

# UNA PROPUESTA ESTADÍSTICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO

A STATISTICAL PROPOSAL FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF DEVELOPMENT PROJECTS

Julián Andrés Plazas Certuche<sup>1</sup>; Álvaro de J. Lema Tapias<sup>2</sup> y Juan Diego León Peláez<sup>3</sup>

**Resumen.** La evaluación de impacto ambiental es un proceso fundamental que tiene como objetivo principal, evitar que la construcción y puesta en funcionamiento de los proyectos de desarrollo, produzcan serias alteraciones negativas sobre el medio ambiente. Dentro de las principales limitaciones de las técnicas e instrumentos empleados para dicha valoración, se destacan la subjetividad de los parámetros y ponderadores de los modelos usualmente empleados y, la multicolinealidad no desentrañada de variables que portan gran cantidad de información similar. Este trabajo propone una metodología desarrollada a partir de la estadística multivariada, que pretende disminuir tales limitaciones. Para esto la valoración de los impactos ambientales, se realiza mediante el uso de diferentes atributos de impacto y elementos ambientales, sintetizados en un "Índice de Calidad Ambiental ICA", al nivel de proyecto, así como evaluaciones ambientales parciales al nivel de componente ambiental.

**Palabras claves:** Estudios de impacto ambiental, evaluación de impacto ambiental, atributos de impacto ambiental, elementos ambientales, componentes ambientales, análisis de componentes principales, análisis de cluster, análisis discriminante.

**Abstract.** Environmental impact assessment of development projects, is a fundamental process, which main goal is to avoid that their construction and functioning, lead to serious and negative consequences on the environment. Some of the most important limitations of the models employed to assess environmental impacts, are the subjectivity of its parameters and weights, and the multicollineality among the variables, which represent high quantities of similar information. This work presents a multivariate statistical-based method that tries to diminish such limitations. For this purpose, environmental impact assessment, is valued through different environmental impact attributes and environmental elements, synthesized in an environmental quality index (ICA in Spanish). ICA can be applied at different levels, such as at a project level, or applied only at a partial level on one or some environmental components.

**Key words:** Environmental impact assessment, environmental impact attributes, environmental elements, environmental components, principal components analysis, cluster analysis, discriminating analysis.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso legal-administrativo que pretende identificar, predecir, e interpretar el impacto ambiental que un proyecto o actividad pueden producir, así como prevenir, corregir y evaluar tal impacto (Duarte *et al.*, 2007).

Aun cuando la EIA en Colombia se ha practicado desde hace varias décadas, ésta solo alcanzó notoriedad para la construcción y puesta en funcionamiento de proyectos de desarrollo, hasta la promulgación de la Ley 99 de 1993, que creó el Ministerio de Medio Ambiente, y en particular hasta la expedición del Decreto 1753 de 1994 que reglamentó esta materia (León y Lopera, 1999; León, 2004). En éstas y otras normas posteriores, se han establecido diferentes disposiciones para la EIA, las cuales incluyen aspectos administrativos de importancia crucial para reducir el impacto sobre el entorno, donde se habrá de emplazar un proyecto de desarrollo determinado. Así, de acuerdo

con el Decreto 1180 de 2003 del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Artículos 7, 8, 9 y 14), para hacerse adjudicatario de la licencia ambiental que da vía libre a tales intervenciones, es requisito necesario la elaboración y presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), y para algunos proyectos particulares, de un Diagnóstico Ambiental de Alternativas.

Estos documentos se sirven de diversos instrumentos de valoración de los impactos ambientales, de cuya aplicación se produce, o no, un parte de viabilidad para los proyectos evaluados, así como la identificación de posibles medidas conducentes a la mitigación, corrección, prevención y/o compensación de tales impactos. Así, se favorece que, la construcción y funcionamiento de un proyecto, se cumpla bajo las premisas de sostenibilidad y mínima alteración de la base de recursos naturales, y su integración armónica con el entorno.

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <japlazas@unalmed.edu.co>

<sup>2</sup> Profesor Jubilado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <adjlema@unalmed.edu.co>

<sup>3</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín, Colombia. <jdleon@unal.edu.co>

Recibido: Abril 28 de 2008; Aceptado: Marzo 9 de 2009.

Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 62(1): 4937-4955. 2009

Los instrumentos más utilizados tradicionalmente en el proceso de EIA, son muy diversos. Quizás una de las más completas clasificaciones de estos a nivel global, fue realizada por Canter y Sadler (1997), quienes agruparon en 22 categorías las metodologías empleadas en los EsIA desde la década de los 70. Éstas incluyen desde las aproximaciones más simples, como las listas de verificación o chequeo, matrices de interacción, y las consultas a expertos, hasta técnicas que consideran estudios de campo (v.g. monitoreo de receptores) y modelaciones cuantitativas (v.g. simulaciones computacionales tri-dimensionales).

Otros autores (Sanz, 1991) han propuesto de manera más sintética, tres grandes grupos de técnicas: *i.* modelos de identificación (matrices causa - efecto, matrices cruzadas, diagramas de flujo, otras). Estas técnicas (Canter, 1998) abarcan desde simples listados de factores ambientales, hasta descripciones que incluyen mediciones sobre la información, la predicción, y la interpretación de las alteraciones de los impactos identificados. Algunas de éstas consideran la asignación de pesos o ponderadores a los factores ambientales, y la valoración de los impactos de cada alternativa sobre cada factor a través de escalas; *ii.* modelos de previsión (modelos reducidos, matemáticos, físicos o físico-matemáticos, complementados con pruebas experimentales y ensayos "in situ"); y *iii.* modelos de evaluación (métodos tradicionales de evaluación, métodos numéricos con empleo de rangos, sistemas cuantitativos, sistemas *ad hoc*). Dentro de este grupo de técnicas podrían ubicarse, aquellas para estudiar la incertidumbre asociada a los modelos matemáticos propuestos que, surgen a su vez, de la incapacidad de conocer exactamente el valor numérico de las variables incorporadas (por ser estimadas o medidas con instrumentos de precisión limitada). Estas técnicas se basan en la lógica difusa, disciplina relativamente joven, que mediante la aplicación de algoritmos, lleva funciones discontinuas y sus inversas al concepto de números difusos, con lo cual es posible estudiar tal incertidumbre (Duarte *et al.*, 2003, 2007).

A partir de la naturaleza de los instrumentos técnicos empleados, pueden diferenciarse a su vez cuatro conjuntos (Conesa, 2000): *i.* sistemas de redes y gráficos (matrices Leopold, CNYRPAB, Bereano, Sorensen, otros); *ii.* sistemas cartográficos (superposición de transparentes, Mc Harg, Tricart, otros); *iii.* métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación (Holmes, Universidad de

Georgia, Hill-Schechter, Fisher-Davies); y *iv.* métodos cuantitativos (Batelle-Columbus).

En una clasificación más sintética, Magrini (1990) diferencia dos grandes grupos de técnicas: *i.* métodos tradicionales de evaluación de proyectos (análisis costo/beneficio), para realizar mediciones en términos monetarios; y *ii.* métodos cuantitativos, los cuales procuran aplicar escalas valorativas para los diferentes impactos medidos originalmente en sus respectivas unidades físicas. En el último conjunto se observan dos categorías: una primera centrada en la identificación y síntesis de los impactos (listas de chequeos, matrices, redes, diagramas, métodos cartográficos, métodos *ad hoc*), y una segunda que involucra la explicación de las bases de cálculo de cada impacto generado (método de *Batelle*, hoja de balance, matriz de realización de objetivos). Se dispone, así, de una amplia gama de alternativas para la valoración de los impactos ambientales, en su gran mayoría, desarrollados en otros países, y bajo condiciones ambientales, técnicas y administrativas, claramente diferentes a las de Colombia.

