



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

ISSN: 1909-7735

Universidad Militar Nueva Granada

Viloria Villegas, Margarita Inés; Cadavid, Lorena; Awad, Gabriel
METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA
Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 28, núm. 2, 2018, Julio-Diciembre, pp. 121-156
Universidad Militar Nueva Granada

DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.2941>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91158463007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UDEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA

METHODOLOGY FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR INFRASTRUCTURE PROJECTS IN COLOMBIA

Margarita Inés Viloria Villegas*

Lorena Cadavid**

Gabriel Awad ***

Fecha de recepción: 8 de julio de 2017

Fecha de revisión: 2 de mayo de 2018

Fecha de aprobación: 15 de mayo de 2018

Cómo citar: M.I. Viloria Villegas, L. Cadavid, G. Awad, "Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 28, no. 2, pp. 121-156. DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.2941>

RESUMEN

La Evaluación de Impactos Ambientales (EIA), requiere herramientas estándar con un marco establecido para la evaluación ambiental. En esto se ha avanzado en Colombia con la expedición de términos de referencia para la realización de estudios ambientales por sector productivo, sin embargo, se sigue evidenciando poca calidad de los estudios ambientales, una gran diversidad de métodos con inconsistencias metodológicas e incluso conceptuales, sumado al uso de juicios de valor que dependen del profesional que los ejecuta y a que las escalas de valoración cualitativas no son claras o adecuadas, lo cual sesga los

* Ingeniera Ambiental, Máster en Medio Ambiente y Desarrollo, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Correo electrónico: miviloriav@unal.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-1081>. Autor de correspondencia.

** Ingeniera Administradora, PhD Ingeniería de Sistemas. Profesora Asistente de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión. Correo electrónico: dlcadavi@unal.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6025-5940>

*** Ingeniero Administrador, Magister en Ingeniería de Sistemas. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Correo electrónico: gawad@unal.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8694-7315>

resultados. Por lo anterior, el objetivo de este artículo es presentar un marco metodológico cualitativo para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de infraestructura en el contexto colombiano, considerando el ciclo técnico de proyectos.

Este artículo está organizado como sigue: inicialmente se presenta el soporte conceptual del que nace la propuesta metodológica; luego se indica la forma en que se desarrolló el trabajo, presentando los lineamientos que orientaron la selección de los criterios y atributos para la EIA; posteriormente se explora la metodología diseñada para llevar a cabo esta valoración; y finalmente se procede con la discusión de los hallazgos encontrados en la elaboración de la investigación.

Como principal conclusión se tiene la necesidad de seguir profundizando en el escalamiento de atributos para EIA, con el fin de seguir reduciendo el sesgo en las evaluaciones ambientales, y generando mayor estandarización en los procesos que conllevan a determinar el impacto de proyectos de infraestructura en Colombia.

Palabras clave: Ciclo técnico de proyectos, Evaluación del impacto ambiental, proyectos de infraestructura.

ABSTRACT

Environmental impact assessment needs standard tools with established framework for environmental assessment. Colombia has some achievements on this, due to the promulgation of reference terms for environmental studies in the industrial sector; however, it is evident the poor quality of environmental studies, a wide diversity of methods with inconsistencies both methodological and conceptual, together with value judgement based on evaluator's criteria and qualitative assessment scales poor defined or inadequate, biasing the results.

Due the above mentioned, this article presents a methodological qualitative framework for the environmental impact assessment of infrastructure projects in the Colombian context, taking into account the technical cycle of the project.

This article is organized as follows. First, the conceptual background that gives origin to the methodological proposal is presented; then the methodological approach to the research is presented. Later, the framework is explained, and finally there is a discussion about the main findings of this research.

As a conclusion, it is need to improve the attribute's scale for environmental impact assessment in order to reduce the bias in environmental assessments, and getting more standardization in the process of measuring the environmental impacts of infrastructure projects in Colombia.

Keywords: Environmental Impact Assessment, Infrastructure Projects, Technical Cycle of Projects.



INTRODUCCIÓN

La Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante, EIA) es una herramienta de gestión ambiental para estimar el impacto ambiental de una actividad o proyecto, considerando todas sus fases [1].

En Colombia, la EIA es requerida para el Licenciamiento Ambiental (LA), el cual a su vez, exige la elaboración de estudios ambientales como el Estudio de impacto ambiental (EsIA), como herramienta técnica para la viabilización de actividades y proyectos [2], [3], ya que en este estudio, existe un apartado donde se determina la importancia de los impactos ambientales. Adicionalmente, la EIA está incluida en la implementación de sistemas de gestión ambiental [4].

Con el fin de evaluar la significancia de los impactos ambientales, se han desarrollado diferentes metodologías. La literatura reporta métodos de listas [5], redes de interacciones [6], [7], matrices de interacciones [8], [7], [10], sistemas cartográficos [11], indicadores [10], [12-15], análisis multicriterio [16]–[20], simulación y predicción [9], software y Ad-Hoc [21]. De todas estas metodologías, en Colombia las Ad-Hoc son las de mayor uso, especialmente Conesa, RAM, Arboleda y Leopold [7].

Frente a la variedad de metodologías existentes para EIA, algunos autores sostienen que un único método no basta [22], por lo que podría ser más acertado combinar varios de ellos. Adicionalmente, se resalta el hecho de que la escogencia del método a utilizar dependerá de la cantidad de información disponible y de los recursos asignados para la elaboración de los estudios.

Las metodologías han sido sujetas a diferentes observaciones, principalmente

porque las herramientas específicas para la evaluación del impacto presentan inconsistencias metodológicas asociadas a que varios de los criterios de evaluación no están escalados, es decir, carecen de rangos o juicios de valoración claros [23]. Estos rangos o juicios, en métodos cualitativos, son valorados por la opinión de uno o varios expertos, lo que otorga subjetividad y sesgo a los resultados [23].

También se presentan inconsistencias conceptuales [25] por un entendimiento del ambiente que, en algunos casos, desconoce por ejemplo procesos y relaciones entre factores ambientales. Y por una inadecuada redacción de los impactos ambientales, los cuales deberían ser entendidos solo como cambios en factores ambientales y no como actividades generadoras de cambio.

Por otro lado, las metodologías para EIA no se encuentran estandarizadas, lo que trae como consecuencia trabajos demorados, tediosos, repetitivos y poco prácticos. Esto se refleja, por ejemplo, en que tradicionalmente se analizan largas listas de impactos ambientales, que se cruzan con otras variadas listas de actividades y aspectos ambientales que van desde lo más básico (es decir, análisis global por etapa sin describir las actividades de ingeniería), a listas de extensas de actividades que no guardan una lógica secuencial desde el ciclo técnico de los proyectos. Lo anterior hace que cada herramienta sea desarrollada para un proyecto en particular, y existan dificultades para su adaptación o aplicación a otro tipo de proyectos [16].

El caso colombiano, además, pone en evidencia otras problemáticas. En general, se ha observado la recurrente falta de calidad de los estudios ambientales, caracterizada

por una incertidumbre en la predicción de los impactos ambientales originada por la subjetividad de dichos estudios. Por ello, es frecuente que los resultados obtenidos en las distintas EIA se alejen de la realidad, como se evidencia en el caso de los proyectos de infraestructura [7], lo cual constituye un obstáculo en el desarrollo de este tipo de proyectos [26].

Con el fin de reducir las tendencias de subjetividad, la carencia de herramientas estándar y de incrementar la calidad de información que alimenta las evaluaciones actuales, varios autores plantean diferentes retos dirigidos a fomentar mayor investigación en todas las áreas del conocimiento. Dentro de estos retos se resalta la conveniencia de desarrollar modelos específicos para cada componente del ambiente, con el fin de alimentar la evaluación ambiental global, y la participación de profesionales idóneos en conocimiento y práctica, en el desarrollo y uso de estas herramientas [5], [22].

Por las razones expuestas, el presente trabajo consiste en proponer una metodología que atienda algunas de las debilidades mencionadas, específicamente en la aplicación de herramientas de evaluación del impacto ambiental, de proyectos de infraestructura en el contexto Colombiano. La metodología desarrollada permite el cálculo del impacto ambiental con opción de ponderar el ambiente y así, disminuir la subjetividad en los resultados. Se consolida como una herramienta estándar basada en la caracterización del proyecto; identificación de impactos ambientales; evaluación y priorización de impactos en términos de actividades de ingeniería de mayor importancia, dentro de un marco definido y sistemático, que fue pensado por y para proyectos de infraes-

tructura; propone un escalamiento y entendimiento de atributos de EIA que no habían sido abordados en otras metodologías y; consolida los impactos ambientales desde una perspectiva de ciclo técnico que facilita la revisión por parte de autoridades ambientales y genera procesos de EIA, con posibilidades de mejora continua; adicionalmente, permite realizar el análisis del ambiente de manera individual (por parámetros) o global (por componentes, sistemas y medios). Permitiendo a su vez apreciar los resultados en términos del parámetro, componente, sistema o medio más afectado.

Se ha escogido como objeto de estudio el sector de la infraestructura en Colombia, entendiendo la infraestructura como el conjunto de elementos que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera [27]. Este sector en el país, tiene grandes retos de crecimiento y mejoramiento [28], [29], además de que tendrá grandes avances en desarrollo del subsector vial, impulso de la red fluvial, mejoramiento de la infraestructura aeroportuaria nacional, reactivación de la red ferroviaria y desarrollo de infraestructura para la competitividad y soberanía energética [30].

Como limitación de este trabajo se encuentra que, debido a que ha sido desarrollado para proyectos de infraestructura, pueden surgir inconsistencias para su aplicación en otros sectores o en otros contextos normativos. Por lo que es necesario desarrollar adaptaciones o variaciones de la metodología propuesta si se desea evaluar proyectos, por ejemplo del sector minero y energético o industriales, los cuales contemplan otro tipo de actividades y modalidades de operación y, para proyectos que se desarrollen en otros países, con protocolos, y maneras diferentes

de concebir el ambiente, desde lo conceptual hasta lo normativo.

Este artículo está organizado como sigue: inicialmente se presenta el soporte conceptual del que nace la propuesta metodológica; luego se indica la forma en que se desarrolló el trabajo, presentando los lineamientos que orientaron la selección de los criterios y atributos para la EIA; posteriormente se explora la metodología diseñada para llevar a cabo esta valoración, y se procede con la discusión de los hallazgos encontrados en la elaboración de la investigación.

