

Influencia de la Resolución 0472 de 2017 en las emisiones del sector constructor colombiano.



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 19/ Edición N.38
Junio-Diciembre de 2022
Reia3815 pp. 1-12

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

DEISY JACKELINE LÓPEZ CASTAÑO¹

✉ NICOLÁS STEVEN PARDO ÁLVAREZ¹

MARÍA ALEJANDRA RICO PÉREZ¹

1. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

López Castaño, D. J.; Pardo Álvarez, N. S.; Rico Pérez, M. A. (2022).
Influencia de la Resolución 0472 de 2017 en las emisiones del sector constructor colombiano.
Revista EIA, 19(38), Reia3815.
pp. 1-12 <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1554>

✉ Autor de correspondencia:

Pardo Álvarez, N. S. (Nicolás):
Docente Institución Universitaria
Colegio Mayor de Antioquia.
Correo electrónico:
nicolas.pardo.alvarez@gmail.com

Recibido: 21-07-2021

Aceptado: 18-01-2022

Disponibile online: 01-06-2022

Resumen

Actualmente se reconoce que el sector constructor es uno de los principales generadores de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial. Si bien a nivel nacional existe la Resolución 0472 de 2017 para llevar a cabo una adecuada gestión de los RCD, es importante analizar la influencia del cumplimiento de esta norma en la generación y posible disminución de GEI a nivel nacional. Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo valorar técnicamente la relación entre el componente normativo de gestión de RCD (Resolución 472 de 2017) y la reducción de la huella de carbono en la primera fase del ciclo constructivo, estableciendo como estudio de caso una edificación en altura ubicada en la ciudad de Medellín. Para esto se plantearon cuatro escenarios de cumplimiento de Programa de Manejo Ambiental (PMA) en función de diferentes diseños de mezcla de concreto de 24 MPa de resistencia a la compresión, evaluando además la huella de carbono de cada escenario. Los diseños de mezcla de concreto presentaron la inclusión de aditivos superplastificantes, sustituciones parciales de cemento por ceniza volante y/o sustituciones parciales de agregados vírgenes por agregados reciclados. Los resultados demostraron que para el cumplimiento de la normativa de RCD es estratégica la sustitución parcial de agregados vírgenes por agregados reciclados (escenario 3), pero para la reducción en la huella de carbono es importante la sustitución parcial de cemento por ceniza volante, incluyendo aditivos superplastificantes (escenario 2). Por lo tanto, el escenario 4 que vincula todas las estrategias mencionadas presenta altos porcentajes de cumplimiento de la normativa (17,2% frente a 11,3% del escenario base) y una reducción en la huella de carbono (338,1 kg CO₂/m² frente a 438,1 kg CO₂/m² del escenario base).

Palabras clave: Residuos de construcción y demolición (RCD), huella de carbono, construcción sostenible, ciclo de vida constructivo, Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Influence of Resolution 0472 of 2017 on the emissions of the Colombian construction sector.

Abstract

It is now recognized that the construction sector is one of the main generators of Construction and Demolition Waste (CDW) and emissions of greenhouse gases (GHG) worldwide. While nationally there is Resolution 0472 of 2017 to carry out proper management of the CDW, it is important to analyze the influence of compliance with this standard in the generation and GHG possible reduction nationwide. For this reason, the present research aims to technically assess the relationship between policy management component RCD (Resolution 472, 2017) and reducing the carbon footprint in the first phase of the construction cycle, setting a case study one high-rise building located in the Medellín city. Four scenarios of compliance with Programa de Manejo Ambiental (PMA) were proposed based on different concrete mix designs of compressive strength 24 MPa, also evaluating the carbon footprint of each scenario. Concrete mix designs presented the inclusion of superplasticizer admixtures, partial substitutions of cement for fly ash and / or partial substitutions of virgin aggregates for recycled aggregates. The results showed that in order to comply with the CDW regulations, the partial replacement of virgin aggregates with recycled aggregates is strategic (scenario 3), but for the reduction in the carbon footprint, the partial replacement of cement with fly ash, including superplasticizer admixtures, is important (scenario 2). Therefore, the stage 4 which links all the above strategies has high percentages of compliance (17.2% versus 11.3% in the baseline scenario) and a reduction in carbon footprint (338.1 kg CO₂/m² versus 438.1 kg CO₂/m² in the baseline scenario).

Key Words: Construction and demolition waste (CDW), carbon footprint, sustainable construction, constructive life cycle, greenhouse gases (GHG).

