

EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE EN LA VIVIENDA SOCIAL DE SAN CARLOS, ESTADO COJEDES

(EVALUATION OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS EQUIVALENT OF SOCIAL HOUSING IN SAN CARLOS, COJEDES STATE)

Hernández G., Ernesto¹ y Carballo Nahir²

¹PhD en Ambiente y Desarrollo, UNELLEZ-San Carlos, Teléfono 0416-7092313,
Email: ernestohernandezgil@gmail.com

²Doctora en Ambiente y Desarrollo, UNELLEZ-San Carlos, Teléfono 0412-8821648,
Email: nahirdelc@gmail.com

Recibido: 28/11/2020 **Aceptado:** 21/01/2021

RESUMEN

El propósito de la investigación es evaluar las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) producido en las viviendas de interés social (VIS) en la ciudad de San Carlos, estado Cojedes, siguiendo la metodología desarrollada por Hernández (2016), basada en el análisis de ciclo de vida (ACV). El tipo de investigación es de campo, el diseño es no experimental, de corte transversal, cuantitativo y el nivel de estudio es descriptivo evaluativo. Para esta investigación se tomó como vivienda modelo, la de estructura de concreto armado del Programa Sustitución de Rancho por Vivienda (SUVI), analizando tres tipos de cerramientos verticales y cuatro tipos de techo. Los cerramientos analizados fueron: bloques huecos de concreto (BHC) revestidos por ambas caras, de bloques huecos de arcilla (BHA) revestidos por ambas caras y de adobe revestido por una sola cara. En cuanto a los techos: láminas de acero-asfalto-aluminio, tabelones, machihembrado y láminas de techo climatizadas, para un total de doce combinaciones posible. Las emisiones de kg CO₂-eq/m² obtenidas en las tipologías de viviendas están entre 2.219 y 2.310. Se obtuvo que las paredes de adobe son las de menor aporte de CO₂-eq, mientras que las de BHC es la más perjudicial en la contribución del impacto ambiental. Los cerramientos horizontales de más bajo aporte fueron las de lámina de acero-asfalto-aluminio, luego las láminas climatizadas, resultando la de mayor contribución la losa de tabelones. Se recomienda el uso de paredes de adobe revestidas por una cara y de techos de láminas climatizadas.

Palabras clave: Dióxido de Carbono, Viviendas de Interés Social, Análisis de ciclo de vida.

ABSTRACT

The purpose of the research is to evaluate the emissions of carbon dioxide equivalent (CO₂-eq) produced in social housing (VIS) in the city of San Carlos, Cojedes state, following the methodology developed by Hernández (2016), based in life cycle analysis (LCA). The type

of research is field research, the design is non-experimental, cross-sectional, quantitative and the study level is descriptive and evaluative. For this research, the model dwelling was taken as the reinforced concrete structure of the Substitution of Ranch for Housing Program (SUVI), analyzing three types of vertical enclosures and four types of roof. The closings analyzed were: hollow concrete blocks (BHC) coated on both sides, hollow clay blocks (BHA) coated on both sides and adobe coated on one side. As for the roofs: steel-asphalt-aluminum sheets, studs, tongue and groove and heated roof sheets, for a total of twelve possible combinations. The emissions of kg CO₂-eq/m² obtained in the types of dwellings are between 2,219 and 2,310. It was found that adobe walls are those with the lowest contribution of CO₂-eq, while those of BHC are the most damaging in the contribution of environmental impact. The horizontal walls with the lowest contribution were those of steel-asphalt-aluminum sheet, then the heated sheets, resulting in the slab of studs with the greatest contribution. One-sided adobe walls and heated sheet roofs are recommended.

Keywords: *Carbon dioxide, Social Housing, Life Cycle Analysis.*

INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero, causante del calentamiento global que da lugar al cambio global en el clima, lo que se conoce como el cambio climático, el cual es, para Greenpeace (2020), es la mayor amenaza ambiental a la que se enfrenta la humanidad.