La investigación se realizó dentro del proyecto MGSAl (Metodología para la Gestión Socio Ambiental Integral de obras de infraestructura física), desarrollado en convenio de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia, la cual tuvo como fin construir una propuesta metodológica para la gestión social y ambiental integral de las diferentes obras de infraestructura, viales y de equipamiento, que impulsa la Gobernación, atendiendo a las particularidades ambientales (físicas, bióticas, culturales, económicas y políticas) de cada subregión del departamento.

2. MARCO TEÓRICO

Esta sección presenta el soporte teórico respecto a los proyectos de infraestructura y EIA, que orientaron el desarrollo de esta investigación y la propuesta metodológica construida.

2.1 El ambiente

El ambiente es el entorno vital compuesto por factores físico-naturales; sociales, culturales, económicos y estéticos, que interactúan entre sí con el individuo y con la comunidad, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia [10]. Teniendo en cuenta que el análisis de los sistemas ambientales requiere el abordaje de las dimensiones o componentes ambientales [22], para efectos de esta investigación, la definición de ambiente establece diferentes categorías en función de los medios, sistemas y componentes ambientales, como se muestra en la figura 1.

De esta manera, el ambiente comprende dos medios: medio natural y medio humano. El medio natural se forma a partir de procesos naturales sin la intervención humana [31], y el medio humano considera las

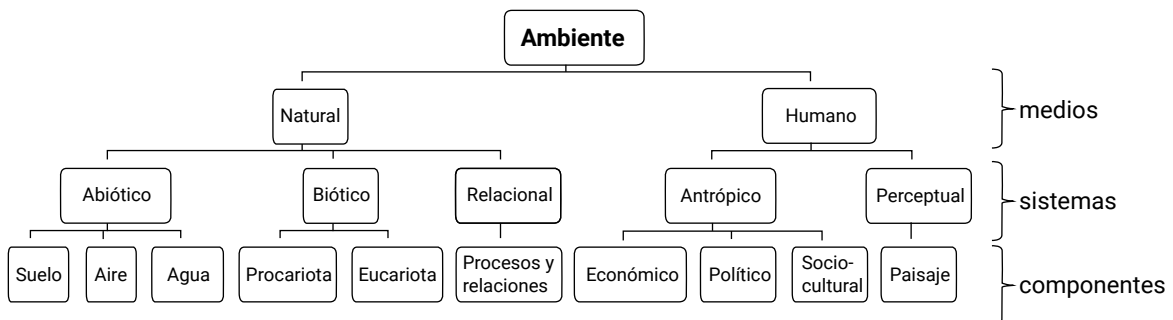


Figura 1. Jerarquía del ambiente

Fuente: Elaboración propia a partir de [5], [10], [26].

estructuras, condiciones sociales, económicas y políticas [10].

Cada medio se subdivide en sistemas esenciales para guardar el equilibrio en el ambiente [32], y cada sistema integra diversos componentes. El medio natural se compone de tres sistemas: abiótico, constituido por los elementos no vivos (componentes del suelo, el agua y el aire); biótico, constituido por los elementos vivos (componentes procariota y eucariota); y relacional, el cual contempla los procesos de transformación de la materia y la energía, a través de los elementos vivos y no vivos, del medio natural (componentes procesos y relaciones). Por su parte, el medio humano está compuesto por dos sistemas: perceptual, que se refiere a la relación del hombre y su entorno a través del paisaje natural y construido (componente paisaje); y antrópico, que se refiere al hombre en comunidad (componentes políticas, economía y cultura). Los componentes agrupan una serie de parámetros ambientales, entendidos como variables de estado susceptibles a ser medidas, valoradas, modificadas y aprovechadas tangible o intangiblemente [10].

2.2 Criterios y atributos para valoración de impacto

Un impacto ambiental es la alteración adversa o beneficiosa, total o parcial, en los sistemas ambientales, ocasionada por una actividad [33]. Este es evaluado a partir de criterios de valoración; un criterio es un juicio para discernir, clasificar o relacionar una cosa [34], y suele ser expresado mediante atributos, los cuales en su conjunto dan luz sobre la naturaleza del criterio con el que se está evaluando.

La literatura reporta criterios que consolidan diferentes atributos. Para efectos de esta investigación, los criterios se agruparon en siete clases diferentes, recogiendo con ellos alrededor de 29 atributos. Estos criterios con sus respectivos atributos son:

- Criterio de valor: se refiere al grado y forma de afectación del impacto con atributos como clase [5], [10], [16], [35]; y magnitud [5], [7], [21], [36], [37].
- Criterio de incidencia: evalúa los impactos según su certeza de ocurrencia, causas y efectos secundarios, contempla atributos escalados como la acumulación o tendencia [10], [38], [35]; efecto [10]; y sinergia [10], [36]; y otros atributos que no han sido escalados como consumos [39], [40]; y, finalmente, emisiones [41].
- Criterio de lugar: evalúa el impacto en función de la ubicación o sitio en donde se produce, con atributos como extensión [5], [10], [16], [21], [38], [42]; ubicación; y distancia a población [43].
- Criterio de tiempo: evalúa la duración o persistencia [5], [10], [21], [42]; periodicidad [10], [16]; y momento o evolución [5], [10].
- Criterio de asimilación: se refiere al manejo y asimilación del impacto y se evalúa con atributos como mitigabilidad [21], [38]; reversibilidad [10], [16], [21], [38], [42]; y recuperabilidad [10].
- Criterio de ocurrencia: se asocia con la relación del impacto y otros proyectos o actividades en el área de influencia, o la importancia misma del proyecto o de la actividad que lo genera. Se puede evaluar de acuerdo a atributos como presencia [5], [21], [42], [44], y externalidades [45].

- Criterio ambiente afectado: determina el valor del impacto de acuerdo al estado y características del parámetro a impactar con atributos como vulnerabilidad [5]; abundancia [46]; complejidad [34]; continuidad [34], [47]; clímax [46]; dificultad de conservación o fragilidad [8], [37]; diversidad [46]; estabilidad [46]; naturalidad y uso del suelo predominante [34]; rareza o singularidad [34], [46]; y representatividad [34].

Es así como los diez componentes que conforman el ambiente son medidos en función de un subconjunto de estos 29 atributos identificados, con el fin de evaluar el impacto que la actividad tiene sobre dichos componentes. De ahí la importancia de que cada uno de estos atributos sea escalado (es decir, que cuente con un marco de referencia para su medición), y que cuente con unas unidades estándar que indiquen el tratamiento que debe darse a dicha medición.

Las distintas escalas de medición de los atributos se basan en un sistema de adjudicación por puntuación, pero no existe una clara base lógica o común para la forma en que el número máximo de puntos se otorga a cada criterio [23].

2.3 Significancia ambiental

La significancia ambiental, está dada por la severidad gradual de un impacto [49], es decir, que un impacto se hace más significativo en la medida en que el daño causado sea más severo sobre el parámetro, componente, sistema o medio afectado.

2.4 Proyectos de infraestructura

Los proyectos de infraestructura en Colombia se clasifican en dos grandes grupos:

proyectos lineales y proyectos concentrados [26]. Los proyectos lineales se localizan en corredores como carreteras, líneas, túneles, canalizaciones, ductos y cableados, atravesando una gran diversidad de componentes ambientales y usos del suelo; mientras que los proyectos concentrados comprenden edificaciones, instalaciones industriales, equipamientos, estaciones y, en general, obras que se ubican en un área determinada y que agrupan los efectos ambientales en esta.

Tanto los proyectos lineales como los proyectos concentrados se conciben bajo un ciclo articulado y progresivo, en el que las distintas etapas conducen a otras, constituyendo el denominado “ciclo técnico” de los proyectos. Estas etapas comprenden la planeación, construcción, operación, y abandono [26], [50]–[53].

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo expone una propuesta metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental en el contexto Colombiano, teniendo en cuenta que esta metodología, de ser aplicada en otros países, deberá ajustarse a los términos y normatividad vigente en el tema.

3.1 Métodos

A continuación, se describe la metodología aplicada, la cual consistió en una serie de pasos para la obtención de una herramienta para la evaluación de impacto ambiental, aplicada al ciclo técnico de proyectos de infraestructura en Colombia. Con el fin de alcanzar el objetivo planteado, se procedió con las siguientes fases metodológicas:

Fase 1. Caracterización de proyectos de infraestructura, Fase 2. Identificación de impactos ambientales, Fase 3. Proposición y escalamiento de atributos para EIA y definición de importancia ambiental, Fase 4. Desarrollo de instrumento para EIA y Fase 5. Estudio de caso. A continuación, se describe la metodología propuesta para cada una.

3.1.1 Fase 1. Caracterización de proyectos de infraestructura

La primera fase consistió en caracterizar la tipología de proyectos de infraestructura, con el fin de proponer una clasificación y actividades de ingeniería para cada proyecto tipo. Para esto, se revisaron los términos de referencia para presentar DAA's (Diagnósticos Ambientales de Alternativas), y términos de referencia para la elaboración de EsIA's (Estudios de Impacto Ambiental), así como la revisión de las clasificaciones de proyectos, de acuerdo al Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [54], el Departamento de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) [59] y la propuesta de clasificación de autores como Ángel [22] y Arboleda [5].

3.1.2 Fase 2. Identificación de impactos ambientales

La segunda fase se basó en la identificación de impactos ambientales durante el ciclo técnico de los proyectos de infraestructura. En ella se hizo una revisión sistemática de literatura y de estudios ambientales reales, con el fin de construir un listado de impactos ambientales de acuerdo a la jerarquía del ambiente, luego se realizó una matriz de doble entrada cruzando cada actividad de in-

geniería con los impactos ambientales construidos y de esta manera se logró identificar los impactos de mayor incidencia sobre los proyectos de infraestructura.

3.1.3. Fase 3. Proposición y escalamiento de atributos para EIA y definición de significancia ambiental

La tercera fase consistió en proponer los atributos de evaluación de impacto ambiental para proyectos de infraestructura. Con el fin de realizar la selección de atributos, se partió de un listado de 29 candidatos que fue elaborado mediante revisión bibliográfica, con este listado, se realizó un análisis multicriterio que tuvo en cuenta que el atributo fuera:

Medible (M): que existiese o fuera posible establecer mediciones basadas en indicadores (análisis cuantitativo) o, en escalas de valoración (análisis cualitativo). Es decir, que entre mayores fueran las posibilidades de medición del atributo, este sería más útil para estudios de alcances semi- detallados y detallados.

