



Revista Luna Azul
ISSN:
ISSN: 1909-2474
revista.lunazul@ucaldas.edu.co
Universidad de Caldas
Colombia

Selección de instrumentos económicos para incentivar el reciclaje de residuos de la construcción y demolición

 **Domínguez Balmaceda, Carlos Mario**

 **Díez Echavarría, Luisa**

 **Saldarriaga Isaza, Adrián**

Selección de instrumentos económicos para incentivar el reciclaje de residuos de la construcción y demolición

Revista Luna Azul, núm. 53, pp. 1-19, 2021

Universidad de Caldas

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321770044001>

DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.53.1>

Investigación Original

Selección de instrumentos económicos para incentivar el reciclaje de residuos de la construcción y demolición

Selection of economic instruments to encouraging the recycling of construction and demolition waste

Carlos Mario Domínguez Balmaceda¹
Universidad Nacional de Colombia, Colombia
cmdominguezb@unal.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-5509-3764>

Luisa Díez Echavarría²
Universidad Nacional de Colombia, Colombia
luisadiez@itm.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-6022-6595>

Adrián Saldarriaga Isaza³
Universidad Nacional de Colombia, Colombia
casaldarriagai@unal.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-3064-5251>

Revista Luna Azul, núm. 53, pp. 1-19, 2021

Universidad de Caldas

Recepción: 20 Abril 2020
Aprobación: 28 Marzo 2021

DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.53.1>

Resumen: La selección de un instrumento de política ambiental usualmente requiere la consideración de un número significativo de criterios, a veces conflictivos entre sí. El objetivo de este artículo es priorizar los diferentes criterios fundamentales e instrumentos económicos que mejor estimulen el reciclaje de residuos generados en los procesos de construcción y demolición en el Valle de Aburrá, Colombia. Se usó el enfoque Proceso de Análisis Jerárquico para análisis multicriterio, incluyendo las opiniones de expertos de los sectores de la construcción y académico. Se encontró que el *desempeño ambiental y sanitario* es el criterio que cobra mayor relevancia, y la *tasa por no demolición selectiva y no separación* sería el instrumento económico más adecuado para incentivar el reciclaje de este tipo de residuos.

Palabras clave: instrumentos de política, reciclaje, gestión integral de residuos, análisis de decisión multicriterio.

Abstract: The selection of an environmental policy instrument usually requires the consideration of a significant number of criteria, sometimes conflicting with each other. The objective of this article is to prioritize the different fundamental criteria and economic instruments that best encourage the recycling of waste generated in the construction and demolition processes in Valle de Aburrá, Colombia. The Hierarchical Analysis Process approach was used for multicriteria analysis, including the opinions of experts from the construction and the academic sectors. It was found that the *environmental and sanitary performance* is the most relevant criterion, and the *rate for non-selective demolition and non-separation* would be the most appropriate economic instrument to encourage the recycling of this type of waste.

Keywords: policy instruments, recycling, integral waste management, multicriteria decision analysis.

Introducción

La industria de la construcción y toda su cadena productiva es considerada como una de las más importantes para el desarrollo económico y social de los países (Calvo *et al.*, 2014). Sin embargo, esta actividad es considerada una de las mayores productoras de desechos sólidos a nivel mundial (Marzouk & Azab, 2014; Wu & Yu, 2014) debido, en gran parte, a la creciente demanda de vivienda y otras obras, como resultado del aumento poblacional y tecnológico (Iacovidou & Purnell, 2016). Estos residuos generan impactos tales como (i) enorme desperdicio de valiosos recursos naturales; (ii) demanda de espacio para vertedero masivo, que además disminuye los escasos recursos de la tierra; y (iii) proliferación de sustancias nocivas que ponen en peligro el bienestar humano y el entorno natural (Umar *et al.*, 2017).

El reciclaje de residuos de la construcción y demolición (RCD) se considera una opción valiosa, no solo para minimizar los flujos de estos residuos a los vertederos, sino también para mitigar el agotamiento de los recursos minerales primarios (Knoeri *et al.*, 2014). A nivel mundial existen diversas estrategias para reducir y aprovechar este tipo de residuos. En países como Holanda, Dinamarca y Bélgica, las tasas de reciclaje ascienden a más de 90 % y en otros como Finlandia, España, Austria, Suecia, Alemania, Francia e Italia son superiores a 45 % (Barroso Domínguez, 2013).

En Colombia, en febrero de 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución 0472 que reglamenta la gestión integral de RCD. Entre otros elementos, esta norma exige a los grandes generadores de residuos aprovechables de construcción y demolición, que un porcentaje no inferior al 2 % del peso total de los materiales usados en una obra provenga de RCD reciclados, meta que se espera se vaya incrementando gradualmente, bajo diferentes plazos de cumplimiento dependiendo del tipo de municipio. Según esta norma, los grandes generadores de RCD son: (i) agentes que requieren la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público, y los proyectos que requieren licencia ambiental; y (ii) obras que tengan un área construida igual o superior a 2000 m².

Si bien esta normativa es un buen avance, sus resultados son un porcentaje pequeño en comparación con el potencial de reciclaje, y no parece ser una solución definitiva a largo plazo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017). Situación similar se vive en otros gobiernos a nivel internacional, quienes han avanzado en la implementación de regulaciones de comando y control, pero dado que estos esfuerzos no han sido suficientes para resolver esta problemática, han implementado incentivos económicos complementarios orientados a buscar el cambio de comportamiento de los agentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017).

Las decisiones ambientales son complejas y se basan en conocimiento multidisciplinario, por lo que el proceso de toma de decisiones hacia una gestión eficiente de los residuos requiere la consideración de un número significativo de criterios, usualmente conflictivos entre sí, para encontrar la solución óptima entre los escenarios alternativos (Achillas *et al.*, 2013). Incluso, dentro de la selección misma de instrumentos de política ambiental, pueden darse disyuntivas entre los diferentes tipos de instrumentos disponibles en cuanto a aspectos tales como su eficiencia, costo-efectividad, incertidumbres, así como la distribución de los beneficios y costos, haciendo de esta elección una tarea inherentemente compleja (Goulder & Parry, 2008). Teniendo en cuenta esta complejidad, el objetivo de este artículo es priorizar diferentes criterios fundamentales e instrumentos económicos que estimulen el reciclaje de RCD en la industria de la construcción del Valle de Aburrá, ubicado en el departamento de Antioquia, Colombia.

