

# Comparación de impactos ambientales entre las alternativas de corte - relleno y viaducto, para la construcción de carreteras: revisión de un caso de estudio

Comparison of environmental impacts between cut - fill and viaduct alternatives for road construction: Case study review

LUIS ALEJANDRO GONZÁLEZ CAMARGO<sup>1</sup> - MARÍA CAROLINA ROMERO PEREIRA<sup>2</sup>

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medioambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniera civil de la Pontificia Universidad Javeriana. M.Sc.(e) en Ingeniería Ambiental y Gerencia de Proyectos de la Universidad de Leeds. Profesora de planta de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

luis.gonzalez-ca@mail.escuelaing.edu.co - maria.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 18/07/2017 Aceptado: 02/08/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

## Resumen

En este artículo se hace una comparación entre los resultados de la evaluación de los impactos ambientales (EvIA) de dos alternativas de construcción de carreteras, corte-relleno y viaducto, a partir del análisis de un caso de estudio. La evaluación de la primera alternativa (corte-relleno) corresponde a la EvIA real, realizada por el consultor de los estudios y diseños del caso de estudio analizado. Para la segunda alternativa se propuso un diseño de viaducto, a partir del cual se hizo la EvIA siguiendo la misma metodología empleada por el consultor, que se fundamenta en la propuesta de Conesa - Fernández, utilizando únicamente resultados cualitativos. Como resultado, se concluye que cada alternativa tiene diferentes ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental y la mejor alternativa dependerá de las condiciones del entorno afectado y zonificación ambiental de cada proyecto.

**Palabras claves:** evaluación de impactos ambientales, diagnóstico ambiental de alternativas, evaluación comparada de impactos ambientales, viaducto, análisis de sensibilidad.

## Abstract

This paper shows the comparison between the results of the environmental impact assessment (EvIA), of two options for building roads; a traditional one developed through cuts and fills and another one developed through viaducts in the entirety of its route from a case study. The evaluation of the first alternative (cut-fill) corresponds to the real EvIA, conducted by the consultant of the studies and designs of the case study analyzed. For the second alternative a design of the viaduct was proposed, from which the EvIA was done, following the same methodology used by the consultant, which is based on the proposal of Conesa - Fernández, using only qualitative results. As a result, it is concluded that each alternative has different advantages and disadvantages from an environmental point of view and the best alternative will depend on the conditions of the affected environment and the environmental zoning of each project.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment, Environmental Assessment of Alternatives, comparative assessment of environmental impacts, Viaduct, sensitivity analysis.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los proyectos viales en Colombia se han desarrollado implementando sistemas constructivos tipo corte - relleno, combinados con puentes y en algunos casos, con túneles. Si bien la mejor opción ambiental sólo puede determinarse mediante el análisis multidisciplinario e integrado de los factores ambientales y socioeconómicos, la evaluación comparada de los impactos ambientales en términos de demanda de recursos naturales y generación de contaminantes podría indicar la importancia de considerar esquemas de construcción alternativos a los tradicionales en el país.

En este artículo se busca destacar la trascendencia de hacer la evaluación de impactos ambientales (EvIA) comparando diferentes esquemas constructivos en proyectos viales en Colombia, mediante el análisis de dos alternativas constructivas para un caso de estudio específico.

El caso objeto de estudio corresponde a la construcción de una vía cuyo objeto es comunicar el nuevo casco urbano de una población en Colombia, que hubo que reasentar, con una vía departamental. Este corredor está compuesto por dos tramos: uno de entrada a la población, de 9,4 km, y otro de salida, de 2,5 km [1].

La primera alternativa analizada corresponde al diseño real de la vía objeto de estudio, con un sistema constructivo corte-relleno. Como alternativa de comparación se seleccionó la construcción de un viaducto, partiendo del supuesto de que mediante esta alternativa se podrían reducir impactos asociados a movimientos de tierras, pérdida de cobertura vegetal, afectación de corrientes naturales, fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos, entre otros [2]. Para este fin, se planteó el diseño de un viaducto, conservando un trazado similar al de la alternativa de corte-relleno y partiendo de la suposición de la misma área de influencia y zonificación ambiental contenidos en el estudio de impacto ambiental (EsIA) real, para ambos casos.

La EvIA de la alternativa de viaducto se realizó siguiendo la metodología empleada en el EsIA real del caso de estudio, que corresponde a la de Conesa - Fernández, modificada por la Universidad de Cartagena. La evaluación comparada de impactos ambientales se hizo únicamente para la etapa de construcción de las alternativas objeto de estudio, incluyendo la valoración cualitativa de impactos ambientales y un análisis de la demanda de recursos naturales.