El sector de la construcción comercial y residencial, es uno de los principales contribuyentes en emisiones de dióxido de carbono, se estima que el 39% de las emisiones de CO₂, está relacionado con las edificaciones a lo largo de su ciclo de vida: construcción, uso y demolición (Organización de Naciones Unidas [ONU], 2018 y Growing Buildings, 2020). La

construcción de viviendas, por pertenecer a esa industria, no escapa a la problemática planteada; se estima que son causantes del 17% de las emisiones totales de CO₂ a la atmósfera (Spainhouses, 2017).

En Venezuela, según la Segunda Comunicación Nacional en Cambio Climático (Venezuela, 2017), las emisiones de CO₂ fueron para el año 2010 de 243,38 GKg equivalente, de los cuales la industria manufacturera y de la construcción es el 5,9% de las generadas por consumo de energía, mientras la producción de metales y de cemento fue es de 7,8% y 1,5% respectivamente, del originados por los procesos industriales. Estas y otras actividades deben ser analizadas, ya que Venezuela se

comprometió en una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2030, en el marco de la 21^a Conferencia de las Partes (COP) sobre el Cambio Climático de París (La Información, 2015).

En la investigación de Hernández (2019), sobre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) en la vivienda social de San Carlos, se determinó que los cerramientos verticales, que incluye: la construcción de las paredes exteriores e interiores y sus respectivos revestimientos, obtuvieron un aporte de 41,1 y 46,6% en las dos viviendas analizadas. Además en la misma investigación, el autor indicó que las partidas de obra relacionadas con el techo, tales como láminas de zinc, láminas de acero-asfalto-aluminio, las losas de concreto (losacero, nervadas, macizas y tabelones) y las climatizadas, tienen la mayor diferencia porcentual, entre la de menos y la de más aporte de CO₂-eq, con un valor superior al 500%, esta situación, plantea la necesidad de una investigación, que combine la variación del tipo de cerramiento vertical y los tipos de techo (cerramiento horizontal).

En tal sentido, el objetivo de esta investigación es el de evaluar las emisiones de dióxido de carbono equivalente en una vivienda de interés social ubicada en San Carlos, estado Cojedes, mediante la utilización de tres (3) diferentes cerramientos verticales y cuatro (4) tipos de techo, sumado al resto de elementos que conforman la vivienda modelo del Programa Sustitución de Rancho por Vivienda (SUVI) de 66,5 m².

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Análisis de Ciclo de vida (ACV)

Es una técnica para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, con la identificación y cuantificación de la energía, los materiales utilizados y los desechos vertidos al ambiente, con el propósito de evaluar los impactos, identificar y analizar las oportunidades, con el objeto de tomar decisiones en beneficio de ambiente (Ruiz y Zuñiga, 2012).

Vivienda de interés social (VIS)

Lo primero que se debe resaltar es que las VIS no es una vivienda de segunda, de mala calidad, de tamaño insuficiente y construido con materiales de mala calidad. El término está asociado al costo,

para la Ley de Política Habitacional (LPH), correspondía a un determinado número de salarios mínimos, de tal manera que el cotizante de LPH, pudiera adquirirla. Sin embargo, en esta investigación, se toma la definición de Abadi y Martins (2009), señalando que es una vivienda para familias de bajos recursos, donde puedan vivir de forma digna, con espacios interiores de buena calidad y que permita satisfacer las actividades diarias como alimentarse, aseo, descanso e interacción.

Dióxido de Carbono (CO₂)

Definición: también llamado anhídrido carbónico, es un gas incoloro, inodoro, no inflamable a temperatura y presiones normales, formado por dos moléculas de oxígeno y una de carbono.

Consecuencias de la elevada concentración de CO₂ en la atmósfera: el dióxido de carbono es el principal gas causante del efecto invernadero, responsables de aproximadamente dos tercios del desequilibrio energético total que está provocando el aumento de la temperatura de la Tierra (Lindsey, 2020), causante de la alteración de los patrones de precipitación y de los eventos

climáticos extremos, fenómeno que conocemos como cambio climático (Lopera, 2016). Además el CO₂ se disuelve en el océano, reaccionando con las moléculas de agua, produciendo ácido carbónico, ocasionado la disminución del pH del océano, fenómeno denominado acidificación del océano (Lindsey, *ob. cit.*). Por lo tanto, esta elevada concentración de CO₂ a la atmósfera, es la causante de la modificación de los ecosistemas naturales y de la extinción de algunas especies (Lopera, *ob. cit.*).

Dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq): las emisiones de CO₂-eq, es una forma de cuantificar las emisiones de CO₂ que causarían el mismo efecto, en un plazo de tiempo dado, de algún gas de efecto invernadero o la mezcla de ellos. Las emisiones de CO₂-eq, se obtienen multiplicando la emisión de un determinado gas por un factor denominado, potencial de calentamiento global. Es de destacar, que “la emisión de dióxido de carbono equivalente constituye una escala típica para comparar las emisiones de diferentes gases de efecto invernadero, aunque no implica una equivalencia en las respuestas

correspondientes en términos de cambio climático” (Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2013, p.191).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo, diseño y nivel de la investigación

El tipo de investigación es de campo, el diseño no experimental, que según Hernández, Fernández y Baptista (2010) se basa en la observación del fenómeno tal como ocurre en la naturaleza, sin la manipulación de las variables, además por su prolongación en el tiempo es una investigación de corte transversal. El nivel del estudio es descriptivo, ya que busca conocer las características, propiedades, rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández y otros, *ob. cit*), y evaluativo por comparar y analizar los resultados.

Unidad de estudio

Comprende las viviendas de interés social, de reciente construcción en la ciudad de San Carlos, municipio Ezequiel Zamora, estado Cojedes.

Fases de la investigación

El procedimiento realizado para dar cumplimiento al objetivo de la investigación fue el siguiente:

Fase I. Caracterización de la vivienda

analizada: se seleccionó la vivienda modelo, en este caso se utilizó la del programa SUVI, cuyas características son: 66,5 m², con tres habitaciones, un baño, sala-recibo-comedor, cocina y lavadero. Las estructuras están conformadas por fundaciones aisladas de 40x40 cm, sin pedestal, con viga de riostra de estribos triangulares de 3/8” y tres barras longitudinales de 1/2”, machones de concreto armado de 20x20 cm y vigas de carga y amarre de 20x25 cm. Con ventanas correderas de aluminio, puertas de acceso (principal y posterior) metálicas sencillas y puertas interiores de madera entamborada. En esta descripción no se incluyó los tipos de cerramiento vertical y horizontal, ya que formarán parte del estudio.

Fase II. Selección de los tipos de

cerramientos: en el análisis de estas viviendas se incorporó el tipo de cerramiento vertical (paredes) y horizontal (techo), se seleccionaron las dos modalidades de cerramiento verticales más utilizados en las VIS de San Carlos, como lo son paredes de bloques huecos de concreto (BHC) y

arcilla (BHA), revestidos por ambas caras (acabado liso en paredes interiores y rústico en las exteriores), además se incorporó la pared con bloques tipo adobe, revestido por una cara. Para los techos, se seleccionaron cuatro tipos: láminas de acero-asfalto-aluminio, tabelones, machihembrado y láminas de poliestireno expandido-laminas metálicas de 5 cm (láminas climatizadas). Obteniendo un total de doce (12) combinaciones de cerramiento vertical-tipo de techo.

Fase III. Determinación de las emisiones de CO₂-eq: realizado los cálculos métricos de las 12 combinaciones de viviendas, se utilizaron los valores unitarios de las emisiones de CO₂-eq, obtenidos por Hernández (2016 y 2019), realizado por partidas de obra codificadas por la Comisión Nacional de Normas Industriales (COVENIN), obteniendo las emisiones totales por partida y, finalmente, por vivienda, a lo largo del ciclo de vida. A este total se dividió entre el área de la vivienda, con el objeto de poder hacer comparaciones por metro cuadrado (m²) de vivienda, como se establece a nivel internacional.