Trabajos previos sobre selección de instrumentos de política ambiental (Majone, 1976; Russell & Vaughan, 2003), ubican al marco institucional como un factor determinante del desempeño, y por tanto de la selección, de un instrumento de política ambiental. Por ejemplo, parte de este contexto o capacidad institucional pasa por los costos de fiscalización y las asimetrías de información entre regulador y regulado (Chávez *et al.*, 2009). En tal sentido, para este trabajo se asume un marco institucional que, para el caso colombiano, está dado por un sistema de gestión ambiental con ciertas características y capacidad de funcionamiento, que ha evolucionado desde su creación con la Ley 99 de 1993. Dado este contexto institucional, lo que se pretende es proponer una herramienta de selección de un instrumento económico para el control de la contaminación por RCD, y que sirva de complemento al instrumento de comando y control vigente.

Este artículo se organiza como sigue: en la siguiente sección se presenta un panorama general de la gestión de RCD en el Valle de Aburrá y la normatividad actual que lo regula. Luego, se presenta la metodología multicriterio propuesta, seguido de los resultados de priorización, y se finaliza con la discusión y las conclusiones del trabajo.

Gestión de RCD en el Valle de Aburrá

En el Valle de Aburrá se producen aproximadamente 4.5 millones de toneladas de RCD anualmente (Municipio de Medellín, 2015), el 90% de los cuales corresponde a las grandes constructoras de edificios y obras civiles (Ospina, 2017). En este sentido, es necesario intensificar esfuerzos para mejorar el aprovechamiento de estos residuos, teniendo en cuenta que para que los productos reciclados de RCD se comercialicen como sustitutos de las materias primas naturales, es necesario que cumplan con las especificaciones técnicas dadas y que sean económicamente competitivos (Kartam *et al.*, 2004).

Específicamente, se necesita que existan los siguientes elementos: (i) sitios de depósito adecuados; (ii) mecanismos organizados de recolección y transporte para estos materiales; (iii) una clasificación cuidadosa de RCD en el sitio de producción/construcción o en un sitio de tratamiento especial; (iv) disponibilidad de mercados para los productos producidos por el proceso de reciclaje; (v) productos reciclados competitivos en costo y calidad, con respecto a los recursos naturales sin explotar, y; (vi) aceptación social de los productos reciclados (Kartam *et al.*, 2004; Lu & Yuan, 2011).

En el Valle de Aburrá se encuentra que estos seis factores son una realidad, aunque algunos con dificultades o poco desarrollados. Con respecto al elemento (i), existen sitios autorizados y dispuestos por los municipios para el depósito temporal, final y aprovechamiento de los RCD, denominados Puntos Limpios (antes Centro de Acopio Temporal de Escombros [CATE]). Sin embargo, hay municipios que no cuentan con estos puntos, y dada la alta producción de residuos, estos centros de acopio llegan a su capacidad máxima de almacenamiento en poco tiempo (Álvarez, 2018; Kontrolgrün, 2018; Municipio de Medellín, 2015).

Con respecto a (ii), el servicio de recolección y transporte de los RCD a pequeños generadores es prestado a través de motocarros hasta los Puntos Limpios, y desde allí se trasladan en volquetas hasta el sitio de disposición final. Los otros agentes encargados de la recolección de RCD y transporte hasta los sitios de disposición final autorizados, son el gremio de los volqueteros que presta este servicio a los grandes generadores de residuos —empresas constructoras— (Municipio de Medellín, 2015).

Sobre el elemento (iii), en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) se encuentran cinco gestores registrados y autorizados para la gestión integral de RCD en el Valle de Aburrá, que prestan el servicio de separación, clasificación, tratamiento, reciclaje de residuos y posterior venta de materiales para la construcción (CORANTIOQUIA, 2018; CORNARE, 2018). Actualmente, rige una serie de normas para la gestión y manejo responsable de los RCD generados en Medellín (Acuerdo 062 de 2009 y Decreto 1609 de 2013), los cuales buscan, entre otros, orientar la gestión de escombros promoviendo herramientas del manejo integral y aprovechamiento de estos residuos.

De acuerdo con esta normatividad, para lograr un proceso adecuado los generadores deben clasificar el material en los siguientes grupos o tipos: (a) pavimentos rígidos, estructuras de concreto y demás materiales compuestos de cemento, arena y piedra, susceptibles de tratamiento para generación de nuevos agregados o áridos que sirvan para la producción de nuevos materiales; (b) pavimentos flexibles (asfalto); (c) material de excavación común en tierra, conglomerado y roca; (d) residuos de maderas, elementos metálicos, ladrillo (adobe) y materiales cerámicos, porcelanas y materiales que no sean susceptibles de aprovechamiento o reutilización; (e) materiales que sean susceptibles de ser recuperados o reutilizados en nuevos procesos productivos como el plástico, papel, cartón, vidrio, metal y

madera; y (f) escombros considerados material orgánico como la tierra, residuos de poda, residuos de descope de árboles o subproductos de actividades de silvicultura.

En cuanto a la situación del mercado —elementos (iv) y (v)—, para que mejore la oferta en términos de cantidad y calidad, se debe incentivar e incrementar la garantía de un buen proceso de separación (Kontrolgrün, 2018); aunque la demanda actual de materiales reciclados de RCD es baja respecto a la materia prima de canteras y minas, con la puesta en marcha de la Resolución 0472 de 2017 se espera que esta demanda aumente, ya que obliga a las empresas a construir sus proyectos con un porcentaje de materiales proveniente del reciclaje de RCD.

