

Indicadores Cuantitativos de los Impactos Generados en Proyectos de Desarrollo Líneales

Recibido para evaluación: 20 de Abril de 2004
Aceptación: 11 de Junio de 2004
Recibido versión final: 24 de Junio de 2004

Jesús Efrén Ospina N.¹
Álvaro de J. Lema T.²

RESUMEN

Se plantea una propuesta metodológica para la elaboración de indicadores cuantitativos de los impactos generados por proyectos de desarrollo lineales, específicamente de transmisión de energía eléctrica, teniendo como escenario un modelo de gestión ambiental por dimensiones (físico, biótico, cultural, económico y político).

El modelo propuesto rescata el análisis integral e interdisciplinario, para determinar el grado de afectación que un proyecto genera sobre una dimensión y sus relaciones con las demás. Los indicadores hallados son una buena herramienta para soportar la planeación, formulación de proyectos, toma de decisiones y estudios de Índole ambiental, mayor eficiencia en costos de gestión, técnicas de generación de alternativas de localización, mejores gestiones de recursos económicos y humanos, entre otros.

PALABRAS CLAVE: Indicadores Cuantitativos, Gestión Ambiental, Impacto Ambiental, Dimensiones Analíticas.

ABSTRACT

This work outlines a methodological proposal for the elaboration of quantitative indicators of the impact caused by electrical power transmission projects, using the perspective of the model of environmental administration by dimensions (Physical, Biotic, Cultural, Economic, and Political).

The model achieved an integral and interdisciplinary analysis, managing to determine what the degree of impact that a project generates on a dimension and its relationships to the others, moreover the indicators identified are useful tools that should help support planning, project formulation, decisions making, and environmental studies, such as: environmental management plans and greater efficiency in the estimation of administrative costs, as well as in the techniques of generating location alternatives, and also may lead to better administration of economic and human resources, among others.

KEY WORDS: Quantitative Indicators, Environmental Management, Environmental Impact, Dimensions.

1. Ing. Forestal, Esp. en Gestión Ambiental, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
jeospina@colforest.com.co

2. Profesor Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
adjlema@unalmed.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de desarrollo producen cambios y modificaciones en el medio ambiente sobre el cual tienen algún tipo de influencia directa o indirecta. Para minimizar y contrarrestar sus impactos, se necesitan mecanismos para que estas actividades no se conviertan en un impedimento para el «desarrollo sostenible».



El Modelo de Gestión Ambiental en proyectos de desarrollo logra identificar de forma cualitativa en su matriz de análisis por dimensiones (biótico, físico, económico, cultural y político), los impactos ambientales que la alteración en cualquier elemento de una dimensión puede crear en otra, aparte de la evaluación cualitativa se precisa la evaluación cuantitativa del grado de afectación de tales impactos, para hacer que los estudios, avances y desarrollo de modelos y herramientas orientados a la Gestión Ambiental sean más eficientes y tengan una mayor aplicabilidad y confiabilidad.

El trabajo que aquí se presenta, constituye una propuesta de indicadores para calificar y clasificar los impactos por su grado de influencia, con sus cuantificaciones estadísticas, en proyectos de transmisión de energía eléctrica, calificados por ISA.

El documento se estructura así: en la sección 2 se presenta la metodología de la que hacen parte cuatro fases fundamentales a saber: recopilación de información, elaboración o complementación de la matriz de chequeo de impactos, elaboración de indicadores y análisis interdisciplinario; sección 3, se presenta el análisis y discusión de resultados donde se desarrolla de forma más concreta la metodología propuesta, objetivo principal de este trabajo, además se realizan una serie de relaciones cruzadas de los impactos entre dimensiones por medio de análisis estadísticos y por último en la sección 4 se llega a algunas conclusiones y recomendaciones producto de la investigación.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se presentan las cuatro fases metodológicas.

2.1. Fase 1. Recopilación de información

Recopilación, procesamiento y análisis de toda la información secundaria necesaria, relacionada con los Proyectos de Transmisión de Energía Eléctrica (PTEE), realizados por ISA, que constituyen el espacio muestral (18 EIA); la información total disponible, decantada en la mejor forma posible.

2.2. Fase 2. Elaboración o complementación de matriz chequeo de impactos

1. La fase 1 permitió identificar los impactos generados por los PTEE, al analizar y cruzar la información encontrada en las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) de dichos proyectos, 12 estudiados por (Sejín, 2002) con el propósito de validar y homologar los impactos ambientales asociados a las líneas de transmisión de Energía Eléctrica, según las Guías Ambientales del M.M.A. y complementados a 18 para una mayor representabilidad teniendo en cuenta las respectivas caracterizaciones ambientales de las rutas y anexos cartográficos, entre otros.
2. Los impactos identificados fueron catalogados dentro de una de las dimensiones de la matriz de dimensiones analíticas (Biótica, Física, Económica, Cultural, Política) de acuerdo a sus características propias y elementos afectados.
3. Una vez identificados los impactos y determinada la respectiva dimensión a la que pertenecen, se identificaron las variables de mayor incidencia y soporte informativo y explicativo del fenómeno (impacto).

2.3. Fase 3. Elaboración de Indicadores

1. Se elaboraron funciones e índices relativos de evaluación ambiental del grado de influencia o impacto, negativo o positivo, en cada una de las dimensiones (biótica, física, económica, cultural y política) al ser impactadas, al actuar sobre las demás y a nivel de las resultantes de la matriz.
2. Se calificaron los impactos identificados en cada dimensión, así como sus variables según se considerara el peso dentro del modelo propuesto.
 - a. Para los impactos dentro de cada dimensión se consideró una ponderación o una calificación directamente proporcional al porcentaje de participación de dichos impactos sobre el grado de afectación de magnitud alta que estos mostraron tener de acuerdo al análisis estadístico realizado a partir de los 18 EIA. Por ejemplo, los impactos pertenecientes a la dimensión física: desestabilización de laderas (DL), Afectación de cuerpos de agua (ACA), Generación de residuos (GR) y generación de interferencia e inducción eléctrica (GIE), que presentaron una participación en dicha dimensión de 19.72%, 10.78%, 0% respectivamente dentro del grado de afectación de magnitud alta, dentro del modelo recibieron calificaciones de 4, 3, 2 y 1 respectivamente, que serán explicadas a continuación.
 - b. Las variables de mayor explicación en cada impacto fueron categorizadas o inscritas dentro de ciertos rangos, luego de consultar otra literatura adicional de IGAC, IDEAM, INER, EPA, entre otras, complementarias a los temas y propósitos del presente trabajo. Las calificaciones otorgadas a los rangos obtenidos para cada variable se realizaron de acuerdo a una escala jerárquica de 1 a 5 según el grado de afectación del elemento en cuestión, de menor a mayor afectación o impacto. De otro lado el peso de las variables dentro del modelo propuesto para cada impacto fue resultado del énfasis e importancia que las diferentes firmas consultoras dieron a estas en los diferentes estudios y evaluaciones.
3. Finalmente para el cálculo de los índices de impacto, las variables fueron multiplicadas por un coeficiente según la importancia o el peso de cada una en el modelo y luego relativizados por la suma de ponderantes. Además las variables se calificaron de acuerdo a su presencia o no en las diferentes dimensiones y/o proyectos, tomando el valor de uno (1) cuando está presente y cero (0) en caso contrario. En todos los casos se intenta un proceso de "cuantificación" de las variables cualitativas para acercarlas a manejos multivariados, lo cual mitiga el concepto de escala.

Para una relativización lo más objetiva posible de las variables, se esperan calificaciones por pruebas como las de Pareto¹ para asumir la importancia de las variables, en paneles de expertos en cada tema y en el contexto general.

4. El anterior paso permite encontrar la magnitud de los impactos en cada dimensión, es decir la diagonal de la matriz de dimensiones analíticas. Con el fin de completar dicha matriz se realizó una serie de regresiones múltiples tratando de observar si las variables de los impactos de una dimensión daban explicación al generado en las demás, es decir, buscando determinar las relaciones de los impactos que son originados en una dimensión y su efecto manifestado en otra.

2.4. Fase 4. Análisis interdisciplinario

1. Esta primera aproximación fue socializada para someterla al análisis por parte de un grupo interdisciplinario de expertos conformado por funcionarios de ISA, con una larga trayectoria en la planificación y puesta en marcha de proyectos de transmisión de energía eléctrica en Colombia. Este grupo se encargaría de validar o no lo propuesto, asesorar el proceso cuando lo considerara conveniente y sugerir los ajustes y cambios necesarios.
2. Los índices fueron ajustados de acuerdo a las recomendaciones dadas por el panel de expertos y posteriormente aplicados a los 18 estudios o proyectos ya referidos, los cuales serán presentados más adelante .

Es importante anotar que la metodología descrita se hace mucho más clara y entendible en la siguiente sección, principal propósito de la investigación.