1. Introducción

Los residuos de construcción y demolición (RCD) se refieren a cualquier residuo que se genere en una obra, producto de cualquier proyecto que incluya una actividad de construcción y demolición. Para Colombia, es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el encargado de regular la gestión de los RCD. Esta gestión se encuentra normalizada a través de la Resolución 0472 del 2017 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017) la cual establece el desarrollo de un programa de manejo ambiental (PMA) para construcciones con áreas de intervención igual o superiores a 2000 m². Este PMA consiste principalmente en acciones de prevención y reducción, recolección y transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final de RCD, haciendo un énfasis en la clasificación de los RCD en Tipo 1.1 (Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno), Tipo 1.2 (Productos de cimentaciones y pilotajes), Tipo 1.3 (Pétreos) y Tipo 1.4 (No pétreos). Entre los lineamientos específicos del PMA resalta que a partir del 1 de enero de 2018 se debe incorporar el 2% del peso total de los materiales con RCD aprovechables y cada año se incrementa un 2% hasta alcanzar el 30%. Las metas pueden lograrse a partir de materiales de construcción utilizados en la obra fabricados a partir de RCD (certificado por el fabricante), RCD aprovechados en la obra y/o RCD entregados a una planta de aprovechamiento. El reporte del PMA se lleva a cabo 30 días antes del comienzo de actividades de obra de acuerdo a los RCD proyectados a generar y 45 días después de finalizadas

las actividades de construcción de acuerdo a los RCD generados Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017).

Por otra parte, en la actualidad se reconoce que el aumento en la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) se debe principalmente a actividades antropogénicas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y los procesos industriales, entre los cuales encontramos el sector de la construcción, considerado a nivel mundial como una de las industrias más importantes y así mismo una de las más contaminantes en la actualidad. Algunos estudios establecen que el ciclo de vida constructivo es responsable del 40-50% de GEI a nivel mundial Abd Rashid y Yusoff. (2015) lo que determina que el sector sea relevante para el cumplimiento de las aspiraciones globales de mitigación del cambio climático. El acuerdo de París sobre el Cambio Climático (COP21), reafirmado durante las cumbres posteriores COP22 a COP25, insta a un compromiso frente a la disminución de la cantidad de GEI en todos los sectores productivos. En este acuerdo Colombia se comprometió a la disminución de sus emisiones de GEI en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030 García Arbeláez, et al. (2016). Sin embargo, en el año 2020, el gobierno incrementó su compromiso de reducción de emisiones al 51% Gobierno de Colombia. (2020). A pesar de que el gobierno nacional no ha establecido metas sectoriales, la industria de la construcción resulta estratégica para lograr esta reducción, ya que se relaciona con los sectores de transporte, energía, residuos, industrias manufactureras y procesos industriales.

Para llevar a cabo la cuantificación de emisiones en cualquier sector económico, se introduce el concepto de huella de carbono (HC), la cual mide la totalidad de GEI emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. En el sector constructor se pueden encontrar diversas investigaciones relacionadas al cálculo de la HC de diferentes etapas del ciclo de vida constructivo Área metropolitana del Valle de Aburrá, et al. (2018); Cho y Chae. (2016); Pardo, et al. (2017); Seo, et al. (2016); Sinha, et al. (2016); Wu, et al. (2017). De manera específica, para la etapa de materiales, el uso del cemento convencional en la actividad constructiva representa una fuerte problemática medio ambiental, ya que genera el 7% del total de emisiones de CO₂ en todo el mundo Hasanbeigi. (2021). Por lo tanto, una de las principales estrategias para reducir la huella de carbono de la construcción es disminuir el consumo de cemento a través del uso de aditivos (plastificantes o superplastificantes) y sustituciones parciales con cementantes suplementarios (cenizas volantes, escorias de fundición de alto horno, etc.), teniendo en cuenta que las emisiones asociadas a la fabricación de aditivos son altas Nazari y Sanjayan. (2017); Tam, et al. (2016) pero su consumo es muy bajo (inferior al 2% en peso respecto al cemento) y las emisiones asociadas a las cenizas volantes o escorias de fundición son muy bajas por tratarse de residuos de otros procesos, comparadas respecto al cemento Nazari y Sanjayan. (2017); Tam, et al. (2016).