General (G): que pudiera utilizar en el conjunto de componentes ambientales [37]. Es decir que un atributo es más útil en la medida en que se pueda aplicar a más componentes. Se recuerda que los componentes ambientales propuestos en este trabajo son diez: atmósfera, agua, suelo, procariota, eucariota, relacional natural, paisaje, económico, político y sociocultural.

Apto (A): que se pudieran establecer los mismos rangos para evaluar impactos tanto en proyectos lineales (corredores) como en proyectos concentrados (epicentros) [37].

Es decir, que no requiera del uso de escalas diferentes al momento de cambiar el área de aplicación.

Sugerido (S): que el atributo fuera sugerido por la metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia [3], o por los usuarios de la Secretaría de Infraestructura Física de Antioquia (SIFA), ya que así, la herramienta a diseñar puede ser más pertinente para el contexto Colom-

biano, y para el proyecto de investigación bajo el cual se suscribió el presente trabajo.

En la tabla 1 se presenta los valores para el análisis, estos fueron definidos en escalas de uno (1) a cinco (5) por el equipo de trabajo del proyecto MGSAL.

Con las anteriores indicaciones se construyó una matriz de valoración aplicando la siguiente ecuación de cálculo y clasificación de los atributos (ver tabla 2).

Tabla 1. Valores para análisis multicriterio de atributos de EIA

Criterio	Clasificación		Valor
Medible	En la literatura revisada no hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.		1
	Si bien existen rangos y definiciones para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de abordarse por los distintos autores, o el atributo puede medirse a través de estudios de detalle o semi-detalle.		2
	Existen diferentes rangos para medir cualitativamente este criterio, pero con definiciones compartidas por los distintos autores, o el atributo puede medirse a través de estudios de detalle o semi-detalle.		3
	Existen rangos que han sido desarrollados de manera similar por distintos autores o el atributo puede medirse a través de estudios de detalle o semi-detalle.		4
	Existen rangos estandarizados (protocolos) para medir cualitativamente este criterio, o puede medirse a través de herramientas de fácil acceso y economía.		5
General o global	De los diez componentes ambientales, se pueden valorar	Entre ninguno y un componente ambiental.	1
		Entre dos y tres componentes ambientales.	2
		Entre cuatro y cinco componentes ambientales.	3
		Entre seis y siete componentes ambientales.	4
		Más de ocho componentes ambientales.	5
Apto	El atributo presenta dificultades de aplicación para algún tipo de proyecto.		1
	El atributo puede ser aplicado para proyectos lineales y concentrados usando las mismas escalas de valoración.		5
Sugerido	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIFA.		1
	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia.		2
	El atributo es sugerido o aceptado por la SIFA.		3
	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia y aceptado por la SIFA.		4
SIFA: Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia			

Fuente: Elaboración propia

Con los atributos que resultaron seleccionados, se definió una función para la determinación de importancia o significancia ambiental y, con ella, el modo de priorizar los resultados de impacto obtenidos.

3.1.4 Fase 4. Desarrollo de instrumento para EIA

La cuarta fase consistió en el acople de todos los elementos reunidos en las anteriores fases con el fin de desarrollar instrumentos o herramientas para la evaluación de impacto ambiental, para los proyectos de infraestructura. En esta fase se propusieron herramientas estándar para la evaluación de impacto ambiental como ficha técnica de proyecto, lista de chequeo de identificación de impactos y matriz para evaluación/priorización de impacto ambiental.

3.1.5 Fase 5. Estudio de caso

Luego de haber propuesto la metodología de evaluación de impacto ambiental, se puso en práctica a partir de un estudio de caso para un proyecto lineal, consistente en la construcción de una vía denominada “Transversal Río de Oro - Aguacalara – Gamarra Hitos 56 y 57”. La vía es de carácter nacional e integra la zona sur del departamento de César

con el río Magdalena y el corredor Agua Clara-Ocaña-Cúcuta-Venezuela. En este contexto, el proyecto comunica poblaciones y ofrece beneficios económicos y sociales en zonas en las que el estado de las vías limita transacciones, transporte de mercancías y de pasajeros, además porque el puerto de Gamarra se proyecta como un sitio turístico y comercial del sur del Río Magdalena. El tramo a construir es de 14.707 metros [55].

Para realizar el estudio de caso, se hizo revisión de la página web de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, en la sección de audiencias públicas. En esta sección se publican los edictos y estudios de impacto ambiental de los proyectos que entran a proceso de licenciamiento ambiental con dicha autoridad, y se constituyen como de consulta pública de acuerdo con el artículo 72 de la ley 99 de 1993:

La audiencia pública ambiental tiene por objeto dar a conocer a las organizaciones sociales, comunidad en general, entidades públicas y privadas la solicitud de licencia o permiso ambiental, o la existencia de un proyecto, obra o actividad, los impactos que éste pueda generar o genere y las medidas de manejo propuestas para prevenir, mitigar, corregir y/o compensar dichos impactos; así como recibir

Tabla 2. Valoración y clasificación de atributos de evaluación ambiental

Cálculo de importancia del atributo	Valor	Resultado
$CA = M + G + A + S \quad (1)$ <p>Dónde CA es la calificación del atributo, M el valor para las posibilidades de medición, G es el valor de la globalidad, A es el valor de la aptitud y, S es el valor por sugerencia del atributo.</p>	<7	Factibilidad de inclusión muy baja
	Entre 7 y 10	Factibilidad de inclusión baja
	Entre 10 y 13	Factibilidad de inclusión media
	Entre 13 y 16	Factibilidad de inclusión alta
	>17	Factibilidad de inclusión muy alta

Fuente: Elaboración propia

opiniones, informaciones y documentos que aporte la comunidad y demás entidades públicas o privadas.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente sección.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de exponer la metodología utilizada, en esta sección se presenta la discusión de resultados obtenidos para cada fase metodológica propuesta.

4.1 Resultados Fase 1. Caracterización de proyectos de infraestructura

En cuanto a la tipología de proyectos de infraestructura, se encontró que no existe en Colombia una clasificación unificada de estos, sin embargo, la agrupación en proyectos lineales y concentrados permite abarcar y diferenciar las diferentes modalidades de proyectos (ver fig. 2).

De la revisión hecha, resultaron tres actividades generales y 24 actividades de

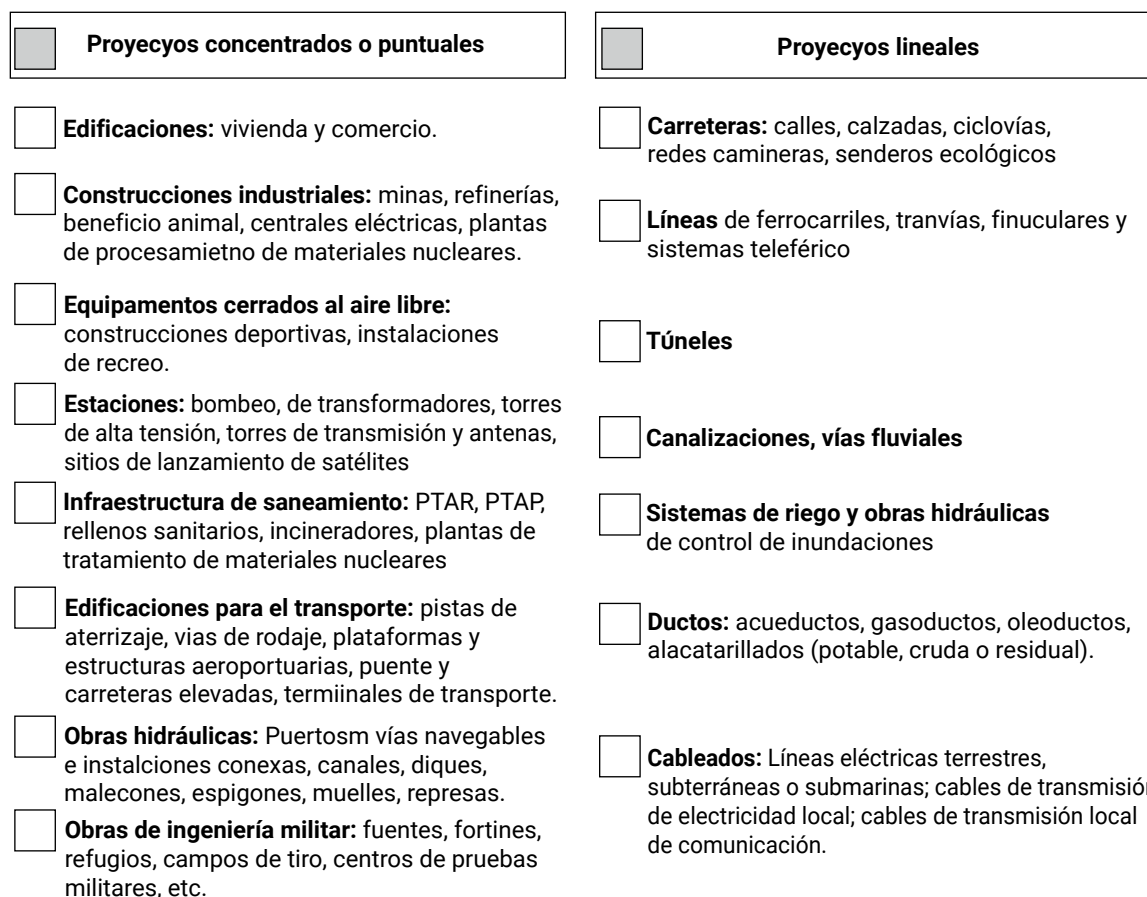


Figura 2. Clasificación de proyectos
Fuente: Elaboración propia a partir de [26]y[52].

detalle para la etapa de planeación; 11 actividades generales y 60 actividades de detalle, para la etapa constructiva; 12 actividades generales y 20 actividades de detalle, para la etapa operativa; ocho actividades generales y 12 actividades de detalle, para la etapa de abandono o terminación de las obras; y seis actividades comunes durante todo el ciclo técnico de estos proyectos. Es importante anotar que la matriz de actividades no se muestra en este documento, pero está disponible contactando a los autores por correo electrónico.