Dentro de todas las herramientas disponibles para la predicción y valoración de impactos ambientales, se destacan los modelos matemáticos, los cuales han sido ampliamente empleados en todo el mundo desde hace varias décadas (De Broissia, 1986), sin perder por ello vigencia. De hecho, en la actualidad, se siguen generando nuevas propuestas a través de concepciones de tipo genérico y *ad hoc*. La utilidad de los modelos matemáticos en la valoración de impactos estriba en que estos, a partir de la modelación, permiten formalizar los procesos de toma de decisiones en las instancias de planificación y gestión ambiental (Karplus, 1983).

Estos modelos usan ecuaciones matemáticas para representar las relaciones existentes entre las variables, las cuales, en el caso de la EIA, corresponden a los atributos o características de los impactos (Lohani *et al.*, 1997). Dentro de las propuestas de valoración ampliamente reconocidas pero de desarrollo foráneo, se tienen entre otras, las de Gómez (1988, 1999) y Conesa (2000). Más recientemente, ha cobrado fuerza la inclusión de técnicas para la manipulación de información difusa en las metodologías de EIA, dado que la mayoría de conceptos e información manejada en las evaluaciones ambientales, son inherentemente difusos, por su vaguedad o carácter incierto. Estas metodologías son de hecho,

extensiones de las metodologías clásicas arriba mencionadas (Duarte *et al.*, 2007). Para Colombia se conocen algunas propuestas y modificaciones de modelos matemáticos desarrollados por Duarte *et al.* (2003, 2007), Arboleda (1994), León y Lopera (1999) y León (2004), que pueden ser empleados para la EIA de manera general. No obstante, sus expresiones matemáticas tienen limitaciones para la aplicación, dada la inclusión de índices y parámetros en ocasiones subjetivos, que reflejan parcialmente la falta de un manejo estadístico riguroso que haya dado lugar a la formulación de tales modelos paramétricos. Un intento por superarlo, llevó a la primera tentativa en su género, por medio del trabajo de Lajones y Lema (1999), que propuso un índice de valor de importancia etnobotánico para comunidades negras e indígenas del Ecuador. Esta metodología fue posteriormente utilizada por Ospina y Lema (2004) para la construcción de indicadores cuantitativos de los impactos generados en proyectos de gestión ambiental, y por Jiménez *et al.* (2004) para la construcción de un índice para la determinación de especies vegetales compatibles con las líneas de transmisión de energía. Dentro de los desarrollos matemáticos más notables se encuentran los de Duarte *et al.* (2003, 2007), que permiten evaluar la incertidumbre asociada a las variables, cuantitativas o categóricas por medio de técnicas de números difusos.

De conformidad con los planteamientos expuestos, este trabajo llenaría algunos de los vacíos para alcanzar una valoración de los impactos ambientales, mediante una herramienta de construcción, apropiada para el tipo de proyectos de desarrollo y entorno ambiental colombianos, a través de: *i*) la generación de unos índices para la valoración de impactos ambientales, ocasionados por la implementación y puesta en marcha de proyectos de desarrollo, *ii*) la selección y comparación de distintas combinaciones de atributos de impactos ambientales, para ser incorporados en la construcción de índices para la valoración del impacto ambiental de proyectos de distinta naturaleza y, *iii*) como aporte particular, la inclusión de una valoración estadística, que permite eliminar las variables multicolineales (portadoras de información similar y aparentemente independientes), medidas o ubicadas en un mismo e incluso, diferentes campos. Para esto se vale de la semicuantificación de atributos calificados por expertos, mediante la calificación de la explicación calculada para la matriz de varianzas-covarianzas de una serie de variables relativizadas,

mediante la técnica de Componentes Principales, que refleja, aunque de manera indirecta, el nivel de certidumbre logrado por la varianza explicada.

## MÉTODOS

**Construcción de matrices.** Para la generación de esta propuesta, fueron revisados e identificados los elementos ambientales, actividades y atributos de impacto ambiental comunes, de un conjunto de documentos, suficientes y representativos, de diferentes EsIA de varias entidades ambientales del Valle de Aburrá y sus alrededores (Antioquia, Colombia), como CORNARE, CORANTIOQUIA, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Secretaría del Medio Ambiente de Envigado, organizados en matrices, y, especialmente aquellos con expresiones matemáticas de construcción similar (v.g. Gómez, 1988; Arboleda, 1994; León y Lopera, 1999; León, 2004). Con la información recolectada se generaron nuevas matrices para presentar de manera consolidada los elementos, las actividades y los atributos identificados. La Tabla 1 muestra una matriz típica, con elementos ambientales, y atributos de impacto ambiental, para un grupo de actividades que aquellos EsIA proponían, descritos así:

**Presencia (P).** Probabilidad de que el impacto tenga lugar efectivamente. Posibilidad de ocurrencia.

**Duración (D).** Periodo de tiempo de existencia activa del impacto.

**Evolución (E).** Velocidad de desarrollo del impacto desde su aparición hasta alcanzar su plenitud.

**Magnitud (Mg).** Dimensión del cambio ambiental producido.

**Extensión (Ex).** Área de influencia del impacto en relación con el entorno del proyecto.

**Acumulación (A).** Acumulación con otros impactos a medida que uno se presenta.

**Relación (R).** Carácter directo o indirecto del impacto, con respecto al componente ambiental.

**Reversibilidad (Rv).** Carácter reversible o irreversible del impacto una vez ocurre.

**Sinergia (S).** Efecto conjunto de varias acciones que conllevan una incidencia de mayor importancia a la que ocurriría con las incidencias individuales consideradas aisladamente.

**Mitigabilidad (Mt).** Posibilidad de amortiguación o mitigación del impacto.

**Momento (M).** Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y la aparición del efecto.

**Tabla 1.** Matriz de presentación de elementos y atributos propuestos para estudio de impacto ambiental.

Sistema	Componente	Elemento Ambiental	P	D	E	Mg	Ex	A	R	Rv	S	Mt	M
Abiótico	Aire	Gases											
		Partículas											
		Ruido											
	Agua	Propiedades químicas											
		Propiedades físicas											
		Calidad del agua											
Suelo	Propiedades químicas												
	Propiedades físicas												
	Calidad del suelo												
Flora	Cobertura vegetal												
	Diversidad y número												
Biótico	Fauna	Hábitat y nichos ecológicos											
		Diversidad y número											
	Cultural	Arraigo											
	Manifestación cultural												
Social	Demográfico	Salud y riesgos											
		Calidad de vida											
	Económico	Valorización de bienes											
Generación de empleo													
	Desarrollo regional												
Urbanismo	Urbanismo	Usos del suelo											
		Servicios públicos e infraestructura											
		Cambio en el paisaje											

Estos atributos ambientales, eliminados aquellos que no presentaron suficiente información, se encontraron valorados entre 0 y 1 en cada uno de los EsIA, con sus respectivas expresiones matemáticas de construcción. De manera análoga se procedió con los elementos ambientales escogidos dentro de su respectivo componente y con los grupos de actividades (los más comunes en los proyectos de desarrollo, de manera que reunieran bajo un mismo título actividades de carácter similar que de otra forma atomizarían y harían compleja la evaluación. Para cada uno de estos grupos se asignó un ponderador de 1, dado el carácter de independencia que se logra a través de la agrupación. Tales grupos fueron: operación de campamentos y talleres, remoción de vegetación y descapote, transporte y acarreo de materiales y sobrantes, disposición y llenos con sobrantes, pavimentación y obras con concreto, y funcionamiento).

**Jerarquización de elementos y atributos de impacto ambiental.** En estas matrices consolidadas, con el uso del método del censo a expertos -Delphi- que aprovecha la sinergia del debate en el grupo y elimina las interacciones sociales indeseables dentro de ellos, hasta llegar a consensos (Gómez, 1999), se jerarquizaron los elementos ambientales mediante el método de ordenación por rangos de menor (1) a mayor importancia (23). Además, se dio un valor de importancia entre 0 y 1 a los atributos de impacto escogidos, con base en una escala preestablecida, también por los expertos, dentro del rango señalado.