Por lo tanto, la incorporación de RCD como sustitución parcial de los agregados en el concreto resulta en una de las estrategias más interesantes para el cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017. Sin embargo, debido a que las emisiones asociadas al procesamiento de los RCD son muy similares a las de los agregados naturales Ecoinvent. (2013), es importante analizar la influencia de la incorporación de RCD como sustitutos parciales de los agregados y la incorporación de cementantes suplementarios como sustitutos parciales del cemento (en conjunto con aditivos plastificantes o superplastificantes) y determinar las condiciones óptimas de incorporación, sin presentar afectaciones a las propiedades del concreto, en especial la resistencia a la compresión. Debido a lo anterior, en esta investigación se llevó a cabo la valoración técnica de la relación entre la Resolución 0472 de 2017 y la reducción de la huella de carbono en la primera fase del ciclo constructivo en una edificación en altura en Me-

dellín, Colombia, a través de la sustitución parcial de agregados naturales por agregados reciclados generados a partir del procesamiento de RCD y la sustitución parcial de cemento por ceniza volante e inclusión de aditivo superplastificante en los concretos estructurales.

2. Materiales y métodos

2.1 Edificación analizada

Para el análisis se eligió una obra civil denominada "Proyecto X". La obra está comprendida por una edificación en altura correspondiente a 23.007,46 m² construidos, ubicada en el municipio de Medellín, Antioquia. La obra comenzó actividades de construcción en el año 2019.

2.2 Programa de Manejo Ambiental

Los PMA se desarrollaron a través de 10 pasos, establecidos en el siguiente orden: a) Datos del generador, b) Datos de la obra, c) Descripción de actividades específicas de prevención y reducción de generación de RCD, d) Proyección de RCD a generar, e) Descripción de las actividades de demolición selectiva (cuando aplique), f) Descripción de las actividades de almacenamiento temporal de RCD en obra, g) Descripción de las actividades de aprovechamiento de RCD en obra, h) Gestores de RCD, i) Implementación y j) Metas. Para efectos de la investigación, se desarrollan los numerales d, i y j, puesto que los numerales restantes consignados en la normativa son de índole descriptiva y por ende varían acorde a las actividades de la obra. Es importante aclarar que estos PMA corresponden a proyecciones de RCD a generar Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017).

El desarrollo de los PMA se plantea desde 4 escenarios posibles tomando como punto de partida las cantidades de obra suministradas por la constructora del "Proyecto X". Cada escenario consta del desarrollo de los numerales d, i y j. Sin embargo, cada uno cuenta con cantidades de obra específicas, acordes con los cambios efectuados en el diseño de mezcla propuesto para cada escenario; esto, con el fin de identificar las variaciones en el PMA correspondientes a los consumos de materiales. Los PMA construidos bajo los siguientes escenarios establecen:

- Escenario N°1. Mezcla de concreto básica, es decir, sin la incorporación de agregado reciclado, superplastificante o ceniza volante. Corresponde al escenario de referencia.
- Escenario N°2. Mezcla de concreto modificada con la incorporación de 1,5% de superplastificante y una sustitución del 30% de cemento por ceniza volante tipo C.
- Escenario N°3. Mezcla de concreto modificada con la sustitución del 20% de agregado virgen por agregado reciclado generado a partir de RCD, sin inclusiones de aditivos o adiciones.
- Escenario N°4. Mezcla de concreto modificada con la incorporación de 1,5% de superplastificante), sustitución del 30% de cemento por ceniza volante tipo C y sustitución del 20% de agregado virgen por agregado reciclado generado a partir de RCD.

Como consideraciones adicionales la constructora del Proyecto X plantea que los RCD 1.1 y 1.2 serán enviados a un sitio de disposición final, los RCD 1.3 serán aprovechados tanto en la obra como en una planta de aprovechamiento y el acero de los

RCD 1.4 será entregado a una planta de aprovechamiento. Además, en función de los materiales consumidos, el acero incorpora 90% de material reciclado, el vidrio 11% y la cerámica cocida tradicional el 80%.