¹ Principio de Pareto: "En cualquier relación de causa efecto el 80% de los efectos procede del 20% de las posibles causas", porcentajes en cierta medida simbólicos pues sólo tienen como significado que pocas causas tiene muchos efectos; este principio se ha convertido en una guía metódica en muchos campos como la geografía, economía, toma de decisiones por consenso después de paneles de opiniones expertas, etc.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Recopilación de información

De la revisión exhaustiva de toda la información existente de los proyectos de transmisión de energía eléctrica, realizados por ISA, que se consideró el espacio muestral, se extractaron los elementos esenciales, anotando que a mayor base muestral mejores los resultados. Se espera llegar en un futuro a determinar un tamaño de muestra adecuado para el cálculo de los errores tipo I o potenciales que den un mejor manejo estadístico a las pruebas, ya que no es posible un juicio de la muestra usada.

3.2. Identificación de impactos ambientales causados por los proyectos de transmisión de energía eléctrica (PTEE)

Los proyectos de líneas de transmisión de energía eléctrica, corresponden a proyectos lineales localizados en corredores en los cuales se imponen restricciones parciales o totales para el uso del suelo, además desde el punto de vista de impactos ambientales dichos proyectos en su mayoría sólo tienen un alcance veredal y su orden de magnitud no es muy alto si se les mira por separado, pero si se consideran en forma agregada, los proyectos lineales atraviesan una gran diversidad de medios naturales y humanos haciendo más compleja su gestión ambiental (Ángel, 2000).

Mediante el proceso de validación y homologación de impactos ambientales asociados a tales proyectos realizado por (Sejín, 2002), fueron identificados los impactos en los diferentes EIA realizados por ISA y homologados según las Guías Ambientales del M.M.A.

3.2.1. Impactos ambientales en los PTEE

Producto del anterior proceso, fueron homologados los impactos presentados en la Tabla. 1.

Tabla. 1.
Impactos identificados y homologados para PTEE

NOMBRE DEL IMPACTO EN EL PROYECTO	CÓDIGO*	ABREVIATURAS**
Generación de expectativas	LT01	GE
Generación de molestias a la comunidad	LT02	GMC
Potenciación de conflictos	LT03	PC
Generación temporal de empleo	LT04	GTE
Daños a cultivos y mejoras	LT05	DC
Daños a los accesos	LT06	DA
Incremento de riesgo de accidentalidad	LT07	IRA
Desplazamiento de familias	LT08	DF
Desplazamiento de infraestructura	LT09	DI
Afectación del patrimonio histórico y arqueológico	LT10	APH
Modificación del uso del suelo	LT11	MUS
Alteración del paisaje	LT12	AP
Generación de radio interferencia e inducciones eléctricas	LT13	GIIE
Desestabilización de laderas	LT14	DL
Generación de residuos	LT15	GR
Afectación de cuerpos de agua	LT16	ACA
Pérdida de cobertura vegetal	LT17	PCV
Afectación matriz de vegetación	LT18	AMV
Afectación a comunidades faunísticas	LT19	ACF
Afectación al patrimonio natural	LT20	APN

*Es el adoptado por las Guías del M.M.A.

**Son las iniciales de los nombres de los impactos y serán las utilizadas en el desarrollo del trabajo.

3.3. Diseño metodológico para la elaboración de indicadores cuantitativos en los PTEE

En el análisis de los EIA realizados por las diferentes firmas consultoras, puede observarse que los impactos LT13, LT14, LT15, LT16 están claramente definidos y directamente relacionados a la dimensión física, mientras LT17, LT18, LT19, LT20² se relacionan y definen en la dimensión biótica.

Respecto a las dimensiones anteriormente referidas, el INER (1.998) considera que los elementos objeto de prevención del deterioro, conservación ambiental y protección jurídica no están constituidos únicamente por los ejemplares de flora y fauna, si no por las unidades ecosistémicas que ellos conforman y más aun, por el equilibrio natural que se produce dentro de los mismos y que representa la estabilidad ambiental deseada.

De otro lado los impactos del LT01 al LT12 se encuentran confusamente definidos dentro de la dimensión social, los cuales deben ser considerados o redefinidos dentro de uno de los componentes de dicha dimensión, es decir, cultural, económica o política.

Al considerar lo cultural -con su gran dificultad definitoria, como el complejo de relaciones entre los individuos y las comunidades y de estos con su medio o entorno, dependiendo del grado de conocimiento o comprensión, de su forma de tenencia o sus medios de producción- aparecen ciertas y diferentes manifestaciones como: la adaptabilidad, expectativas, desarraigo, interés, posiciones, mitificación, es decir, manifestaciones creadas desde el ser. De acuerdo con las relaciones hombre-medio (entorno), con el conocimiento o apreciación y el modo de inserción, se puede considerar que la generación de expectativas (LT01), generación de molestias a comunidades (LT02), incremento a riesgo de accidentalidad (LT07), desplazamiento de familias (LT08), afectación del patrimonio histórico arqueológico (LT10) y alteración del paisaje (LT12) son impactos directos sobre el componente cultural.

Según el INER (1.998), el impacto sobre el componente cultural comprende los diferentes grupos humanos que habitan en los corredores que van a ser afectados, sus relaciones con el medio, sus características y la dinámica de sus procesos culturales, es decir, sus especificidades simbólicas, tecno-económicas y sociales, y sus expresiones adaptativas en relación con los posibles cambios o modificaciones que serán introducidos con el proyecto.

La potenciación de conflictos (LT03) se considera un impacto político dado que incrementa procesos ya iniciados en cuanto a intereses que están en etapas legales o controversiales, generándose por lo tanto mayores polarizaciones y procesos más complejos de negociación, discusión, concertación u otros que podrían ser de larga duración en algunas ocasiones.

Las formas de organización social y su lógica de movilización, las estructuras de poder institucional y parainstitucional, los conflictos por el uso de los recursos naturales, los de tipo territorial y social, del mismo modo que la identificación de los conflictos que genere el proyecto, su dimensionamiento, la caracterización de las formas de organización social y respuestas organizativas constituyen aspectos determinantes para evitar la potenciación, polarización y emergencia de conflictos. (Carmona, 1.996, Citado por el INER, 1.998)

Se consideran impactos económicos: la generación temporal de empleo (LT04)³, daños a cultivos (LT05), modificación de uso del suelo (LT11), desplazamiento de infraestructura (LT09) y daños a accesos (LT06); en cuanto afectan directamente los medios de producción y comercio, fundamentales para el mantenimiento de la producción, acumulación y/o la subsistencia de los pobladores.

La estructura productiva es una variable que denota las múltiples interacciones entre factores de producción (tierra, capital, trabajo), los cuales a su vez posibilitan la consolidación de diferentes actividades productivas, inscritas dentro de sectores económicos espacializados en un contexto nacional, regional o local. Igualmente la estructura productiva contempla el acervo del capital físico, identificado esencialmente con la infraestructura (INER, 1.998).

De otro lado la caracterización de los tamaños de predios permite la identificación de correlaciones entre ellos, los diversos usos del suelo, y las relaciones sociales de producción. Su conocimiento permite definir la clase de afectación que los proyectos pueden generar (INER, 1.998).

2. Aunque la afectación del patrimonio natural (LT20) es un impacto directo sobre lo biótico, este puede ser considerado Impacto político por las restricciones de la normatividad ambiental en áreas estratégicas, siendo más relevante este aspecto en las primeras etapas del proyecto.

3. Este impacto es considerado positivo si el personal empleado es población desempleada del área de influencia del proyecto, negativo si el personal empleado es trasladado de otras actividades o de otras regiones diferentes al área de influencia.

La Tabla 2 presenta los impactos que corresponden a cada dimensión analítica de acuerdo a lo expuesto anteriormente, sus magnitudes (resultado del análisis estadístico preliminar) y calificaciones (teniendo como criterio la columna 3 de la tabla, valores de magnitud alta para cada impacto).

Tabla. 2.
Impactos por Dimensión,
Magnitud y Calificación propuesta
para Elaboración de Índice

DIMENSIÓN	IMPACTOS	MAGNITUD (%)			CALIFICACIÓN PARA IND.
		A	M	B	
Física	DL	19,72	38,42	41,84	4
	ACA	10,78	33,92	55,20	3
	GR	0	0	100,00	2
	GIIE*	-	-	-	1
Biótica	FEB**	41,51	25,97	32,52	-
	AMV	24,35	33,98	41,66	3
	PCV	22,59	38,81	38,62	2
	ACF	20,83	40,79	38,38	1
Cultural	IRA	40,27	17,90	42,19	6
	AP	35,31	43,44	21,25	5
	DF	26,95	33,15	40,36	4
	GE	26,86	53,21	20,25	3
	APH	20,00	47,59	32,42	2
	GMC	2,48	21,50	76,44	1
Económica	DA	29,57	47,02	23,75	5
	DI	27,98	30,13	52,40	4
	MUS	18,54	64,47	17,71	3
	DC	13,91	37,72	48,74	2
	GTE***	8,65	36,75	54,93	1
Política	APN	49,18	16,68	34,65	2
	PC	42,98	25,13	32,4	1

*Este impacto se incluye con la menor calificación, debido a su poca documentación, pero de indudable presencia, el cual podrá ser utilizado en futuros estudios de forma más eficiente cuando se encuentren algunas variables que lo expliquen.