4.2 Resultados Fase 2. Identificación de impactos ambientales

Como resultado de la segunda fase metodológica, se obtuvo un listado de 40 impactos ambientales genéricos, agrupados en 10 componentes ambientales. De este listado,

y a partir de la aplicación de la matriz de doble entrada actividad/impacto se encontró como se muestra en la figura 3, los siguientes impactos ambientales recurrentes en los proyectos de infraestructura, en donde se observa que se cruzan con más de siete actividades de ingeniería:

También se identificó que los impactos ambientales son generados mayormente en las fases de construcción y operación, es decir que estas fases son las de mayor importancia durante el ciclo técnico de los proyectos de infraestructura, dado que las actividades de mayor impacto se ocasionan en estas etapas, en actividades como uso de las obras, adecuaciones de vías y pavimentos, construcción de obras de protección, realización de línea base y estudios técnicos y trabajos preliminares (descapote, explanación, demolición, perforación, explosivos, voladuras y excavaciones) (ver Figura 4).

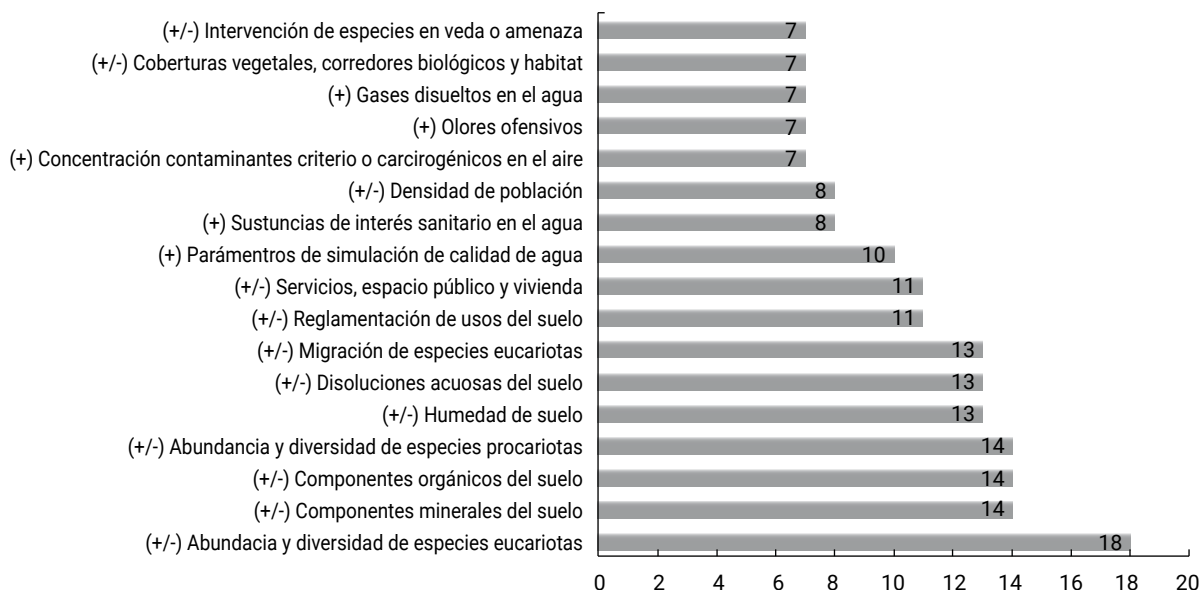


Figura 3. Impactos ambientales incidentes en proyectos de infraestructura

Fuente: Elaboración propia a partir de [56]

4.3 Resultados Fase 3. Propuesta y escalamiento de atributos para EIA y definición de importancia ambiental

Como resultado de la tercera fase, que consistió en la selección y propuesta de atributos para EIA se notó que, de los 29 atributos revisados, los más utilizados son duración, área de influencia o extensión, reversibilidad y probabilidad de ocurrencia y; los menos utilizados son el efecto, evolución, momento y recuperabilidad. En la tabla 3, se presenta la calificación dada a cada atributo.

Como se puede notar en la tabla 3, quedaron seleccionados ocho atributos para la propuesta metodológica los cuales son:

- Clase: clasifica el impacto por su naturaleza perjudicial o beneficiosa sobre el ambiente.
- Consumo: se refiere al grado de disminución de un recurso ambiental y por ende a la disminución de la oferta de dicho recurso. Para asignar la escala de valoración se parte del supuesto de que el impacto ambiental de una actividad será mayor, en la medida en que esta demande mayor cantidad de un recurso natural.
- Distancia a población: evalúa el impacto de acuerdo a la distancia en que afecta a la población (de centros poblados a corregimientos, barrios o cabeceras urbanas).
- Emisiones: se refiere a los materiales o la energía que deja un proceso, estos materiales pueden incluir productos intermedios, productos, emisiones y residuos, para el caso de la metodología en desarrollo, se asumirá en las formas de emisiones que se generan como producto de una actividad.
- Naturalidad: Es un atributo que se plantea para proyectos que impulsa la Secretaría de Infraestructura Física, sobre todo, los que se refieren a construcciones viales y de equipamiento en áreas que no hayan sido intervenidas por la Gobernación con anterioridad, planteando que cuanto menos perturbada o intervenida esté dicha unidad de superficie, el impacto sobre la naturalidad de este será mayor.
- Externalidades: hace referencia a la relación del componente ambiental afectado y cómo este es utilizado por otros usuarios en el área de influencia. Se puede establecer una escala de valoración de acuerdo a si hay otro usuario del

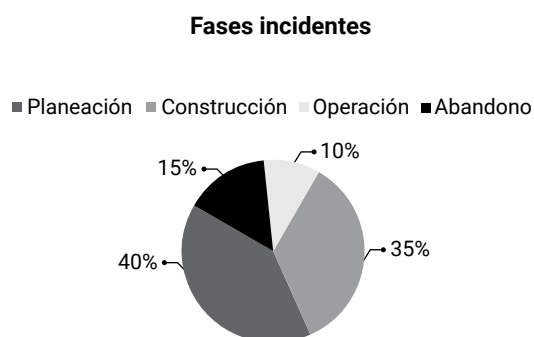
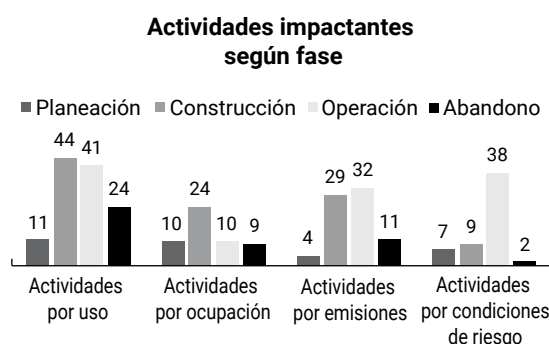


Figura 4. Actividades impactantes según fase del ciclo técnico

Fuente: Elaboración propia a partir de [62]

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA

Atributo	Calificación de criterios				Resultado	Interpretación
	M	G	A	S		
1. Abundancia	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones sistemáticas simples: conteos y análisis de laboratorios.	5	Este atributo puede valorar tres componentes: agua, procariota y eucariota. El atributo puede ser aplicado para ambos tipos de proyectos.	2	13	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión de inclusión Media
		5		5		
	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1		1		
		3		3		
2. Acumulación o tendencia	Existen rangos de medición cualitativa pero no están estandarizados.	3	Este atributo puede valorar los diez componentes ambientales. El atributo puede ser aplicado para ambos tipos de proyectos.	5	17	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta*
		5		5		
	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	4		4		
		3		3		
3. Área de influencia o cobertura o extensión	Existen rangos de medición cualitativa pero no están estandarizados.	3	Este atributo puede valorar los diez componentes ambientales planteados. El atributo puede ser aplicado para ambos tipos de proyectos.	5	17	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
		5		5		
	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia y aceptado por la SIF.	4		4		
		4		4		
4. Clase o carácter del impacto o, naturaleza del impacto	Este atributo ha sido valorado de manera similar por distintos autores.	4	Este atributo puede valorar los diez componentes ambientales planteados. El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	18	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
		5		5		
	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia y aceptado por la SIF.	4		4		
		5		5		
5. Consumos	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones sistemáticas simples: conteos, inventarios, proyecciones de consumos.	5	Este atributo puede valorar 6 componentes ambientales: agua, aire, suelo, eucariota, procariota y económico. El atributo puede ser aplicado en proyectos lineales y en proyectos concentrados.	4	17	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
		5		5		
	El atributo es sugerido por la SIF, ya que se llevan cuentas ambientales dentro de los proyectos que ejecutan.	3		3		
		3		3		

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios		Resultado	Interpretación
6. Clímax	M	No hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.	1	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy baja
	G	Este atributo puede ser aplicado para los componentes del medio natural agua, aire, suelo, procariota y eucariota.	3	
	A	Este atributo representaría complicaciones para ser usado en proyectos lineales, ya que estos sobrepasan varios biomas y condiciones ecológicas diferentes.	1	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SLF.	1	
7. Complejidad	M	Se podrían establecer indicadores basados en la percepción, sin embargo, no hay claridad en cómo establecer los rangos.	1	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy baja
	G	Este atributo puede ser aplicado a los componentes del sistema biótico (eucariota y procariota) y, a los procesos y relaciones en el medio natural.	2	
	A	Este atributo representaría complicaciones para ser usado en proyectos lineales, ya que estos sobrepasan varios biomas y condiciones ecológicas diferentes.	1	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SLF.	1	
8. Continuidad	M	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones sistemáticas: equipos especializados.	4	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Este atributo puede ser aplicado a los componentes eucariota y paisaje.	2	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SLF.	1	
9. Dificultad de conservación o fragilidad	M	Se pueden establecer indicadores a través de estudios especializados: inventarios detallados (individuo por individuo).	3	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Puede aplicarse a los componentes agua, suelo, aire, procariota, eucariota y paisaje.	4	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SLF.	1	