2.3 Huella de carbono para la etapa de materiales

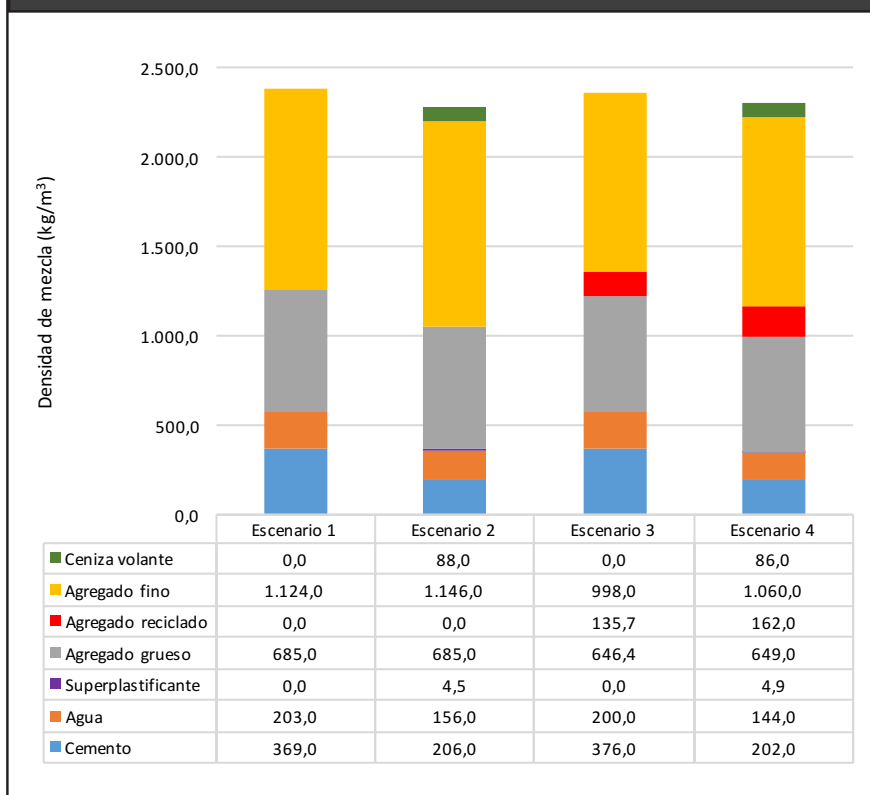
Para el cálculo de la huella de carbono de la etapa de extracción de la materia prima y fabricación de materiales de obra ($\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$) se utilizó la norma NTC 14064-1. Los factores de emisión fueron tomados del informe de Salazar Salazar Jaramillo. (2012) y fueron actualizados en función de los consumos eléctricos del año 2019 UPME y SIEL. (2019). Para el cemento, el valor corresponde al promedio entre los reportes integrados para Argos y Cemex en 2019 ARGOS. (2019); CEMEX. (2019) y el informe de Salazar, con la actualización mencionada. Para el acero, el valor fue ajustado en función del porcentaje de material de posconsumo incorporado PVG Arquitectos. (2018) y la cantidad de acero largo importado durante 2019 ANDI. (2020), obteniendo dos valores diferentes, uno para aceros de uso general y otro para aceros largos.

3. Resultados y Discusión

3.1 Escenarios del PMA

En la Figura 1 se presentan los diseños de mezcla (kg/m^3) planteados por escenario. Cada diseño fue planteado y validado para la resistencia a la compresión de los concretos estructurales del proyecto, correspondiente a 24 MPa. Se observan ligeras variaciones en la densidad final de las mezclas, atribuidos a las sustituciones mencionadas, resaltando que el diseño más denso es el del escenario 1 y el menos denso el del escenario 2. Para efectos de la investigación, el concreto planteado en el escenario 1 tiene la característica de que puede ser preparado in situ, pero los concretos planteados para los escenarios 2, 3 y 4 corresponden a concretos premezclados. Esto se debe en los escenarios 2 y 4 a la disponibilidad de ceniza volante y en el escenario 3 al cuidado que se debe prestar en la resistencia final a la compresión debido a la incorporación de RCD.

Figura 1. Diseños de mezcla de concreto (kg/m³) por escenario.



Una vez establecidas las densidades de cada escenario, se calcularon las cantidades de materiales totales, los indicadores y las metas por escenario. En la Tabla 2 se presentan las cantidades de materiales pétreos y no pétreos por escenario. De acuerdo a las densidades finales de los concretos planteados se pueden observar también ligeras diferencias en las cantidades totales de materiales a consumir en cada escenario, resultando en que el escenario 1 es el que presenta mayor consumo de materiales y el escenario 2 el de menor consumo.

Tabla 2. Cantidades de materiales (ton) pétreos y no pétreos por escenario.

Categoría	Material	Escenarios			
		1	2	3	4
Pétreos	Concreto	37.904,11	36.383,81	37.507,72	36.740,40
	Mortero	2.849,5	2.849,5	2.849,5	2.849,5
	Cerámica cocida tradicional	2.069,1	2.069,1	2.069,1	2.069,1
	Cerámica decorativa y sanitaria	396,3	396,3	396,3	396,3
No pétreos	Acero en concreto	2.114,5	2.114,5	2.114,5	2.114,5
	Vidrio	14,2	14,2	14,2	14,2
	Otros	1.331,2	1.331,2	1.331,2	1.331,2
Total (ton)		46.679,03	45.158,72	46.282,63	45.515,32

En la Tabla 3 se presentan los indicadores por escenario. Se puede observar que para los RCD generados en la obra, el indicador en el escenario 1 es superior a los demás, debido a que el concreto preparado in situ presenta un porcentaje de pérdida superior a los concretos premezclados. Lo anterior conlleva a una afectación de los RCD recibidos en planta de aprovechamiento, debido a la necesidad de reciclar la cantidad de RCD pétreos asociados al concreto preparado en la obra del escenario 1. Para

las metas, debido a que esta se calcula en función de la cantidad total de materiales, también se esperaba que los escenarios 1 y 2 fueran los de mayor y menor meta.