Los valores obtenidos se relativizaron por el total de puntos asignados al total de factores de cada componente, como se muestra en la Tabla 2, para la variable Aire, compuesta de los elementos G, P y R, a los cuales se asignaron las respectivas ponderaciones (de mayor a menor de acuerdo con

la importancia esperada) por un conjunto de jueces, obteniéndose los elementos de la variable relativizada

$Aire=(G*3+P*2+R*1)/6=0,763$ , para un estudio con los valores de campo mostrados.

**Tabla 2.** Estandarización de un componente abiótico en estudios de impacto ambiental.

Componente	Elemento ambiental	Ponderación	Valor de campo	Elemento ambiental relativizado
Aire	Gases (G)	3	0,80	0,400
	Partículas (P)	2	0,64	0,213
	Ruido ( R )	1	0,90	0,150
	<b>Suma</b>	<b>6</b>		

El criterio final se obtuvo del promedio de los resultados de los jueces que participaron de la encuesta. Con las variables relativizadas ponderadas, se realizaron los análisis estadísticos multivariados.

**Análisis de componentes principales para los atributos de impacto ambiental.** Con los datos estandarizados se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para el grupo de atributos escogidos, con el fin de reducir la dimensionalidad del problema, y eliminar variables multicolineales o portadoras de igual nivel de información (Lema, 2002), y así encontrar un indicador que estimara de manera adecuada los impactos.

**ACP para los elementos ambientales.** En forma similar se procedió al ACP, con el fin de eliminar ruidos o multicolinealidad entre variables de diversos sistemas que, por su definición, concepción, o medición, resultarían redundantes, como último paso de reducción de dimensionalidad al problema, de acuerdo con el poder explicatorio acumulado de cada componente principal, por ser estas combinaciones lineales de todas las variables sometidas al sistema (Lema, 2002).

**Análisis de grupos para los EsIA.** Con los valores obtenidos para los elementos ambientales se realizó un análisis *cluster*, para establecer los tipos de agrupamiento de los EsIA y observar su categoría de ubicación entre los grupos; se eligió el método de fusión de Ward por maximizar la verosimilitud a cada nivel de jerarquía y su propensión a fusionar cluster con pequeño número de observaciones (Lema, 2002). Se extrajo un total de cinco (5) grupos de acuerdo con unas categorías preestablecidas de calidad ambiental: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Con los cluster obtenidos agrupando los diferentes EsIA, y sus respectivos índices ICA, se realizó luego un

análisis discriminante para corroborar la pertenencia al grupo de cada EsIA. Una vez consolidada esta información se definieron los diferentes rangos a los cuales correspondía cada estudio.

## RESULTADOS

### **Construcción de matrices y jerarquización de elementos y atributos de impacto ambiental.**

Inicialmente, de un total de 187 EsIA de diferentes entidades ambientales del Valle de Aburrá, 33 cumplieron con las especificaciones requeridas, para constituirse en población de partida o espacio muestral, con suficiente información para 7 de los 11 atributos de impacto ambiental mencionados: Presencia (P), Duración (D), Magnitud (M), Extensión (E), Reversibilidad (R), Sinergia (S) y Mitigabilidad (Mt), eliminándose los restantes. Dado que la aplicación de la técnica de consulta a expertos, permite el ingreso posterior de información, ésta se realizó sobre todos los atributos, con el fin de darles valores de importancia entre 0 y 1. Luego se clasificaron por rangos escalares y se obtuvieron los ponderadores por atributo (Anexo 1), se estandarizaron por EsIA, y se organizaron las matrices síntesis utilizadas en los ACP para los atributos encontrados. El siguiente paso fue encontrar los elementos ambientales comunes para los diferentes EsIA (Tabla 3), y someterlos a la consulta a expertos, para su ordenación por rangos (León, 2004) (Anexo 1).

Los grupos de actividades: operación de campamentos y talleres, remoción de vegetación y descapote, transporte y acarreo de materiales y sobrantes, disposición y llenos con sobrantes, pavimentación y obras con concreto, y funcionamiento, más comunes en los proyectos de desarrollo, se reunieron bajo un mismo título (para disminuir la complejidad de la evaluación).



**Tabla 3.** Componentes y elementos ambientales comunes en los estudios de impacto ambiental.

Sistema	Componente	Elemento	Variable
Abiótico	Aire	Gases	AiGases
		Partículas	AiPart
		Ruido	AiRu
	Agua	Propiedades químicas	AgPrqu
		Propiedades físicas	AgProfi
		Calidad del agua	AgCagua
Suelo	Propiedades químicas	SuProqui	
	Propiedades físicas	SuProfi	
	Calidad del suelo	SuCasu	
Biótico	Flora	Cobertura vegetal	FICoVe
		Diversidad y número	FloDivnu
	Fauna	Hábitat y nichos ecológicos	FauHaniec
		Diversidad y número	FauDivenu
Social	Cultural	Arraigo	CuArr
		Manifestación cultural	CuMacu
	Demográfico	Salud y riesgos	DemSari
		Calidad de vida	DemCavi
Económico	Valorización de bienes	EcValbie	
	Generación de empleo	EcGenem	
	Desarrollo regional	EcDesarore	
Urbanismo	Usos del suelo	Urusu	
	Servicios públicos e infraestructura	UrSepu inf	
	Cambio en el paisaje	UrCampa	

**ACP para los atributos de impacto ambiental.**

De acuerdo con el ACP (Figura 1, Anexo 2), para los atributos de impacto ambiental, la primera componente (Ecuación 1) podría asimilarse a un índice general de calidad ambiental con base en

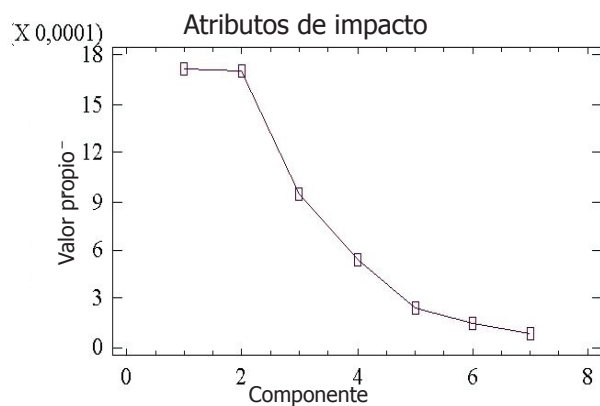
las variables relativizadas, que indicaría el valor de un impacto (IA), y la segunda (Ecuación 2) podría indicar el agrupamiento de los atributos (IA<sub>g</sub>). Con estos podría calcularse un valor de impacto para cada EsIA.

$$IA=0,90*P+0,34*D+0,04*M-0,04*Ex+0,07*Rv-0,11*S+0,21*Mt \quad (1)$$

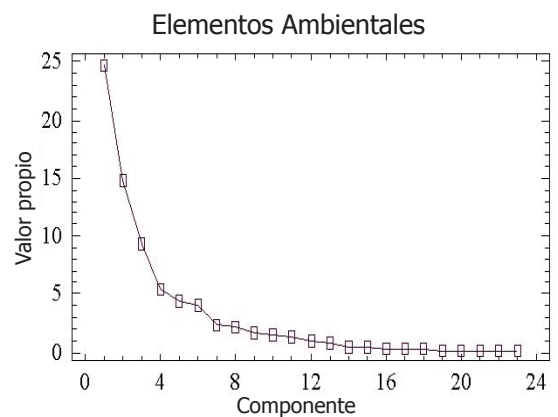
$$IA_g=-0,20*P+0,27*D-0,47*M+0,24*Ex+0,41*Rv+0,29*S+0,60*Mt \quad (2)$$

**ACP para los elementos ambientales.** Dado que los grupos de actividades recibieron igual ponderación, se concibió un valor de Índice de Calidad Ambiental (ICA) por elemento en cada EsIA, como la suma de los IA por cada elemento en todos los grupos de actividades. Con estos fueron nuevamente realizados los ACP, los análisis de

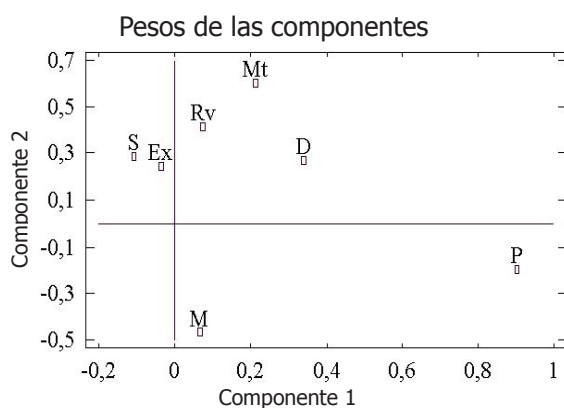
cluster e incluso algunos análisis de correspondencia (que no aportaron información relevante) para los elementos ambientales, con el fin de observar el comportamiento del índice ICA y su posible utilización. Las variables sin peso significativo fueron eliminadas, y se corrió nuevamente un ACP (Figura 1 y Anexo 2).