La valoración de impactos ambientales para la alternativa planteada se efectuó a partir de información secundaria, revisando en forma cuidadosa el EsIA existente para la alternativa corte-relleno, con el fin de identificar juicios, criterios y escalas de valoración. Se hizo un análisis de sensibilidad de la EvIA realizada, en el que se analizaron diferentes escenarios de valoración para aquellos casos en los que se identificó un mayor grado de subjetividad [3]. Los impactos con mayor grado de incertidumbre (por no tener suficiente información o antecedentes) se calificaron en el escenario más crítico, por el principio de precaución de la gestión ambiental [4].

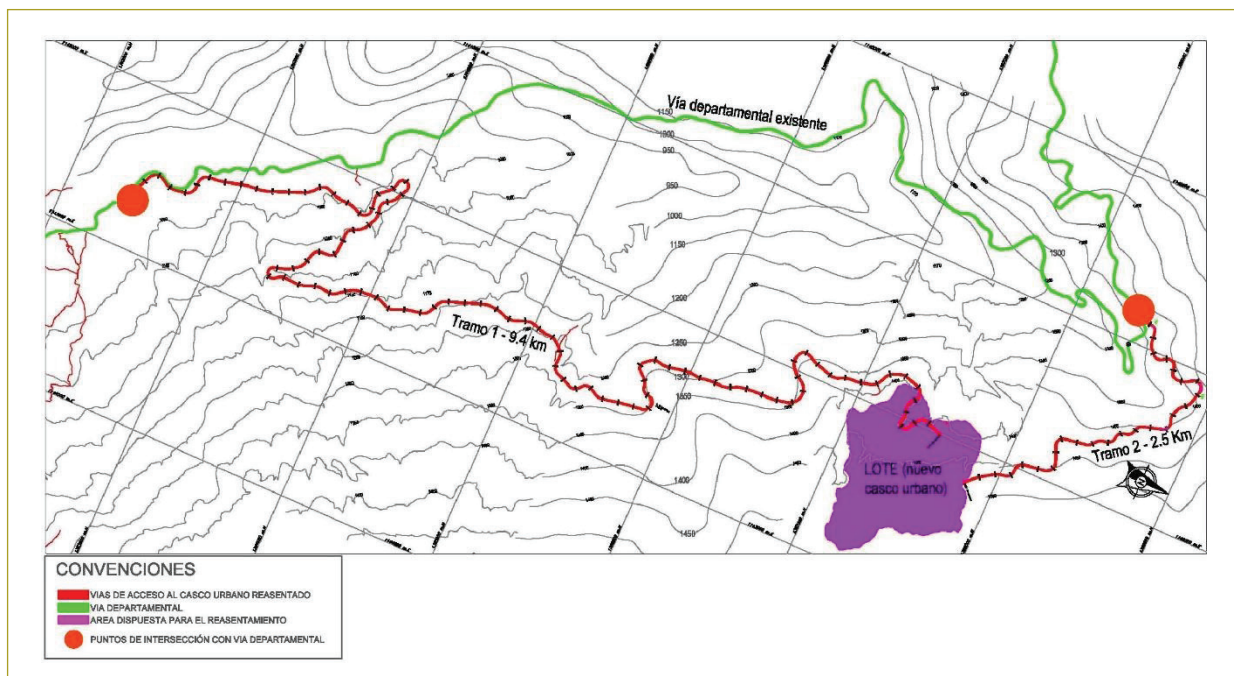
Como resultado de la comparación de la EvIA se encontró que la alternativa en viaducto resulta ser más respetuosa con los medios biótico y abiótico, debido a la reducción de necesidades en cuanto a retiro de cobertura vegetal, tala de árboles, movimiento de tierras, cortes, utilización de materiales granulares y mezclas asfálticas. No obstante, la alternativa de viaducto demanda casi seis veces más concreto y nueve veces más acero que la alternativa de corte-relleno. Se concluye que cada alternativa tiene diversas ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental, y la mejor alternativa dependerá de las condiciones del entorno afectado y de la zonificación ambiental de cada proyecto. Por lo tanto, vale la pena incorporar la evaluación comparada de impactos ambientales para diferentes procedimientos constructivos en el diagnóstico ambiental de alternativas de los proyectos viales.

## RESULTADOS

### Descripción del caso de estudio

El área seleccionada para el reasentamiento de la población es de vocación agrícola y no ha sufrido otras alteraciones. Así, carece de la infraestructura de transporte y de servicios públicos necesarios para atender una población de 4532 habitantes para el año 2039 [5].

El primer tramo (tramo 1 en la figura 1) comprende 9,4 km y corresponde a la conexión de la vía departamental (907 msnm) con el lote donde se desarrollará el nuevo casco urbano de la población (1412 msnm). El segundo tramo (tramo 2 en la figura 1) comprende 2,5 km y corresponde a la conexión (1482 msnm) entre el lote donde se desarrollará el nuevo casco urbano de la población y el punto donde se vuelve a tener conexión



**Figura 1.** Localización del casco urbano y de la vía departamental existente que se va a conectar mediante el corredor vial objeto de análisis.