Finalmente, la aceptación social de los productos reciclados —elemento (vi)— va a depender altamente de la calidad de estos. Esta calidad será más alta si se sigue la norma técnica colombiana y las certificaciones de construcción sostenible (CONESCOMBROS, 2018), además de un proceso adecuado de separación (Kontrolgrün, 2018).

Método

Se realizó un análisis de decisión multicriterio, el cual ha cobrado alto interés en los últimos años en la toma de decisiones ambientales debido a que permite mejorar significativamente el proceso de decisión y aceptación pública de la política analizada (Huang *et al.*, 2011). De los diferentes enfoques, se usó el proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) por su pertinencia al permitir incluir las opiniones y preferencias de las partes interesadas mediante comparaciones por pares de criterios, para clasificar las alternativas de un proyecto particular (Saaty, 1990, 2008). La pertinencia metodológica de este tipo de enfoques es ratificada por recientes trabajos como los de Nadazdi *et al.* (2022) y Zhang *et al.* (2021), en el contexto del análisis de la gestión de RCD.

Para implementar el análisis, se deben identificar los criterios fundamentales en los que se debe basar la decisión, seguido de la definición de las alternativas factibles para lograr el objetivo, la estructuración del modelo jerarquizado y finalmente, la incorporación de los juicios de prioridad por parte de los expertos y tomadores de decisiones.

Selección de criterios

En esta sección se identifican los parámetros críticos para una implementación adecuada de instrumentos de gestión ambiental. A continuación, se presentan cuatro grupos de criterios (independientes, integrales y medibles), que a su vez incluyen una serie de subcriterios. Estos criterios y los subcriterios fueron definidos según la literatura nacional e internacional relacionada con el reciclaje de residuos sólidos y la metodología propuesta.

Desempeño económico: se define como el nivel de pertinencia económica y financiera de un instrumento (Gomes *et al.*, 2008;

Kourmpanis *et al.*, 2008; Roussat *et al.*, 2009). Entre los subcriterios, se busca evaluar si permite el ejercicio de la libre competencia para mejorar la eficiencia de los mercados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017). Aunque se puede estimar el costo financiero de las medidas de gestión, la rentabilidad de una unidad monetaria gastada es de difícil estimación y normalmente es ignorada por las autoridades de gestión de residuos (Chung & Lo, 2003). Por esta razón, a pesar de ser muy importante, en este trabajo no se tuvo en cuenta el criterio costo-beneficio. Además de este, otro criterio económico importante es el efecto distributivo de la aplicación del instrumento. Este aspecto, sin embargo, no ha sido abordado en la literatura previa y, por lo tanto, tampoco se consideró.

Desempeño social: se define como la actitud de los actores, en este caso generadores y consumidores de RCD, hacia la implementación del instrumento económico (Kourmpanis *et al.*, 2008; Roussat *et al.*, 2009). Una de las condiciones previas para implementar estrategias de sostenibilidad es que la comunidad local sea receptiva, brinde apoyo sobre las opciones de manejo de desechos en uso, y adopte comportamientos que mejoren el desempeño (Chung & Lo, 2003). Entre los subcriterios, se busca evaluar si hay aceptación social, caracterizada por una inequidad e incertidumbre mínimas, y si hay *cambio en el comportamiento de los agentes*, es decir, su contribución a transformar los patrones de consumo y a incentivar comportamientos más responsables desde el punto de vista ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017).

Viabilidad administrativa: se define como el nivel de aplicabilidad técnica de implementar el instrumento en ambientes con características establecidas (Kourmpanis *et al.*, 2008; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017), y de manera constante a largo plazo (Chung & Lo, 2003). Entre los subcriterios, se busca evaluar la viabilidad con respecto al marco *técnico* —tecnología necesaria, infraestructura y recurso humano calificado para implementar exitosamente el instrumento—, *institucional* —coordinación y cooperación entre actores privados y públicos- y *legal* -marco legal y reglamentación— (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales, 2017).

Desempeño ambiental y sanitario: se define como la contribución ambiental general del instrumento hacia el objetivo (Chung & Lo, 2003; Kourmpanis *et al.*, 2008; Roussat *et al.*, 2009). Las preocupaciones ambientales asociadas al manejo de los desechos sólidos pueden ser abordadas por dos cuestiones: (i) el agotamiento de los recursos y; (ii) la preocupación por la salud, la seguridad y el medio ambiente a partir del tratamiento de los desechos (Chung & Lo, 2003). Entre los subcriterios, se intenta evaluar este desempeño en términos *directos* —cumplimiento directo de los objetivos— e *indirectos* —aporte indirecto a otros objetivos del manejo de RCD—.

Selección de alternativas

Las alternativas representan el conjunto de propuestas factibles que ayuden al logro del objetivo de priorizar los instrumentos económicos que estimulen el reciclaje de RCD en el Valle de Aburrá. En la tabla 1 se presenta una agrupación de instrumentos de política para la optimización de la gestión de los RCD. Estos instrumentos se han desarrollado e implementado en diferentes países, dando como resultado una disminución en la generación de RCD y un aumento en el reciclaje, reutilización y comercialización de esos materiales.

Instrumento	Descripción	Países
Fianza o depósito anticipado para la gestión de RCD (A1)	Pago realizado a favor de las autoridades locales, que se devuelve cuando se haya hecho la gestión adecuada de RCD.	España
Tasas por vertimiento de RCD (A2)	La tasa se constituye en el costo añadido al precio de admisión en vertedero en donde se excluye cualquier material reciclable y/o reutilizable.	Holanda. Alemania, Austria, Irlanda, Francia, Finlandia, Dinamarca, Bélgica
Tasa por extracción de materiales (A3)	La tasa de materiales naturales se cobra por la extracción y venta de grava al explotar una cantera. El objetivo de la tasa es informar e incentivar a los usuarios sobre los usos de otros materiales como los áridos reciclados. Se implementa cuando la empresa encargada	Suecia, República, Checa, Italia
Tasa por la no demolición selectiva y la no separación de RCD (A4)	de la demolición no la realiza selectivamente, ni sigue un protocolo, o cuando la empresa constructora no realiza la debida separación en la fuente de los materiales potencialmente aprovechables de los residuos de la etapa de demolición o construcción.	Países Bajos, Austria, Alemania, Bélgica

Tabla 1.