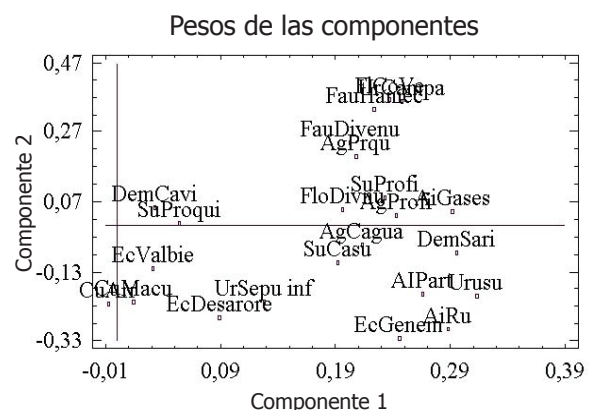
A) Valores propios de la CP



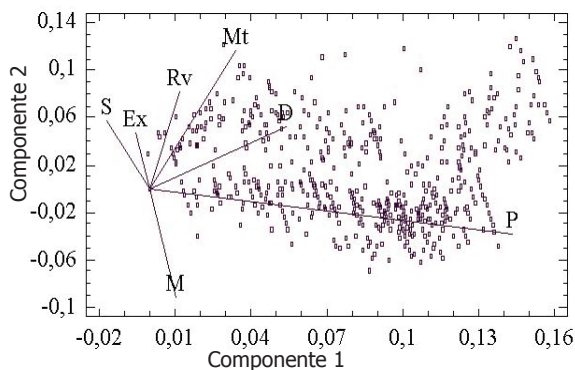
B) Pesos de las CP



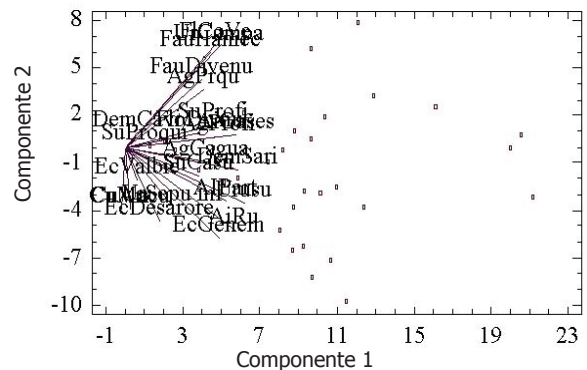
C) Vectores propios y dispersión de los datos



D) Valores propios de la CP



E) Pesos de las CP



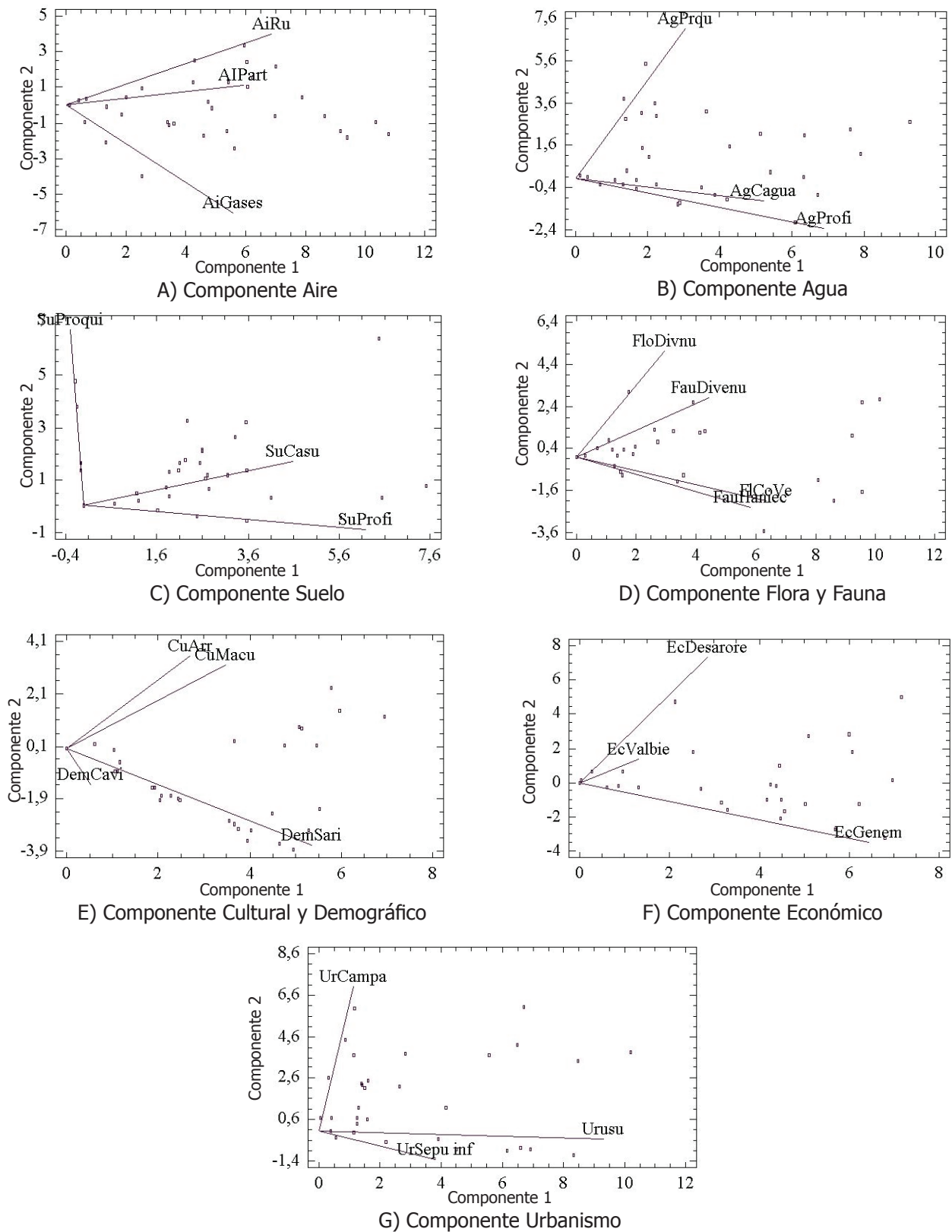
F) Vectores propios y dispersión de los datos

**Figura 1.** Análisis de componentes principales para los atributos de impacto y los elementos ambientales.

**ACP para las componentes ambientales.** Como resultado de la aplicación de esta metodología, puede ser observado el comportamiento de los elementos ambientales por componente ambiental (Figura 2 y Anexo 3), incluidas las diferentes ecuaciones que permiten el cálculo de los valores de calidad ambiental por componente ambiental

(Tabla 4). Sus respectivos rangos de calificación se presentan en los análisis de grupos.

Dado que las componentes ambientales Flora y Fauna presentaban cada una solo dos elementos ambientales, éstas se agruparon para realizar el ACP; análogamente se procedió con las componentes Cultural y Demográfico.