Fuente: Consultor de los estudios y diseños del caso de estudio.

con la vía departamental (1344 msnm), de acuerdo con el objeto del proyecto.

### Descripción de la alternativa corte - relleno

El corredor vial que se hará corresponde a una alternativa de construcción tradicional de corte - relleno. Dado el tipo de terreno en el cual se desarrolla (montañoso escarpado), se presentan tres tipos de secciones transversales, incluyendo secciones en relleno, secciones en corte y secciones mixtas.

Con el fin de garantizar el confinamiento y la estabilidad de la banca de la vía proyectada, en especial en las secciones mixtas de corte y relleno, el diseño existente incluyó muros de contención en concreto reforzado en una longitud de 1,07 km, en algunos casos cimentadas sobre pilotes tipo *caisson*, complementados por anclajes. Para la construcción de los tramos de la vía objeto de estudio se requerirá un total de **260** pilotes, con profundidades que varían entre **8 y 14** metros [6].

Dado el volumen de material de excavación sobrante que resulta de la construcción de la alternativa (450.000 m<sup>3</sup>), ésta requiere cinco zonas de depósitos para el manejo de escombros (Zodme), con una capacidad

total de 482.558 m<sup>3</sup>. Las principales características de esta alternativa se resumen a renglón seguido (tabla 1).

**Tabla 1**

Características principales de la alternativa corte - relleno

Descripción	Resultado
Longitud	11,9 km
Volumen de corte	451.161,30 m <sup>3</sup>
Volumen de relleno	123.797,26 m <sup>3</sup>
Número de puentes	9
Longitud total de puentes	410 m
Número de obras de drenaje	58
Número Zodme	5
Longitud de conformación de taludes	9,79 km
Longitud de taludes en terraplén	2,29 km
Longitud de estructuras de contención	1,07 km
Cruces de fuentes hídricas	9
Estructuras tipo <i>box coulvert</i>	7
Disipadores de energía	4

Fuente: Consultor de los estudios y diseños del caso de estudio, 2014.

**Tabla 2**  
Resultados principales de la alternativa en viaducto

Descripción	Resultado
Longitud total	9,60 km
Volumen de corte	4.184,65 m <sup>3</sup>
Volumen de excavación para fundación de estructuras	56.274,10 m <sup>3</sup>
Número de pilas	84
Luz entre pilas	100 m
Altura de pilas	Entre 6 y 76,5 m
Altura promedio de pilas	27,45 m
Tipo de cimentación	Profunda (5,6 m - 30 m), mediante <i>caisson</i>
Tipo de vigas	Tipo cajón en concreto postensado
Superestructura	Losa superior - Vigas tipo cajón - Viga cabezal
Número de Zodme	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

### Planteamiento de la alternativa de viaducto

El diseño de la alternativa de viaducto se planteó manteniendo los puntos de conexión con la población y con un trazado similar al de la alternativa de corte-relleno. De acuerdo con los resultados del diseño, para la construcción de esta alternativa sólo se requiere un Zodme, con una capacidad de 181.000 m<sup>3</sup>. En la tabla anterior se resumen las características principales de la alternativa de viaducto, conforme a los resultados del diseño planteado (tabla 2).

### Demanda de recursos naturales

Con el objeto de obtener elementos adicionales para la EvIA comparada de las dos alternativas, se calculó la demanda de recursos naturales para la construcción de cada una. A continuación se presenta un resumen de resultados de la demanda de recursos naturales.

Como resultado se encontró que la construcción de la alternativa corte-relleno demanda 35 veces más agua, 67 veces más materiales granulares y el doble de mezcla asfáltica con respecto a la alternativa de viaducto, mientras que la construcción de la alternativa de viaducto demanda casi 6 veces más concreto y 9 veces más acero que la alternativa de corte-relleno. El número de especies arbóreas afectadas por la construcción de la alternativa de corte relleno es significativamente mayor con respecto a la alternativa de viaducto, con 2741 y 191 especies afectadas, en ese orden.

