

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<https://dx.doi.org/10.14482/inde.39.2.628>

Evaluación de impactos ambientales asociados a la eventual recuperación ambiental de canteras con residuos inertes de construcción y demolición en Barranquilla y su área metropolitana

Assessment of Environmental Impacts Associated with the Eventual Environmental Recovery of Quarries with Inert Construction and Demolition Waste in Barranquilla and its Metropolitan Area

LUIS ALFONSO MENDOZA ZAPATA *

CARLOS ALBEIRO PACHECO BUSTOS **

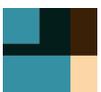
WILSON DAVID CERTAIN ABRAHAM ***

* Ingeniero civil. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4543-4131>. lzapataa@uninorte.edu.co.

** Doctor en ingeniería. Profesor asistente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5198-8122>. cbustosa@uninorte.edu.co

*** Máster en Gerencia Ambiental. Director de proyectos de Grupo Jacur, Barranquilla, Colombia.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5162-5711>. wccertain@grupojacur.com

Correspondencia: Luis Alfonso Mendoza Zapata. Calle 3B Transv. 3B 105, torre 2, apto 404, Villa Campestre, Barranquilla. Tel. móvil (57) 3162970360.



Resumen

En este artículo se hace una evaluación de los impactos ambientales que se podrían derivar del uso de huecos mineros como rellenos sanitarios de RCD en canteras del distrito de Barranquilla, aplicando adecuadamente la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)” del Ministerio para la Transición Ecológica de España. Esta ha sido implementada exitosamente en España. Por objetivos afines en la gestión de RCD y similitudes entre canteras españolas y colombianas, se presume que podría ser adaptada en Barranquilla como ciudad representativa de Colombia. Se elaboró un Scoping como aproximación a los efectos e impactos ambientales y se utilizaron una matriz de Leopold modificada y el método EPM para la evaluación. El proyecto resultó ambientalmente viable. Los impactos positivos más significativos son: mejoramiento de condiciones fisicoquímicas y propiedades mecánicas del suelo y formalización en la disposición de RCD. Los impactos negativos más preponderantes son: afectaciones a la calidad del aire y posible contaminación de cuerpos de agua. Este artículo, junto con la Guía referida al principio, deben servir como soporte para entidades ambientales competentes responsables de tomar medidas legales y técnicas sobre la disposición de RCD en el distrito.

Palabras clave: Disposición final, Hueco minero, Impacto ambiental, Relleno sanitario, Residuos de construcción y demolición (RCD).

Abstract

This article makes an evaluation of the environmental impacts that could be derived from the use of mining holes as sanitary landfills of C&D in quarries of the district of Barranquilla, properly applying the “Guide for the Rehabilitation of Mining Holes with Construction and Demolition waste (C&D)” from the Ministry for Ecological Transition of Spain. This has been successfully implemented in Spain. Due to similar objectives in the management of C&D, and similarities between Spanish and Colombian quarries, it is presumed that it could be adapted in Barranquilla as a representative city of Colombia. An scoping as an approximation to the environmental effects and impacts was developed, and a modified Leopold matrix and the EPM method were used for the evaluation. The project was environmentally viable. The most significant positive impacts are the improvement of physical chemical conditions and mechanical properties of the soil, and formalization in C&D disposition. The most prevalent negative impacts are the effects on air quality and possible contamination of bodies of water. This article, and the Guide referred to at the beginning, should serve as support for competent environmental entities responsible for taking legal and technical measures on the disposition of C&D in the district.

Keywords: Construction and demolition waste (RCD), Environmental impact, Final disposal, Landfill, Mining hole.

INTRODUCCIÓN

La inminente urbanización y el continuo aumento de la población traen consigo importantes desafíos, entre ellos la gestión y disposición de RCD. Estos son frecuentemente uno de los más importantes componentes del flujo de residuos de los países desarrollados, representando entre el 20 y el 30 %, y algunas veces más del 50 % del total [1], lo que, a falta de datos suficientes para Colombia, puede ser un buen referente. A pesar de lo prominentes que son esos porcentajes, hay actualmente un número insuficiente de herramientas y de técnicas bien equipadas para diseñar e integrar estrategias que permitan una buena gestión de RCD [2]. Alrededor de 924 millones de toneladas de RCD en la Unión Europea en 2016 y 2,36 mil millones de toneladas en China en 2018 fueron dispuestos en su mayoría en rellenos sanitarios [3]. En Colombia existen rellenos sanitarios o escombreras en ciudades principales como Bogotá, Cali y Medellín en los que se disponen RCD, sin embargo, en Barranquilla la gran mayoría de los RCD son dispuestos inadecuadamente debido a que no se tiene una escombrera distrital o un relleno sanitario certificado de RCD, por lo que un paso importante, a fin de lograr una correcta gestión de los RCD, es la búsqueda y la organización de un terreno dispuesto solo para la disposición final de este tipo específico de residuos [4]. Lo anterior ha conllevado a la ausencia de información idónea sobre la generación y disposición de RCD e Barranquilla. La disposición final inadecuada de RCD puede traducirse en impactos ambientales negativos como la degradación y erosión de suelos, destrucción de la vegetación y pérdida de servicios ambientales [5].