**Aunque en todos los estudios revisados la fragmentación y efecto de borde (FEB) aparece como un impacto independiente este fue homologado en el impacto de afectación de la matriz de vegetación (AMV) convirtiéndose en una de sus variables explicativas.

***Son muy pocos los estudios que reportaron este impacto de tipo negativo, por lo general es muy poco el personal desempleado que estas obras alcanzan a contratar e incluso en algunas ocasiones son personas que laboran en otras actividades, además son empleos de muy corta duración (etapa de construcción) debiendo volver este personal al estado inicial o quizás más desfavorables (etapa de operación).

Fuente: Ospina, 2004

3.3.1. Determinación de funciones de impacto

En esta fase se determina de forma simple, por medio de funciones, la relación y efectos directos que una afectación sobre una dimensión tiene sobre ella misma. Para tal efecto se toma como base lo determinado en el numeral anterior (Ver tabla. 2)

Función de Impacto Físico –Físico
 $I_{F-F} = f(GIIE, DL, GR, ACA)$

Función de Impacto Biótico-Biótico
 $I_{B-B} = f(PCV, AMV, ACF)$

Función de Impacto Económico-Económico

$$I_{EE} = f(GTE, DC, DA, MUS, DI)$$

Función de Impacto Cultural-Cultural

$$I_{CC} = f(GE, GMC, IRA, DF, APH, AP)$$

Función de Impacto Político-Político

$$I_{PP} = f(PC, APN)$$

3.3.2. Propuesta de un índice relativo de evaluación de impacto ambiental

Continuando el desarrollo de la metodología, la tabla 2 presenta la distribución de los porcentajes según su grado de afectación: alto, medio o bajo para los impactos identificados en cada dimensión, además se propone la calificación para la elaboración del índice de impacto (ponderador), tomando como criterio de decisión el porcentaje de participación de los impactos, de acuerdo con la columna considerada de magnitudes altas (Véase columna 3 y 6 de la tabla), donde, uno (1) representa el impacto de menor porcentaje de participación en el grado de afectación de magnitud alta y va en aumento a medida que se hace mayor la participación.

Para el cálculo de los índices de impacto (I_i) por lo ya expuesto, las variables se multiplican por un coeficiente según la importancia de cada variable en el modelo, explorado en paneles de expertos o en consultas a ellos, y luego relativizados por la suma de ponderadores, de acuerdo con los valores presentados en la tabla anterior. Los índices de impacto se pueden expresar entonces así:

$$I_{IF-4} = (DLR^*4 + ACAR^*3 + GRR^*2 + GIIER^*1)/10$$

$$I_{IB-B} = (AMVR^*3 + PCVR^*2 + ACFR^*1)/6$$

$$I_{IC-C} = (IRAR^*6 + APR^*5 + DFR^*4 + GER^*3 + APHR^*2 + MCR^*1)/21$$

$$I_{IE-E} = (DAR^*5 + DIR^*4 + MUSR^*3 + DCR^*2 + GTER^*1)/15$$

$$I_{IP-P} = (APNR^*2 + PCR^*1)/3$$

Donde:

DLR:	Índice de desestabilización de laderas relativo
ACAR:	Índice de afectación de cuerpos de agua relativo
GRR:	Índice de generación de residuos relativo
GIIER:	Índice de generación de interferencias e inducción eléctrica relativo
AMVR:	Índice de afectación de la matriz de vegetación relativo
PCVR:	Índice de perdida de cobertura vegetal relativo
ACFR:	Índice de afectación de comunidades faunísticas relativo
IRAR:	Índice de incremento a riesgos de accidentalidad relativo
APR:	Índice de afectación de paisaje relativo
DIR:	Índice de desplazamiento de infraestructura relativo
DFR:	Índice de desplazamiento de familias relativo
GER:	Índice de generación de expectativas relativo
APHR:	Índice de afectación de patrimonio histórico relativo
MUSR:	Índice de modificación de uso del suelo relativo
GMCR:	Índice de generación de molestias a comunidades relativo
DAR:	Índice de daños a accesos relativo
DCR:	Índice de daños a cultivos relativo
GTER:	Índice de generación temporal de empleo relativo
APNR:	Índice de afectación al patrimonio natural relativo
PCR:	Índice de potenciación de conflictos relativo



3.3.3. Identificación de variables

El análisis de los 18 EIA considerados y las caracterizaciones ambientales de las rutas con sus respectivos anexos cartográficos realizados a los diferentes proyectos y presentados en la tabla 3 sirvió de soporte para hallar las variables o elementos que permitieron la determinación de las mismas, pues en ellos se describen total o parcialmente los impactos, causas, efectos y características, además se encuentran las variaciones relevantes debido a las características propias de cada proyecto.

Tabla 3.
Proyectos estudiados y analizados.

ESTUDIO	NOMBRE DEL PROYECTO	EMPRESA QUE REALIZÓ EL EIA	FECHA
E1	La Sierra-Doña Juana (230kv)	Salgado, Meléndez. Asociados	Feb/97
E2	Juanchito- San Bernardino (230kv)	Salgado, Meléndez. Asociados	Agost/97
E3	B/manga-Ocaña-Cúcuta (230kv)	Hidroambiente. Ltda.	Dic/88
E4	Urrá1-Cerromatoso (230kv)	Mejía-Villegas	Feb/98
E5	Betania- Mirolindo (230kv)	ACI LTDA-SEDIC. S.A.	Abr/99
E6	Popayán-Pasto (230kv)	Controles de Contaminación Ltda.	Nov/83
E7	Sabanalarga- Nueva B/quilla (230kv)	Consultoría Colombiana	Jun/98
E8	La Virginia- La Hermosa (230 kv)	Consultoría Colombiana	Abr/99
E9	Purnio-Miel I-San Felipe (230kv)	Consorcio Interdiseños. Est. Tec.	Oct/99
E10	Playas- Primavera (230kv)	Mejía-Villegas	Feb/98
E11	Guatape- Jaguas (230kv)	ACI LTDA-SEDIC. S.A.	Nov/96
E12	Betania- San Bernardino (230kv)	Ingetec. S.A.	Abr/99
E13	San Carlos-Noroeste (230kv)	IFIMARIS	Oct/98
E14	Sochagota-Guatigara (230kv)	Consultoría Colombiana	Ener/97
E15	Pailitas-Tamalameque (230kv)	Consultoría Colombiana	Agos/97
E16	Ocaña-Pailitas (230kv)	Consultoría Colombiana	Marz/97
E17	Pailitas- El Copey (500kv)	Consultoría Colombiana	Jul/97
E18	Sabanalarga-Termoc/gena (230kv)	Interconexiones. S.A.	Agos/00

Las siguientes tablas presentan de forma resumida las variables explicativas de los impactos encontrados en cada dimensión, así como los criterios y rangos para su calificación.

- **Dimensión Física**

Donde:

- m: pendiente expresada en %
- p: precipitación en mm
- ul: unidades litológicas
- t tipo de residuo
- di: disposición final
- d: distancia a fuentes de agua
- cv: cobertura vegetal circundante
- dd: densidad de drenaje km/km²
- q: caudal l/s
- fs: fragilidad del sueno

- (Ag, Agg, P): Suelos con predominio de arenas gruesas, agregados y pedregosos.
- (Ag, SoM, NP): Suelos con predominio de arenas gruesas, sueltos o masivos, no pedregosos.
- (Ar, An, Pn): Suelos con predominio de arcillas, agregados o no, pedregosos o no.
- (Af, An, Pn): Suelos con predominio de arenas finas, agregados o no, pedregosos o no
- (L, An, Pn): Suelos con predominio de limos, agregados o no, pedregosos o no.