**Tabla 3**  
Comparación de demanda de recursos naturales y materiales de construcción

Recurso/material	Corte relleno	Viaducto
Agua (m <sup>3</sup> )	55.520	1567
Excavación (m <sup>3</sup> )	451.161	61.089
Materiales granulares (m <sup>3</sup> )	123.797	1837
Concreto (m <sup>3</sup> )	28.862	157.894
Mezcla asfáltica (m <sup>3</sup> )	6996	3450
Acero (ton)	1.508.098	13.363.423
Árboles afectados (uds.)	2741	191

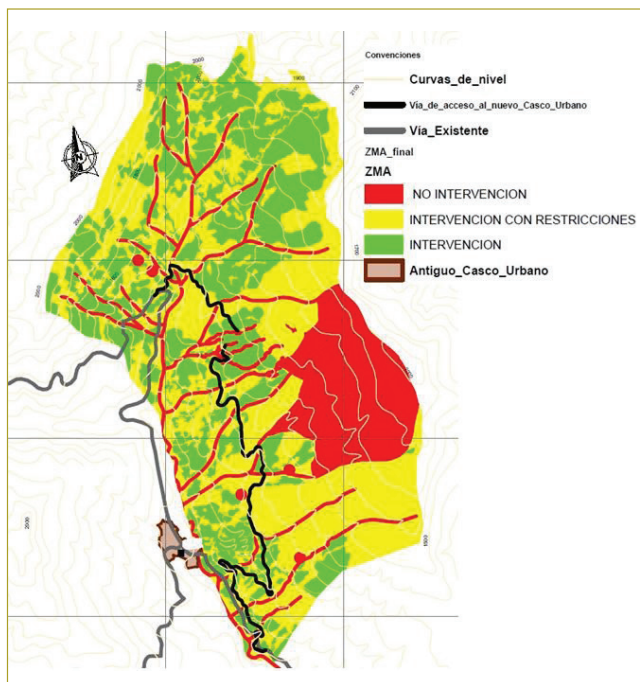
Fuente: Elaboración propia, 2017. Datos para la alternativa de corte-relleno tomados del estudio de diseño existente.

### Área de influencia y zonificación ambiental

Teniendo en cuenta que el trazado de la alternativa de corte y relleno no difiere ampliamente del trazado de la alternativa de viaducto planteada, se presume que el área de influencia es la misma para las dos alternativas constructivas.

Así mismo, se tomó la zonificación ambiental establecida en el EsIA existente, la cual se desarrolló en tres pasos: determinación de unidades de zonificación, criterios de zonificación por sensibilidad de las unidades y categorías de intervención. Como resultado de esto, se definieron tres áreas de zonificación ambiental (figura 2).

- **Áreas de no intervención.** Zonas de muy alta sensibilidad. Incluye zonas donde se encuentran na-



**Figura 2.** Zonificación ambiental del proyecto.

Fuente: Consultor de estudios y diseños del caso de estudio.

cederos de fuentes hídricas, zonas de reserva natural y rondas hídricas. Corresponde a 791 ha dentro del área de influencia, que representan un 21,3 % del AID del proyecto.

- **Áreas de intervención con restricciones.** Zonas de alta y media sensibilidad, que incluyen bosques y zonas de vegetación natural, zonas de interés arqueológico, zonas de alta amenaza (local) y zonas con

presencia de viviendas o instituciones. Corresponde a 1716 ha dentro del área de influencia, que representan un 46,3 % del AID del proyecto.

- **Áreas de intervención.** Zonas de baja sensibilidad, incluyendo zonas de producción económica y el perímetro del área de construcción del casco urbano para el reasentamiento. Corresponde a 1200 ha dentro del área de influencia, que representan un 32,4 % del AID del proyecto.

### Metodología empleada para la EvIA

En el EsIA existente se utilizó una metodología elaborada por Alejandrina Vanegas, con adaptaciones de la Universidad de Cartagena. Esta metodología se fundamenta en la propuesta de Conesa - Fernández, la cual se basa a su vez en el método de las matrices “causa - efecto”, utilizando resultados cualitativos que siguen la metodología de Leopold, y resultados cuantitativos basados en la metodología del Instituto Batelle - Columbus [7]. No obstante, la metodología empleada en la EvIA existente no incluye valoración cuantitativa.

Una vez obtenida la matriz causa - efecto en la identificación de impactos ambientales, se conforma la matriz de importancia, donde se realiza la valoración cualitativa en función de los atributos del impacto ambiental, para cada una de las casillas de cruce en las que existen relaciones actividad - impacto. Esto se hace a partir de la valoración de los atributos del impacto ambiental presentados a continuación (tabla 4). Dado