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios		Resultado	Interpretación
10. Distancia a población	M	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones sistemáticas simples asistidas por SIG.	5	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es aceptado por SIF, debido al trabajo social que se está desarrollando con el programa Antioquia presente.	3	
11. Diversidad	M	Si bien existen rangos y definiciones para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de abordarse por los distintos autores, o el atributo puede medirse a través de estudios de detalle o semi-detalle.	2	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy baja
	G	Este atributo puede ser valorado para componentes como el eucariota, el procariota y el sociocultural.	2	
	A	Este atributo representaría complicaciones para ser usado en proyectos lineales, ya que estos sobrepasan varios biomas y condiciones ecológicas diferentes.	1	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	
12. Duración o persistencia	M	Si bien existen rangos para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de establecerlos.	2	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, pero no por la SIF, porque en los proyectos que se desarrollan tienen un alto nivel de imprevistos.	3	
13. Efecto	M	Para medir este atributo, existen rangos que han sido utilizados de manera similar por distintos autores como Conesa y Martínez	4	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios		Resultado	Interpretación
14. Emisiones	M	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones sistemáticas simples: conteos, análisis de laboratorios	5	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
	G	Este atributo puede ser valorado en los componentes: agua, aire, suelo, eucariota, procariota y económico.	4	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es sugerido por la SIF, ya que se llevan cuentas ambientales dentro de los proyectos que ejecutan.	3	
15. Estabilidad	M	En la literatura revisada no hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.	1	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Puede aplicarse a los componentes agua, suelo, aire, procariota, eucariota y paisaje.	4	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	
16. Externalidades	M	Este atributo puede ser medido a través de inventarios y censos en el área a afectar.	5	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia dentro del componente de valoración económica de los impactos ambientales.	2	
17. Magnitud, magnitud del efecto, magnitud relativa del impacto, intensidad	M	Existen rangos de medición cualitativa pero no están estandarizados.	3	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia y aceptado por la SIF.	4	

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios				Resultado	Interpretación
18. Mitigabilidad	M	Si bien existen rangos y definiciones para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de abordarse por los distintos autores.	2		13	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1			
19. Momento o evolución	M	Existen rangos de medición cualitativa pero no están estandarizados.	3		14	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1			
20. Naturalidad y uso del suelo predominante	M	Se pueden establecer indicadores basados en mediciones asistidas por SIG y control de campo	5		17	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy alta
	G	Se puede valorar en componentes como agua, aire, suelo, procariota, eucariota y paisaje	4			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	Este atributo es aceptado por SIF, ya que dentro de las cuentas ambientales, se tiene incluido el componente de evaluación actual del área a intervenir.	3			
21. Periodicidad	M	Si bien existen rangos para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de establecerlos.	2		16	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia y aceptado por la SIF.	4			
22. Presencia, probabilidad de ocurrencia, riesgo, probabilidad de riesgo, incidencia no cuantificable del riesgo	M	Si bien existen rangos para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de establecerlos.	2		15	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, pero no es utilizado por la SIF.	3			

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios		Resultado	Interpretación
23. Rareza o singularidad	M	En la literatura revisada no hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.	1	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Muy baja
	G	Aplicado para componentes como eucariota y procariota.	2	
	A	Este atributo representaría complicaciones para ser usado en proyectos lineales, ya que estos sobrepasan varios biomas y condiciones ecológicas diferentes.	1	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	
24. Recuperabilidad	M	Si bien existen rangos para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de establecerlos.	2	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	
25. Representatividad	M	En la literatura revisada no hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.	1	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1	
26. Reversibilidad	M	Si bien existen rangos para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de establecerlos.	2	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Alta
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5	
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5	
	S	El atributo es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, pero no es utilizado por la SIF.	3	

(Continúa)

Tabla 3. Calificación de atributos de EIA (continuación)

Atributo	Calificación de criterios				Resultado	Interpretación
27. Sinergia o sinergismo	M	Si bien existen rangos y definiciones para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de abordarse por los distintos autores, encontrando que algunos de ellos lo asociación con la acumulación.	2	13	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media	
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1			
28. Ubicación	M	En la literatura revisada no hay claridad sobre cómo establecer los rangos de medición.	1	12	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Media	
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	El atributo puede ser aplicado tanto en proyectos lineales como en proyectos concentrados.	5			
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1			
29. Vulnerabilidad del elemento, nivel de vulnerabilidad, importancia de la vulnerabilidad	M	Si bien existen rangos y definiciones para medir cualitativamente este criterio, se encontraron diferentes formas de abordarse por los distintos autores.	2	9	Este atributo tiene una factibilidad de inclusión Baja	
	G	Este atributo puede ser aplicado a los diez componentes ambientales.	5			
	A	Este atributo representaría complicaciones para ser usado en proyectos lineales, ya que estos sobrepasan varios biomas y condiciones ecológicas diferentes.	1			
	S	El atributo no es sugerido por la Metodología general para la presentación de estudios ambientales en Colombia, ni por la SIF.	1			
*Atributo que se omitió de la selección a criterio del equipo MGSAI, debido a que se trabajada desde otro grupo de investigación.						

Fuente: Elaboración propia

recurso afectado, y dependiendo del uso que le dé, si es consuntivo (directo) o no consuntivo (indirecto), y si este recurso representa o no, materia prima para un proceso productivo o, si es de soporte para la vida.

- Extensión: este atributo está relacionado con la superficie afectada. Se mide en unidades objetivas: hectáreas, metros cuadrados, o aquellas unidades de superficie que desee utilizar el evaluador. Hace referencia al espacio de influencia en el cual es percibido el impacto.
- Magnitud: califica la dimensión o intensidad del cambio sufrido en el factor ambiental analizado por causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos del porcentaje de afectación o de modificación del parámetro (por este motivo también se denomina magnitud relativa).

Cada uno de ellos fue definido y escalado en rangos de valoración cualitativa entre 1 y 5 (ver tabla 4).

Con los atributos seleccionados, y a partir de los siguientes supuestos, se propuso el modo de determinar la importancia ambiental.

Supuesto 1: el impacto total causado por cada actividad puede ser expresado por la suma de los impactos parciales causados sobre cada parámetro, componente, sistema o medio, según sean los objetivos de evaluación. Este supuesto es llevado a la práctica a través de una función aditiva de impacto ambiental total, en donde se realiza la suma de la calificación de los atributos de evaluación seleccionados:

$$I_{pa} = C[Co + D + Em + E + Ex + M + N] \quad (2)$$

Dónde: I_{pa} corresponde al cálculo del impacto ambiental del parámetro, C: Clase, Co: Consumo, D: Distancia a población, Em: Emisiones, E: Extensión, Ex: Externalidades, M: Magnitud y, N: Naturalidad.

El cálculo de este impacto ambiental se puede ir escalando de parámetros a componentes, de componentes a sistemas, de sistemas a medios y, de medios a medio ambiental, así:

$$IC_i = \sum_{pa=i}^n I_{pa} \quad (3)$$

Dónde: IC_i corresponde al cálculo del impacto ambiental respecto al componente i , I_{pa} corresponde al cálculo del impacto ambiental con respecto al parámetro i , pa es el parámetro ambiental que pertenece al componente ambiental.

$$IS_i = \sum_{s=i}^n I_s \quad (4)$$

Dónde: IS_i corresponde al cálculo del impacto ambiental respecto al sistema i , IC_i corresponde al cálculo del impacto ambiental con respecto al componente i que pertenezca al sistema ambiental de interés.

$$IM_i = \sum_{s=i}^n I_s \quad (5)$$

Dónde: IM_i corresponde al cálculo del impacto ambiental respecto al medio i . IS_i corresponde al cálculo del impacto ambiental con respecto al sistema i que pertenezca al medio de interés.

Supuesto 2: es posible incorporar el concepto de unidades de importancia ambiental dentro del cálculo del impacto ambiental de un proyecto.

Tabla 4. Atributos propuestos para la calificación de impacto ambiental

Atributo	Calificación		
	Característica	Valor	Interpretación
Clase	El cambio en la calidad ambiental es:	1	Impacto de clase positiva
		-1	Impacto de clase negativa
Consumo		0	Impacto de consumo nulo
		1	Impacto de consumo bajo
		2	Impacto de consumo medio-bajo
		3	Impacto de consumo medio
		4	Impacto de consumo alto
		5	Impacto de consumo muy alto
Distancia a población		0	Impacto de distancia nula
		1	Impacto de distancia baja
		2	Impacto de distancia media-baja
		3	Impacto de distancia media
		4	Impacto de distancia media-alta
Emisiones		5	Impacto de distancia alta
		1	Impacto de emisión nula
		2	Impacto de emisión baja
		3	Impacto de emisión media
		4	Impacto de emisión alta
		5	Impacto de emisión muy alta

(Continúa)

Tabla 4. Atributos propuestos para la calificación de impacto ambiental (continuación)

Atributo	Calificación		
	Característica	Valor	Interpretación
Naturalidad	Tejidos urbanos.	0	Disminución de la naturalidad nula
	Agropecuario (cultivos, pastos, mixtos).	1	Disminución de la naturalidad baja
	Áreas abiertas sin o con poca vegetación.	2	Disminución de la naturalidad media-baja
	Bosque plantado.	3	Disminución de la naturalidad media
	Vegetación arbustiva y herbácea.	4	Disminución de la naturalidad media-alta
	Bosque natural.	5	Disminución de la naturalidad alta
Externalidades	No.	0	Externalidad negativa nula
	Sí, es uso indirecto y poco frecuente.	1	Externalidad negativa baja
	Sí, es uso indirecto y frecuente.	2	Externalidad negativas media-baja
	Sí y es uso directo como materia secundaria/sustituible.	3	Externalidad negativa media
	Sí y es uso directo como materia prima (no sustituible).	4	Externalidades negativa media-alta
	Sí y es uso directo como soporte para la vida (prima el uso).	5	Externalidad negativas alta
Extensión	El área neta de construcción y operación.	1	Impacto puntual
	La localidad, la vereda, el casco urbano, el municipio.	3	Impacto local
	La región o departamento.	5	Impacto regional
	Ninguna, no se genera afectación.	0	Impacto de magnitud nula
Magnitud	Menor al 20 %.	1	Impacto de magnitud baja
	entre 20 y 40 %.	2	Impacto de magnitud media-baja
	entre 40 y 60 %.	3	Impacto de magnitud media
	entre 60 y 80 %.	4	Impacto de magnitud media-alta
	mayor al 80%.	5	Impacto de magnitud alta
	mayor al 80%.	5	Impacto de magnitud alta

Como se ve en (2), la función aditiva para el cálculo de Impacto ambiental, no tiene en cuenta si existen componentes ambientales con mayor restricción, y por ende con mayor peso en la calificación del impacto ambiental total de un proyecto. Por lo que, al asignar pesos parciales o unidades de importancia a cada parámetro, componente, sistema o medio, se obtiene una evaluación ponderada de acuerdo a las necesidades de cada proyecto (ver tabla 5).