IMPACTO	VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
m(%)		0-12	1
		12-25	2
		24-40	3
		40-60	4
		>60	5
DL	p(mm)	500-1000	1
		1000-2000	2
		2000-3000	3
		<500,>3000	4
ul ⁺ fs ⁺		Ag-Agg-P	1
		Ag-SoM-NP	2
		Ar-An-Pn	3
		Af-An-Pn	4
		L-An-Pn	5
t		Domésticos no especiales-no peligrosos	1
		Domésticos especiales	2
		Orgánicos e inorgánicos especiales	3
		Orgánicos e inorgánicos peligrosos	4
GR	di	Reutilización dentro o fuera del área	1
		Incineración con uso de energía, en sitios	2
		Especializados, dentro o fuera del área	
		Incineración con uso o no de energía	3
ACA		En cualquier sitio no especializado	
		Depósito fuera del área	4
		Depósito dentro del área	5
cv		>10	1
		<10	2
dd(km/km ₂)		B-Br-Ra	1
		Mc-Rb-Mis	2
		Ma-A-C	3
q(l/s)		<1.2	1
		1.2-3	2
		>3	3
d(m)**		>20	1
		1.5-20	2
		<1.5	3
ACA		1000-500	5
		500-200	4
		200-100	3
		100-50	2
		<50	1

ul⁺: no se pudo categorizarfs⁺: se propone para futuros estudios

*Cantidad como factor ponderante de acuerdo al tipo de residuo

**Se propone esta calificación para análisis futuros por considerarse más lógica y diferenciable, además acota el análisis a un área de influencia, mientras que la primera calificación, la cual es retomada de algunos EIA no permite diferenciaciones claras, ni limita el área de influencia.

Tabla. 4. Impactos de la dimensión física, variables y calificación*

• **Dimensión Biótica**

Donde:

- eb: efecto de borde expresado en metros, como la distancia promedio del borde existente al nuevo borde
- tco: tipo de cobertura vegetal
- tmv: tipo de matriz de vegetación
- te: tipo de especie

Tabla. 5.
Impactos de la dimensión biótica, variables y calificación

IMPACTO		VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
PCV	tco		Otros (sabanas, matorrales, etc)	1 a*
			Rastrojo bajo	2
			Rastrojo alto	3
			Bosque primario intervenido	4
			Bosque primario poco intervenido y ripario	5
AMV	tmv		Otros (sabanas, matorrales, etc)	1 a*
			Rastrojo bajo	2
			Rastrojo alta	3
			Bosque primario	4
			>200	1
eb			200-150	2
			150-125	3
			125-100	4
			<=100	5
			Especies comunes abundantes	1 c*
ACF	te		Comunes no abundantes	2
			Endémicas abundantes	3
			Endémicas no abundantes	4
			Especies raras y/o peligro de ext., especialistas	5

a* Factor ponderante de acuerdo a las áreas afectadas de cada tipo de cobertura en la categoría de AMV

c* Factor ponderante de acuerdo a la cantidad de especies afectadas en las diferentes categorías

• **Dimensión Económica**

Donde:

- pdc: personal desempleado del área de influencia contratado expresado en %
- gd: grado de afectación en % de la vía de acceso, según su estado inicial
- nac: número de accesos afectados con relación a los existentes
- ta: tamaño predominante de predios (ha)
- tc: tipo de cultivo
- tf: tamaño-funcionalidad de infraestructura
- tat: tipo de uso de área a transformar

IMPACTO	VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
GTE	pdc(%)	0-20	1
		20-40	2
		40-60	3
		60-80	4
		80-100	5
DA	gd(%)	0-10	1
		10-20	2
		20-30	3
		30-40	4
		>40	5
DC	ta(ha)	1 de más de 3	1
		1 de 3	2
		1 de 2	3
		1 de 1	4
		>100	1
DI	tf	50-100	2
		5-50	3
		0-5	4
		Transitorios	1
		Permanentes	2
MUS	tat	Pequeñas y medianas poco funcionales	1
		Grandes poco funcionales	2
		Pequeñas funcionales	3
		Medianas funcionales	4
		Grandes funcionales	5
		Modificación de áreas con uso minero	1
		Modificación de áreas con uso pecuario	2
		Modificación de áreas con uso agrícola	3
		Modificación de áreas con uso silvícola	4
		Modificación de áreas con uso recr. y tur.	5

Tabla. 6.
Impactos de la dimensión económica, variables y calificación

*Áreas de cultivos afectados según el tamaño de predio predominante y tipo de cultivo, a utilizar como factor ponderante

ca* Cantidad de infraestructura a desplazar en las diferentes categorías tf, factor ponderante

ext* Área (m² o ha) modificada según su uso, factor ponderante

• Dimensión Cultural

Donde:

- npe: número de personas con expectativas (%)
- npm: número de personas que manifiestan malestar (%)
- aa: aumento de accidentalidad (%)
- tr: tiempo de residencia o permanencia (años)
- ft: forma de tenencia de la tierra
- cs: consanguinidad
- ed: edades de población a desplazar
- os: organización social
- V_s: conservación de yacimiento
- V₃: cronología de yacimiento

V₂: complejidad estratigráfica
 V₁: singularidad
 V₄: densidad
 Ga: grado de afectación por el proyecto
 per: percepciones sobre afectación de paisaje (%)

IMPACTO		VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
<i>Impactos de la dimensión cultural, variables y calificación</i>				
GE	npe (%)		0-20	1
			20.1-40	2
			40.1-60	3
			60.1-80	4
			>80.1	5
GMC	npm (%)		0-10	1
			10.1-20	2
			20.1-30	3
			30.1-40	4
			>40.1	5
IRA	aa (%)		1-2	1
			2-4	2
			4-6	3
			6-8	4
			>8	5
tr (años)			0-5	1
			5-10	2
			10-15	3
			15-20	4
			>20	5
ft		Préstamo o mayordomía		1
		Alquiler		2
		Propio		3
DF	cs	Predominan familias desplazadas de 4º orden*		1
		Predominan familias desplazadas de 3º orden		2
		Predominan familias desplazadas de 2º orden		3
		Predominan familias desplazadas de 1º orden		4
ed		Predomina población desp. de 0-10 años		1
		Predomina población desp. de 10-20 años		2
		Predomina población desp. de 20-60 años		3
		Predomina población desp. >60 años		4
os		Desarticulación de formas ajena, poco exitosas e inadecuadas al medio		1
		Desarticulación formas ajena, exitosas y adecuadas al medio		2
		Desarticulación formas propias, exitosas y adecuadas al medio		3
APH	V ₁ (Singularidad ad)	Registros bien conocidos		1
		medianamente conocidos		2
		no conocidos		3
APH	V ₂ (compl.. strat.)	Evidencias superficiales		1
		estratificadas en una sola capa		2
		más de una capa		3

IMPACTO	VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
	V ₃ (Cronología)	Menos de 500 A.P. 5000-500A.P. más de 5000A.P.	1 2 3
	V ₄ (densidad)	menos de 50 elementos 50-99 elementos 100 o más elementos	1 2 3
	V ₅ (cons. %) o afectación	>50 40-50 30-40 30-20 <20	1 2 3 4 5
	Ga (grado afect. Proyc) %.	0-10 10-20 20-30 30-40 >40	1 2 3 4 5
AP	per	0-10 10-20 20-30 30-40 >40	1 2 3 4 5

Tabla. 7. (Continuación)
*Impactos de la dimensión cultural,
variables y calificación*

* Primer orden padres, hijos y hermanos; segundo, abuelos, nietos, sobrinos, tíos; tercer primos y otros parentescos como primos segundos y cuarto sin parentesco.

• **Dimensión Política**

Donde:

- nca: número de conflictos que se agudizan
nci: número de conflictos que se inician
tj: tipo de figura jurídica

IMPACTO	VARIABLES	CRITERIO	CALIFICACIÓN
		1 2 3 4 ≥5	1 2 3 4 5
	nca		
PC		1 2 3 4 ≥5	1 2 3 4 5
	nci		
APN	tf	Áreas contempladas en la legislación con reglamento vigente que permiten proyectos Áreas vulnerables no contempladas en la legislación Áreas frágiles no contempladas en la legislación. Áreas contempladas en la legislación sin reglamentación vigente y vulnerables	1 2 3 4 a*

Tabla. 8.
*Impactos de la dimensión política,
variables y calificación*

*área afectada según el tipo de figura jurídica, factor de ponderación

3.3.4. Índices Propuestos



Una vez identificados los impactos en cada dimensión, las variables explicativas de dichos impactos y propuesta su calificación según se considera la importancia de cada una de ellas dentro del modelo, fue posible elaborar las respectivas funciones e índices para los diferentes impactos y dimensiones como se muestra a continuación.