Revisión de instrumentos económicos de gestión de RCD

Fuente: los autores a partir de Barroso Domínguez (2013), European Comission (2016), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Estudios Ambientales (2017).

Árbol jerarquizado

A partir de los criterios, subcriterios y alternativas identificadas, se representa gráficamente el panorama completo a través de un árbol de jerarquías. Este modelo de tres niveles (ver figura 1), permite identificar la contribución de cada elemento en el logro del objetivo (Konidari & Mavrakakis, 2007; Saaty, 1990, 2008).

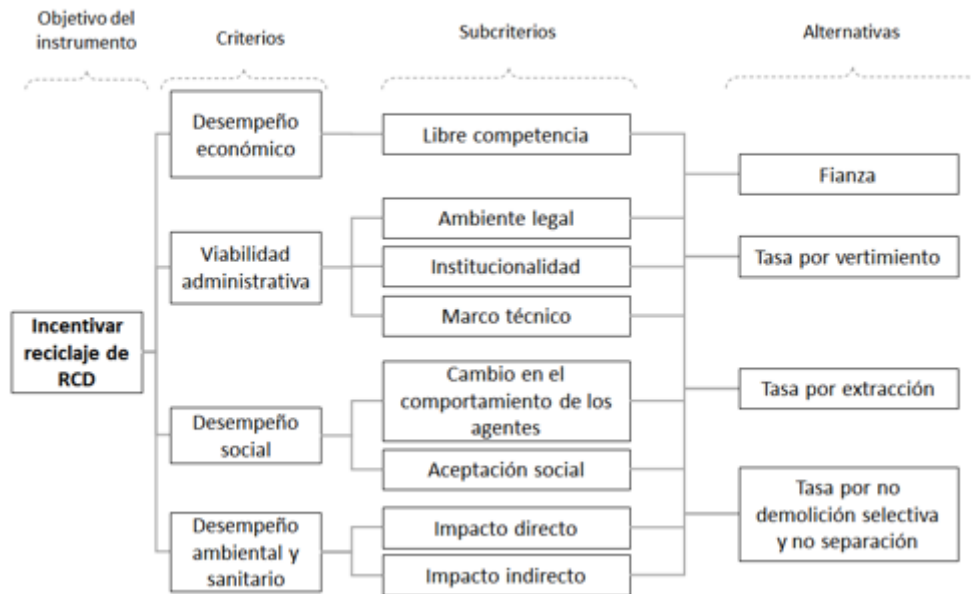


Figura 1

Modelo para seleccionar un instrumento económico que incentive el reciclaje de RCD

Fuente: los autores.

Prioridad de criterios y alternativas

Cada criterio y sus subcriterios tienen una importancia diferente en la gestión de RCD. El respectivo coeficiente de peso debe ser determinado por personas expertas en el tema y tomadores de decisiones. Para ello, se enviaron encuestas de manera virtual a académicos de distintas universidades y miembros de empresas del sector de la construcción, todos ubicados en el Valle de Aburrá, durante el mes de mayo de 2018. Para la encuesta, se solicitó que se indicara el nivel de importancia relativa que tiene cada criterio o subcriterio con respecto a cada uno de los otros, según la escala definida en la tabla 2.

Nivel de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen igualmente al objetivo.
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente un elemento sobre otro.
5	Fuerte importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un elemento sobre otro.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Un elemento se favorece muy fuertemente sobre otro; su dominio es demostrado en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece un elemento sobre otro es del orden de afirmación más alto posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	En casos necesarios.

Tabla 2.

Escala fundamental de números absolutos.

Fuente: Adaptación de Saaty (1990)

La información recolectada se llevó a matrices cuadradas comparadas por pares, las cuales fueron normalizadas dividiendo cada elemento de la matriz por la suma total de su columna respectiva y el promedio de cada fila. Este procedimiento permite obtener el vector de prioridad que está dado por el vector propio de la matriz. Con cada vector de prioridad se procede a calcular la razón de consistencia (RC) de los juicios de los actores para garantizar que se obtenga un modelo coherente. Se considera que una matriz con una $RC \leq 0.10$ tiene una consistencia razonable, es decir, que los juicios sean consistentes en más de un 90%, y así se pueden usar los datos suministrados para los respectivos análisis; de lo contrario, los datos se descartan. Como se muestra en la Figura 2, de las 24 respuestas obtenidas (21 de académicos y 3 de empresas del sector), se descartaron 11 por tener $RC > 0.21$, quedando un total de 13 opiniones, las cuales son suficientes para estimar el modelo.

Encuestas enviadas	Respuestas recibidas	Respuestas validadas
100 académicos	21 académicos	10 académicos
8 empresas del sector	3 empresas del sector	3 empresas del sector

Figura 2

Encuestas enviadas respondidas y validadas

Fuente: los autores.

La información consistente de cada actor (entrevistado) debe ser combinada para calcular los pesos generales en todo el modelo, y para esto se realiza una media geométrica entre cada uno de los conceptos obtenidos, según lo sugieren Krejčí & Stoklasa (2018). Como los valores obtenidos pueden no sumar 1, entonces se procede a realizar una normalización de los resultados según su aporte porcentual. De esta manera, en la tabla 3 se presenta el promedio de las valoraciones de los criterios aportados por los expertos.

	C1	C2	C3	C4
C1. Desempeño económico	1	1.25	1.40	0.79
C2. Viabilidad administrativa	0.8	1	1.12	0.63
C3. Desempeño social	0.72	0.9	1	0.56
C4. Desempeño ambiental y sanitario	1.27	1.59	1.78	1

Tabla 3.

Valoración por pares de criterios.

Fuente: los autores.