**Tabla 4**  
Criterios, escalas y rangos de valoración de impactos.

Criterio	Escala de valoración
<b>Extensión (Ex).</b> Mide el impacto, según su extensión en el entorno considerado.	Puntual: 1; Parcial: 2; Extensa: 4
<b>Momento (Mo).</b> Tiempo transcurrido entre la ejecución de la actividad y el de manifestación del impacto.	Largo plazo: 1; Mediano plazo: 2; Inmediato: 4
<b>Reversibilidad (Rv).</b> Posibilidad de recuperación del elemento afectado por una actividad, recuperando sus condiciones iniciales por medios naturales.	Corto Plazo: 1; Mediano plazo: 2; Irreversible: 4
<b>Recuperabilidad (Mc).</b> Posibilidad de un elemento para recuperar sus condiciones iniciales por medio de la intervención humana.	Inmediata: 1; Mediano plazo: 2; Irrecuperable: 4
<b>Sinergia (Si).</b> Se presenta cuando el impacto de dos acciones que actúan simultáneamente es mayor que el provocado en forma independiente.	Sin sinergismo: 1; Sinérgico: 2; Muy sinérgico: 4
<b>Acumulación (Ac).</b> Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del impacto, cuando se repite en forma continua la acción que lo genera.	Simple: 1; Acumulativo: 4
<b>Efecto (Ef).</b> Tipo de manifestación del efecto sobre un elemento como consecuencia de una actividad.	Indirecto o secundario: 1; Directo o primario: 4
<b>Periodicidad (Pr).</b> Indica la manifestación del efecto en el tiempo si es cíclica (periódico), impredecible (irregular) y concertante (continuo).	Irregular discontinuo: 1; Periódico: 2; Continuo: 4

Fuente: Consultor de estudios y diseños del caso de estudio, 2014.

que en el EsIA existente los rangos para la asignación de valores no se especifican, para la EvIA de la alternativa en viaducto éstos se asumieron buscando consistencia con las valoraciones del EsIA existente.

La ecuación por medio de la cual se establece la importancia del impacto (II) es la siguiente [1]:

$$\text{Ecuación 1. Cálculo de la importancia del impacto} \\ II = (Ex + Mo + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc)$$

Para clasificar los impactos negativos según su importancia, se utilizan estos rangos (tabla 5).

**Tabla 5**

Clasificación de impactos negativos por su importancia

Clasificación	Rango*
Severo	> 75 %
Significativo	50 – 75 %
Moderado	25 – 50 %
Leve o bajo	0 – 25 %

\* Con respecto a la máxima probable por actividad en el componente.

Fuente: Consultor de estudios y diseños del caso de estudio, 2014.

### EvIA para los diferentes escenarios

- **EvIA sin proyecto.** En la EvIA del escenario “Sin proyecto”, hecha en el EsIA existente [1], se tuvieron en cuenta las actividades que la población dentro del AID realiza de manera cotidiana para su desarrollo social, cultural y económico, incluyendo actividades asociadas a los sectores de agricultura, ganadería, vivienda, institucional, educación, salud, recreación y deporte, así como captación de aguas, ocupación de cuerpos de agua y piscicultura. También se contempló una actividad impactante, denominada eventos naturales por activación de procesos geológicos. En el EsIA existente se identificaron 29 potenciales impactos asociados a estas actividades (tabla 6), tarea hecha por un equipo interdisciplinario que tuvo a su cargo los estudios y diseños del caso de estudio.
- **EvIA alternativa corte-relleno.** La EvIA existente de la alternativa corte - relleno se realizó a partir de las siguientes actividades asociadas a la etapa de construcción [1]: a) Descapote y remoción de vegetación; b) Transporte y acopio de materiales de construcción y de materiales sobrantes; c) Movimiento de tierras

(cortes, rellenos y compactación); d) Disposición de material sobrante de excavación y de descapote en sitios de disposición (Zodme); e) Construcción de obras de arte (muros, cunetas, protección de taludes o banca); f) Producción, colocación y transporte de concreto hidráulico (rígido) y asfáltico; g) Empradización; h) Pintura, colocación de barandas y señalización horizontal y vertical; i) Limpieza y entrega final. Los impactos ambientales considerados para este escenario fueron los mismos que se tomaron en cuenta para el escenario sin proyecto.

- **EvIA alternativa en viaducto.** Al igual que en la alternativa corte - relleno, para la EvIA de la alternativa de viaducto se partió de la identificación de las actividades asociadas a la etapa de construcción, a saber: a) Localización y replanteo; b) Instalación de campamentos, adecuación de zonas de acopio y talleres; c) Movimientos de tierras - cortes; d) Excavación para cimentación; e) Construcción de pilotes tipo *caisson*; f) Construcción de dados en concreto; g) Construcción de columnas en concreto; h) Construcción de estribos; i) Conformación de rellenos estructurales en material granular; j) Construcción de vigas cabezal; k) Construcción y montaje de vigas postensadas; l) Construcción de vigas riostra; m) Construcción de tablero superior; n) Fabricación y colocación de baranda metálica; ñ) Colocación de la capa de rodadura en mezcla asfáltica; o) Instalación de señalización horizontal y vertical.

En el ejercicio realizado se identificaron dos impactos que no estaban contemplados en la alternativa corte-relleno, incluyendo cambios en la forma del relieve sobre el componente suelo y cambios en el régimen de escorrentía superficial sobre el componente agua. De acuerdo con el criterio del autor, estos impactos también están asociados a la construcción de la alternativa corte-relleno; por lo tanto, para efectos del análisis comparativo de EvIA se adicionó su valoración a las matrices de evaluación para los escenarios sin proyecto y corte-relleno.

