ralentiza en los valores intermedios del factor. Ej. Rareza de los elementos singulares del paisaje. 5. Inversamente a la anterior se da mucha importancia a las variaciones en la parte central de la variación del factor. Ej. Oxígeno disuelto en el agua. 6. Función con un máximo de calidad en un punto intermedio. Ej. Temperatura o pH del agua, donde el máximo corresponde al equilibrio natural, relación empleo/población activa o carga de ganado óptima. 7. Función para los parámetros que sólo pueden variar entre aceptable-no aceptable. Ej. Sustancias tóxicas. b) Formas inversas: 8. Ej. Coliformes fecales, óxidos de nitrógeno. 9. Ej. Especies dañinas. 10. Ej. Pérdida de agua en cuencas, erosión del suelo. 11. Ej. Efectos estéticos de la variación del nivel de agua en embalses. 12. Ej. Turbidez del agua. 13. Ej. Indicador cuya calidad se asocia a valores discretos: erosión.

El procedimiento para la obtención de las funciones de transformación comprende los siguientes pasos:

1. Obtención del nivel máximo de información relativo a la calidad ambiental, incluyendo para el efecto aspectos normativos y consulta a expertos.
2. Construcción de un sistema de coordenadas bidimensional.

3. Ubicación en el eje de las abscisas, coincidiendo con el valor 0 el menor valor del factor, y su valor máximo con el extremo derecho de la gráfica.
4. Ubicación en el eje de las abscisas, coincidiendo con el valor de la calidad ambiental 0, el origen, y con el valor 1 el extremo derecho de la gráfica.
5. Esquematación de la función.

Para la obtención de mejores resultados, se recomienda que la construcción de la curva sea producto de consultas reiteradas a grupos de expertos, siendo el modelo final aquél que mejor se ajuste a las elaboradas por dichos grupos (Gómez, 1988, 1999; Conesa, 1993). Por razones de espacio en el formato para EIA (Figura 10), en la columna correspondiente a la función de transformación – columna 4 – solamente se indica el tipo de función.

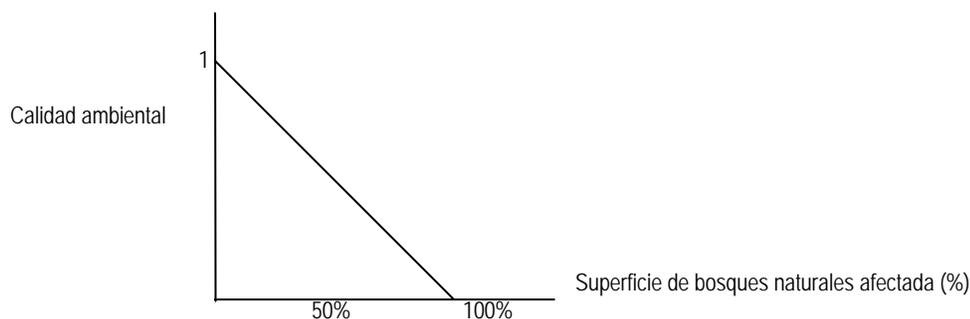
Llevando los datos de la tercera columna al eje de las abscisas de la función de transformación correspondiente, se obtendrá en las ordenadas el valor del impacto, ya en unidades comparables; este valor de impacto será el resultado de la diferencia calculada entre la calidad ambiental con y sin proyecto. El Cuadro 15 retoma el ejemplo presentado en el Cuadro 14 sobre el proyecto industrial.

En la columna 6 se coloca la importancia del impacto, y en la columna 7 el impacto sobre los subfactores, la cual es el resultado de multiplicar la columna 5 por la columna 6 (Valor del impacto en unidades conmensurables x Importancia del impacto).

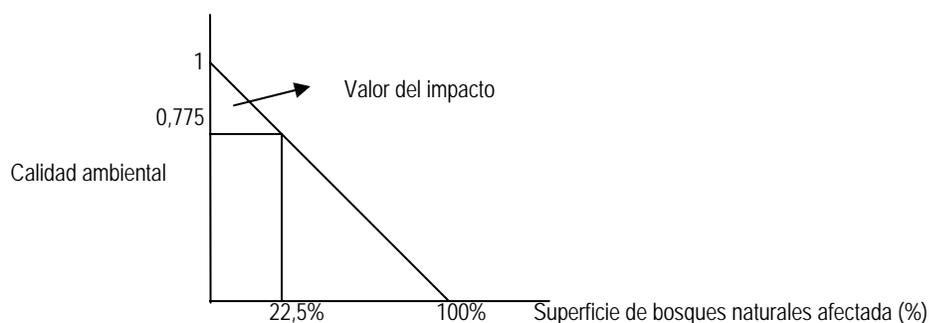
Las columnas 8, 10 y 12 se ocupan de asignar pesos o coeficientes de ponderación a los diferentes niveles que hacen parte del diagrama arborescente propuesto desde un comienzo: Subfactores, Factores y Medios. Para esto, se puede distribuir un total de puntos, de manera similar a lo descrito para el sistema Batelle. Al momento de asignar estos puntajes es necesario acudir a grupos de expertos mediante la técnica Delphi (Anexo 4).

Cuadro 15
Valoración de impactos para un proyecto industrial

Así, retomando el ejemplo del proyecto industrial, podría considerarse la siguiente función de transformación correspondiente al indicador "superficie de bosques naturales afectada":



Para el impacto producido por la construcción de edificaciones, se tendría:



Así, los valores del impacto en unidades conmensurables serán, 0,025 para la construcción de vías, y 0,225 para la construcción de edificaciones, los cuales se consignarán en la quinta columna, disponiéndose bajo el signo (+) en caso de ser benéfico (calidad ambiental con proyecto - calidad ambiental sin proyecto < 0), y bajo el signo (-) en caso contrario. Completas guías de funciones de transformación se tienen de comienzo en las elaboradas por el sistema Batelle (Batelle Institute, 1972), y en las obras de Conesa (1993) y Gómez (1988, 1999).

El impacto sobre cada nivel se calcula mediante suma ponderada de los impactos de los elementos que conforman cada uno de estos, siendo tales valores consignados en las columnas 9, 11 y 13.

iii. Prevención de impactos: finalmente, el sistema ofrece la posibilidad de valorar el impacto final una vez sean implementadas medidas correctoras, siendo para el efecto nuevamente calculadas las columnas 3, 5, 6, 7, 9, 11 y 13, disponiéndose como valores corregidos en la columnas 15 a 21.