Resultados

En esta sección resumimos los resultados encontrados al aplicar la metodología AHP. En la Figura 3 se muestran las ponderaciones de importancia obtenidas de los criterios y subcriterios. En cuanto a los criterios, se observa que los actores consideran que para seleccionar e implementar un instrumento, es más importante considerar el *desempeño ambiental y sanitario*, seguido del desempeño económico, y luego la *viabilidad administrativa* y el *desempeño social*. Es de esperarse que el criterio *desempeño ambiental y sanitario* sea el más relevante dado que se intenta atacar un problema de esta índole, pero es importante notar que los valores no tienen grandes diferencias entre ellos, mostrando la relevancia de todos los criterios presentes en el modelo.



Figura 3

Modelo de importancia de criterios y subcriterios

Fuente: los autores.

Los pesos locales de los subcriterios dan cuenta de la medida en que cada uno de ellos aporta a cada criterio. Por ejemplo, como la *libre competencia* es el único subcriterio del *desempeño económico*, su aporte es del 100 %; mientras que a la *viabilidad administrativa*, el *ambiente legal* aporta un 34.5 %, la *institucionalidad* un 28.8% y el *marco técnico* un 36.7 %. Nótese que en esta instancia, la suma de los pesos de los subcriterios de cada grupo o criterio debe ser 100 %.

También interesa conocer los pesos globales de los subcriterios que indican la medida en que cada uno aporta al objetivo. Para esto, basta con ponderar los pesos locales con el peso del grupo o criterio. Los expertos consideran que es fundamental que el instrumento elegido permita una *libre competencia* en el mercado con un peso de 27.8 %, y que genere un impacto ambiental y sanitario directo con un peso de 24.6 %.

Evalutados los subcriterios respecto a los criterios, se procede ahora a evaluar cada una de las alternativas con respecto a los subcriterios. En la sección sombreada de la tabla 4 se presentan los pesos locales que tiene cada alternativa de instrumento económico con respecto a los subcriterios, y en la sección no sombreada se resumen todos los pesos del modelo jerarquizado descrito en la figura 3. Según los pesos locales de las alternativas, se observa que los valores más altos se dan a la alternativa A4 (*tasa por no demolición selectiva y no separación*), en cuatro de los ocho subcriterios.

		C1		C2		C3		C4	
		0.278		0.186		0.184		0.352	
		SC1	SC1	SC2	SC3	SC1	SC2	SC1	SC2
Peso local subcriterio		1.000	0.345	0.288	0.367	0.548	0.452	0.698	0.302
Peso global subcriterio		0.278	0.064	0.054	0.068	0.101	0.083	0.246	0.106
Peso local de alternativa	A1	0.162	0.176	0.210	0.120	0.224	0.282	0.251	0.297
	A2	0.257	0.233	0.262	0.262	0.183	0.239	0.183	0.215
	A3	0.280	0.286	0.244	0.320	0.242	0.234	0.306	0.251
	A4	0.302	0.306	0.284	0.297	0.351	0.245	0.260	0.237

Tabla 4.
Datos del modelo usando AHP*
Fuente: los autores

El peso global de las alternativas, descrito en la tabla 5, se calcula realizando una suma ponderada del peso local de cada una por el peso global de cada subcriterio. De esta manera, se priorizan las alternativas según las preferencias de los expertos, y se obtiene que la *tasa por no demolición selectiva y no separación* (A4) es el mejor instrumento económico para incentivar el reciclaje de RCD en el Valle de Aburrá.

	Peso global de alternativas	Priorización de alternativas
A1. Fianza	0.215	4
A2. Tasa por vertimiento	0.225	3
A3. Tasa por extracción	0.277	2
A4. Tasa por no demolición selectiva y no separación	0.284	1

Tabla 5.
Pesos definitivos las alternativas con respecto al modelo jerarquizado.
Fuente: los autores

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar qué tan estable se mantiene la priorización bajo cambios en los pesos asignados a los criterios. Dicho análisis (véase figura 4) se realiza variando el peso de un único criterio y manteniendo los otros tres constantes. Nótese que cualquier variación en los pesos en C1, C2 y

C3 siempre muestra la línea verde por encima de las demás, es decir, la *tasa por no demolición selectiva. no separación* (A4) es el mejor instrumento; la única manera de cambiar esa decisión es que el criterio desempeño ambiental y sanitario (C4) tome un peso igual o superior a 0.44. Además, se observa que las alternativas fianza (A1) y *tasa por vertimiento* (A2) son las más sensibles, dado que cambios de pesos en C1, C3 y C4 muestran que las líneas roja y azul se cortan intercambiando su posición en la priorización.