Tabla 3. Indicadores por escenario.

Material	Escenarios (t/obra)			
	1	2	3	4
Cantidad de materiales de construcción usados en la obra (t/obra)	46.679,03	45.158,72	46.282,63	45.515,32
Cantidad de RCD generado en la obra (t/obra)	8.246,59	6.730,04	6.730,04	6.730,04
Cantidad de RCD aprovechado en la obra (t/obra)	0,00	0,00	155,89	155,89
Cantidad de RCD recibido en punto limpio (t/obra)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cantidad de RCD recibido en planta de aprovechamiento de RCD (t/obra)	1.714,35	198,18	42,29	42,29
Cantidad de RCD llevado a sitio de disposición final de RCD (t/obra)	6.532,24	6.531,86	6.531,86	6.531,86
Meta	2.800,74	2.709,52	2.776,96	2.730,92

Finalmente, en la Tabla 4 se presentan las metas por escenario. Se puede observar que, en función del año de comienzo de actividades de construcción, todos los escenarios cumplen con lo dispuesto por la Resolución 0472 de 2017 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017), gracias a los aprovechamientos de RCD e incorporaciones de material reciclado en diferentes materiales. Sin embargo, los escenarios 3 y 4 son de especial atención, ya que por la cantidad de RCD aprovechados estarían cumpliendo con metas planteadas para los años 2023 y 2025 respectivamente. La importancia de estos altos cumplimientos radica en la generación de una hoja de ruta que permita brindar alternativas de cara a los porcentajes de cumplimiento planteados en la normativa.

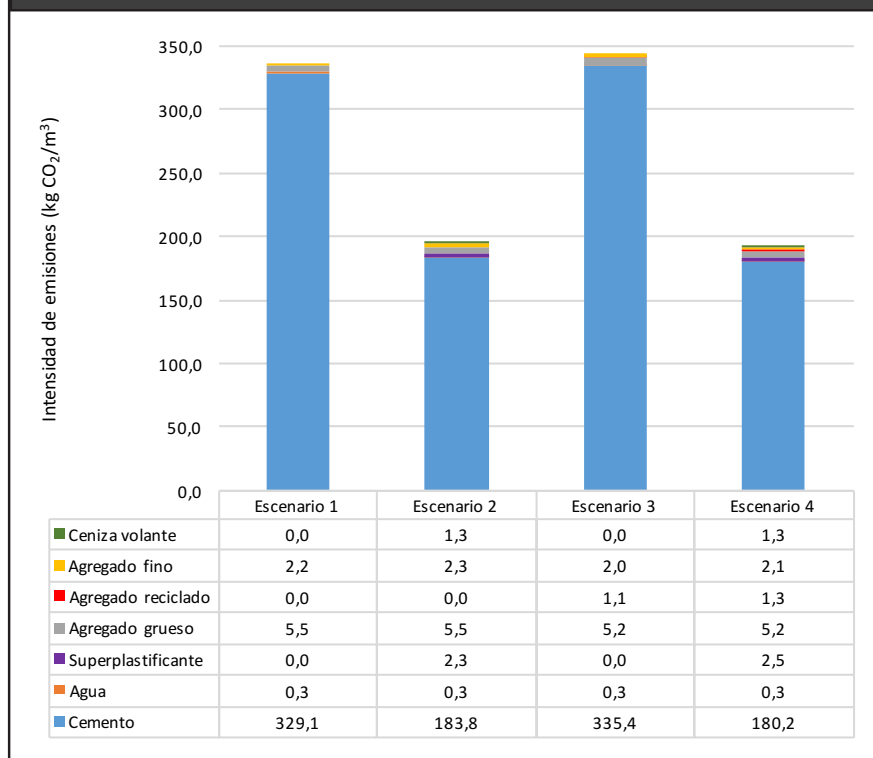
Tabla 4. Metas por escenario.