- **Dimensión Física**

$$\begin{aligned}
 I_{F,F} &= f(GIIE, DL, GR, ACA) \\
 I_{IF,F} &= (DLR^*4 + ACAR^*3 + GRR^*2 + GIIER^*1)/10 \\
 DL &= f(m, ul, p, I^*) \\
 I_{DL} &= (mr^*3 + p^*2 + ulr^*1)/6 \\
 GR &= f(c^*, t, di) \\
 I_{GR} &= (tr^*2 + dir^*1)/3 \\
 ACA &= f(d, q, dd, cv) \\
 I_{ACA} &= (dr^*4 + cvr^*3 + ddr^*2 + qr^*1)/10
 \end{aligned}$$

- **Dimensión Biótica**

$$\begin{aligned}
 I_{IB-B} &= (AMVR^*3 + PCVR^*2 + ACFR^*1)/6 \\
 PCV &= f(tco, a^*) \\
 I_{PCV} &= (tcor^*1) \\
 AMV &= f(tmv, eb, a^*) \\
 I_{AMV} &= (ebr^*2 + tmvr^*1)/3 \\
 ACF &= f(te + c^*) \\
 I_{ACF} &= (ter)
 \end{aligned}$$

- **Dimensión Cultural**

$$\begin{aligned}
 I_{IC-C} &= (IRAR^*6 + APR^*5 + DFR^*4 + GER^*3 + APHR^*2 + MCR^*1)/21 \\
 GE &= f(npe) \\
 I_{GE} &= nper \\
 GMC &= f(npmp) \\
 I_{GMC} &= npmr \\
 IRA &= f(aa) \\
 I_{IRA} &= aar \\
 DF &= f(tr, ft, cs, ed, os) \\
 I_{DF} &= (trr^*5 + ftr^*4 + csr^*3 + edr^*2 + osr^*1)/15 \\
 APH &= f(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, Ga) \\
 I_{APH} &= (V_5r^*6 + V_3r^*5 + V_2r^*4 + V_1r^*3 + V_4r^*2 + Gar^*1)/21 \\
 AP &= f(per) \\
 I_{AP} &= per
 \end{aligned}$$

- **Dimensión Económica**

$$\begin{aligned}
 I_{IE-E} &= (DAR^*3 + DIR^*4 + MUS^*3 + DCR^*2 + GTER^*1)/15 \\
 GTE &= f(pdc) \\
 I_{GTE} &= pdcr \\
 DC &= f(tc, ta, a^*) \\
 I_{DC} &= (tar^*2 + tcr^*1)/3 \\
 DA &= f(gd, nac)
 \end{aligned}$$

$$I_{DA} = (gdr^*2 + nacr^*1)/3$$

$$DL = f(tf, ca^*)$$

$$I_{DI} = tfr$$

$$MUS = f(tat, ext^*)$$

$$I_{MUS} = tatr$$

- **Dimensión Política**

$$I_{IP_P} = (APNR^*2 + PCR^*1)/3$$

$$PC = f(nca, nci)$$

$$I_{IP_C} = (ncar^*1 + ncir^*1)/2$$

$$APN = f(fj, a^*)$$

$$I_{APN} = fjr$$

De otro lado las variables e impactos se pueden calificar de acuerdo a su presencia o no en las diferentes dimensiones y/o proyectos, tomando el valor de uno (1) cuando está presente y cero (0) en caso contrario.

Para ilustrar el cálculo de los índices relativos, a continuación se toma un ejemplo hipotético para calcular el índice de pendiente relativo (mr), variable que corresponde al impacto desestabilización de laderas (DL) de la dimensión física. Supóngase que la construcción del proyecto o ruta debe actuar sobre terrenos con pendientes en los rangos de 0-12%, 25-40% y 40-60%, además que las longitudes o trayectos afectadas en dichos terrenos son: 20.2 k, 10.2 k y 15.8 k respectivamente.

	PENDIENTE					IMR
	0-12	12-25	25-40	40-60	>60	
	(1)*k ₁	(2)*k ₂	(3)*k ₃	(4)*k ₄	(5)*k ₅	
Proyecto o ruta x	1	0	1	1	0	$(1*1*20.2+0*2*0+1*3*10.2+1*4*15.8+0*5*0)/15*46.2=0.1645$

Tabla. 9.
Procedimiento para el cálculo de las variables

Haciendo uso de la anterior información fue posible calcular los índices de los impactos identificados en cada dimensión (diagonal de la matriz) y de sus variables para las 18 líneas estudiadas. La Tabla 10 presenta dichos resultados.

- **Relaciones cruzadas de los índices de impactos entre dimensiones.**

Una vez obtenido el índice del impacto en cada una de las dimensiones (II_{B_B} , II_{F_F} , II_{E_E} , II_{C_C} , II_{P_P}), se ha completado la línea base o diagonal de la matriz, en este punto es posible identificar las relaciones que cada impacto provocado en una dimensión tiene sobre las otras, completando así los impactos generados en las cuatro restantes dimensiones cuando un proyecto afecta una de ellas y por lo tanto la matriz total de impactos.

Para el anterior propósito en lógica del análisis surge la pregunta, si el impacto encontrado en una dimensión presenta relación con todas o algunas de las variables de las demás dimensiones, es decir, si el índice del impacto en lo físico (II_{F_F}) podría ser explicado por las variables usadas para el cálculo del índice de impacto en lo biótico (II_{B_B}), por ejemplo. Para responderla se realizó una serie de regresiones múltiples entre las variables de una dimensión en relación positiva o negativa con los impactos en otra. En el ejemplo la relación se realizó con el II_{F_F} como variable dependiente y las variables que constituyen el II_{B_B} independientes, encontrando de esta forma el índice de impacto de lo biótico a lo físico (II_{B_F}).

Tabla. 10.
Valores de los índices para los impactos y dimensiones

	IPCV	IIAMV	IIACF	HB-B	IIDAR	IGTER	HE-E	IIAR	IAPR	IDR	IDR	IGER	IIAPR	IMUSR	IGMCR	IC_C	IPCR	IAPNR	IP-P	
,438	0,333	0,078	0,067	0,161	0,078	0,456	0,067	0,202	0,067	0,067	0,304	0,267	0,173	0,000	0,200	0,131	0,067	0,100	0,089	
,201	0,067	0,078	0,067	0,072	0,078	0,233	0,067	0,128	0,057	0,200	0,000	0,000	0,200	0,221	0,200	0,200	0,111	0,057	0,000	0,022
,241	0,156	0,078	0,067	0,102	0,233	0,178	0,200	0,209	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,333	0,067	0,043	0,067	0,000	0,022	
,298	0,333	0,267	0,533	0,333	0,233	0,578	0,067	0,320	0,067	0,267	0,133	0,333	0,283	0,133	0,067	0,161	0,000	0,000	0,000	
,197	0,244	0,078	0,067	0,131	0,167	0,378	0,200	0,243	0,067	0,333	0,200	0,251	0,200	0,079	0,333	0,067	0,197	0,267	0,000	0,089
,331	0,067	0,000	0,133	0,044	0,278	0,311	0,000	0,243	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
,303	0,067	0,078	0,333	0,117	0,200	0,322	0,067	0,219	0,067	0,000	0,067	0,380	0,333	0,411	0,333	0,067	0,170	0,133	0,300	0,244
,403	0,267	0,078	0,400	0,194	0,200	0,700	0,067	0,344	0,067	0,000	0,200	0,231	0,200	0,284	0,200	0,067	0,139	0,167	0,400	0,322
,329	0,533	0,478	0,400	0,483	0,211	0,433	0,067	0,261	0,267	0,267	0,178	0,200	0,510	0,333	0,067	0,265	0,000	0,100	0,067	
,349	0,311	0,222	0,400	0,281	0,189	0,233	0,200	0,206	0,133	0,133	0,200	0,000	0,200	0,289	0,400	0,133	0,161	0,000	0,000	
,278	0,111	0,167	0,333	0,176	0,000	0,167	0,067	0,057	0,000	0,133	0,000	0,067	0,298	0,067	0,067	0,064	0,000	0,000	0,000	
,327	0,467	0,533	0,267	0,467	0,167	0,000	0,000	0,083	0,000	0,200	0,000	0,464	0,200	0,000	0,200	0,000	0,137	0,333	0,000	0,111
,187	0,222	0,167	0,400	0,224	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
,363	0,489	0,389	0,600	0,457	0,322	0,433	0,067	0,317	0,333	0,333	0,267	0,378	0,200	0,254	0,533	0,067	0,311	0,000	0,900	0,600
,260	0,356	0,256	0,200	0,280	0,078	0,256	0,067	0,135	0,333	0,000	0,000	0,067	0,383	0,000	0,200	0,119	0,067	0,100	0,089	
,439	0,356	0,322	0,733	0,402	0,156	0,478	0,133	0,259	0,200	0,333	0,000	0,333	0,321	0,000	0,200	0,208	0,233	0,400	0,344	
,080	0,267	0,167	0,733	0,294	0,522	0,700	0,200	0,528	0,333	0,000	0,267	0,296	0,333	0,224	0,333	0,200	0,239	0,333	0,400	0,378
,324	0,244	0,211	0,733	0,309	0,000	0,500	0,000	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	

El anterior análisis arrojó los resultados presentados en la Tabla 11. En muchos de los modelos se repiten algunas de las variables y otras se relacionan de forma inversa (variables con signo negativo), efecto de la funcionalidad y proceso interactivo de la matriz.