La valoración de los impactos ambientales para esta alternativa se realizó a partir de información secundaria, haciendo una cuidadosa revisión del EsIA existente, con el fin de identificar juicios, criterios y escalas de valoración.

- **Tratamiento de incertidumbres - alternativa en viaducto.** Se realizó un análisis de sensibilidad, en el que se estudiaron diferentes escenarios de valoración para aquellos casos en los que se identificó un mayor grado de subjetividad [3], incluyendo: a) afectación del paisaje; b) conflicto con la comunidad; c) generación de expectativas. Los impactos correspondientes a cambios en las formas del relieve y cambios en la escorrentía superficial, desde un punto de vista técnico, no tienen un alto nivel de subjetividad. Sin embargo, al ser impactos adicionados a la lista de impactos de la EvIA original, no se encontraron suficientes referencias para su valoración, por lo que se decidió incluirlos en este análisis.

Los impactos con mayor grado de incertidumbre fueron calificados en el escenario más crítico, por el principio de precaución de la gestión ambiental [4]. El análisis comparativo de resultados se hizo teniendo en cuenta la EvIA resultante del tratamiento de incertidumbres. La matriz resultante de EvIA para los tres escenarios descritos se presenta en la página siguiente 6 (se excluyen los impactos en los que su clasificación resultó igual para los tres escenarios) (tabla 6).

#### Análisis comparativo de EvIA

- **Medio abiótico.** De acuerdo con los resultados obtenidos, los potenciales impactos sobre el medio abiótico podrían ser más significativos en el escenario de la alternativa corte-relleno, encontrando las mayores diferencias en los grados de afectación en la alteración de la calidad del aire, alteración de los niveles de ruido y generación de inestabilidad. Esto se debe a que para la alternativa corte-relleno se requiere realizar obras de estabilización en un 80 % del corredor vial, aumentando además el riesgo de generación de inestabilidad y demandando el uso de maquinaria con producción de altos niveles de ruido y grandes cantidades de material particulado. Por su parte, la alteración de las formas del relieve resultan ser moderadas en ambos casos. No obstante, para el caso de la alternativa en viaducto esta afectación podría ser leve, considerando que este impacto se valoró como moderado, dado el resultado del análisis de sensibilidad, en el que se decidió tomar en cuenta el escenario más crítico posible.

Los potenciales impactos relacionados con los cambios en el uso del suelo y la alteración de las propiedades fisicoquímicas de éste serían similares en ambos casos. Los impactos asociados a la generación de procesos erosivos serían más significativos para el caso de la alternativa de corte-relleno, por la naturaleza de las obras requeridas.

Según los resultados de la demanda de recursos naturales, para la construcción de la alternativa de viaducto se requeriría una Zodme con una capacidad de 61.000 m<sup>3</sup>, mientras que la alternativa corte-relleno demanda 5 Zodme con una capacidad total de 483.000 m<sup>3</sup>. Este volumen es casi 8 veces mayor que el requerido para la construcción de la alternativa de viaducto. Desde el punto de vista de gestión de residuos sólidos (RS) y de acuerdo con la jerarquía de opciones ambientales de la EPA, la opción más deseada es la eliminación en la fuente [8], por lo que la generación de escombros en una cuantía significativamente inferior constituye una ventaja para la alternativa en viaducto. En cuanto a requerimientos de materiales, la construcción de la alternativa corte-relleno demanda 67 veces más materiales granulares con respecto a la alternativa de viaducto, en tanto que la construcción de esta última demanda casi seis veces más concreto y nueve veces más acero que la alternativa de corte-relleno.

En cuanto a la hidrología, se encuentran algunos potenciales impactos moderados asociados a la alternativa corte-relleno, incluyendo alteración del régimen de caudales y alteración del régimen sedimentológico, mientras que para la alternativa en viaducto estos impactos serían leves. Los cambios generados en la escorrentía superficial serían significativos para el caso de la alternativa corte-relleno, en tanto que para el caso de la alternativa en viaducto esta afectación podría ser moderada e incluso leve, teniendo en cuenta que este impacto se valoró como moderado, dado el resultado del análisis de sensibilidad.

En ninguno de los dos casos se prevén impactos significativos asociados a la alteración de los cuerpos hídricos o cambios en su calidad, debido a que no se contemplan modificaciones o afectaciones directas en los cauces. No obstante, según el análisis de la demanda de RN, la construcción de la alternativa corte-relleno demanda 35 veces más agua que la alternativa de viaducto, lo cual podría llegar a ser significativo para proyectos en los que el acceso a este recurso sea limitado.