Opciones de aprovechamiento	Escenario 1		Escenario 2	
	Toneladas (t)	Porcentaje (%)	Toneladas (t)	Porcentaje (%)
Materiales de construcción utilizados en la obra, fabricados a partir de RCD (certificado por el fabricante)	3.559,91	7,63%	4.873,37	10,96%
RCD aprovechados en obra	0,00	0,00%	0,00	0,00%
RCD entregados a una planta de aprovechamiento	1.714,35	3,67%	198,18	0,44%
Total (t)	5.274,26	11,30%	5.071,55	11,40%
Correspondencia año de cumplimiento	2022		2022	
Opciones de aprovechamiento	Escenario 3		Escenario 4	
	Toneladas (t)	Porcentaje (%)	Toneladas (t)	Porcentaje (%)
Materiales de construcción utilizados en la obra, fabricados a partir de RCD (certificado por el fabricante)	5.922,90	12,80%	7.634,90	16,77%
RCD Aprovechados en Obra	155,89	0,34%	155,89	0,34%
RCD entregados a una planta de aprovechamiento	42,29	0,09%	42,29	0,09%
Total (t)	6.121,08	13,23	7.833,08	17,21
Correspondencia año de cumplimiento	2023		2025	

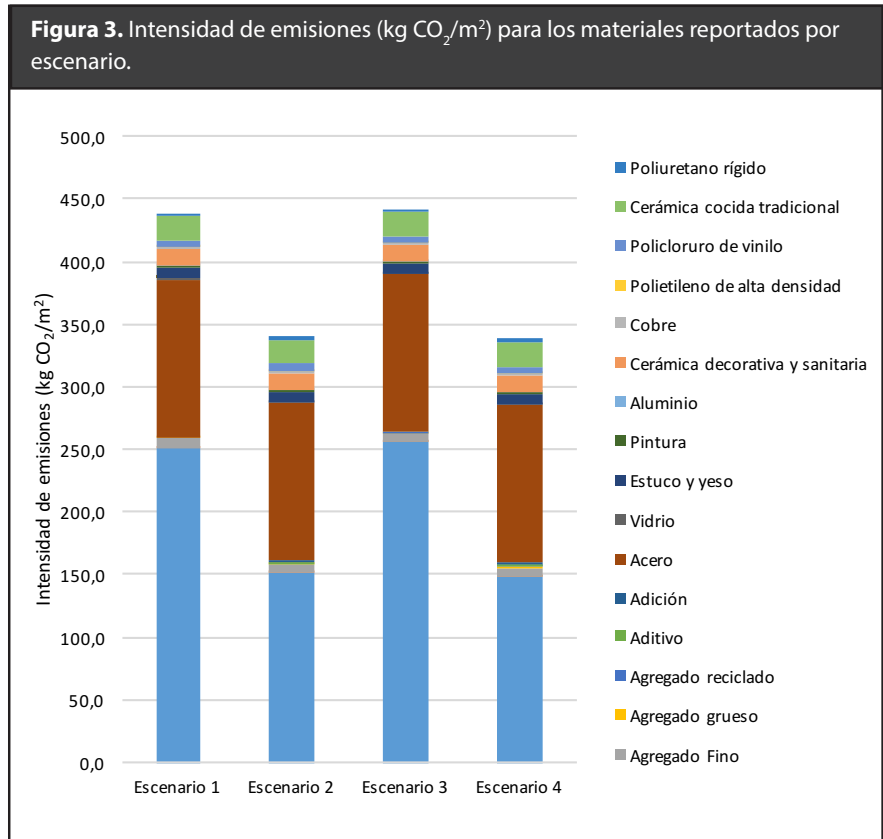
3.2 Huella de carbono para la etapa de materiales por escenario

En la Figura 2 se muestra la intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_2/\text{m}^3$) de los materiales para los diseños de mezcla planteados por escenario. Como se observa, el cemento es el material que mayor generación de emisiones presenta en todos los escenarios, asociado tanto a su elevado factor de emisión como a su elevada intensidad material. Debido a esta razón, los diseños de mezcla de concreto de los escenarios 2 y 4, en los cuales se llevó a cabo inclusión de superplastificante y sustitución parcial de cemento por ceniza volante, son los escenarios de menor huella de carbono por metro cúbico. Como se presenta en el escenario 3, la sustitución parcial de agregados vírgenes por agregados reciclados no representa una disminución en la huella de carbono, debido a que las emisiones asociadas al procesamiento de RCD para generar nuevos agregados son muy similares a las necesarias para procesar agregados vírgenes.

Figura 2. Intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_2/\text{m}^3$) para los diseños de mezcla de concreto por escenario.