**Figura 2.** Vectores propios para las componentes ambientales y dispersión de los datos.



**Tabla 4.** Ecuaciones para el cálculo del índice de calidad ambiental (ICA) por componente ambiental.

Componente	Ecuación	
Aire	$ICA_{aire} = 0,5236 * Ai_{Gases} + 0,556 * Ai_{Part} + 0,6455 * Ai_{Ru}$	(3)
Agua	$ICA_{agua} = 0,3343 * Ag_{Prqui} + 0,7507 * Ag_{Prfi} + 0,5697 * Ag_{Cagua}$	(4)
Suelo	$ICA_{suelo} = -0,039 * Su_{Prqui} + 0,8022 * Su_{Prfi} + 0,5956 * Su_{Casu}$	(5)
Flora y Fauna	$ICA_{bio} = 0,62 * Flo_{CoVe} + 0,29 * Flo_{Divnu} + 0,57 * Fau_{Haniec} + 0,43 * Fau_{Devenu}$	(6)
Cultural y Demográfico	$ICA_{c&d} = 0,388 * Cu_{Arr} + 0,499 * Cu_{Macu} + 0,771 * Dem_{sari} + 0,075 * Dem_{cavi}$	(7)
Económico	$ICA_{ec} = 0,1845 * Ec_{Valbie} + 0,8987 * Ec_{Genem} + 0,3977 * Ec_{Desarore}$	(8)
Urbanismo	$ICA_{urb} = 0,9197 * Ur_{usu} + 0,3753 * Ur_{Sepuin} + 0,1147 * Ur_{Campa}$	(9)

**Análisis de grupos para los EsIA mediante los elementos ambientales.** Para los EsIA, se realizó inicialmente el análisis de cluster tipo Ward, con base en las variables relativizadas que, al no esclarecer una diferenciación entre los agrupamientos, hizo necesario el uso de cluster difusos "Fuzzy Cluster" (Podani, 1994; Lema, 2002). Éste permite ubicar un mismo objeto en dos cluster o grupos a la

vez, pero por métodos de depuración posterior se ubica inequívocamente en uno solo (Lema, 2002) (Tabla 5). De acuerdo con los valores obtenidos del ICA, se jerarquizaron los grupos obtenidos, interpretando que un menor valor del ICA expresa una alta calidad ambiental. Lo anterior quiere decir que los elementos de impacto, se encuentran en sus menores valores posibles.

**Tabla 5.** Estudios de impacto ambiental escogidos con su respectivo ICA y cluster difuso al cual pertenecen.

Cluster	Estudio	ICA	Cluster	Estudio	ICA	Cluster	Estudio	ICA
1	E1	8,076	2	E14	87,738	4	E22	45,556
1	E2	9,058	2	E15	86,263	4	E25	40,286
1	E7	17,626	2	E31	69,154	4	E26	43,624
1	E11	21,283	3	E3	55,495	5	E5	38,144
1	E17	35,517	3	E4	42,877	5	E19	35,664
1	E18	10,866	3	E8	38,601	5	E21	42,163
1	E23	8,347	3	E9	48,483	5	E24	36,271
1	E27	24,394	4	E10	56,357	5	E28	48,801
1	E29	26,407	4	E12	53,489	5	E30	24,448
1	E32	19,35	4	E13	46,71	5	E33	41,627
2	E6	84,311	4	E20	43,154	5	E34	38,96

**Análisis discriminante.** Se realizó un análisis discriminante (Lema, 2002) a los EsIA de los cluster obtenidos, para observar la calidad de la agrupación dentro de las diferentes categorías representadas por cada grupo. Los valores propios y las correlaciones canónicas en los grupos de las funciones discriminantes obtenidas, y la prueba de chi-cuadrado para las funciones discriminantes derivadas del análisis, se muestran en el Anexo 4.

En la Tabla 6 se indica la clasificación de los EsIA obtenida del análisis discriminante con respecto a la obtenida con el análisis de cluster. La Figura 3 presenta la dispersión de los diferentes EsIA de acuerdo a las dos primeras funciones discriminantes, mostrando los diferentes grupos.

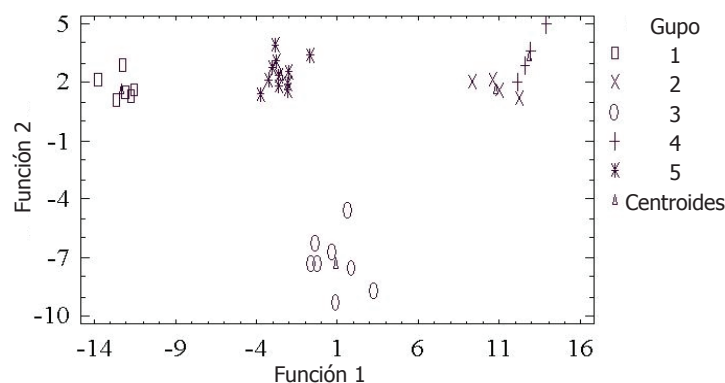
Dada la concordancia de los procesos discriminantes con los análisis de cluster, se formaron los diferentes rangos de calificación para los EsIA de acuerdo al índice ICA (Tabla 7).

**Tabla 6.** Tabla de clasificación de los EsIA de acuerdo al cluster tipo Ward.

Grupo actual	Tamaño de grupo	Grupo predicho				
		1	2	3	4	5
1	6	6	0	0	0	0
		100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	4	0	4	0	0	0
		0,00%	100%	0,00%	0,00%	0,00%
3	8	0	0	8	0	0
		0,00%	0,00%	100%	0,00%	0,00%
4	4	0	0	0	4	0
		0,00%	0,00%	0,00%	100%	0,00%
5	11	0	0	0	0	11
		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100%

**Tabla 7.** Rangos de calificación ICA para los estudios de impacto ambiental de acuerdo con los grupos logrados y el análisis discriminante.

Número de rango	Calificación de calidad ambiental	Valor del ICA	Número de cluster
1	Alta	8-21	1
2	Media	21-38	5
3	Baja	38-65	2-3
4	Muy baja	65-90	4

**Figura 3.** Dispersión de datos correspondientes a los estudios de impacto ambiental de acuerdo a las funciones discriminantes uno y dos.

**Análisis de grupos para las componentes ambientales.** Para encontrar los rangos de clasificación de los diferentes valores de calidad ambiental dentro de cada componente ambiental, se procedió de la misma manera que con el índice ICA general, y con análisis de cluster tipo Ward, que en este caso discriminaron bien los grupos. Para las diferentes componentes ambientales,

se identificaron los respectivos valores ICA y su respectiva tabla de membresía (datos no mostrados). Adicionalmente, y de especial interés, se encontraron los rangos del ICA con su calificación ambiental (Tabla 8). En el caso de las componentes Cultural y Demográfico, no se logró una buena diferenciación entre los límites de cada uno de los grupos.

**Tabla 8.** Rangos ICA para las componentes ambientales de acuerdo al cluster tipo Ward.

Número de rango	Calificación de calidad ambiental	Valor del ICA	Número de cluster
<b>Componente Aire</b>			
1	Alta	0 – 5	1 – 4
2	Media	5 – 12	2 – 5
3	Baja	12 – 20	3
<b>Componente Agua</b>			
1	Alta	0 – 4	1
2	Media	4 – 6.5	3 – 4
3	Baja	6.5 – 9	5
4	Muy baja	9 – 17	2
<b>Componente Suelo</b>			
1	Alta	0 – 3	1 – 2
2	Media	3 – 8	3 – 5
3	Baja	8 – 11	4
<b>Componentes Flora y Fauna</b>			
1	Alta	0 – 4	1
2	Media	4 – 10	5
3	Baja	10 – 15	2
4	Muy baja	15 – 21	3 – 4
<b>Componente Económico</b>			
1	Alta	0 – 3	1
2	Media	3 – 7	2 – 3
3	Baja	7 – 9	4
4	Muy baja	9 – 14	5
<b>Componente Urbanismo</b>			
1	Alta	0 – 4	1
2	Media	4 – 10	2 – 3
3	Baja	10 – 15	4
4	Muy baja	15 – 20	5

## DISCUSIÓN

**Construcción de matrices y jerarquización de elementos y atributos.** A pesar de los diversos puntos de vista que emergieron de la aplicación de la técnica de consulta a grupos de expertos para la jerarquización de los atributos y los elementos ambientales, se llegó a un punto de convergencia que facilitó la construcción de las matrices síntesis. El valor más alto del ponderador por atributo (Anexo 1) corresponde a una menor calidad ambiental, o en otras palabras a un mayor impacto.