Los análisis de varianzas para los modelos seleccionados, muestran en su mayoría una relación estadísticamente significativa a un nivel de confiabilidad del 90 al 99% entre los índices de impactos y las variables retenidas en los modelos, solo unos pocos no presentan buen ajuste, además al hallar los estimados y realizar las pruebas estadísticas de comparación (T, F, Mann Whitney, Kolmogorov-Smirnov), que permiten hacer comparaciones de las medias, medianas, desviación estándar y distribuciones de las muestras respectivamente, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los impactos calculados y los estimados por los modelos, excepto en la desviación estándar de los modelos que no presentaron buen ajuste (Ver Tabla 12).

Los mejores modelos encontrados para los índices de impactos que son originados en una dimensión, pero que se manifiesta en las demás, son presentados en la Tabla 11.

RELACIÓN	MODELO
Físico-Biótica	$\Pi_{F_B} = 0.182846 - 0.040247*I_{dr} + 0.114944*I_{mr} + 0.102421*I_{cvr} + 0.272524*I_{ddr} - 0.266542*I_{qr}$
Físico-Cultural	$\Pi_{F_C} = 0.169913 - 0.197552*I_{mr} + 0.25824*I_{ddr} - 0.112835*I_{qr} - 0.394961*I_{tr} + 0.182896*I_{dr}$
Físico-Económico	$\Pi_{F_E} = 0.185106 - 0.1442*I_{cvr} + 0.147148*I_{ddr}$
Físico-Político	$\Pi_{F_P} = 0.203916 - 0.30453*I_{cvr} + 0.403599*I_{ddr} + 0.218208*I_{dr} - 0.350976*I_{pr} - 0.463454*I_{tr}$
Biótico-Cultural	$\Pi_{B_C} = 0.040739 + 0.116203*I_{cor} - 0.0633529*I_{amvr} + 0.332463*I_{lebr}$
Biótico-Económico	$\Pi_{B_E} = 0.0655218 + 0.173629*I_{lebr} + 0.150651*I_{cor} - 0.243906*I_{amvr} + 0.236291*I_{tr}$
Biótico-Físico	$\Pi_{B_F} = 0.238755 + 0.12307*I_{cor}$
Biótico-Político	$\Pi_{B_P} = -0.0584267 + 0.139297*I_{cor} + 0.346394*I_{tr}$
Económico-Cultural	$\Pi_{E_C} = 0.0952094 + 0.398537*I_{dr} - 0.30658*I_{act} - 0.0445325*I_{tar} - 0.0690756*I_{cor} + 0.0258977*I_{atr} + 0.524118*I_{fr}$
Económico-Biótica	$\Pi_{E_B} = 0.284761 - 0.220646*I_{tar} - 0.138206*I_{tr} + 1.16367*I_{fr} - 1.06232*I_{pdcr} + 0.20957*I_{tar}$
Económico-Físico	$\Pi_{E_F} = 0.339779 - 0.520603*I_{pdcr} - 0.305907*I_{dr} + 0.45426*I_{fr}$
Económico-Político	$\Pi_{E_P} = 0.00858358 + 0.53913*I_{dr} + 0.596992*I_{fr} - 0.459371*I_{pdcr}$
Cultural-Biótica	$\Pi_{C_B} = 0.166998 - 0.920017*I_{csr} + 1.36038*I_{osr} + 0.737863*I_{pmr} - 0.344613*I_{aar} - 0.308643*I_{per} + 0.807853*I_{v1r} - 0.721399*I_{v3r} - 0.0817262*I_{v4r} + 0.664083*I_{v5r}$
Cultural-Físico	$\Pi_{C_F} = 0.277158 + 1.16268*I_{fr} - 3.31789*I_{sr} + 2.89773*I_{osr} - 2.86479*I_{per} + 7.79438*I_{pmr} - 3.16784*I_{aar} - 0.340029*I_{per} + 4.10962*I_{v1r} + 0.825743*I_{v2r} - 4.0293*I_{v3r} - 1.528*I_{v4r} + 1.587*I_{v5r}$
Cultural-Económico	$\Pi_{C_E} = 0.111448 + 0.36759*I_{tr} - 0.158303*I_{fr} - 0.575527*I_{osr} + 1.0971*I_{per} - 1.93321*I_{pmr} + 1.11504*I_{aar} + 0.161676*I_{per} - 0.25631*I_{v1r} + 0.197219*I_{v3r} - 0.2857*I_{v5r}$
Cultural-Político	$\Pi_{C_P} = -0.000254737 + 1.16139*I_{tr} - 0.361053*I_{fr} + 0.391019*I_{csr} - 1.23473*I_{osr} + 1.10571*I_{per} - 3.12431*I_{pmr} + 1.95134*I_{aar} + 0.715561*I_{per} - 0.659802*I_{v1r} + 1.13351*I_{v2r} + 0.0888003*I_{v3r} - 0.179958*I_{v4r} - 1.47026*I_{v5r} + 0.171116*I_{gapr}$
Político-Cultural	$\Pi_{P_C} = 0.0839734 + 0.209845*I_{car} - 0.0235105*I_{cir} + 0.21887*I_{fr}$
Político-Biótica	$\Pi_{P_B} = 0.219299 + 0.214677*I_{fr}$
Político-Físico	$\Pi_{P_F} = 1/(3.13188 + 8.13411*I_{car})$
Político-Económico	$\Pi_{P_E} = 0.130896 + 0.572823*I_{car} - 0.45267*I_{cir} + 0.267551*I_{fr}$

Tabla. 11.
Modelos para el Cálculo de los
Índices de Impacto entre
Dimensiones

Tabla 12.
Pruebas estadísticas (*T*, *F*,
Wilcoxon y *K-S*)

MODELO	PRUEBA T		PRUEBA F		WILCOXON		KOLMOGOROV-SMIRNOV	
	T	P-Value	F	P-Value	W	P-Value	k-S	P-Value
I _{C-B}	0.0051	0.996	1.3	0.595	168	0.862	0.5	0.964
I _{E-B}	-0.0067	0.995	1.628	0.325	168	0.862	0.5	0.964
I _{F-B}	-0.0014	0.999	1.755	0.256	165.5	0.924	0.667	0.766
I _{P-B}	0.0032	0.997	7.005*	0.0002*	169	0.835	1.33	0.057
I _{B-F}	-0.0024	0.998	9.627*	0.00001*	146	0.623	1.17	0.132
I _{C-F}	0.055	0.956	1.12	0.820	154	0.812	0.5	0.964
I _{E-F}	-0.0044	0.997	2.922*	0.033*	157.5	0.899	0.5	0.964
I _{P-F}	1.162	0.253	2.562	0.060	111	0.054	1.5	0.022
I _{B-C}	0.0023	0.998	2.418	0.0774	159.5	0.950	0.667	0.766
I _{E-C}	0.0042	0.997	1.54	0.385	158.5	0.924	0.667	0.766
I _{F-C}	0.0043	0.997	1.664	0.303	154	0.812	0.667	0.766
I _{P-C}	0.0044	0.996	2.04	0.152	148	0.668	1.0	0.271
I _{B-P}	0.0012	0.999	3.711*	0.0099*	190.5	0.374	0.833	0.503
I _{C-P}	-0.0096	0.992	0.998	0.997	169.5	0.823	1.0	0.271
I _{E-P}	-0.0011	0.999	2.169	0.120	188	0.418	0.833	0.503
I _{F-P}	0.0011	0.999	1.962	0.175	179	0.600	1.0	0.271
I _{B-E}	-0.0054	0.996	2.11	0.133	167.5	0.563	0.5	0.964
I _{C-E}	-0.0065	0.995	1.241	0.662	168	0.862	0.5	0.964
I _{F-E}	0.0	1.0	3.661*	0.011*	162	0.987	0.83	0.503
I _{P-E}	-0.0037	0.997	2.355	0.086	160	0.962	1.0	0.271

Los valores con asterisco en la tabla 12 muestran una diferencia estadísticamente significativa entre la desviación estándar de las muestras comparadas a un nivel de confiabilidad del 95%, los valores restantes sugieren que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias, desviación estándar, medianas y distribuciones entre las muestra al nivel de confiabilidad referido. Se presenta una breve descripción o interpretación de los modelos encontrados para las relaciones cruzadas de los impactos.

• Relación de lo Físico a lo Biótico

En el modelo las variables Índice de impacto densidad de drenaje relativo (*Iddr*) y caudales (*lqr*) presentan los mayores pesos, el *Iddr* muestra una relación directa con el índice de impacto de lo físico a lo biótico, es decir, a mayor número de fuentes afectadas, mayor será el impacto generado en lo biótico, el *lqr* y el Índice de distancia relativo (*ldr*), el cual obtiene el menor peso dentro del modelo, por el contrario muestran una relación inversa, pudiendo pensarse que los bajos caudales y las distancias cortas a las fuentes de agua que son afectadas pueden estar asociadas a áreas áridas o secas con funciones ecosistémicas menos complejas y/o con áreas altamente intervenidas.