El Ministerio para la Transición Ecológica de España formuló un documento conocido como “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)”. Este documento presenta una tipología y selección de huecos mineros para su rehabilitación con RCD, una caracterización de los RCD para relleno de huecos mineros y recomendaciones técnicas para el relleno y rehabilitación de un hueco minero con RCD. Esta guía, por condiciones y contextos similares entre Colombia y España, podría ser consultada, implementada y normalizada para canteras de la región norte de Colombia, empezando por Barranquilla y su área metropolitana. De acuerdo con información obtenida de primera mano de la Corporación Autónoma regional del Atlántico (CRA), solo en el área metropolitana de Barranquilla hay por lo menos nueve canteras que operan legalmente. Asimismo, se presume que hay algunas no documentadas que no cuentan con la licencia ambiental contemplada en el Decreto 1076 de 2015, que deben cumplir también con un contrato o título minero otorgado por el Ministerio de Minas y Energía. Algunas de las canteras registradas se encuentran inactivas o en estado de cierre, por lo que, de acuerdo con sus planes de manejo ambiental, cuando esto sucede, deben tener obras de compensación o de recuperación. En ese sentido, se podría esperar que algunos huecos

sean idóneos para ser rellenados con RCD inertes, aportando una forma de gestión de residuos y al mismo tiempo una opción para la compensación requerida al acabar la vida útil de las canteras a las que anteriormente se hizo alusión.

El uso de RCD para recuperar canteras tiene múltiples beneficios, entre los cuales se resalta la devolución a un estado satisfactorio del medio biótico correspondientes al suelo, fauna, hábitats naturales y paisaje, entre otros [6].

En este artículo se hace una evaluación de los posibles impactos ambientales que se pueden derivar del uso de huecos mineros situados en canteras de Barranquilla y de su área metropolitana como rellenos sanitarios de RCD considerando la aplicación correcta de la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)”. Entre otras razones, esto es importante porque en la comunidad científica hay una falta de revisión sistemática de estudios relacionados con los impactos ambientales asociados al tratamiento y disposición de RCD [7]; adicionalmente, Barranquilla requiere un ajuste rápido de su modelo de gestión de RCD, dada su alta tasa de desarrollo durante los últimos años [8] se ha convertido en un problema a nivel Mundial. Por esta razón, la legislación en Colombia busca orientar su adecuada gestión y promover el aprovechamiento de estos. \r Metodología: En esta investigación se plantea una alternativa para la elaboración del plan de gestión integral basada en un análisis de la legislación nacional y local de las ciudades que están a la vanguardia en el manejo de los RCD en Colombia. Basado en este análisis se estudiaron y analizaron las condiciones y características de una ciudad intermedia como lo es Barranquilla para plantear una alternativa integral para el manejo de estos residuos (gestión y tratamiento, y ante la falta de proyectos de aprovechamiento, hacer la disposición con base en la guía podría mitigar los impactos ambientales generados por la mala disposición actual de RCD.

MARCO TEÓRICO

La industria de la construcción es un explotador excesivo de los principales recursos y un gran productor de desechos [9]; estos, mayormente conocidos como RCD, son aquellos residuos o desechos generados en obras de construcción o demolición, entendiéndose como tales la construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, como es el caso de edificios, instalaciones deportivas o de ocio e infraestructura de obra civil, así como aquellos otros residuos generados en otros trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo (excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos) que no estén relacionados con la actividad minera [6]. Asimismo, los RCD se pueden generar por desastres ambientales, como terremotos, huracanes, tornados e inundaciones [1]. Los RCD están compuestos por residuos inertes y no inertes, sin embargo, la gran parte de la mezcla

está conformada por materiales inertes, como concreto, bloques, yeso, madera, metales y suciedad en general. Los porcentajes de metal (acero, aluminio, cobre), vidrio y, en particular, compuestos orgánicos sintéticos (plástico, materiales aislantes, aditivos químicos y acabados) se presentan en menor proporción [1].

Del análisis de diferentes modelos económicos se ha determinado que la utilización adecuada de materiales reciclados puede generar ingresos económicos y fuertes ventajas económicas y ambientales con especializadas instalaciones de reciclaje, de lo contrario, la mayoría de los RCD se destinan a áreas de disposición final [2]; tal disposición puede en algunos casos ocasionar impactos negativos en el ambiente, la economía, la salud pública y la vida social [10].

Hay múltiples factores que pueden afectar el éxito de la gestión de RCD, entre estos las actitudes y comportamiento de las partes interesadas, incentivos económicos, entre otros. Sin embargo, se han realizado pocos esfuerzos de investigación sobre el uso de incentivos económicos para prevenir la generación de residuos, y existen también escasos conocimientos sobre la comprensión de los aspectos sociales en los RCD y el sistema de su gestión [11].

En el contexto de los RCD existe una inquietud generalizada en los investigadores de la mayoría de los países del mundo por la cuantiosa generación y por los desafíos ligados a la disposición de estos.

A partir de un análisis bibliométrico, basado en el análisis de clústeres de palabras clave, se pudo establecer que la investigación de RCD se puede dividir en cinco grandes grupos: (1) preocupaciones medioambientales de los RCD, objeto de estudio en este artículo, (2) reciclabilidad de residuos de construcción y demolición, (3) pruebas de desempeño y comportamiento de productos reciclados, (4) gestión de RCD y (5) residuos de construcción y demolición [11].