Supuesto 3: se consideran actividades significativas ambientalmente, aquellas que, dentro del conjunto de actividades evaluadas para el proyecto, sean las que resulten con los mayores valores de impacto ambiental.

Se tiene que, de acuerdo con el método planteado, para cada atributo de evaluación hay un valor máximo de (5) y uno mínimo de uno (1), aplicando la ecuación de cálculo de impacto ambiental (ver tabla 6), se obtiene que los valores del impacto ambiental total oscilan entre 7 y 35, clasificando el impacto ambiental en tres rangos:

herramienta para la evaluación de impacto ambiental para los proyectos de infraestructura. Se obtuvo un modelo propuesto para cuatro momentos de evaluación ambiental que se presentan en la figura 5.

4.4.1 Caracterización del proyecto

Para evaluar ambientalmente un proyecto es necesario caracterizarlo. La caracterización permite puntualizar cuáles son las actividades de ingeniería a realizar para cada tipo de proyecto, requisito indispensable para la evaluación ambiental.

Para este fin, se diseñó una ficha técnica de proyecto con información de localización, generalidades, características del área de influencia, demanda de recursos naturales; información útil que permite resumir lo elementos más relevantes del proyecto y brindar lineamientos para la evaluación de impactos. Por motivos de volumen de información, no se incluyen las tablas en este documento, pero pueden ser solicitadas a los autores.

4.4 Resultados Fase 4. Desarrollo de instrumento para EIA

En referencia a la cuarta fase, en la que se buscó el desarrollo de un instrumento/

4.4.2 Identificación de impactos ambientales

Con base en la literatura y en otros estudios ambientales realizados [38], [42], [44],

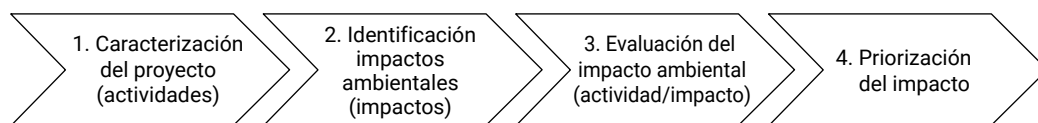


Figura 5. Momentos de evaluación ambiental propuestos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Propuesta de Unidades de Importancia Ambiental –UIA–

100		Sistema abiótico ⇒ 50				100					
Medio natural	30	↑	Atmósfera ⇒ 20		Agua ⇒ 50		Suelo ⇒ 20		100		
			Ruido ambiental	25	Calidad de agua	25	Características físico químicas	100			
			Olores ofensivos	25	Dinámica fluvial	25	Fenómenos de inestabilidad y remoción en masa	0			
			Calidad de aire	25	Caudal	25	Procesos erosivos, socavación y pérdida de	0			
			Neblinas y	25	Sistema de	25	Compactación del suelo	0			
			Total	100	Total	100	Total	100			
			Sistema biótico ⇒ 30								
			Procariota ⇒ 55		Eucariota ⇒ 45		100				
			Concentración de microorganismos patógenos	11	Atracción o expulsión de especies	8					
			Calidad micro biológica en agua y suelo	4	Especies en veda o amenaza	16					
			Abundancia y/o diversidad de especies	11	Abundancia y/o diversidad de especies	8					
			Masas microbianas en ambientes construidos	74	Corredores biológicos, hábitat y matriz de vegetación	68					
Total	100	Total	100								
Sistema relacional ⇒ 20											
Procesos y relaciones ⇒ 100				100							
Ciclos y rutas migratorias				60							
Ciclos biogeoquímicos				5							
Relaciones intraespecíficas				5							
Relaciones interespecíficas				30							
Total				100							
Sistema perceptual ⇒ 40								100			
Medio humano	70	↑	Paisaje ⇒ 100				100				
			Cuenca visual/visibilidad				18				
			Geomorfología				18				
			Paisaje construido				18				
			Calidad subjetiva				46				
			Total				100				

(Continúa)

Tabla 5. Propuesta de Unidades de Importancia Ambiental –UIA- (continuación)

Sistema antrópico ⇒ 60							
70 ↑ Medio humano	Económico ⇒ 30		Político ⇒ 60		Socioculturale ⇒ 60		100
	Tasa de empleo	20	Participación	20	Patrimonio histórico, arqueológico, natural y/o	22	
	Uso de un recurso	20	Inversión,	40	Oferta de servicios públicos, espacio público y	22	
	Actividades	30	Conflictos,	15	Densidad de población	24	
	Tenencia de la	30	Factores de riesgo	25	Necesidades básicas insatisfechas	32	
	Total	100	Total	100	Total	100	

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Rangos para priorización de impacto ambiental

Rango IA	Prioridad
Entre 7 y 16	Impacto de prioridad baja, por lo que las medidas no son prioritarias y se asigna un color verde.
Entre 17 y 25	Impacto de prioridad media: si bien se requieren medidas de manejo del impacto, estas no son prioritarias.
Entre 26 y 35	Impacto de prioridad alta: se requieren medidas prioritarias urgentes para la prevención, mitigación, corrección y compensación del impacto ambiental causado.

Fuente: Elaboración propia

[57]-[67], se estableció un mapa de impactos ambientales que permite asociar cada impacto ambiental con los parámetros que son afectados en dicho impacto. Es así como estos impactos ambientales fueron organizados en función de la jerarquía propuesta para el análisis del ambiente, como se esquematiza en la figura 6.

Para realizar la identificación de impacto ambiental, se diseñó una lista de chequeo simple, en donde se cruzan actividades e impactos pre-establecidos para proyectos de infraestructura.

4.4.3 Valoración del impacto ambiental

Para esta fase se diseñó una matriz de EIA que se basa en el concepto de significancia

ambiental, que indica que un impacto se hace más significativo en la medida en que el daño causado sea más severo sobre el parámetro, sistema o medio afectado [49].

4.4.4 Priorización del impacto ambiental

La etapa final de la evaluación ambiental consiste en la priorización de las actividades ambientales, en función del impacto ambiental total que es causado. Para ello se establece una clasificación de mayor a menor, entre los valores obtenidos y, aquellas que sean las menores, es decir con mayor magnitud negativa, resultarán como las actividades de mayor prioridad.

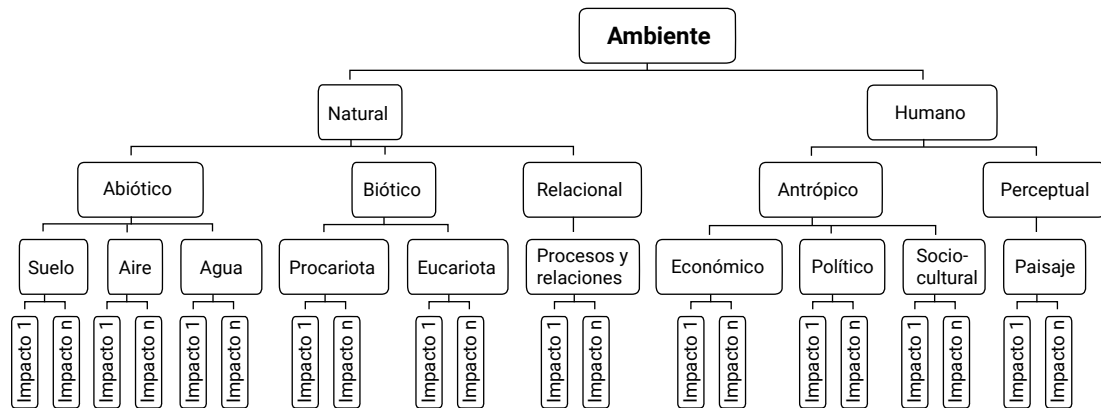


Figura 6. Relación de los impactos con los parámetros

Fuente: Elaboración propia a partir de [5],[10],[26]

Por razones de extensión, este artículo no incluye las herramientas diseñadas, pero se encuentran disponibles contactando a los autores a través del correo electrónico.

4.5 Resultados Fase 4. Estudio de caso

Finalmente, en cuanto a al uso de estas herramientas en el contexto real [], tal como se mencionó en la sección Métodos, la metodología propuesta fue aplicada a un estudio de caso consistente en un proyecto vial localizado en el departamento del César, Colombia. Esta parte presenta la discusión de resultados obtenidos para cada fase metodológica propuesta.

El proceso de identificación de impactos ambientales para este estudio de caso, se desarrolló basado en la información contenida en el estudio de línea base ambiental del proyecto vial y, la identificación de actividades se hizo cruzando la información del estudio de impacto de la vía con las actividades

que fueron homologadas para el desarrollo de este trabajo.

Los impactos ambientales identificados fueron evaluados y priorizados, observando que el proyecto lineal resultó con un impacto bajo sobre el medio ambiente, esto debido a que gran parte de la vía es existente, y los tramos nuevos a construir se darán sobre zonas que no están siendo utilizadas como soporte a actividades económicas, ni para asentamiento de poblaciones, además, la cobertura vegetal a remover es baja en comparación a la existente, a pesar de pasar por dos sistemas de importancia ambiental como lo son el bioma del bosque seco tropical y dos ciénagas, estos no serán intervenidos. En la siguiente tabla se muestra la síntesis de los resultados obtenidos.