**Análisis de CP para los atributos de impacto ambiental.** A través del ACP se encontró que con dos componentes es posible explicar casi 64% de la variabilidad de los datos (Anexo 2), que se considera

acertada para conocer el comportamiento de los atributos en los diferentes EsIA analizados en este trabajo, en tan solo dos dimensiones (Figura 1A).

De los diferentes atributos, Presencia (P) fue el de mayor peso relativo para la primera componente, mientras que para la segunda lo fue Mitigabilidad (Mt) (Anexo 2). En la Figura 1B se pueden observar claramente los pesos de los atributos comparados en las dos CP. Las variables anteriormente presentadas se mostraron más alejadas del resto del grupo de atributos, al igual que el atributo Duración (D), por lo cual estos tres serían responsables de una gran parte de lo explicado. De estos resultados la primera componente podría ser expresada como un índice general de calidad ambiental que indicaría el valor de un impacto (IA) – Ecuación (1) – y la segunda

componente establecería contrastes entre atributos: Presencia (P) y Magnitud (M) de signos diferentes al resto. Este índice IA, encontrado mediante CP y con los diferentes atributos escogidos, puede finalmente ser utilizado para la evaluación de diferentes impactos sobre elementos ambientales presentes en los proyectos de desarrollo, teniendo así una aplicación directa como expresión a través de la cual se valore el impacto ambiental al nivel de proyecto. Se nota aquí que es posible, al eliminar el ruido introducido por variables portadoras de información similar, encontrar otros ponderadores diferentes a los inicialmente propuestos por los expertos temáticos.

**CP para los elementos ambientales.** De acuerdo con el proceso de jerarquización de los elementos ambientales por los expertos (Anexo 1), el elemento ambiental más importante fue "Propiedades químicas del agua", seguido de los elementos que hacían parte de la componente Demográfica: Salud y Calidad de vida. Como un tercer grupo se destacaron los componentes ambientales Agua y Aire, mientras que en último lugar se presentaron los elementos de los componentes Economía y Urbanismo.

Del ACP para los elementos ambientales, los elementos Propiedades químicas (Componente Suelo) y Calidad de vida (Componente Demográfica) recibieron un peso relativo muy poco significativo con respecto a los demás elementos (alrededor de 0,05 o menos), por lo cual se descartaron al asumir que su aporte podría ser muy similar para todos los EsIA, perdiendo poder discriminatorio. Asimismo, más del 50% de la variabilidad de los datos pudo ser explicada con dos componentes, lo que reduce una explicación de 23 a solo dos dimensiones (Figura 1D). Probablemente la primera componente representa un índice que mediría la calidad ambiental para ciertos EsIA en los cuales, sus variables están compuestas por los elementos ambientales. La segunda componente posiblemente realizaría un agrupamiento de los elementos ambientales en forma de contrastes.

**Análisis por componentes ambientales.** La metodología propuesta permitió además observar el comportamiento de los elementos ambientales por componente ambiental. Para el componente Aire, la componente 1 explicó más del 72% de la varianza de los datos con gran peso de los Gases, seguida de las Partículas y del elemento Ruido. Para el componente Agua se encontró que con dos CP se podía explicar cerca del 87% de la varianza de

los datos (Anexo 3, Figura 2B); sin poder eliminar ninguno de los elementos que lo componen, ya que sus pesos en cada componente fueron muy altos. No obstante, fue notable que las Propiedades físicas y la Calidad del agua tuvieron un comportamiento muy similar, conforme sus vectores propios estuvieron muy próximos unos de otros. Dentro del componente Suelo se encontró, por el contrario, que el elemento Propiedades químicas tenía un peso muy bajo dentro de las CP con relación a los otros dos elementos, y también fue eliminado del análisis. En cambio, el elemento Propiedades físicas tuvo un alto valor en el peso de las CP. Para el componente Suelo el 83% de la variabilidad de los datos se pudo explicar con dos CP (Figura 2C).

Para los componentes Flora y Fauna, cerca de un 78% de la varianza de los datos pudo explicarse con una sola componente. Los elementos Cobertura Vegetal, y Hábitat y Nichos Ecológicos, probablemente se encontraban midiendo el mismo objeto, dada su fuerte correlación y el bajo valor del ángulo entre sus vectores propios (Figura 2D). Todos los elementos ambientales incluidos en este sistema Biótico fueron significativamente importantes, ya que los valores de los pesos de las CP fueron muy altos. Para los componentes Cultural y Demográfico (Anexo 3), el elemento Calidad de Vida tuvo un peso muy bajo dentro de las CP, por lo cual se eliminó. El elemento Salud y Riesgos mostró una alta importancia, por los altos valores en los pesos relativos en las CP, mostrándose alejado de los demás elementos (Figura 2E). En este caso sólo fueron necesarias dos CP (Anexo 3), la primera CP, que podría indicar la calidad ambiental de estos dos componentes ambientales, y la segunda que agrupa los elementos ambientales de acuerdo a los contrastes de los parámetros de las variables, ya que los elementos culturales tuvieron parámetros positivos y los elementos demográficos negativos. La explicación de la variabilidad para el componente ambiental Cultural y Demográfico llegó al 89,5%

Para el componente Económico (Anexo 3, Figura 2f), todos los elementos fueron importantes debido a los pesos dentro de las CP; además se alcanzó una explicación de la varianza cercana al 96% con solo dos de ellas. Los elementos Desarrollo regional y Generación de empleo tuvieron los mayores pesos en las CP, debido a sus mayores longitudes, pero no se verificó una agrupación aparente entre los elementos de esta componente. Finalmente, para el componente

Urbanismo, con las dos primeras CP se obtuvo una explicación del 85% de la varianza, siendo todos los elementos necesarios, dados los altos valores de los pesos en las CP.

### **Análisis de cluster con todos los elementos.**

Se encontraron contrastes muy fuertes para los valores del ICA en los cluster uno (1), cuatro (4) y cinco (5), mientras que no fue posible diferenciar dos grupos bien definidos para los cluster dos (2) y tres (3), por lo cual se acudió a los cluster difusos. Con los componentes ambientales, el método de fusión de Ward permitió una discriminación satisfactoria, incluso similar a la lograda con los cluster difusos.

**Análisis de cluster y análisis discriminante.** Al no lograr una buena diferenciación entre los grupos obtenidos, ya que los valores límites del ICA en los cluster se entrecruzaban (Tabla 6), se realizó un análisis discriminante (Figura 3). La correlación canónica entre los EsIA de cada grupo fue muy alta, siendo la mínima de 88% aproximadamente, lo que podría mostrar consistencia en los agrupamientos logrados. Las tres primeras funciones discriminantes obtenidas permitieron clasificar adecuadamente los diferentes EsIA, dado que el *p-value* de éstas fue casi cero, mientras que la cuarta función tuvo un valor de 0,065, lo cual no la hizo estadísticamente satisfactoria a un nivel de confianza de 0,05 (Anexo 4).