**Tabla 6**  
Clasificación de la importancia negativa de impactos del escenario “Sin proyecto” y las alternativas corte - relleno y viaducto

Medio	Componente	N.º	Impacto	Sin proyecto	Corte - relleno	Viaducto
ABIÓTICO	AIRE	1	Alteración de la calidad del aire	Leve	Significativo	Leve
		2	Alteración de los niveles de ruido	Leve	Significativo	Moderado
	SUELO	3	Cambio de uso del suelo	Leve	Moderado	Moderado
		4*	Cambios en las formas del relieve	Leve	Moderado	Moderado
		5	Generación de Inestabilidad	Moderado	Significativo	Leve
		7	Generación de procesos erosivos	Moderado	Moderado	Leve
	AGUA	8	Cambios en la calidad del agua	Leve	Moderado	Moderado
		9*	Cambios en la escorrentía superficial	Leve	Significativo	Moderado
		10	Alteración del régimen de caudales	Leve	Moderado	Leve
		11	Alteración del régimen sedimentológico	Leve	Moderado	Leve
BIÓTICO	FAUNA	13	Pérdida de fauna	Leve	Significativo	Moderado
		14	Fragmentación de hábitats y pérdida de corredores biológicos	Moderado	Significativo	Leve
		16	Afectación a especies endémicas, amenazadas, vedadas y de importancia ecológica, económica o cultural	Leve	Moderado	Leve
	FLORA	17	Pérdida de cobertura vegetal	Moderado	Significativo	Leve
		18	Fragmentación de hábitats	Moderado	Significativo	Leve
		19	Afectación del paisaje	Moderado	Significativo	Significativo
		20	Afectación a especies endémicas, amenazadas, vedadas y de importancia ecológica, económica o cultural	Moderado	Moderado	Leve
	SOCIAL	26	Generación de riesgos de accidentes	Leve	Significativo	Severo
		27	Conflicto con la comunidad	Leve	Significativo	Severo
		28	Generación de expectativas	Leve	Significativo	Severo
31		Afectación al patrimonio arqueológico	Moderado	Moderado	Leve	

\* Impactos adicionados a la EvIA de los tres escenarios, para el análisis comparativo de impactos ambientales.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del EsIA real (sin proyecto y corte-relleno) y de la EvIA realizada para la alternativa de viaducto.

En cuanto a la hidrogeología, podría esperarse que la afectación sobre el recurso hidrogeológico sea superior para una alternativa de viaducto, teniendo en cuenta las profundidades requeridas en la conformación de cimentaciones. En este caso no se encontró la existencia de formaciones de acuíferos a lo largo del corredor, pero para proyectos en los que existan formaciones potencialmente afectadas, la afectación sobre este recurso podría ser decisiva.

- **Medio biótico.** La afectación sobre el medio biótico es mínima para la construcción de la alternativa de viaducto, al compararse con la alternativa corte -

relleno. Esto se debe a que el área de intervención sobre el suelo de esta última es de 29,2 ha, mientras que la alternativa de viaducto requiere la intervención de 5,67 ha de suelo, implicando una reducción del 80,6 % de área intervenida. En el escenario sin proyecto, el medio biótico se encuentra impactado por actividades de agricultura y ganadería, mientras que el medio abiótico se encuentra impactado por eventos naturales que activan procesos geológicos.

Los potenciales impactos asociados a la pérdida de fauna, pérdida de cobertura vegetal y fragmentación de hábitats resultan significativos para el caso de la alter-



nativa corte-relleno, mientras que para la alternativa en viaducto resultan leves. La remoción de capa vegetal y los movimientos de tierras hacen que los impactos sobre el medio biótico sean más significativos para la alternativa corte-relleno, encontrando cinco impactos con esta clasificación dentro del medio biótico, mientras que para la alternativa en viaducto sólo se encuentra un potencial impacto significativo. No obstante, este último está asociado a la afectación del paisaje, cuya valoración es el resultado de suponer el escenario más crítico por el alto grado de subjetividad en su valoración.

La afectación de especies amenazadas y endémicas resulta ser mayor para el caso de la alternativa corte-relleno. De hecho, de acuerdo con el análisis de la demanda de RN, la cantidad de especies arbóreas afectadas por la construcción de la alternativa de corte relleno podría ser significativamente mayor con respecto a la alternativa de viaducto, con 2741 y 191 especies afectadas, respectivamente.

Considerando la zonificación ambiental del proyecto, se encuentra que en la alternativa en viaducto, el impacto sobre las zonas catalogadas como de “no intervención” e “intervención con restricciones” es menor, ya que el retiro de cobertura vegetal y la tala de árboles es mínima (solamente se requieren en los puntos de cimentación).

En general, desde el punto de vista de afectación sobre el medio biótico, la alternativa en viaducto resulta menos impactante. Para el caso de estudio, al revisar los usos actuales del suelo en la caracterización del AID, se encuentra que los tramos que hay que intervenir en su mayoría corresponden a zonas de uso agrícola y agropecuario, por lo que los ecosistemas del AID se encuentran modificados. Esta diferencia podría ser más significativa para proyectos situados en zonas en las que existan ecosistemas sin modificar o donde sea deseable reducir la afectación de éstos.