Como se aprecia en la tabla 7, el impacto ambiental generado por el proyecto vial es de -1.173 unidades, lo que ubica al proyecto en un rango de impacto bajo, en comparación a los máximos resultados que se obtienen aplicando el método propuesto, ya que para el número de impactos y actividades

Tabla 7. Matriz síntesis de evaluación de impacto ambiental para el proyecto lineal Impacto total del proyecto - 1.173

Medio natural	Sistema abiótico							
	Planeación	Impacto	Construcción	Impacto	Operación	Impacto	Abandono	Impacto
	Atmósfera	-36	Atmósfera	-236	Atmósfera	-120	Atmósfera	-68
	Agua	-17	Agua	-96	Agua	-53	Agua	-26
	Suelo	-84	Suelo	-249	Suelo	-87	Suelo	-68
	Sistema biótico							
	Planeación	Impacto	Construcción	Impacto	Operación	Impacto	Abandono	Impacto
	Procariota	0	Procariota	0	Procariota	0	Procariota	0
	Eucariota	0	Eucariota	-122	Eucariota	34	Eucariota	34
	Sistema relacional							
	Planeación	Impacto	Construcción	Impacto	Operación	Impacto	Abandono	Impacto
	Procesos y relaciones	0	Procesos y retacones	-30	Procesos y relaciones	0	Procesos y relaciones	13
Medio humano	Sistema perceptual							
	Planeación	Impacto	Construcción	Impacto	Operación	Impacto	Abandono	Impacto
	Paisaje	0	Paisaje	-33	Paisaje	5	Paisaje	5
	Sistema antrópico							
	Planeación	Impacto	Construcción	Impacto	Operación	Impacto	Abandono	Impacto
	Económico	18	Económico	181	Económico	30	Económico	-6
	Político	-47	Político	-45	Político	-43	Político	-23
	Socio-cultural	0	Socio-cultural	-20	Socio-cultural	8	Socio-cultural	8

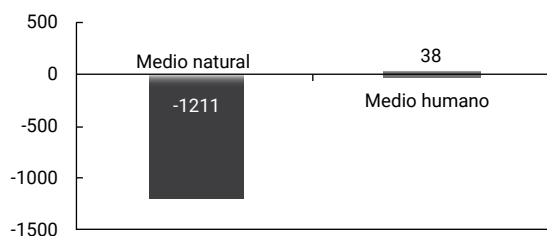
Fuente: Elaboración propia a partir de [56]

evaluadas (23 impactos y 21 actividades), y con un valor máximo de impacto de -35 unidades, se obtendría un valor total de impacto de -16.905 unidades, como mayor grado posible de afectación del proyecto.

El medio de mayor afectación es el natural con -1.211 unidades de afectación, versus el medio humano que presenta un balance de afectación positiva con 38 unidades (ver gráfica 1).

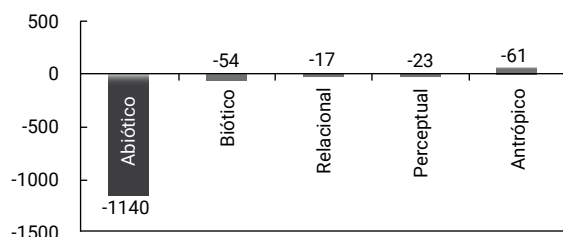
En cuanto a la afectación por sistema ambiental, se encontró que el abiótico es el que muestra mayor grado de afectación negativa, seguido por el biótico, perceptual, relacional, y, se obtuvo una afectación positiva para el sistema antrópico (ver gráfica 2).

La fase de mayor afectación es la constructiva, la cual se aprecia en la gráfica 3, en el segundo recuadro para cada barra.



Gráfica 1. Impacto por medio del estudio de caso

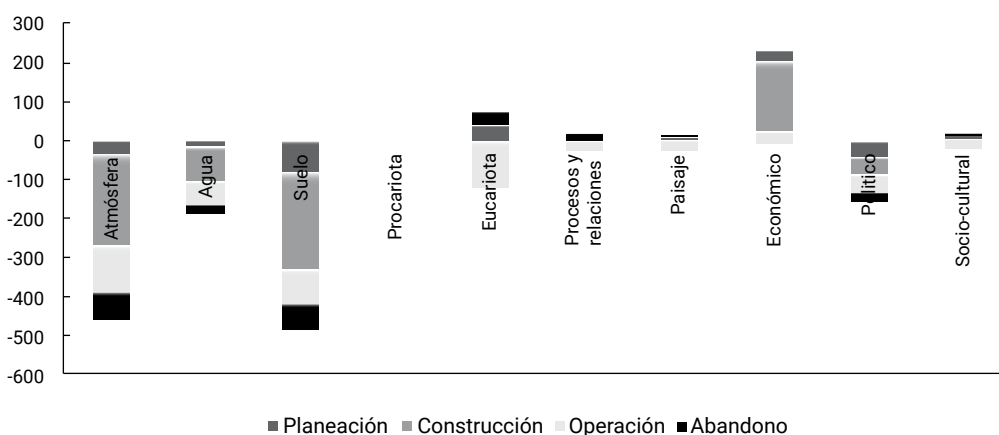
Fuente: Elaboración propia a partir de [56]



Gráfica 2. Impacto por sistema del estudio de caso

Fuente: Elaboración propia a partir de [56]

De las 21 actividades evaluadas se obtuvieron cuatro de alto impacto, 12 de impacto medio y cinco de impacto bajo, como se observa en la tabla 8.



Gráfica 3. Impacto de cada componente por fase del estudio de caso

Fuente: Elaboración propia a partir de [56]

La anterior jerarquización de las actividades permite que estas puedan ser intervenidas de acuerdo con el orden de prioridades, en donde: las de mayor impacto serán las que requieren intervención prioritaria, seguidas de las de medio impacto y, por último, las de bajo impacto.

De los 23 impactos asociados a los parámetros ambientales, se nota que tres de ellos son de alta significancia ambiental, 14 son de significancia media y, cinco de significancia baja, ver tabla 9.

5. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se logró caracterizar y clasificar los proyectos de infraestructura para el proceso de EIA; generar un listado de impactos ambientales, de acuerdo una jerarquía del ambiente basada en parámetros, componentes, sistemas y medios; y, desarrollar herramientas que en conjunto conforman un método Ad-Hoc para la EIA.

Tabla 8. Impacto por actividad

No.	Actividad	Impacto
Alto impacto		
1	Realización de trabajos preliminares	-119
2	Operación obra de infraestructura	-98
3	Instalación de obras provisionales y/o definitivas	-94
4	Ejecución de tratamientos silviculturales y manejo de coberturas	-73
Impacto medio		
5	Localización y replanteo	-61
6	Construcción de obras de protección y drenaje	-61
7	Explotación de préstamos	-60
8	Gestión de residuos sólidos y peligrosos generados	-54
9	Desmantelamiento/demolición	-50
10	Gestión de residuos líquidos y aguas lluvias	-45
11	Movilización de equipos, maquinaria y materiales	-44
12	Ejecución de cimentaciones, fundaciones, relleno y compactación	-39
13	Gestión de trámites legales	-36
14	Limpieza final de la obra e instalaciones temporales	-30
15	Limpieza de las instalaciones y elementos	-23
16	Levantamiento o instalación de estructuras	-17
Bajo impacto		
17	Realización de acabados y obras exteriores	4
18	Mejoramiento o ampliaciones	6
19	Atención de PQR's en obra, y veedurías	6
20	Labores administrativas (organización laboral)	7
21	Arborización	49

Fuente: Elaboración propia a partir de [56]

Se logró atender algunas necesidades del proceso de EIA en Colombia: 1) el desarrollo de una herramienta estándar con elementos pre-definidas en cuanto a jerarquía del ambiente, actividades de ingeniería e impactos ambientales; 2) el escalamiento de los atributos para evaluación de impacto ambiental,

basado en magnitudes que le reducen subjetividad a los resultados.

Uno de los elementos por seguir desarrollando, es el escalamiento de los atributos para EIA, de los cuales se hizo un primer acercamiento a cuatro que no habían sido abordados por los autores consultados en este

Tabla 9. Impacto por parámetro

No	Parámetro	Impacto
1	Deterioro de la calidad de aire	-197
2	Aumento de los niveles de ruido ambiental	-124
3	Compactación del suelo	-114
4	Disminución de caudal disponible	-81
5	Potenciación de conflictos, manifestaciones, molestias y expectativas en la comunidad	-57
6	Pérdida de corredores biológicos, hábitat y matriz de vegetación, fragmentación	-54
7	Aumento en la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad y remoción en masa	-51
8	Alteración de las características físico químicas del suelo	-45
9	Aumento en la ocurrencia de procesos erosivos, socavación y pérdida de suelo	-42
10	Intervención de especies en veda o amenaza	-34
11	Incremento en los factores de riesgo	-34
12	Aumento en la dispersión de olores ofensivos.	-31
13	Alteración de la calidad físico química del agua	-31
14	Alteración en los ciclos y rutas migratorias de los seres vivos	-30
15	Afectación del paisaje construido	-25
16	Alteración de la dinámica fluvial	-20
17	Afectación en la tenencia de la tierra	-12
18	Aumento/disminución en la oferta de servicios públicos, espacio público y vivienda	-8
19	Aumento/disminución de la densidad de población	-4
20	Pérdida de la calidad subjetiva del paisaje	-3
21	Pérdida de abundancia y/o diversidad de especies eucariotas terrestres o acuáticas	-2
22	Afectación de las actividades económicas	18
23	Aumento en la tasa de empleo	145

Fuente: Elaboración propia

trabajo, estos atributos son externalidades, emisiones, consumos y distancia a población.

También se hace importante seguir profundizando en el entendimiento del ambiente, para lo cual desde este trabajo se induce el establecimiento de nuevos sistemas y componentes ambientales: componentes procesos y relaciones del sistema relacional,

procariota y eucariota del sistema biótico; y el abordaje, desde otra óptica, del componente paisaje del sistema perceptual, en donde a partir de la metodología aquí expuesta, se propone que sea antrópico.

En cuanto al estudio de caso se encontró lo siguiente:

En el proceso de descripción del proyecto vial, la información utilizada es de buena calidad, pero que careció de datos de soporte para la valoración de criterios como consumo y emisiones. Además, se observó que el método utilizado por el proyecto vial para EIA no incorporó una ficha descriptiva del proyecto, no se evaluaron los impactos bajo el escenario sin proyecto, solo se evaluaron actividades de la fase constructiva y, no se priorizaron los impactos ambientales. Todos estos elementos podrían ser resueltos con la metodología propuesta en el presente trabajo.

En cuanto al número de impactos previstos, el actual estudio identifica 42 impactos, y este estudio de caso identifica 23, esto se debe a que la metodología propuesta en este trabajo tiene 40 impactos posibles, ya que agrupa el análisis del ambiente de una manera más práctica.