La clasificación de los EsIA de acuerdo al análisis discriminante con respecto al análisis de cluster, mostró una adecuada clasificación de los EsIA, incluso similar a la obtenida en el análisis de cluster. Los grupos predichos indicaron que los estudios se catalogan en los mismos grupos expuestos inicialmente (Tabla 7).

$$IA = 0,90 * P + 0,34 * D + 0,07 * M - 0,04 * Ex + 0,07 * Rv - 0,11 * S + 0,21 * Mt$$

Para la obtención de los ICA, se eliminaron dos elementos ambientales cuyo peso relativo fue muy bajo en las CP, y por lo tanto su potencial de explicación prácticamente nulo, debido probablemente a la falta de información. Sin embargo como en el caso de IA, esta metodología permite su posterior inclusión. El valor global de impacto de un proyecto o ICA por EsIA, puede calcularse como la sumatoria de los diferentes ICA, correspondientes a los elementos ambientales. Este ICA por EsIA, encontrado en el análisis de los elementos ambientales, mediante el uso de herramientas multivariadas como el ACP y los análisis de grupos como cluster y discriminantes, se

De los resultados obtenidos con la metodología de cluster y el análisis discriminante, se podría finalmente optar por unir los cluster dos (2) y tres (3) como si fueran un único cluster, y presentar los rangos de calificación de los EsIA de acuerdo al valor ICA obtenido (Tabla 8), para finalmente formar cuatro grupos calificativos:

- Rango 1: EsIA con calidad ambiental alta o proyectos de bajo impacto ambiental.
- Rango 2: EsIA con calidad ambiental media o proyectos de mediano impacto ambiental.
- Rango 3: EsIA con calidad ambiental baja o proyectos de alto impacto ambiental.
- Rango 4: EsIA con calidad ambiental muy baja o proyectos de muy alto impacto ambiental.

Con esta metodología sería asimismo posible clasificar los EsIA dentro de estos cuatro rangos.

### **Análisis de grupos para los componentes ambientales.**

Del análisis de grupos realizado a los componentes ambientales, se pudieron encontrar diferentes rangos de calificación para el ICA que se obtiene mediante el uso de las ecuaciones expuestas para cada componente. Sin embargo, no fue posible hacer una diferenciación para los componentes Cultural y Demografía, ya que no se apreciaron límites para cada agrupamiento encontrado. Los rangos determinados para cada componente ambiental, pueden ser explicados de la misma manera que para el índice global.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El modelo propuesto para la evaluación de los impactos ambientales podría calcularse, con base en las variables relativizadas, de manera genérica, por la expresión:

considera un buen indicador para la valoración de los impactos ambientales y posterior calificación de los EsIA, pues finalmente este índice es la base para los rangos de calificación propuestos.

Dado que los EsIA analizados estuvieron bien agrupados de acuerdo al valor del ICA, con respecto al análisis de cluster, y como lo soporta el análisis discriminante, los rangos de calificación encontrados para dicho ICA son bastante precisos, y pueden ser además utilizados para la clasificación de otros EsIA de proyectos de desarrollo de similares características en el empleo de métodos valorativos.



En síntesis se lograron dos niveles de aproximación, uno consistente en la evaluación de diferentes impactos ambientales y la obtención final de un valor de impacto global por proyecto, mediante el uso de expresiones como el IA, ICA por elemento y el ICA por EsIA. La segunda aproximación comprende el cálculo de valores de impacto ambiental por componente ambiental, lo cual permite adquirir valores síntesis por componente, dándole realce a la herramienta en términos de su aplicación en evaluaciones ambientales parciales a este nivel jerárquico.

Finalmente, de cara al futuro, es necesario que las calificaciones asociadas, sean refinadas a través de la inclusión de información procedente de EsIA que cumplan con los requisitos exigidos por los procedimientos metodológicos esbozados. Si bien los resultados aquí presentados se aceptan consistentes y son producto de la aplicación cuidadosa de herramientas estadísticas, la ampliación de la muestra permitirá dar mayor robustez a los procedimientos propuestos, por lo cual los que aquí se exponen se asumen de carácter preliminar. Se deja constancia que los modelos al estudiar internamente las relaciones entre las variables de la matriz de varianzas-covarianzas, pueden cambiar los ponderadores dados por los expertos, quienes no podrían apreciar las diferentes interrelaciones, ni siquiera a veces dentro de un solo componente, de lo cual sí es capaz el análisis multivariado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda, J. 1994. Una propuesta para la identificación y evaluación de impactos ambientales. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 9: 71-81.
- Canter, L. 1998. Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Segunda edición. McGraw Hill, Madrid. 841 p.
- Canter, L. and B. Sadler. 1997. A tool kit for effective EIA practice-Review of methods and perspectives on their application. A supplementary report of the international study of the effectiveness of environmental assessment. En: Environmental and Ground Water Institute. University of Oklahoma, USA, Institute of Environmental Assessment. UK; International Association for Impact Assessment, [http://www.eiatraining.com/A\\_Tool\\_Kit\\_for\\_Effective\\_EIA\\_Practice.pdf](http://www.eiatraining.com/A_Tool_Kit_for_Effective_EIA_Practice.pdf). 148 p.
- Conesa F.V. 2003. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, Mundi-Prensa, Madrid. 416 p.
- De Broissia, M. 1986. Selected mathematical models in environmental impact assessment in Canada, Minister of Supply and Services Canada, Quebec. 34 p.
- Duarte, O., M. Delgado and I. Requena. 2003. Algorithms to extend crisp functions and their inverse functions to fuzzy numbers. *International Journal of Intelligent Systems* 18: 855-876.
- Duarte, O., I. Requena and Y. Rosario. 2007. Fuzzy techniques for environmental-impact assessment in the mineral deposit of Punta Gorda (Moa, Cuba). *Environmental Technology* 28(6): 659-669.
- Gómez, O.D. 1988. Evaluación de impacto ambiental (EIA). En: *Ciudad y Territorio* 75: 5-32.
- Gómez, O.D. 1999. Evaluación del impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española, Madrid. 701 p.
- Jiménez, Y., M. Serna, A. Lema, E. Alvarez, H. Rincón y A. Cogollo. 2004. Índice para la determinación de especies vegetales compatibles con las líneas de transmisión de energía eléctrica. *Gestión y Ambiente* 7(2): 55-69.
- Karplus, W.J. 1983. The spectrum of mathematical models. *Perspectives in Computing* 3(2): 4-13.
- Lajones, D. y A. Lema. 1999. Propuesta y evaluación de un índice de valor de importancia etnobotánica por medio del análisis de correspondencia en las comunidades de Arenales y San Salvador, Esmeraldas, Ecuador. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 14: 59-80.
- Lema, A. 2002. Elementos de estadística multivariada. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 428 p.
- León, J.D. y G.J. Lopera. 1999. Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental a partir de diferentes métodos específicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 52(2): 565-598.
- León, J.D. 2004. Evaluación de impacto ambiental de proyectos de desarrollo. Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 366 p.

- Lohani, B., J. Warren, R. Everitt, H. Ludwig, R. Carpenter and S. Tu. 1997. Environmental impact assessment for developing countries in Asia. Volume 1-Overview, Asian Development Bank (ADB), Manila. 356 p.
- Magrini, A. 1990. A avaliação de impactos ambientais. pp. 85-108. En: Margulis, S. (ed.) Meio Ambiente. Aspectos Técnicos e Económicos. Ipea, Brasília. 238 p.
- Ospina, J.E. y A. Lema. 2004. Indicadores cuantitativos de los impactos generados en proyectos de desarrollo lineales. Gestión y Ambiente 7(1): 91-112.
- Podani, J. 1994. Multivariate data analysis in ecology and systematics. A methodological guide to de SYN-TAX 5.0 package. SPB Academic Publishing. The Netherlands. 320 p.
- Sanz, J. 1991. Concepto de impacto ambiental y su evaluación. pp. 27-38. En: Ayala, F. (ed.). Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.