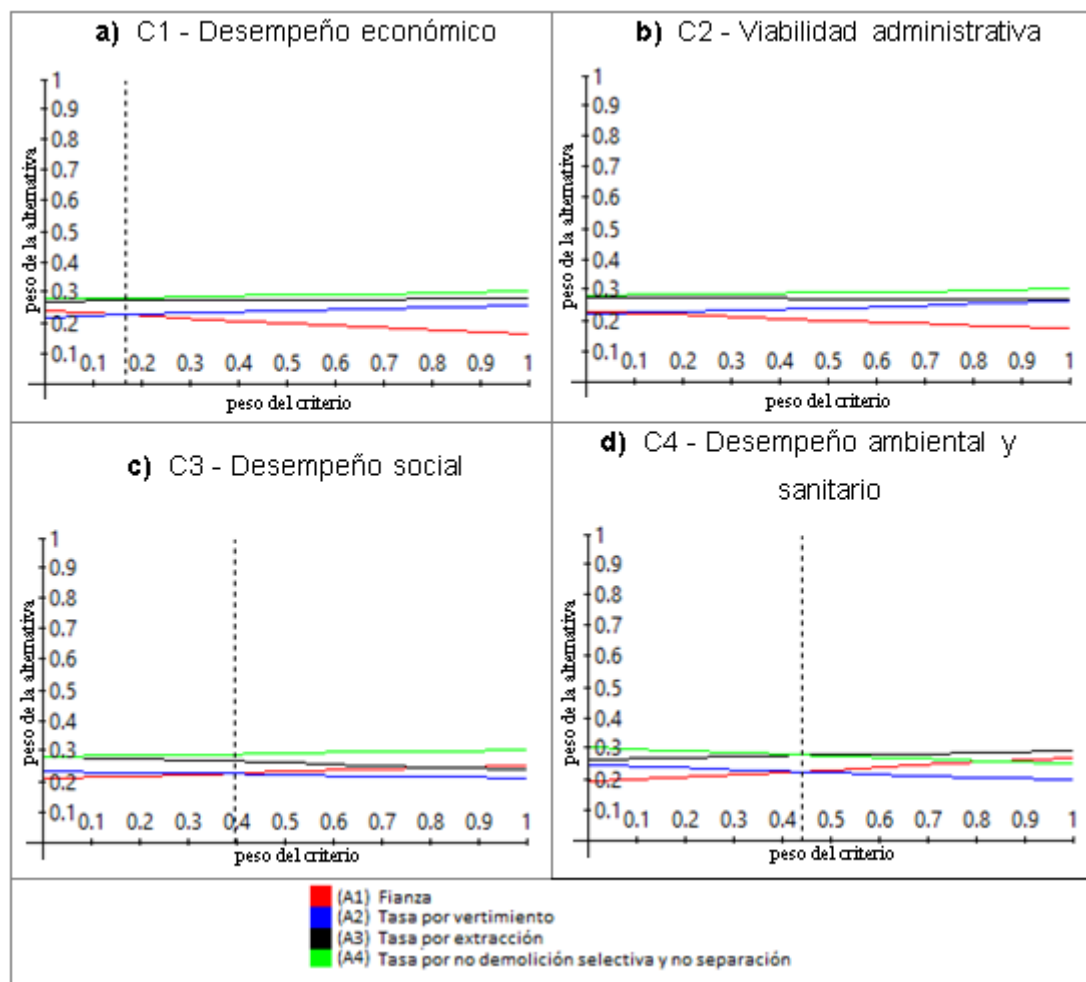


Figura 4
Cambios en la priorización dado el cambio en el peso de cada criterio
Fuente: los autores, usando el software Super Decisions.

Discusión

El instrumento A4 se fundamenta en la problemática de la no separación en la fuente de cada uno de los materiales potencialmente aprovechables que componen los RCD (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Además, sigue la noción de A. Pigou “el que contamina, paga”, donde las empresas constructoras deben pagar por el daño ambiental generado en su actividad al no realizar una separación y una demolición selectiva. Así, un diseño adecuado de este tipo de instrumento debería llevar a un nivel de separación en la

fuente de cada uno de los materiales potencialmente aprovechables que sea socialmente óptimo.

El interés del instrumento seleccionado es que se mejoren las prácticas de gestión de RCD. En este sentido, autores como Poon (1997) y Poon *et al.* (2004) argumentan que implementar una demolición selectiva en los proyectos de construcción es clave para el re-uso, el reciclaje, y finalmente, para disminuir los RCD. Ejemplo de una medida que se implementa actualmente en el ámbito internacional para fomentar la calidad en el proceso de demolición, es el sistema holandés BRL SVMS-007 (European Comission, 2016). Bajo este, a las empresas constructoras que se ciñen a este sistema de certificación de la contratación y licitación se les garantiza una demolición *in situ* segura y ecológica. El sistema está controlado por una empresa contratista encargada de la demolición y por un Consejo de Acreditación, y consta de cuatro fases: (i) auditoría previa a la demolición, donde se realiza una inspección detallada y un inventario de los materiales; (ii) plan de gestión de residuos, que incluye una descripción del método de demolición selectiva y ecológica, el procesamiento de flujos de materiales, las medidas de seguridad y los requisitos que debe aplicar el cliente; (iii) ejecución de la demolición de acuerdo al plan de gestión de residuos; y (iv) realización del informe final de los materiales de demolición obtenidos y entrega al cliente, previa solicitud (European Comission, 2016).

Además, si bien este instrumento se complementa con la medida de comando y control, autores como Calvo *et al.*, (2014) argumentan que, en los países con tasas de reciclaje bajas, que por lo general tienen materia prima natural abundante y barata, deberían existir múltiples incentivos simultáneos enfocados directamente en el cambio del comportamiento de los agentes.

En la literatura se pueden observar diferentes posiciones con respecto a los esquemas. Autores como Hao *et al.* (2008) explican que los instrumentos basados en el principio de “el que contamina, paga” son usados por países desarrollados y en vías de desarrollo, y son altamente recomendados por instituciones como la OCDE y la Unión Europea. También indican que en países asiáticos se ha logrado reducir la generación de RCD en cifras importantes bajo este tipo de esquemas. Por otro lado, a pesar de que estos instrumentos pueden considerarse más rentables a nivel de las instituciones públicas, el hecho de aumentar el costo medio de disposición podría reducir la ventaja competitiva de las empresas cobijadas por esta regulación (Calvo *et al.*, 2014). Igualmente, la implementación de incentivos puede ser mejor que las tasas, porque generalmente las personas y las compañías se preocupan más por lo que pueden ganar en lugar de lo que pueden perder (Wu & Yu, 2014).

En este caso, la *tasa por no demolición selectiva . no separación*, en primera instancia, se implementaría cuando la empresa encargada de la etapa de desmantelamiento y demolición no la realiza selectivamente ni sigue un protocolo. La segunda instancia se refleja cuando la empresa encargada de la demolición no hace la debida separación de los residuos de la etapa anterior, y por ende no se tienen

en cuentan los flujos que se generan de los principales residuos. En el caso de la ciudad de Medellín, al no clasificar los RCD generados en cada uno de los tipos, explicado en la segunda sección, se infringiría el Decreto municipal 1609 de 2013 que reglamenta el Acuerdo 062 de 2009, el cual establece la política pública para la gestión de escombros en la ciudad de Medellín. La tasa debería ser asignada por los funcionarios de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) que, en su proceso de vigilancia y fiscalización, encuentren los anteriores incumplimientos.