Los RCD deben ser distinguidos como un tipo de desechos independientes debido a sus problemas y desafíos de gestión únicos, no tanto por su naturaleza peligrosa, ya que en proporción, la mayoría son inertes, sino debido al volumen que generan, lo que dificulta la gestión sostenible de los mismos [12]. Por ejemplo, en EE. UU. la generación de RCD varía de 20 a 30 kg / m² construido para la mayoría de los tipos de edificios [13], cantidad que transformada a volumen puede llegar a ser abrumadora.

En Barranquilla y su área metropolitana se genera una cantidad mensual de RCD que equivale aproximadamente a 1895 ton/mes [14]. Asimismo, el concreto (12,92 %), ladrillos (8,55 %) y tierra (10,37 %) son los tipos de RCD generados que más abundan [4]. En el caso del municipio de Puerto Colombia, parte del área metropolitana de Barranquilla, según datos del operador, se entregan en promedio 144,86 toneladas por mes [15].

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de la ciudad de Barranquilla [14], la responsabilidad de los RCD generados es inicialmente de su generador, el cual deberá llegar a un acuerdo económico y pactar su recolección, transporte y disposición final con la entidad prestadora del servicio público de aseo, responsable de recoger, transportar y descargar en el sitio de disposición final y/o aprovechamiento los desechos resultantes de estos residuos. Lo anterior se presenta en un escenario ideal, sin embargo, existe mucha informalidad asociada a la recolección de RCD en la ciudad, en la que los escombros terminan siendo recogidos y botados en sitios de disposición ilegal por parte de conductores de vehículos de tracción animal [4], [8] se ha convertido en un problema a nivel Mundial. Por esta razón, la legislación en Colombia busca orientar su adecuada gestión y promover el aprovechamiento de estos. \r Metodología: En esta investigación se plantea una alternativa para la elaboración del plan de gestión integral basada en un análisis de la legislación nacional y local de las ciudades que están a la vanguardia en el manejo de los RCD en Colombia. Basado en este análisis se estudiaron y analizaron las condiciones y características de una ciudad intermedia como lo es Barranquilla para plantear una alternativa integral para el manejo de estos residuos (gestión y tratamiento, lo cual conlleva a que la información local que se tiene sobre la generación, ciclo de vida y la disposición de RCD sea limitada y poco certera.

En [1] se reconocen tres tipos de rellenos sanitarios: rellenos sanitarios de residuos peligrosos, rellenos sanitarios para residuos no peligrosos y rellenos sanitarios de residuos inertes. Algunos RCD pueden estar contaminados de materiales peligrosos, sin embargo, se consideran inertes, ya que no se someten a transformaciones químicas o biológicas, por lo que, después de evaluar posibles estrategias de aprovechamiento, deberían ser dispuestos en rellenos sanitarios de inertes.

Considerando el contenido de la Guía para la rehabilitación de huecos mineros con RCD del Ministerio para la Transición Ecológica de España de 2018 [6], esta podría ser aplicable y replicable en canteras del área metropolitana de Barranquilla donde hay evidencia de huecos mineros de gran volumen, que aunado a la abundante generación de RCD en la ciudad, se configura en una oportunidad valiosa para utilizar los huecos mineros como rellenos sanitarios de RCD empleándolos en la recuperación ambiental del entorno y suelos degradados por minería, mejorando en el proceso propiedades fisicoquímicas de dichos suelos y generando aporte de nutrientes (Ca, Mg, K, entre otros) [5]. Esta guía y otros métodos encontrados en la literatura sobre recuperación de huecos mineros y rellenos sanitarios de RCD están enfocados en prevenir la contaminación del agua superficial, agua subterránea, suelo, atmósfera y el medio ambiente en general. Allí radican los impactos ambientales positivos que puede tener su eventual aplicación; no obstante, también se deben considerar los impactos negativos que se puedan causar por las obras de adecuación de los huecos mineros como rellenos sanitarios de RCD y por su operación misma, que en la práctica puede llegar a ser inadecuada.

Existen algunos casos de éxito de la aplicación de la metodología presentada por la guía del Ministerio para la transformación ecológica de España. Uno de ellos es el caso de la evaluación de la idoneidad de los huecos de explotación de arcilla de la Comarca de la Sagra (Toledo) para su rehabilitación con RCD [6].

Los impactos ambientales de un relleno sanitario de RCD están condicionados por la interacción entre los componentes del medio ambiente físico (es decir, agua superficial, agua subterránea, atmósfera, suelo y salud pública), el diseño y la explotación del vertedero [1].

A pesar de que en Barranquilla y su área metropolitana gran parte de los RCD se eliminan en botaderos sin ningún tipo de recuperación o reutilización, generan importantes preocupaciones ambientales y económicas [16].

Se esperaría que una buena operación de eventuales rellenos sanitarios de RCD como reemplazo de huecos mineros permita tener más beneficios que perjuicios en términos ambientales, sin embargo, no se puede desconocer que en algunas ocasiones, cuando la operación de este tipo de rellenos es indebida, el vertido de RCD agota los recursos finitos del relleno, contribuyendo al aumento del consumo de energía, aumenta emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), presenta problemas de salud pública y contamina el medio ambiente [17].

En cualquier caso, es importante que todos los eventuales impactos sean identificados y evaluados para tener una perspectiva general de los pros y contras. Algunos métodos utilizados para identificar impactos ambientales son matrices de causa - Efecto, listas de revisión, redes de interconexión, entre otros [1]. Asimismo, existen múltiples métodos para hacer evaluaciones de impacto ambiental, como matriz de Leopold, matriz de Conesa, método EPM, método de costo beneficio, matriz de Leopold modificada, métodos de impactos acumulativos, método Batellet, entre otros. Finalmente, se reitera que la importancia de este estudio radica en que hacer la disposición de RCD con base en la guía [6] podría mitigar los impactos ambientales generados por la mala disposición actual de RCD en Barranquilla y su área metropolitana y al mismo tiempo servir como estrategia para la recuperación ambiental de huecos mineros de canteras.

METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, el objetivo es hacer una evaluación de impacto ambiental de la eventual implementación de algunos huecos mineros situados en canteras del Atlántico para su uso como rellenos sanitarios de RCD. Para dicha evaluación se asumió que la operación y las obras de adecuación de los huecos mineros se llevarían a cabo de acuerdo con los lineamientos establecidos por la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)”.

Para la consecución del objetivo se siguieron los siguientes pasos:

Identificación de medios, sistemas y dimensiones sobre los que se pueden producir efectos e impactos

A partir de la información consultada en la literatura y en la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)” se establecieron en su orden y jerarquía los medios, sistemas, componentes y dimensiones sobre los que se pueden producir impactos ambientales.

Elaboración de Scoping a través de diagrama de redes

Este es uno de los métodos recomendados por la literatura para identificar impactos [1]. Para este método se estableció el proyecto como punto inicial; de allí se desprendieron redes hacia los posibles componentes del entorno que podían ser afectados, luego redes hacia los posibles efectos y redes también hacia los posibles impactos. Con esto se obtuvo una aproximación general sobre los impactos que se pueden ocasionar. Lo anterior complementado con la información de efectos e impactos encontrados en la literatura.

Elaboración de matriz de Leopold modificada

Se utilizó la matriz de Leopold modificada para evaluar las interacciones entre las Acciones susceptibles de producir impacto ambiental (ASPI) y los Factores ambientales receptores de impacto (FARI). Para esto se siguió la metodología planteada en el inciso 4.2.2.2. del manual formulado por Jorge Arboleda [18], en el que primero se construyó una matriz de doble entrada colocando las ASPI en las filas y las FARI en las columnas. Segundo, se procedió a identificar las interacciones entre las ASPI y las FARI; para ello se recorrió la matriz verificando las interacciones presentes en cada celda, si aplicaban, identificando en cuáles interacciones se producían impactos. Finalmente, se hizo la evaluación individual de las interacciones considerando:

- **Clase:** Indica el tipo o sentido de las consecuencias del impacto (positivas o benéficas (+) o negativas o perjudiciales (-).
- **Magnitud (M):** Correspondiente al grado o nivel de alteración que sufre el factor ambiental a causa de una acción del proyecto (se califica con 1 la alteración mínima y con 10 la alteración máxima, pudiendo asignarse calificaciones intermedias).
- **Importancia (I):** Evalúa el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del ambiente que puede ser afectado por el proyecto (se califica con 1 cuando es insignificante y con 10 cuando se presenta la máxima significación).

También se considera como el valor ponderal que da el peso relativo del impacto y hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio y a la extensión o zona territorial afectada.

Al final se hizo la sumatoria de los puntajes, pudiendo identificar los cambios netos, a partir de la suma algebraica de magnitudes e importancias, para ASPI, grupo de ASPI y para FARI, grupo de FARI y el cambio neto del proyecto en su conjunto, refiriéndose a cambio neto como un indicador de los beneficios o afectaciones de la eventual implementación del proyecto.

Evaluación de impactos ambientales por el método EPM

Con base en la información obtenida de la literatura y de la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición” [6] para incluir los componentes y actividades del proyecto en sus diferentes etapas, se utilizó la información del inciso 4.2.3.1. del manual formulado por Jorge Arboleda [18] para evaluar impactos puntuales identificados a partir de las interacciones planteadas en el inciso C de esta metodología. La información utilizada para la asignación de puntajes mostrada en la tabla 4 se presenta sintetizada en la tabla 1.

TABLA 1. PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN DEL MÉTODO EPM

Presencia	Duración	Evolución	Magnitud	Puntaje
Cierta	Muy larga o permanente (>10 años)	Muy rápida (<1 mes)	Muy alta (Mr > a 80%)	1.0
Muy probable	Larga (>7 años y < 10 años)	Rápida (>1 mes y <12 meses)	Alta (>60% y <80%)	0.7 <0.99
Probable	Media (>4 años y < 7 años)	Media (>12 meses y <18 meses)	Media (>40% y < 60%)	0.4 <0.69
Poco probable	Corta (>1 años y < 4 años)	Media (>18 meses y <24 meses)	Baja (>20% y < 40%)	0.2 <0.39
No probable	Muy corta (<1 año)	Muy lenta (>24 meses)	Muy baja (<19%)	0.01 <0.19

Fuente: J. Arboleda, Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia, 2008 [18].

Posteriormente se asignó la calificación ambiental como

$$C\alpha = C(P((E * M) + D))$$

Donde *C α* : Calificación ambiental, *C*: Clase, *P*: Presencia, *E*: Evolución, *M*: Magnitud, *D*: Duración.

Finalmente, se asignó la importancia del impacto ambiental de acuerdo con la información de la tabla. 2. Y se estableció si el impacto era directo o indirecto.

TABLA 2. PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN DEL MÉTODO EPM

Calificación ambiental	Importancia del impacto ambiental
≤ 2.5	Poco significativo o irrelevante
>2.5 y ≤ 5.0	Moderadamente significativo o moderado
>5.0 y ≤ 7.5	Significativo o relevante
>7.5	Muy significativo o grave

Fuente: J. Arboleda, Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia, 2008 [18].