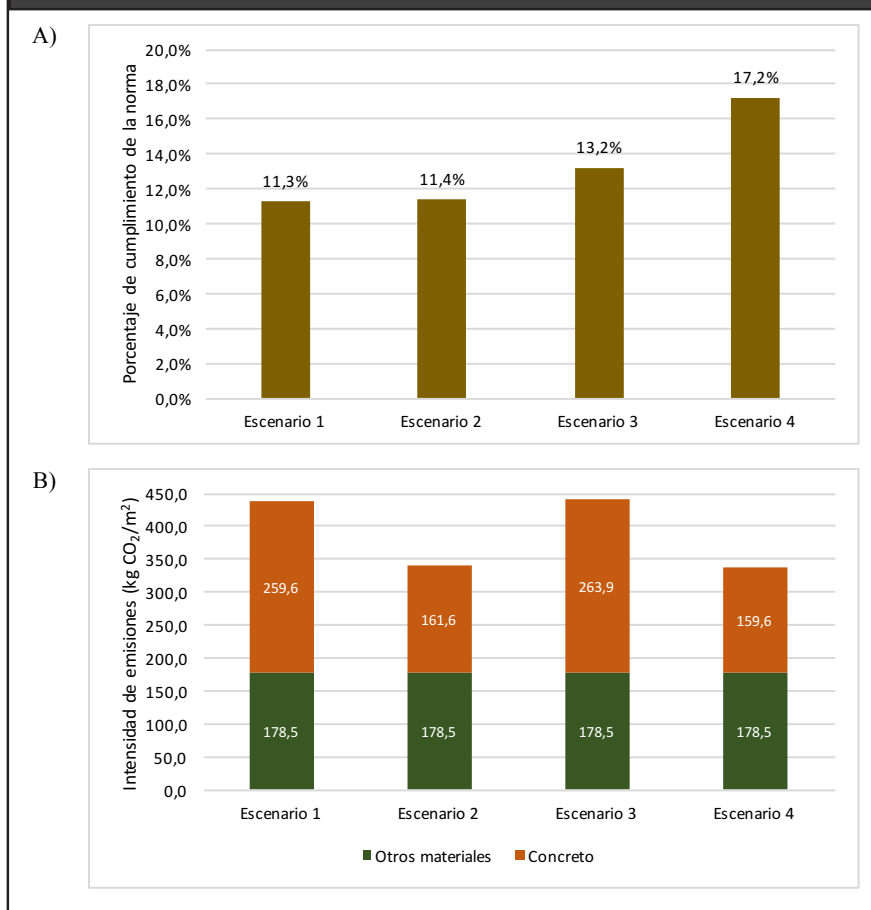
En la Figura 3 se presenta la intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$) de los materiales reportados por la constructora. Se observa que el cemento y el acero son los materiales de mayor impacto ambiental, asociado tanto a sus elevados factores de emisión como a su intensidad material. De acuerdo a lo observado en los diseños de mezcla, los escenarios 2 y 4 son los escenarios de menor huella de carbono, y el escenario 3 no presenta una disminución en el impacto ambiental de la edificación. Se resalta el hecho de que la huella de carbono de los cuatro escenarios se mueve en un rango entre 338,1 y 442,4 $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$, consistente con investigaciones realizadas para el país para sistemas constructivos similares Área metropolitana del Valle de Aburrá, et al. (2018).



3.3 Relación entre la Resolución 0472 de 2017 y la huella de carbono para la etapa de materiales por escenario

En la Figura 4a se muestra el porcentaje de cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017 y en la Figura 4b se muestra la intensidad de emisiones (kg CO₂/m²) discriminado para el concreto y los demás materiales reportados para cada escenario. En función del cumplimiento de la normativa, como se mencionó los escenarios 3 y 4 son los que presentan mayor porcentaje, debido a que realizan sustituciones parciales de cemento por ceniza volante y sustituciones parciales de agregado virgen por agregado reciclado. Sin embargo, en función de la huella de carbono en la etapa de materiales son los escenarios 2 y 4 los que presentan menor cantidad de emisiones por metro cuadrado, ya que además de las sustituciones mencionadas, incluyen aditivo superplastificante, que al funcionar como agente reductor de agua y manteniendo la relación agua/cemento constante, complementa la reducción de cemento en los concretos planteados SIKA. (2017).

Figura 4. Para cada escenario, a) Porcentaje de cumplimiento de la Resolución 0472 de 2017 y b) Intensidad de emisiones (kg CO₂/m²) para el concreto y los demás materiales reportados.