• Relación de lo Físico a lo Cultural

Las variables Índice densidad de drenaje (*Iddr*) e índice tipo de residuo (*ltr*) obtienen los mayores pesos en esta relación, la relación entre el *Iddr* y la dimensión cultural es directa, sugiriendo alta concentración de población o asentamientos humanos en áreas con buena disponibilidad de agua, en cuanto al tipo de residuos no se observa una relación clara, pues a más perjudicial o peligroso sea el residuo mayor debería ser el impacto en lo cultural; las variables Índice de pendiente relativo (*lmr*), Índice de caudal relativo (*lqr*) e Índice disposición de residuos (*ldir*) presentan menores pesos, el *lmr* y *lqr* por su relación inversa proponen que altas pendientes y bajos caudales restringen de alguna forma los asentamientos humanos, el *ldir* insinúa que un mal manejo de residuos y disposición final en área de estudio influyen directamente en los aspectos culturales.

• Relación de lo Físico a lo Económico

El Índice de cobertura vegetal (bosque ripario) relativo (*lcvr*) y el *Iddr* presentan pesos similares, la relación inversa que presenta el *lcvr* en el modelo, da lugar a pensar que la existencia de cobertura

vegetal en estado de conservación, medio a alto, está asociada a áreas poco intervenidas por acciones antrópicas de carácter económicas y productivas, el *Iddr* en cambio presenta una relación directa, sugiriendo nuevamente que la concentración de población y sus respectivas actividades económicas y procesos productivos están altamente asociadas a áreas con buena disponibilidad de fuentes de agua.

- **Relación de lo Físico a lo Político**

En el modelo las variables *ltr*, *Iddr*, *Ipr* (índice de precipitación promedio anual) e *Icvr* poseen los mayores pesos, la relación inversa que presentan el *Icvr* y el *Ipr* hacen pensar que áreas bien conservadas y/o con condiciones extremas de precipitación, es decir, demasiado áridas o hiperhúmedas carecen de estructuras económicas, productivas y culturales bien consolidadas, no dando lugar a la potenciación o iniciación de conflictos.

- **Relación de lo Biótico a lo Cultural**

El índice efecto de borde relativo (*lebr*) es el de mayor peso en el modelo, insinuando que áreas altamente fragmentadas donde se dan precisamente los mayores impactos de efecto de borde, están asociadas con las diferentes relaciones y manifestaciones culturales, el índice de afectación de la matriz de vegetación (*lamvr*) adquiere el menor peso y su relación inversa hacia la dimensión cultural propone exactamente lo mismo.

- **Relación de lo Biótico a lo Económico**

Las variables de mayor peso en esta relación son el *lamvr*, el índice tipo de especie relativo (*lter*) y el *lebr*, los *lamvr* e *lebr* proponen igual que la anterior relación, que áreas altamente fragmentadas con matrices de vegetación muy intervenidas, están asociadas con las diferentes relaciones económicas y procesos productivos.

- **Relación de lo Biótico a lo Físico**

Solo la variable índice tipo de cobertura vegetal relativo (*ltcor*) da explicación a esta relación de forma directa, indicando que las coberturas vegetales bien conservadas actúan como amortiguadoras o reguladoras de procesos erosivos, desestabilización de laderas y afectación de cuerpos de agua, entre otros, es decir, cuando se actúa o afecta una cobertura vegetal bien conservada mayor es el *ltcor* y por lo tanto mayor será el efecto hacia lo Físico.

- **Relación de lo Biótico a lo Político**

El *lter* adquiere el mayor peso en el modelo seguido del *ltcor*, ambos presentan una relación directa hacia lo político, es posible que actuar sobre áreas bien conservadas y afectar especies de fauna de primordial interés (raras, especialista, peligro de extinción, endémicas), genere ciertas molestias y rechazo por parte de la comunidad afectada, introduciendo vectores que inicien conflictos o agudicen los ya existentes.

- **Relación de lo Económico a lo Cultural**

El índice tamaño y funcionalidad relativo (*ltfr*) de la infraestructura afectada o desplazada y el índice grado de daño relativo (*lgdr*) de las vías de acceso, son los más relevantes en el modelo al adquirir los mayores pesos, sus relaciones directas con la dimensión cultural plantea que el desplazar infraestructura de diferente índole, de buen tamaño y funcional y un alto daño a las vías de acceso podría influir de forma negativa en las diferentes relaciones y expresiones culturales.

- **Relación de lo Económico a lo Biótico**

El *ltfr* y el índice personal desempleado contratado relativo (*lpdcr*) se convierten en las variables más relevantes, es posible que al desplazar infraestructura de gran tamaño y funcional se vean afectadas otras áreas con relaciones ecosistémicas mínimas o aceptables, de otro lado una mayor contratación de personal desempleado, podría disminuir la presión y/o la sobre-expLOTACIÓN de los recursos naturales, el índice tipo de área a trasformar (*ltatr*), el cual se refiere a la modificación de los usos actuales del suelo, plantea que actuar sobre áreas que presentan especial singularidad natural, paisajista o cultural con usos recreativos o turismo ecológico, entre otros, puede ser causa





de una mayor afectación en lo biótico, siendo menor la afectación cuando se intervienen áreas mineras, ganaderas y silvícolas.

• **Relación de lo Económico a lo Físico**

Los mayores pesos en el modelo los tienen las variables *lpdcr* e *lfr*, el *lpdcr* obtiene similar interpretación al caso anterior, en cuanto al *lfr*, el desplazar y establecer la nueva infraestructura conlleva a la necesaria intervención en la dimensión física generando diversas afectaciones en sus diferentes componentes.

• **Relación de lo Económico a lo Político**

Se observa un relativo equilibrio en los pesos de la variables dentro del modelo, los *lgdr* e *lfr* indican que una alta afectación en las vías de acceso e infraestructura pueden generar molestias en comunidades que den lugar a iniciación o agudización de conflictos por el uso de los recursos naturales y productivos o por el control de bienes y medios de producción, de la relación inversa del *lpdcr* se desprende que a mayor número de personas desempleadas contratadas, menor será la inconformidad y expectativas o percepciones negativas de la comunidad disminuyendo la posibilidad de conflictos.

• **Relación de lo Cultural a lo Biótico**

Como aspecto importante a resaltar en esta relación son los mayores pesos obtenidos por el índice organización social relativo (*losr*) y el índice consanguinidad o lazos familiares relativo (*lcsr*); el desarticular organizaciones sociales con formas propias, exitosas y adecuadas al medio por el desplazamiento o reubicación de familias o población, crea rompimiento en las relaciones y expresiones culturales, adaptativas y de conocimiento del entorno lo que puede ser causa de afectaciones en lo biótico. Las variables, índice de singularidad relativo (*lv1r*) e índice de grado de conservación relativo (*lv5r*) de los yacimientos del patrimonio histórico y arqueológico, presentan pesos igualmente importantes en el modelo, el primero referido al conocimiento o no de los elementos hallados y el segundo al grado de conservación. El actuar sobre áreas donde se encuentren elementos no conocidos y bien conservados implica necesariamente la modificación o intervención de zonas que han sido poco afectadas por procesos naturales y/o actividades humanas como la ganadería, minería, agricultura, entre otras.

• **Relación de lo Cultural a lo Físico**

Los índices *lcsr*, *losr*, *lv1r* y *lv5r* nuevamente adquieren pesos importantes en esta relación con similar interpretación a la anterior, pero esta vez señalando sus efectos sobre los elementos o componentes de la dimensión física.

• **Relación de lo Cultural a lo Económico**

Son de destacar por su importancia en esta relación las variables índice del número de personas que manifiestan malestar (*Inpmr*) ante el proyecto, índice de personas con expectativas (*Inper*), *losr*, *lv5r* e *lv1r*. El *Inpmr* sugiere que a un mayor número de personas que manifiesten malestar ante el proyecto, mayor será la atención prestada a los procesos o actividades económicas, medios de producción y comercialización, disminuyendo el efecto sobre los elementos que constituyen la dimensión económica, el *Inper* por su lado señala que un mayor número de personas con expectativas puede ser causa de diversos procesos especulativos de índole económico con sus respectivas consecuencias, el *lv5r* y el *lv1r*, contrario a las dos relaciones anteriores se relacionan en forma inversa, es decir, el actuar sobre áreas donde se encuentren elementos bien conocidos y poco conservados implica necesariamente la modificación o intervención de zonas que han sido o son afectadas por procesos o actividades económicas como la ganadería, minería, agricultura, entre otras.