Al implementar este instrumento se buscaría incentivar a las empresas a realizar una demolición de manera más racional y selectiva, para evitar la contaminación y desperdicio de materiales reciclables y reutilizables. De haber más material disponible y en mejor estado, se podrían generar más productos reciclados y de mejor calidad (Kontrolgrün, 2018; Poon *et al.*, 2004). Las empresas que no realicen este proceso pagarían la tasa, y el dinero recaudado sería invertido en mitigar los pasivos ambientales y en recuperar material para poder ser aprovechado.

Como se expuso en la segunda sección, para que exista reciclaje de estos materiales es fundamental que exista un mercado de productos; oferta y demanda (Kartam *et al.*, 2004; Lu & Yuan, 2011; Poon *et al.*, 2004; Wu & Yu, 2014). La *tasa por no demolición selectiva. no separación* incrementaría la oferta en cantidad y calidad. Por otro lado, la Resolución 0472 de 2017 obliga a que haya una demanda mínima de productos (2 % del total de material usado por obra). Por esto, el instrumento económico se articula con las condiciones actuales de comando y control, y ambos mecanismos forman un complemento pertinente para incentivar el reciclaje de RCD.

Conclusiones

A pesar de su potencial, actualmente en Medellín y en su área metropolitana existe un gran reto de diseño de la política que permita incrementar el reciclaje de RCD, reduciendo así la contaminación que estos generan (Chica-Osorio y Beltrán Montoya, 2018), e incidiendo a su vez sobre la tasa de extracción de estos recursos no-renovables. Debido a que las empresas de construcción actualmente no tienen incentivos económicos para gestionar adecuadamente sus residuos, es necesario recurrir a medidas administrativas para mitigar los impactos que complementen la medida de comando y control actualmente vigente. En este trabajo se han priorizado cuatro criterios y cuatro instrumentos económicos que ayudarían en la tarea de incentivar el reciclaje de RCD.

No existe un único instrumento que dé solución a todos los problemas económicos y ambientales, y que a su vez tenga una amplia aceptación social. De esta manera, es necesario que los tomadores de decisiones analicen cuidadosamente todas las alternativas disponibles para intentar maximizar el bienestar social. El proceso de análisis jerárquico como metodología del análisis multicriterio, es una opción sólida para definir prioridades y seleccionar alternativas adecuadas. El

modelo encontrado en este trabajo sirve como herramienta de decisión y como base para futuras investigaciones en otros ambientes, posiblemente para una extensión geográfica mayor, y eventualmente otro tipo de residuos, en donde se deseen priorizar estos u otros instrumentos.

Definida la estructura fundamental de criterios y subcriterios para priorizar instrumentos encaminados a incentivar el reciclaje de RCD, se encontró que la *tasa por no demolición selectiva . no separación* es el instrumento económico con mayor pertinencia. Es recomendable que, de implementar este instrumento, se fortalezcan los subcriterios en los que no se encuentra tan fuerte: aceptación social, impacto ambiental y sanitario directo e impacto indirecto. Desde el punto de vista de política, se resalta la importancia de fortalecer el mercado de productos reciclados. Esta medida encontrada orientada a la oferta, junto con la política de comando y control enfocada en la demanda, puede generar una sinergia importante para lograr las metas ambientales.

Hay dos aspectos importantes a mencionar en relación con este resultado. En primer lugar, esta combinación de instrumentos, conocida en la literatura como instrumentos híbridos, puede ser una combinación deseable, pues combinan varias de las bondades que cada instrumento posee (Goulder & Parry, 2008), y en particular para Latinoamérica, potencialmente pueden minimizar aquellas incertidumbres en cuanto a la distribución de los costos y beneficios de la política (West & Wolverton, 2005). En segundo lugar, pero no menos importante, está el asunto del diseño del instrumento, de tal forma que sea efectivo en términos del objetivo de inducir el reciclaje de residuos en el sector de la construcción.

Como limitación de este trabajo, se reconoce la falta de respuesta de expertos gubernamentales. Si bien la muestra incluye opinión de académicos y miembros del gremio de la construcción, se recomienda que futuros trabajos incorporen información de estos tres ámbitos, para obtener resultados más robustos. Además, es necesario ampliar el análisis con otros subcriterios económicos tales como la razón costo-beneficio y aspectos distributivos de cada instrumento, que permitan reconocer su pertinencia económica.

Potencial conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses en la realización de la investigación.

Referencias

- Achillas, C., Moussiopoulou, N., Karagiannidis, A., Baniyas, G. y Perkoulidis, G. (2013). The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: A literature review. *Waste Management and Research*, 31(2), 115-129. <https://doi.org/10.1177/0734242X12470203>.
- Álvarez, V. A. (24 de octubre de 2018). ¿Sabe usted a dónde van los escombros que salen de su casa? *El Colombiano*. <https://bit.ly/3vH4an1>.
- Barroso Domínguez, V. M. (2013). Gestión de RCD en la Unión Europea. En *Análisis de la gestión de residuos de construcción y demolición en la Comunidad Autónoma de Andalucía* (pp. 73-75). <https://bit.ly/35WPKnG>.
- Calvo, N., Varela-Candamio, L. y Novo-Corti, I. (2014). A dynamic model for construction and demolition (C&D) waste management in Spain: Driving policies based on economic incentives and tax penalties. *Sustainability*, 6(1), 416-435. <https://doi.org/10.3390/su6010416>.
- Chávez, C. A., Villena, M. G., y Stranlund, J. K. (2009). The choice of policy instruments to control pollution under costly enforcement and incomplete information. *Journal of Applied Economics*, 12(2), 207–227. [https://doi.org/10.1016/S1514-0326\(09\)60013-1](https://doi.org/10.1016/S1514-0326(09)60013-1).
- Chica-Osorio, L. M. y Beltrán-Montoya, J. M. (2018). Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification. *Revista DYNA*, 85(206), 338-347. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68824>.
- Chung, S. S. y Lo, C. W. H. (2003). Evaluating sustainability in waste management: The case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(2), 119-145. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00075-7).
- CONESCOMBROS. (2018). *Suministro de agregados*.
- CORANTIOQUIA. (2018). *Listado de gestores de RCD registrados ante CORANTIOQUIA*.
- CORNARE. (2018). *Listado de gestores de RCD inscritos en la Jurisdicción CORNARE*.
- European Comission. (2016). *Construction & Demolition Waste Management Protocol*. https://ec.europa.eu/growth/content/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-0_es
- Gomes, C. F. S., Nunes, K. R. A., Helena Xavier, L., Cardoso, R. y Valle, R. (2008). Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. *Omega*, 36(3), 395-404. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2006.07.009>