Al final, esta parte de la metodología sirvió para verificar los impactos ambientales positivos y negativos de la eventual implementación del proyecto; además, se calculó el cambio neto como la suma de la calificación de los impactos ambientales; este, como se mencionó anteriormente, debe entenderse como un indicador de la conveniencia de la posible realización del proyecto.

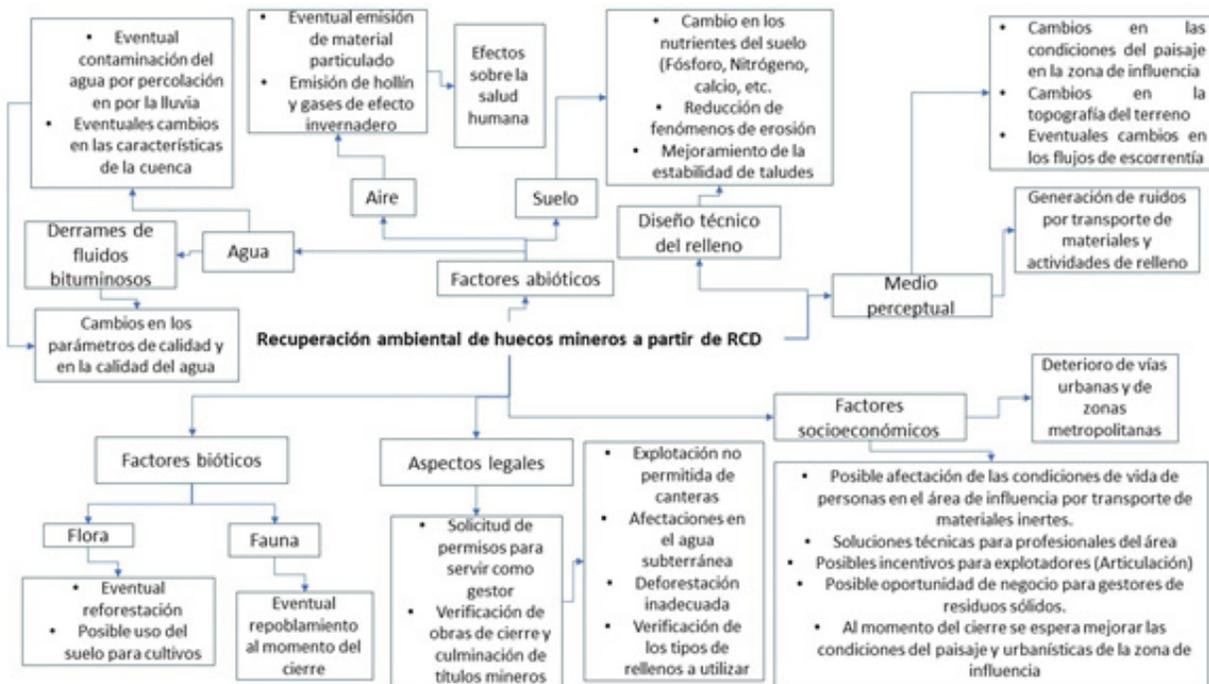
RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir de la jerarquía, de mayor a menor, de medios, sistemas, componentes y dimensiones se identificaron FARI sobre las cuales puede influir el proyecto, entre ellas calidad del agua, precipitación, cantidad de especies de fauna y flora, calidad del aire, entre otros, todos ellos importantes.

TABLA 3. IDENTIFICACIÓN DE MEDIOS, SISTEMAS, COMPONENTES Y DIMENSIONES SOBRE LAS QUE PUEDE INCIDIR EL PROYECTO.

Medio	Sistema	Componente	Dimensión
Natural	Abiótico	Clima	Precipitación
			Viento
			Temperatura
			Riesgos de inundaciones
			Humedad relativa
		Tiempo	
		Agua	Calidad del agua
			Agua subterránea
			Hidrografía
		Aire	Calidad del aire
	Emisiones		
	Suelo	Calidad del suelo	
		Propiedades mecánicas	
		Tipología	
	Biótico	Flora	Especies
Tipología			
Cantidad			
Fauna		Especies	
		Tipología	
		Cantidad	
Social	Socio económico	Demografía	Población
			Trabajadores
		Salud	
	Economía	Ingresos	
		Ahorros para entidad ambiental	

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 1. SCOPING PARA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Con ayuda del Scoping, como se puede ver en la figura 1, se pudieron identificar importantes efectos, como el deterioro de vías urbanas, cambios en la calidad del agua, cambios en la cantidad de nutrientes del suelo, cambios en el uso del suelo e impactos como la contaminación del agua, contaminación del aire, deterioro del paisaje, perjuicios al ecosistema de fauna y flora, entre otros.

De la matriz de Leopold (tabla 4) se encontraron diferentes interacciones en las que se podía producir impacto ambiental y, además, que las principales interacciones negativas afectan mayormente la calidad del aire, a los conductores de vehículos de tracción animal, teniendo en cuenta la disminución de sus ingresos, las características del paisaje, el uso del suelo, en la infraestructura vial y en el flujo vehicular. En el caso de los conductores de vehículos de tracción animal, en caso de que llegara a implementarse el proyecto, deberían buscarse alternativas con ayuda de entidades ambientales como Barranquilla Verde, la Corporación Autónoma Regional y entidades como la Alcaldía de Barranquilla para que se puedan integrar como parte del proyecto o de alguna forma puedan ser compensados.