**ANEXOS**

**ANEXO 1.** Puntuación de cada experto y peso obtenido para los atributos de impacto y los elementos ambientales.

	<b>Atributos de Impacto</b>																		
	E1	Fp E1	E2	Fp E2	E3	Fp E3	E4	Fp E4	E5	Fp E5	E6	Fp E6	E7	Fp E7	E8	Fp E8	E9	Fp E9	Uc
Presencia	1	0,13	0,7	0,08	1	0,16	1	0,15	0,8	0,11	0	0	0,8	0,14	0,5	0,06	0,7	0,1	<b>0,104</b>
Duración	1	0,13	1	0,12	0,5	0,08	0,7	0,11	0,8	0,11	0,5	0,17	0,3	0,05	0,8	0,1	0,6	0,09	<b>0,105</b>
Evolución	0,5	0,06	1	0,12	0,5	0,08	0,8	0,12	0,4	0,06	0,4	0,13	0,8	0,14	0,5	0,06	0,5	0,07	<b>0,094</b>
Magnitud	1	0,13	1	0,12	0,8	0,13	0,9	0,14	0,9	0,13	0,3	0,1	0,7	0,13	0,9	0,12	0,7	0,1	<b>0,119</b>
Extensión	0,8	0,1	0,8	0,09	0,5	0,08	0,5	0,08	0,9	0,13	0	0	0,7	0,13	0,9	0,12	0,4	0,06	<b>0,086</b>
Acumulación	0,8	0,1	1	0,12	0,5	0,08	0,4	0,06	0,5	0,07	0,4	0,13	0,3	0,05	0,9	0,12	0,7	0,1	<b>0,092</b>
Relación	0,6	0,08	0,5	0,06	0,1	0,02	0,2	0,03	0,2	0,03	0,3	0,1	0,3	0,05	0,4	0,05	0,5	0,07	<b>0,054</b>
Reversibilidad	0,5	0,06	0,5	0,06	0,3	0,05	0,5	0,08	0,6	0,08	0	0	0,3	0,05	0,4	0,05	0,6	0,09	<b>0,058</b>
Sinergia	0,5	0,06	1	0,12	1	0,16	0,7	0,11	0,8	0,11	0,8	0,27	0,5	0,09	0,5	0,06	0,7	0,1	<b>0,120</b>
Mitigabilidad	0,5	0,06	0,5	0,06	0,8	0,13	0,8	0,12	0,8	0,11	0	0	0,7	0,13	1	0,13	0,8	0,12	<b>0,095</b>
Momento	0,8	0,1	0,6	0,07	0,3	0,05	0,1	0,02	0,5	0,07	0,3	0,1	0,2	0,04	1	0,13	0,6	0,09	<b>0,073</b>
<b>Total</b>	<b>8</b>		<b>8,6</b>		<b>6,3</b>		<b>6,6</b>		<b>7,2</b>		<b>3</b>		<b>5,6</b>		<b>7,8</b>		<b>6,8</b>		

Fp: Factor ponderador.

Uc: Valor final del ponderador por atributo

<b>Elemento</b>	<b>Elementos ambientales</b>							<b>Suma</b>	<b>Peso</b>
	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>		
AiGases	17	8	21	17	7,5	11	11	92,5	<b>0,048</b>
AiPart	16	8	20	15	18	10	10	97	<b>0,05</b>
AiRu	18	8	19	16	17	9	7	94	<b>0,049</b>
AgPrqu	22	22	17	22	3	16	22	124	<b>0,064</b>
AgProfi	21	22	17	22	4	15	15	116	<b>0,06</b>
AgCagua	23	22	17	22	7,5	17	12	120,5	<b>0,062</b>
SuProqui	12	11	14	19	1	13	14	84	<b>0,043</b>
SuProfi	11	11	14	19	2	12	19	88	<b>0,046</b>
SuCasu	13	11	14	19	9	14	13	93	<b>0,048</b>
FICoVe	15	15	7	13,5	5	8	20	83,5	<b>0,043</b>
FloDivnu	10	14	9,5	13,5	6	3	22	78	<b>0,04</b>
FauHaniec	14	18	11	11,5	10	7	16	87,5	<b>0,045</b>
FauDivenu	9	13	9,5	11,5	11	2	22	78	<b>0,04</b>
CuArr	6	4	8	5	12	5	6	46	<b>0,024</b>
CuMacu	5	3	6	4	22	6	18	64	<b>0,033</b>
DemSari	19	19,5	23	10	23	22	3	119,5	<b>0,062</b>
DemCavi	20	19,5	22	9	16	23	9	118,5	<b>0,061</b>
EcValbie	1	2	5	2	21	19	3	53	<b>0,027</b>
EcGenem	4	1	3	6	19	18	3	54	<b>0,028</b>
EcDesarore	3	17	1	1	20	21	3	66	<b>0,034</b>
Urusu	8	16	12	8	13,5	1	17	75,5	<b>0,039</b>
UrSepu inf	7	6	2	3	15	20	3	56	<b>0,029</b>
UrCampa	2	5	4	7	13,5	4	8	43,5	<b>0,023</b>
								1932	

**ANEXO 2.** Análisis de componentes principales para los atributos de impacto y los elementos ambientales.

**Valores propios asociados a los vectores propios con su porcentaje de varianza explicada**

Atributos de impacto			
Número de Componente	Valor propio	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulativo
1	0,00171933	32,009	32,009
2	0,00171114	31,856	63,865
3	0,000943146	17,559	81,424
4	0,000531864	9,902	91,326
5	0,000239987	4,468	95,794
6	0,000143235	2,667	98,460
7	0,0000827113	1,540	100,000
Elementos ambientales			
1	24,6264	34,130	34,130
2	14,7929	20,502	54,632
3	9,23706	12,802	67,434

**Pesos de las componentes principales**

Atributos de impacto		
	Componente 1	Componente 2
P	0,903096	0,198185
D	0,340151	0,268713
M	0,0671055	-0,467876
Ex	-0,036529	0,243471
Rv	0,0739839	0,4129
S	-0,106497	0,289079
Mt	0,214622	0,596889
Elementos ambientales		
AiGases	0,291199	0,043086
AIPart	0,265558	-0,195379
AiRu	0,289915	-0,294744

**ANEXO 3.** Valores propios asociados a los vectores propios con su porcentaje de varianza explicada para las componentes ambientales.

Componente Aire			
Número de componente	Valor propio	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulativo
1	8,78132	72,523	72,523
2	2,55449	21,097	93,620
3	0,772565	6,380	100,000
Componente Agua			
1	5,79664	56,158	56,158
2	3,1755	30,764	86,922
3	1,34995	13,078	100,000
Componente Suelo			
1	3,65633	50,313	50,313
2	2,35799	32,447	82,761
3	1,25281	17,239	100,000
Componentes Flora y Fauna			
1	10,5011	77,666	77,666
2	1,94248	14,367	92,033
3	0,774409	5,728	97,760
4	0,302807	2,240	100,000
Componentes Cultural y Demográfico			
1	3,90298	52,787	52,787
2	2,71214	36,681	89,468
3	0,624772	8,450	97,918
4	0,153961	2,082	100,000
Componente Económico			
1	6,04612	61,992	61,992
2	3,29896	33,825	95,817
3	0,407968	4,183	100,000
Componente Urbanismo			
1	8,36548	56,678	56,678
2	4,3181	29,256	85,934
3	2,07603	14,066	100,000



**ANEXO 4.** Resultados para el análisis discriminante.

---

**Funciones discriminantes con su valor propio y la correlación canónica entre grupos**

---

Función discriminante	Valor propio	Porcentaje relativo	Correlación canónica
1	75,678	65,09	0,99346
2	20,016	17,21	0,97592
3	17,254	14,84	0,97222
4	3,3256	2,86	0,87682

---

---

**Funciones discriminantes derivadas con la prueba de chi-cuadrado**

---

Funciones derivadas	Lambda Wilks	Chi-Cuadrado	GL	Valor P
1	0,00000785917	223,3228	84	0,0000
2	0,000602628	140,8700	60	0,0000
3	0,0126648	83,0096	38	0,0000
4	0,23118	27,8266	18	0,0647

---