- Goulder, L. H., y Parry, I. W. H. (2008). Instrument choice in environmental policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(2), 152–174. <https://doi.org/10.1093/REEP/REN005>
- Hao, J. L., Hills, M. J. y Tam, V. W. Y. (2008). The effectiveness of Hong Kong's Construction Waste Disposal Charging Scheme. *Waste Management and Research*, 26(6), 553-558. <https://doi.org/10.1177/0734242X07085345>
- Huang, I. B., Keisler, J. y Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578-3594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>
- Iacovidou, E. y Purnell, P. (2016). Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse. *Science of the Total Environment*, 557, 791-807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.098>
- Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I. y Al-Humoud, J. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24(10), 1049-1059. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.06.003>
- Knoeri, C., Nikolic, I., Althaus, H. J. y Binder, C. R. (2014). Enhancing recycling of construction materials: An agent based model with empirically based decision parameters. *Jasss*, 17(3). <https://doi.org/10.18564/jasss.2528>.
- Konidari, P. y Mavrakakis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.007>
- Kontrolgrün. (2018). *Servicio de gestión integral de RCD*.
- Kourmpanis, B., Papadopoulos, A., Moustakas, K., Kourmoussis, F., Stylianou, M. y Loizidou, M. (2008). An integrated approach for the management of demolition waste in Cyprus. *Waste Management & Research*, 26(6), 573-581. <https://doi.org/10.1177/0734242X08091554>
- Krejčí, J. y Stoklasa, J. (2018). Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean. *Expert Systems with Applications*, 114, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.060>
- Lu, W. y Yuan, H. (2011). A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, 31(6), 1252-1260. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018>
- Majone, G. (1976). Choice among policy instruments for pollution control. *Policy Analysis*, 2(4), 589-613. Vol. 2, No. 4 (Fall 1976), pp. 589-613.
- Marzouk, M. y Azab, S. (2014). Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using

- system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.015>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 0472 de 2017* (p. 18). <http://www.andi.com.co/Uploads/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible e Instituto de Estudios Ambientales. (2017). *Consultoría para el análisis y evaluación de la situación actual de la internalización de costos ambientales y en salud por la gestión de residuos sólidos en Colombia*. Documento no publicado.
- Municipio de Medellín. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS Municipio de Medellín 2016-2027*. <https://tinyurl.com/2c399xcr>.
- Nadazdi, A., Naunovic, Z. y Ivanisevic, N. (2022). Circular Economy in Construction and Demolition Waste Management in the Western Balkans: A Sustainability Assessment Framework. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020871>
- Ospina, G. (10 de noviembre de 2017). Medellín busca recuperar el 25 % de los residuos sólidos. *El Colombiano*. <https://bit.ly/3vJMs25>
- Poon, C. (1997). Management and recycling of demolition waste in Hong Kong. *Waste Management & Research*, 15(6), 561-572. <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0111>
- Poon, C. S., Yu, A. T. W., See, S. C. y Cheung, E. (2004). Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. *Construction Management and Economics*, 22(8), 799-805. <https://doi.org/10.1080/0144619042000213283>
- Roussat, N., Dujet, C. y Méhu, J. (2009). Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Management*, 29(1), 12-20. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2008.04.010>
- Russell, C., y Vaughan, W. (2003). The choice of pollution control policy instruments in developing countries: arguments, evidence and suggestions. In H. Folmer & T. Tietenberg (Eds.), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2003/2004* (pp. 331-370).
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Umar, U. A., Shafiq, N., Malakahmad, A., Nuruddin, M. F. & Khamidi, M. F. (2017). A review on adoption of novel techniques in construction waste management and policy. *Journal of Material Cycles and Waste*

Management, 19(4), 1361-1373. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0534-8>

West, S. E., & Wolverton, A. (2005). Market-based policies for pollution control in Latin America. *Environmental Issues in Latin America and the Caribbean*, 121–147. https://doi.org/10.1007/1-4020-3774-0_6

Wu, Z. y Yu, A. T. W. (2014). Evaluating the Effectiveness of Construction and Demolition Waste Management Strategies. *Proceedings of the 18th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 531-538. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-44916-1>.

Zhang, F., Ju, Y., Santibanez González, E. D. R., Wang, A., Dong, P. y Giannakis, M. (2021). Evaluation of construction and demolition waste utilization schemes under uncertain environment: A fuzzy heterogeneous multi-criteria decision-making approach. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127907. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127907>.

Notas de autor

- 1 Ingeniero de Minas y Metalurgia y Magíster en Ciencias Económicas. Medellín, Colombia. Integrante del grupo de investigación IGNEA. <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=PL0YXJoAAAAJ>.
- 2 Ingeniera Administradora, Magíster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de Sistemas, y estudiante de doctorado en Ingeniería de Sistemas. Docente en el Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia. <https://scholar.google.com/citations?user=PD0aaXEAAAAJ&hl=es>.
- 3 Economista y doctor en Ingeniería. Magíster en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente de la Universidad de Concepción, Chile. Profesor asociado del Departamento de Economía. Medellín, Colombia. <https://scholar.google.com/citations?user=tFENVBUAAAAJ&hl=es&oi=ao>.

Información adicional

Para citar este artículo: Domínguez Balmaceda, C. M., Díez Echavarría, L., Saldarriaga Isaza, A. (2021). Selección de instrumentos económicos para incentivar el reciclaje de residuos de la construcción y demolición. *Revista Luna Azul* (En Línea), (53), 01-19. <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.53.1>.