A pesar de algunas interacciones negativas, la mayoría son positivas y están enfocadas en reducir las áreas erosionables en los huecos mineros, en mejorar la dispo-

sición de RCD en el distrito, llegando incluso a tener un mejor control de la información referente a la generación y disposición de RCD, y traería también algunas interacciones positivas con la comunidad, ya que se espera que se generen empleos y se mejore la calidad del paisaje en el interior de las ciudades. Lo anterior considerando que al disponer RCD en los huecos mineros se reduzcan las escombreras y sitios de disposición ilegales. Al final, el cambio neto asociado al proyecto es positivo y de una magnitud e importancia suficiente para considerar que puede ser viable ambientalmente y que probablemente contribuiría a mitigar los impactos actuales por la mala disposición de RCD en Barranquilla y su área metropolitana. Es importante resaltar que de la buena operación que se pueda llegar a tener del relleno sanitario depende que no se presenten impactos significativos en la calidad de agua subterránea y en cuerpos de agua superficial.

TABLA 4. MATRIZ DE LEOPOLD MODIFICADA PARA EVALUACIÓN DE INTERACCIONES ENTRE ASPI Y FARI

COMPONENTES DEL MEDIO AMBIENTE	Abiótico								Biótico		Socioeconómico		
	Clima	Agua	Aire	Suelo				Flora	Fauna	Demografía	Economía		
Riesgos de inundaciones								Flora y disponibilidad forestal					
Calidad del agua superficial								Fauna local					
Calidad del agua subterránea								Seguridad laboral y salud ocupacional					
Calidad del aire								Salud pública					
Ocupación de suelo								Economía local					
Derrames								Paisaje y urbanismo					
Propiedades de acidez								Costos para inversionistas					
Estabilidad de suelo								Costos para entidades ambientales					
Propiedades físico-mecánicas								Cumplimiento de políticas públicas					
Capacidad de retención de agua								Ingresos de conductores de vehículos de tracción animal					
VIDADAS O ACCIONES DEL PROYECTO	M (magnitud) - IA (importancia ambiental)												

Evaluación de impactos ambientales asociados a la eventual recuperación ambiental de canteras con residuos inertes de construcción y demolición en Barranquilla y su área metropolitana

Luis Alfonso Mendoza Zapata
Carlos Albeiro Pacheco Bustos
Wilson David Certain Abraham

Proyecto en su integralidad	4	-1	5	6	6	7	8	2	8	8	7	6	6	6	5	4	-1	8	-1	9	-1	5	8	8	3	-1	1	9	8	9	5	3				
Estudios previos	Visitas de campo																						5	5		-1	1				4	6				
	Ensayos de campo																						5	5		-1	1				4	6				
	Estudios y diseños																						5	5			1				3	6				
Preliminar	Cerramiento, localización y replanteo						7								6	6							5	6		3	-1	1								
	Instalación de campamento						1								6	6								2	2											
Construcción y adecuación	Señalización						-1	1															2	5		2	-1	1				9				
	Movimiento de tierras			-1	9				9	-1	5	-1	1	1	-1	6	-1	6	-1	9				8	8		5	-1	1			3				
	Transporte de material granular				-1	8			9						5	-1	6	-1	6	-1	9							-1	1							
	impermeabilización del hueco minero			8	-1	9														-1	9							-1	1			5				
	Canalizaciones y sistemas de drenaje			8												-1	6	-1	6										-1	1			5			
	Conformación de subbases, bases y rasantes para Vías internas					-1	9						-1	1														-1	1							
	Instalaciones de redes de servicios (agua potable y contra incendio, alcantarillado, eléctricas, gas, riego, otros servicios)		-1	8			-1	1							-1	1	-1	6	-1	6									-1	1						
	Desmantelamiento de instalaciones provisionales						5	5							1	1	2	5	2	5	1	1							-1	1						
	Instalación de alumbrado						-1	1								-1	6	-1	6										4	5			-1	1	0	
	Retiro de máquinas y equipos			2			3	2							1	1	2	5	2	5	1	1	4	5						-1	1					
Operación	Transporte de RCD				-1	9			9					1															8	5	8		8			
	Uso de máquinas y equipos					9			9		1				5	-1	6	-1	6												1					
	Riego con agua de material granular					2	9																						9	4	8		1	1		
	Manejo de residuos sólidos															-1	6		7	-1	5	5	7						-1	1	8	5		8		
	Manejo de lixiviados		-1	-1						-1	1		-1	1															8	5	7			-1	1	
	Cobertura final del relleno					5																									-1	1		4	11	
	Vigilancia y control del relleno			5	5	5			5	8					5															5				-1	1	
	Compactación de RCD						5																									-1	1		4	11
Mantenimiento de sistemas de bombeo y redes, sistema de riego			7	7																												-1	1			
Total		4	9					9	1	5	4	8																						0		
		4	37	139			7																						14			227		4	70	
					22						400						-16	147														18			297	
																																			24	844

Fuente: elaboración propia.