4. Conclusiones

- La Resolución 0472 de 2017 se presenta como una normativa para el aprovechamiento de RCD en las edificaciones. Sin embargo, en el marco de los compromisos mundiales de reducción de emisiones de GEI, para el sector constructor colombiano no solo resulta estratégico el aprovechamiento de los RCD, sino también el reemplazo parcial de cemento por otro tipo de materiales, como las cenizas volantes, que por su tipología de material reciclado contribuye al cumplimiento de la normativa y a su vez a la reducción de la huella de carbono. Como se mostró en el escenario 4, una reducción en la cantidad de cemento de 148,9 kg/m³, incorporando 86 kg/m³ de ceniza volante y 4,9 kg/m³ de superplastificante respecto al escenario de concretos convencionales, representa una reducción de 144,3 kg CO₂/m³ para todo el diseño de mezcla.
- Si bien los porcentajes de cumplimiento parecen difíciles de lograr, la implementación en las obras de sustituciones parciales de agregados vírgenes por agregados reciclados y la sustitución parcial de cemento por cementantes suplementarios como las cenizas volantes, complementado con la inclusión de aditivos superplastificantes, demuestra que las metas planteadas por el Ministerio de

Ambiente pueden ser cumplidas, incluyendo a su vez una reducción en la huella de carbono. Como fue observado, el escenario 4 con una sustitución del 20% de agregado virgen por agregado reciclado generado a partir de RCD y la sustitución del 30% de cemento por ceniza volante tipo C complementado con la inclusión de 1,5% de aditivo superplastificante, puede lograr porcentajes de cumplimiento por encima del 17% y reducciones cercanas a los 100 kg CO₂/m² respecto al escenario de concretos convencionales.

Referencias bibliográficas

- Abd Rashid, A. F. y Yusoff, S. (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.043>
- ANDI. (2020). Producción mensual acero crudo y largos a Noviembre 2019 con importaciones a Septiembre 2019.
- Área metropolitana del Valle de Aburrá; Camacol Antioquia; One Planet build with care - UNEP. (2018). Implementación de la Política Pública de Construcción Sostenible.
- ARGOS. (2019). Integrated Report. Investments that transform.
- CEMEX. (2019). Integrated Report. Safe. Essential. Resilient.
- Cho, S. H., & Chae, C. U. (2016). A study on life cycle CO₂ emissions of low-carbon building in South Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 8(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su8060579>
- Ecoinvent. (2013). Bases de datos versión 3.01.
- García Arbeláez, C.; Vallejo López, G.; Higgins, M. Lou; Escobar, E. M. (2016). El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático.
- Gobierno de Colombia. (2020). Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC).
- Hasanbeigi, A. (2021). Global Cement Industry's GHG Emissions. Global Efficiency Intelligence, LLC. <https://www.globalefficiencyintel.com/new-blog/2021/global-cement-industry-ghg-emissions>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). RESOLUCIÓN 0472 DE 2017.
- Nazari, A., & Sanjayan, J. G. (2017). *Handbook of Low Carbon Concrete* (Joe Hayton (ed.); 1st ed.). Elsevier.
- Pardo, N.; Penagos, G.; González, A.; Botero, A. (2017). Calculation of greenhouse gases in the construction sector in the Aburrá Valley, Colombia. *Proceedings of 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive, PLEA 2017*, 1, 932–939.
- PVG Arquitectos. (2018). Información interna de investigación.
- Salazar Jaramillo, A. (2012). Determinación de propiedades físicas y estimación del consumo energético en la producción, de acero, concreto, vidrio, ladrillo y otros materiales, entre ellos los alternativos y otros de uso no tradicional, utilizados en la construcción de edificaciones.
- Seo, M. S.; Kim, T.; Hong, G.; Kim, H. (2016). On-Site measurements of CO₂ emissions during the construction phase of a building complex. *Energies*, 9(8), 1–13. <https://doi.org/10.3390/en9080599>
- SIKA. (2017). *Concreto. Aditivos para concreto*.
- Sinha, R.; Lennartsson, M.; Frostell, B. (2016). Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Building and Environment*, 104, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.012>
- Tam, V. W. Y.; Le, K. N.; Shen, L. (2016). *Life Cycle Assessment on Green Building Implementation*. 1st ed., Vol. 1.
- UPME y SIEL. (2019). Estadísticas y variables de generación. <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generación/Estadisticasyvariablesdegeneración/tabid/115/Default.aspx>

Wu, X.; Peng, B.; Lin, B. (2017). A Dynamic Life Cycle Carbon Emission Assessment on Green and Non-Green Buildings in China. *Energy and Buildings*, 149, 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.041>