• **Relación de lo Cultural a lo Político**

La mayor parte de las variables de los impactos de la dimensión cultural son retenidas en este modelo, es decir, que los impactos en la dimensión política están fuertemente cruzados y explicados por las afectaciones sobre los aspectos culturales.

• **Relación de lo Político a lo Cultural**

Las variables índice número de conflictos que se agudizan relativo (*Incar*) e índice figura jurídica relativo (*lfr*) obtienen los mayores pesos y se relacionan de forma directa con la dimensión cultural. Un alto *Incar* puede influir directamente sobre los aspectos o relaciones culturales como

son: la adaptabilidad, organizaciones sociales, generación de molestias o malestar en las comunidades, entre otras, un valor alto del *lifir* insinúa que intervenir áreas de carácter restrictivo dado por la ley para el cuidado y protección de ecosistemas frágiles y/o de alta importancia ecológica y/o baja capacidad de asimilación ante la alteración o modificación, pueden igualmente generar ciertas afectaciones sobre los aspectos anteriormente mencionados y sobre la conservación de los yacimientos del patrimonio histórico y arqueológico.

- ***Relación de lo Político a lo Biótico***

La única variable retenida en este modelo es el *lifir*, la afectación de áreas con las características descritas en la relación anterior, implica necesariamente la afectación directa de los elementos o componentes bióticos.

- ***Relación de lo Político a lo Físico***

En la relación se observa que un valor alto para el *Incar* podría actuar como elemento persuasivo llamando la atención sobre los procesos físicos del entorno y en relación al proyecto, redundando en un menor impacto o degradación de los componentes de esta dimensión.

- ***Relación de lo Político a lo Económico***

El mayor peso en este modelo lo obtiene nuevamente el *Incar*, el cual muestra una relación directa con la dimensión económica, señalando que la dinámica de los conflictos se proyecta a las formas o procesos de economía local y de subsistencia.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta por esta investigación permitió la elaboración de los indicadores de una manera lo más objetiva posible y altamente consistente, además de una serie de análisis e inferencias de gran importancia y diferentes índoles, convirtiéndose en una buena herramienta a la hora de planificar, diseñar, ejecutar y evaluar no solo proyectos lineales de transmisión de energía eléctrica bajo el modelo de gestión ambiental por dimensiones, si no también muchos otros proyectos lineales y concentrados siendo mucho más fácil su aplicación en estos últimos, cuando se puedan obtener o simular las otras variables.

Al seguir el procedimiento descrito se incluyen implícitamente las relaciones entre variables e impactos que no necesariamente introducen impacto negativo en otras dimensiones o factores, es decir que actúan positivamente mitigando o disminuyendo algunos efectos negativos.

La flexibilidad del modelo al contemplar la presencia o no de las variables e impactos que pueden ser generados en los proyectos de desarrollo lo convierten en una buena herramienta a la hora de la planeación, diseño y ejecución de dichos proyectos, permitiendo analizarlos desde sus propias particularidades, características y/o limitaciones.

Los modelos de correlación de los impactos entre dimensiones son una excelente herramienta para los estudios de índole ambiental en proyectos de transmisión de energía eléctrica en Colombia.

La investigación generó una propuesta innovadora obteniendo indicadores robustos como punto de partida para la evaluación integral, objetiva y ordenación de los impactos en proyectos de transmisión de energía eléctrica, con la pretensión de motivar a su vez a estudiosos e investigadores del área ambiental a contribuir en la depuración y perfeccionamiento de estos.

La eficiencia y consistencia de la metodología propuesta, parte fundamentalmente del análisis concienzudo, profundo y profesional de la identificación de los impactos, sus variables explicativas y calificación de éstas, siendo indispensable e ineludible el trabajo interdisciplinario que se denominó panel de expertos; de no ser así podrían revertirse de forma inadecuada e inconveniente los análisis y resultados.

Es deseable que ISA incluya algunos términos de referencia en los documentos que se brindan a las diferentes firmas consultoras, constructoras, contratistas e interventoras, a la luz del presente trabajo, con el propósito de la aplicación, seguimiento y perfeccionamiento de la metodología propuesta.

Es necesario ahondar en el estudio del impacto GIIE de tal forma que pueda ser documentado, estudiado e incluido en el análisis de futuros estudios.



5. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Ltda - SEDIC S.A. 1999. Informe final ambiental. Línea de transmisión de energía eléctrica a 230 kv La Virginia – La Hermosa. Documento N° 824 –097 – 3809 – 13.002. Santa Fé de Bogotá. D.C.
- ACI Ltda - SEDIC S.A. 1994. Informe final ambiental. Línea de transmisión de energía eléctrica a 230 kv Betania - Mirolindo. Selección de ruta, trazado, plantillado y estudio de impacto ambiental. Documento L32I42003. Santa Fé de Bogotá. D.C.
- ACI Ltda - SEDIC S.A.-Mejía Villegas S.A. 1996. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión de energía eléctrica a 230 kv Guatape – Jaguas. Documento L50M42001 Medellín.
- Angel, E. 2000. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, 152pp.
- Consortio Interdiseño – Estudios tecnicos S.A. 1999. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión de energía a 230 kv Purnio – Miel I – San Felipe. Contrato ISA CM76. Documento 823 – EG32 – CM76 – 84. Vol I-II. Santa Fé de Bogotá.
- Consultoría Colombiana S.A. 1997. Informe final de identificación y evaluación de impactos ambientales. Línea de transmisión de energía a 230 kv Sochagota – Guatiguará. Contrato ISA AJ84. Documento L47I42006. Santa Fé de Bogotá. D.C.
- Consultoría Colombiana S.A. 1997. Identificación, predicción y evaluación de impactos. Línea de transmisión eléctrica a 500kv Pailitas - El Copey. Documento L04I42002. Bogotá.
- Consultoría Colombiana S.A. 1997. Identificación, predicción y evaluación de impactos. Línea de transmisión eléctrica a 230kv Sector Pailitas - Tamalameque. Documento L46I42005. Bogotá.
- Controles de Contaminación. Ltda. 1983. Ministerio de Minas y Energía. Instituto Colombiano de Energía Eléctrica. Línea de Transmisión a 230kv Popayán – Pasto. Documento L40I42001. Bogotá.
- Hidroambiente Ltda. Ingenieros consultores. 1988. Declaratoria de efecto ambiental por parte del Inderena para la línea de transmisión a 230kv B/manga-Ocaña-Cúcuta. Documento L41I42001.
- Ifimaris Ltda. 1999. Diagnóstico y Plan de Manejo ambiental operativo. Línea de transmisión de energía eléctrica a 230 kv San Carlos – Purnio – Noroeste. Santa Fé de Bogotá. CD Rom (Documento L26I42201 y L26I42202)
- Ingetec S.A. 1999. Plan de manejoambiental operativo. PMAO. Línea de transmisión de energía a 230 kv Betania – San Bernardino. Contrato N° 4500003581. Documento N° BSB – DA/4 – 004. Santa Fé de Bogotá. D.C.
- Instituto de Estudios Regionales. (INER). 1998. Estudios de restricciones y posibilidades ambientales de los proyectos del plan de expansión eléctrica. ISA 2001-2010". Universidad de Antioquia. P 136.
- Interconexión Eléctrica S.A. 2001. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión de energía eléctrica a 230 kv Sabanalarga – Termocartagena. Medellín. CD Rom.
- Mejía Villegas S.A. 1998. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión de energía a 230 kv Cerromatoso – Urrá I. Contrato ISA CC47. Documento 823 – PC5 – CC47 – 82 - 07. Medellín..
- Mejía Villegas S.A. 1998. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión de energía a 230 kv Playas – Primavera. Contrato ISA CI87. Documento 823 – PF1 – CI87 – 82 - 06. Medellín.
- Ministerio del Medio Ambiente. 1999. Guía ambiental para proyectos de transmisión de energía eléctrica. Santa Fé de Bogotá.
- Ospina, J.E. 2004. Propuesta de indicadores cuantitativos de los impactos por su grado de incidencia identificados por un modelo de gestión ambiental por dimensiones, en proyectos de transmisión eléctrica de ISA. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. P 187.
- Salgado, Meléndez y Asociados. Ingenieros Consultores Ltda. 1997. Estudio de impacto ambiental. Línea de transmisión eléctrica a 230kv La Sierra – Doña Juana. Documento L49I42004. Bogotá.
- Salgado, Meléndez y Asociados. Ingenieros Consultores Ltda. 1997. Estudio de impacto ambiental. variante Juanchito – San Bernardino a 230kv. Documento L51I42001. Bogotá.
- Sejín, J.F. 2002. Homologación de impactos ambientales y medidas de manejo en líneas de transmisión eléctrica para el sistema integrado de información ambiental de Interconexión Eléctrica S.A. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 208 pp.