TABLA 5. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR MÉTODO EPM

Impacto ambiental	C	P	D	E	M	Ca	Tipo de impacto	
Afectaciones a la salud por Emisión de ruido	-	0.5	0.6	0.5	0.8	-2.30	Irrelevante	Directo
Disminución de áreas erosionadas	+	0.8	1	0.5	0.7	4.36	Moderado	Directo
Perjuicios a flora y fauna local	-	0.3	1	0.6	0.6	-1.66	Irrelevante	Indirecto
Deterioro de la calidad del aire por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	-	1	1	0.6	0.8	-6.36	Significativo	Indirecto
Perjuicios al paisaje y urbanismo	-	1	1	0.4	0.7	-4.96	Moderado	Indirecto
afecciones respiratorias por material particulado	-	0.2	1	0.5	0.8	-1.16	Irrelevante	Indirecto
Afectaciones a la salud pública	-	0.1	1	0	0.2	-0.30	Moderado	Indirecto
Afectaciones a la salud ocupacional	-	0.2	0.3	0.1	0.4	-0.24	Irrelevante	Directo
Deterioro de la calidad del agua subterránea	-	0.1	0.8	0.5	0.9	-0.56	Irrelevante	Directo
Deterioro de la calidad del agua superficial	-	0.1	0.7	0.8	0.8	-0.66	Irrelevante	Indirecto
Mejoramiento en la relación entidad ambiental – ciudadano	+	0.8	1	0.9	0.8	6.43	Significativo	Indirecto
Deterioro de la malla vial del distrito	-	0.9	0.8	1	0.5	-5.31	Significativo	Indirecto
Cumplimiento adecuado en obras de cierre de hueco minero	+	0.9	1	1	0.9	8.37	Muy significativo	Directo
Recuperación de flora	+	0.5	1	0.4	0.9	2.76	Moderado	Indirecto
Afectaciones a la fauna	-	0.5	1	1	0.8	-4.30	Moderado	Indirecto
Reducción de la informalidad en la disposición de RCD	+	0.9	0.8	0.6	0.6	4.43	Moderado	Directo

Continúa...

Impacto ambiental	C	P	D	E	M	Ca	Tipo de impacto	
Disminución de ingresos para conductores de vehículos de tracción animal	-	0.8	1	0.6	0.7	-4.75	Moderado	Indirecto
Recuperación de nutrientes del suelo (K, Ca, etcétera)	+	0.8	1	0.5	0.8	4.64	Moderado	Directo
Mejoramiento en la disposición de RCD	+	0.8	1	0.5	0.7	4.36	Moderado	Directo
Estrés en la comunidad por exceso de ruido	-	0.4	0.8	0.7	0.6	-2.14	Irrelevante	Indirecto
Incremento del flujo vehicular de carga pesada en el distrito	-	1	1	0.6	0.4	-4.68	Moderado	Indirecto
Eventuales conflictos con la comunidad aledaña	-	0.3	1	0.4	0.4	-1.24	Irrelevante	Indirecto
Incremento del riesgo de accidentalidad por aumento de flujo vehicular de carga pesada	-	0.6	1	0.4	0.6	-2.81	Moderado	Indirecto
Mejoramiento en la capacidad de retención de agua en el suelo	+	0.9	1	0.5	1	5.85	Significativo	Directo
Incremento de la demanda de agua en la zona	-	0.9	1	1	0.2	-3.96	Moderado	Directo
Control más adecuado de datos referentes a RCD	+	0.8	1	0.8	0.2	3.30	Moderado	Directo
Generación de empleos	+	1	1	1	0.7	7.90	Muy significativo	Directo
Estabilización de taludes del hueco minero	+	0.8	1	0.4	0.7	3.97	Moderado	Directo
Acidificación del subsuelo por sulfatos	-	0.1	0.5	0.5	0.8	-0.43	Irrelevante	Directo
Contaminación del suelo por materiales bituminosos	-	0.1	0.7	0.2	0.7	-0.31	Irrelevante	Directo
Total (cambio neto)						8.26		

Fuente: elaboración propia.

Al evaluar los impactos ambientales por el método EPM se encontró que el cambio neto es positivo, de modo que a partir de esta metodología el proyecto sería viable. Es importante recalcar que esta evaluación depende de la buena operación del relleno, es decir, aplicar correctamente la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)”, de modo que se haga una evaluación correcta de la idoneidad de los huecos mineros, una buena caracterización de los RCD que se utilizarían como material llenante y un buen diseño y adecuación a partir de las recomendaciones técnicas planteadas en la guía para ponerlo en operación. Asimismo, es importante la interacción con los generadores de RCD, las entidades ambientales e intermediarios entre la generación y la disposición para que el proyecto pueda impactar de forma realmente positiva. De lo contrario, los rellenos sanitarios que reemplazarían los huecos mineros podrían conducir a agravar la problemática ambiental asociada a la mala disposición de RCD en Barranquilla. Adicionalmente, se recomienda el desarrollo de estrategias y acciones que permitan extender el ciclo de vida de los RCD antes de llevarlos a disposición final.