En cuanto a la aplicación de la metodología propuesta al estudio de caso escogido, se logró comparar los resultados presentados, con los obtenidos en el estudio de impacto ambiental, encontrando que tanto el actual estudio de impacto, como el caso desarrollado en el presente trabajo, definen como etapa de mayor afectación la constructiva y, que en ambos casos el proyecto se considera como de bajo impacto. Lo anterior, permite pensar que los resultados que arroja el aplicativo son acertados, pero que dado a que fue corrido solo para un proyecto, se requiere que el método se aplique y compare con más proyectos, para así, poder concluir sobre el grado de coincidencia o acercamiento a estudios reales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado gracias al proyecto MGSAL ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia.

REFERENCIAS

- [1] C. Abarca. *Guía práctica para realizar el Estudio de Impacto Ambiental en una obra civil ejemplarizado en una obra Hidráulica*. Universidad San Francisco de Quito, 2012.
- [2] G. Arrieta, I. Requena, J. Toro, y M. Zamorano, "Adaptation of EVIAVE methodology for monitoring and follow up when evaluating the environmental impact of landfills," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 56, pp.168–179, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.001>
- [3] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. *Metodología general para la presentación de estudios ambientales*. Bogotá: Dirección de licencias, permisos y trámites ambientales, 2010.
- [4] Organización Internacional de Normalización – ISO. *Norma internacional ISO 14001 - sistemas de gestión ambiental*, Suiza, pp. 1–36, 2004.
- [5] J. Arboleda. *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín, 2008.

- [6] S. Momtaz, y S. Zovaidul. *Evaluating Environmental and Social Impact Assessment in Developing Countries*. Boston: Elsevier, 2013.
- [7] J. Toro, R. Martínez, y G. Arrieta, "Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia," *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 4, no. 2, pp. 43–53, 2014.
- [8] A. Ruberto. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa, 2006.
- [9] J. Ribeiro et al. *Análisis y evaluaciones de impactos ambientales*. Rio de Janeiro: Capa/Projeto Gráfico, 2008.
- [10] V. Conesa. *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Cuarta Edición. Andalucía: Ediciones Mundo Prensa, 2010.
- [11] R. Arce, M. Ortega, y I. Otero, "Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación ambiental en la planificación de infraestructuras del transporte," *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, vol. 165–166, no. 2, pp. 513–528, 2010.
- [12] L. Manteiga. *Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas*. Sevilla: Instituto de Estadística de Andalucía, Sevilla, pp. 75–87, 2000.
- [13] Universidad Nacional de Colombia abierta y a distancia. *Lección 3: Método Battelle-Columbus y el Método de transparencias*, Datateca UNAD, 2015. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201030/Contenidoline/leccin_3_mtodo_battellecolumbus_y_el_mtodo_de_transparencias.html.
- [14] J. León. *Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo*, Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- [15] S. Ahlroth, "The use of valuation and weighting sets in environmental impact assessment," *Resources, Conservation and Recycling - Journal*, vol. 85, pp. 34–41, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.012>
- [16] R. Martínez. *Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [17] J. Glasson, R. Therivel y A. Chadwi. *Introduction to Environmental Impact Assessment*. 3rd ed. London and New York: Taylor & Francis Group, 2005.
- [18] R. Peche, y E. Rodríguez, "Environmental impact assessment procedure: A new approach based on fuzzy logic," *Environmental Impact Assessment Review Journal*, vol. 29, no. 5, pp. 275–283, 2009.
- [19] R. Shepard. *Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic*. New York: Springer Science + Business Media, Inc, 2005. <https://doi.org/10.1007/0-387-28098-7>
- [20] R. Morimoto, "Incorporating socio-environmental considerations into project assessment models using multi-criteria analysis: A case study of Sri Lankan hydropower projects," *Energy Policy*, vol. 59, pp. 643–653, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.020>

- [21] J. Plazas, A. Lema, y J. León, "Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo," *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, vol. 62, no. 1, p. 19, 2009.
- [22] E. Ángel. *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [23] G. Ding, "Sustainable construction-The role of environmental assessment tools," *Journal of Environmental Manage*, vol. 86, pp. 451–464, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>
- [24] G. Arrieta, I. Requena, J. Toro, y M. Zamorano, "Adaptation of EVIAVE methodology for monitoring and follow up when evaluating the environmental impact of landfills," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 56, pp. 168–179, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.001>
- [25] Departamento Nacional de Planeación. *Bases del plan nacional de desarrollo 2014-2018*, Bogotá, 2014.
- [26] E. Ángel, S. Carmona, y L. Villegas. *Gestión ambiental en proyectos de desarrollo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- [27] N. Fraume. *Diccionario Ambiental*, 1st ed. Bogotá: ECOE ediciones, 2007.
- [28] Asociación Nacional de Instituciones Financieras. *Concesiones de Infraestructura de Cuarta Generación (4G): Requerimientos de Inversión y Financiamiento Público-Privado*, 2014.
- [29] Asociación Nacional de Instituciones Financieras *Costos de Transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia*, 2014.
- [30] Instituto Nacional de Vías. *Presentación: Logros y Desafíos Cuatrienio*, Bogotá, 2010.
- [31] P. Ferrandis. "El medio natural como receptor de impactos ambientales," *La evaluación del impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales*, IV Ed., La Mancha: Universidad de Castilla - La Mancha, p. 632, 2006.
- [32] D. Vidart. *Filosofía ambiental: el ambiente como sistema*. Bogotá: Editorial Nueva América, 1997.
- [33] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Decreto 2041 de 2014*, 2014.
- [34] Real Academia Española. Sitio Oficial - Diccionario de la Lengua Española, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://lema.rae.es/drae/?val=>.
- [35] M. Dellavedova. *Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2011.
- [36] M. Martínez. *Desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones*, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [37] Sociedad pública de gestión ambiental del gobierno vasco. *Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales*, 2009.

- [38] E. Pastor. *Estudio de impacto ambiental del proyecto de nuevo eje hospital virgen de los lirios con autovía del mediterráneo (A-7)*, T. M. ALCÓY, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2009.
- [39] Universidad Nacional de Colombia abierta y a distancia. *Demanda de recursos naturales*, 2015.
- [40] Organización Internacional de Normalización. *ISO 1404., Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, vol. 1997., p. 20, 2006.
- [41] Integral S.A. *Actualización estudio de impacto ambiental - Proyecto Hidroeléctrico Ituango*, Medellín, 2012.
- [42] F. Salazar. *Borrador del estudio de impacto ambiental definitivo (EIAD) y plan de manejo ambiental para la línea de subtransmisión a 69kV y 1.8 km de longitud, que se deriva desde la línea que energiza a la subestación la cadena desde la subestación transeleétrica*, Santo Domingo, 2012.
- [43] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. *Decreto 838 de 2005. Colombia: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial*, p. 21, 2015.
- [44] INGETEC S.A. *Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo*, Neiva, 2008.
- [45] Ministerio del Ambiente. *Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su Reglamento*, Perú, 2009.
- [46] P. Collin. *Dictionary of Environment & Ecology*, 5h ed.. London: Bloomsbury, 2004.
- [47] J. Martín, S. Hernández, y J. Martín. *Definición de un índice para evaluar la continuidad del paisaje: cálculo y utilización del mismo mediante sistemas de información geográfica*. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid. (s-f)
- [48] E. Barrows. *Animal behavior desk reference. A dictionary of animal behavior, ecology, and evolution*, 3rd. ed. London: CRC Press, 2011. <https://doi.org/10.1201/b10864>
- [49] F. Iribarren. *Evaluación De Impacto Ambiental*, Madrid, (s-f).
- [50] Ministerio de vivienda ciudad y territorio. *Decreto 1077 de 2015*. Colombia. p. 670, 2015.
- [51] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Manual de gestión socio-ambiental para obras en construcción*, 1ra ed. Medellín, 2010.
- [52] Departamento administrativo nacional de Estadística - (DANE). *Resolución 989 de 2013*. Colombia. p. 2, 2013.
- [53] Departamento de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN. *Resolución número 000139 21 de 2012*, Vol. 000139. Colombia, pp. 1–34, 2012.
- [54] Departamento administrativo nacional de Estadística - (DANE). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades Económicas. Revisión 3 Adaptada para Colombia CIIU REV. 3 A. C*, 2012.

- [55] Gamarra e Infraestructura Asociada. *Estudio de Impacto Ambiental Transversal Rio de Oro - Aguachica - Gamarra*. Aguachica, 2015.
- [56] M. Viloria, y G. Awad. *Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental aplicado al ciclo de vida de proyectos de infraestructura en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [57] L. Albuja. *Estudio de impacto ambiental definitivo del proyecto de energía fotovoltaica para la generación de 20MW*, Quito, 2012.
- [58] INGETEC S.A. *Informe de estudio de impacto ambiental Proyecto Nueva Esperanza*, Medellín, 2012.
- [59] E. Muñoz. *Estudio de impacto ambiental del Parque Eólico monte Olvedo*. Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.
- [60] Escuela técnica superior de ingenieros de caminos canales y puertos. *Estudio de impacto ambiental ampliación del puerto deportivo del Perelló*, Valencia, 2014.
- [61] F. Grau. *Estudio de impacto ambiental de la construcción del puente sobre el río Cinco 4 del cantón Simón Bolívar, Provincia del Guayas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2011.
- [62] M. Piu, *Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del Proyecto GALAPAGOS ELITE*, Galápagos, 2012.
- [63] J. Camacho. *Estudio de impacto ambiental de la línea de subtestación de 69KV para futuras instalaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2014.
- [64] A. Cebrián. *Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación de la isla de Bolifushi (Maldivas)*, Universidad Politécnica de Cataluña, 2012.
- [65] Universidad Jorge Tadeo Lozano. *Evaluación del impacto ambiental por la barcaza TS-115 en el área de anclaje de puerto Drummond, Ciénaga Magdalena, Caribe Colombia, Santa Marta*, 2013.
- [66] Planeación y proyectos de ingeniería. *Manifestación de impacto ambiental modalidad particular: Construcción de muelle y rampa de botado para embarcaciones de la capitanía de puerto en Puerto Chiapas, Chis, Chiapas*, 2010.
- [67] Industrias y análisis ambientales S.C. *Manifestación de impacto ambiental modalidad particular. Extracción de materiales pétreos del cauce del Río Humaya, a la altura de los poblados de agua caliente y palos blancos, Sinaloa*, 2012.