- **Medio socioeconómico.** Los impactos potenciales más significativos para las dos alternativas analizadas corresponden a la generación de conflictos con la comunidad, generación de expectativas y generación de riesgos de accidentes. De acuerdo con los resultados de la EvIA, estos impactos podrían ser significativos para la alternativa de corte-relleno y severos para la alternativa en viaducto. No obstante, esta diferencia podría deberse a que en la EvIA de la alternativa en

viaducto se tomó el caso más crítico en el análisis de estos tres impactos por el principio de precaución de la gestión ambiental. Para ambos casos, estos impactos pueden mitigarse mediante la implementación de programas de seguridad y salud en el trabajo, y con una comunicación oportuna y adecuada en la socialización del proyecto con la comunidad. La afectación del patrimonio arqueológico podría ser inferior en el caso de la alternativa de viaducto, dado que no se afectarían los tres caminos republicanos existentes a lo largo del corredor. Esto, a juicio del autor, sería una ventaja, desde el punto de vista de la protección del patrimonio arqueológico y cultural.

## CONCLUSIONES

Se hizo una propuesta de trazado en viaducto, encontrando que la longitud del tramo vial se reduciría en un 19,33 % con respecto a la alternativa corte-relleno. El costo de construcción del viaducto resulta ser casi cuatro veces mayor que el de la alternativa corte-relleno. En casos en los cuales se optimice la longitud de los viaductos al no seguir el trazado de otras alternativas, esta diferencia podría ser incluso menor. Desde un punto de vista de economía ambiental, esto se podría justificar en la incorporación de costos ambientales de los proyectos de infraestructura.

De acuerdo con el EsIA existente para la alternativa corte-relleno, la mayor afectación se presenta sobre los medios abiótico y biótico. En el escenario sin proyecto, el medio biótico se encuentra afectado por la agricultura y ganadería, con afectaciones asociadas a fragmentación de ecosistemas, afectación del paisaje y afectación de especies endémicas.

Según el EvIA de la alternativa en viaducto, los componentes más afectados por su construcción resultan ser la flora y el componente social, con impactos que incluyen afectación del paisaje, conflictos con la comunidad y generación de expectativas.

Al hacer la evaluación comparada de impactos ambientales, se concluye que dado que el viaducto no se desarrolla en la superficie, los impactos negativos sobre el medio abiótico y biótico son menores con respecto a la construcción de la alternativa corte-relleno. Para el caso de estudio analizado, esta diferencia podría ser representativa, dada la zonificación ambiental del proyecto, ya que el trazado atraviesa áreas de no inter-

vención y de intervención con restricciones que suman el 67,62 % del AID.

Al revisar la demanda de RN, se encuentran condiciones más favorecedoras para la alternativa de viaducto desde una perspectiva de demanda de agua, generación de residuos sólidos, requerimientos de Zodme para su disposición y cantidad de especies arbóreas afectadas. No obstante, la alternativa de viaducto demanda casi seis veces más concreto y nueve veces más acero que la alternativa de corte-relleno. Para determinar la mejor alternativa ambiental desde el punto de vista de demanda de recursos naturales, se requiere complementar este estudio con un análisis de ciclo de vida.

## REFERENCIAS

- [1] Consultor de los estudios y diseños del caso de estudio, 2014. estudio de impacto ambiental de las vías de acceso al nuevo casco urbano de la población del caso de estudio.
- [2] Cantor, C.Y.L (2008, enero). Alternativas en infraestructura sostenible para la conexión vial Colombia - Panamá y de las Americas en zonas ambientalmente sensibles como el tapón del Darién. Universidad de La Salle. Bogotá D.C. [en línea]. Disponible en <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14018/T41.07%20C168a.pdf?sequence=1>.
- [3] Servicio de la ciencia y el conocimiento de la Unión Europea, 2017. El análisis de sensibilidad y la evaluación del impacto [en línea]. Disponible en <https://ec.europa.eu/>.
- [4] República de Colombia. Gobierno nacional (1993). Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se dictan otras disposiciones.
- [5] Consultor de los estudios y diseños del caso de estudio, 2014. diseño de acueducto y alcantarillado para el reasentamiento de la población del caso de estudio.
- [6] Consultor de los estudios y diseños del caso de estudio, 2014. Estudio y diseño de estructuras de la vía objeto de estudio.
- [7] Conesa Fernández, V. (2003). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid-Barcelona-México: Mundi-Prensa.
- [8] Environmental Protection Agency, USA - EPA (2017). Sustainable Materials Management: Non-Hazardous Materials and Waste Management Hierarchy [en línea]. Disponible en [www.epa.gov](http://www.epa.gov).