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la evaluación de impactos ambientales con base en las metodologías de Matriz de Leopold modificada y el método EPM y se encontró un balance positivo en el cambio neto sobre la implementación de los huecos mineros como rellenos sanitarios de RCD. Los impactos positivos más significativos que se encontraron se centran en el mejoramiento de condiciones del suelo explotado, reducción de la erosionabilidad *in situ*, al mejoramiento en la toma, recopilación y organización de datos referentes a la disposición de RCD y la contribución a la formalización de la disposición de RCD en el distrito. Asimismo, se encontraron algunos impactos negativos como afectaciones a la calidad del aire por emisiones de material particulado, posible contaminación de cuerpos de agua superficial y subterráneos dependiendo de la apropiada operación del relleno, deterioro en la infraestructura vial por incremento del flujo de vehículos de carga pesada, algunas afectaciones a la población vecina y afectaciones a los ingresos de conductores de vehículos de tracción animal. Estos impactos ambientales negativos pueden ser compensados con el trabajo en equipo entre operadores del relleno sanitario y entidades ambientales y municipales adscritas a la zona de influencia. Finalmente, se hace hincapié en el apego riguroso que se debe tener a la “Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)” para garantizar que la posible solución no llegue a ser un problema mayor en términos ambientales. Este artículo, en conjunto con la Guía para la rehabilitación de huecos mineros con RCD deben servir de base para que los entes ambientales puedan tomar medidas preventivas, correctivas, de orden legal y técnico en torno a la disposición de RCD y a la explotación de recursos naturales en las canteras de la zona.

REFERENCIAS

- [1] E. Garrido, F. Calvo, A. F. Ramos y M. Zamorano Toro, “Methodology of environmental diagnosis for construction and demolition waste landfills: A tool for planning and making decisions,” *Environ. Technol.*, vol. 26, n.º 11, 2005. Doi: 10.1080/09593332608618601.
- [2] M. S. Aslam, B. Huang y L. Cui, “Review of construction and demolition waste management in China and USA”, *Journal of Environmental Management*, vol. 264, 2020. Doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110445.
- [3] C. P. Ginga, J. M. C. Ongpeng y M. K. M. Daly, “Circular economy on construction and demolition waste: A literature review on material recovery and production”, *Materials*, vol. 13, n.º 13, 2020. Doi: 10.3390/ma13132970.
- [4] C. Bustos, L. Pumarejo, E. Cotte y H. Quintana, “Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión”, *Ing. Desarro*, vol. 35, n.º 2, 2017.
- [5] E. Mejía, L. Osorno y N. Osorio, “Residuos de la construcción: una opción para la recuperación de suelos”, *Rev. EIA*, vol. 12, n.º 1, 2015. Doi: 10.24050/reia.v11i1.706.
- [6] M. Alberruche *et al.*, *Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición (RCD)*. España: <http://publicacionesoficiales.boe.es/>, 2018, pp. 1–313.
- [7] K. Chen, J. Wang, B. Yu, H. Wu y J. Zhang, “Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 287, 2021. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125071.
- [8] E. Sánchez Cotte, C. A. Pacheco Bustos y C. Páez, “Una visión de Ciudad sostenible desde el modelo de gestión de los residuos de construcción y demolición (Rcd) caso De estudio: Barranquilla”, *Tecnura*, vol. 24, n.º 63, 2020. Doi: 10.14483/22487638.15359.
- [9] S. Gupta, K. N. Jha y G. Vyas, “Proposing building information modeling-based theoretical framework for construction and demolition waste management: strategies and tools”, *Int. J. Constr. Manag.*, 2020. Doi: 10.1080/15623599.2020.1786908.
- [10] I. M. Simion, M. E. Fortuna, A. Bonoli y M. Gavrilescu, “Comparing environmental impacts of natural inert and recycled construction and demolition waste processing using LCA”, *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.*, vol. 21, n.º 4, 2013. Doi: 10.3846/16486897.2013.852558.
- [11] H. Wu, J. Zuo, G. Zillante, J. Wang y H. Yuan, “Construction and demolition waste research: a bibliometric analysis”, *Architectural Science Review*, vol. 62, n.º 4, 2019. Doi: 10.1080/00038628.2018.1564646.
- [12] D. Rodríguez-Robles, J. García-González, A. Juan-Valdés, J. M. Morán-Del Pozo y M. I. Guerra-Romero, “Overview regarding construction and demolition waste in Spain”, *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 36, n.º 23, 2015. Doi: 10.1080/09593330.2014.957247.

- [13] C. L. Peng, D. E. Scorpio y C. J. Kibert, “Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations”, *Constr. Manag. Econ.*, vol. 15, n.º 1, 1997. Doi: 10.1080/014461997373105.
- [14] Secretaría de planeación, *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS 2016 -2027*. Barranquilla, Colombia, 2016, pp. 1-178.
- [15] “Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 - 2020”, Puerto Colombia, Atlántico, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.puertocolombia-atlantico.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan de Gestión Integral de Residuos Solidos \(PGIRS\) 2016-2020.pdf](https://www.puertocolombia-atlantico.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Gesti3n%20Integral%20de%20Residuos%20Solidos%20(PGIRS)%202016-2020.pdf).
- [16] S. S. Suárez-Silgado, C. Betancourt Quiroga, J. Molina Benavides y L. Mahecha Vanegas, “La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión”, *Entramado*, vol. 15, no. 1, 2019, Doi: 10.18041/1900-3803/entramado.1.5408.
- [17] C. M. Mah, T. Fujiwara y C. S. Ho, “Environmental impacts of construction and demolition waste management alternatives”, *Chem. Eng. Trans.*, vol. 63, 2018. Doi: 10.3303/CET1863058.
- [18] J. Arboleda, *Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín, Colombia, 2008.

Evaluación de impactos ambientales asociados a
la eventual recuperación ambiental de canteras
con residuos inertes de construcción y demolición
en Barranquilla y su área metropolitana

Luis Alfonso Mendoza Zapata
Carlos Albeiro Pacheco Bustos
Wilson David Certain Abraham