En forma general, las partidas contempladas fueron concreto en infraestructura (bases-escalones y viga de riostra), concreto en superestructura (machones y viga corona), encofrado de madera y acero de refuerzo en infra y superestructura, revestimiento de pisos, revestimiento cerámico en paredes y pisos de las salas de baño, marcos metálicos, puertas, ventanas, pintura tipo caucho, esmalte y barniz, esmalte en puertas, ventanas y marcos, barniz en puertas, además de las partidas particulares relacionadas con el tipo de cerramiento vertical y techo.

Fase IV. Análisis de las emisiones de CO₂-eq: se procedió a realizar la evaluación de las doce (12) viviendas, con el objeto de visualizar de manera efectiva cuales son las combinaciones cerramiento vertical-horizontal, con menos y más aporte de dióxido de carbono equivalente. Además se incluyó un análisis por elementos de la vivienda, a objeto de conocer en donde se producen los mayores impactos, los elementos seleccionados son los siguientes:

a) Infraestructura: se refiere a los elementos portantes ubicados por debajo

del nivel del terreno, incluye la excavación, encofrado, concreto y acero de refuerzo; b) pisos: incluye encofrado, concreto y acero de refuerzo utilizados en la losa de piso, además de la baldosa; c) cerramientos verticales: la construcción de las paredes exteriores e interiores y sus respectivos revestimientos; d) superestructura: incluye los elementos portantes, como son columnas, machones, vigas de carga y corona, en concreto armado o de perfiles estructurales, además el encofrado requerido para su confección; e) techo: comprende los techos livianos y las losas de techo o entrepiso. Incluye el encofrado y acero de refuerzo, el manto impermeabilizante, la pintura refractaria de aluminio y las tejas; en el techo liviano se incorporan las correas metálicas; f) puertas y ventanas: se refiere a las puertas metálicas y de madera, las ventanas, incluyendo el vidrio y los marcos de chapa doblada de hierro; y g) pintura: incluye la destinada a revestir paredes, techo, puertas, ventanas, marcos, columnas, vigas y correas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los aportes de Kg de CO₂-eq por metro cuadrado (m²), se

indican en la tabla 1, los que incluye los consumos operacionales de energía y agua, están comprendidos entre 2.219 y 2.310 Kg CO₂-eq/m², similar a los 2.219 y 2.245 CO₂-eq/m², reportados por Hernández y Carballo (2017) y los señalados por Ortiz, Castells y Sonnemann (2009) y Ortiz, Bonnet, Bruno y Castells (2009), con valores de 2470 y 2340 kg CO₂-eq/m², en unas viviendas en la ciudad de Barcelona-España.

Tabla 1. Aportes de Kg de CO₂-eq por m² de vivienda, en todo el ciclo de vida

Tipo de vivienda	Tipo de Cerramiento		* Aporte por kg CO ₂ -eq/m ² a lo largo del ciclo de vida
	Vertical	Horizontal	
A	Revestimiento exterior + Bloque hueco de concreto + Revestimiento interior	Acero-asfalto-aluminio	2.224
		Láminas climatizadas	2.252
B	Revestimiento interior	Losa de tabelones	2.310
C		Machihembado	2.267
D	Revestimiento exterior + Bloque hueco de arcilla + Revestimiento interior	Acero-asfalto-aluminio	2.181
E		Láminas climatizadas	2.208
F	Revestimiento interior	Losa de tabelones	2.266
H		Machihembado	2.223
I			

		Acero- asfalto- aluminio	2.119
L	Revestimi- ento exterior +	Láminas climatizada	2.147
M	Bloques de Adobe	s Losa de	2.205
N		tabelones	2.162
O		Machihemb rado	

*: incluye los aportes CO₂-eq por consumo de energía y agua operacional

Fuente: Hernández y Carballo (2021)

En cuanto a los resultados, se observa que el cerramiento con menos emisiones de CO₂-eq, el adobe revestido por una cara, seguido del bloque hueco de arcilla revestido por ambas caras y luego el bloque hueco de concreto con las dos caras revestidas, esto lamentablemente, coincide con el mayor índice de VIS construidas en San Carlos-Cojedes, esto debido a la no existencia en la ciudad de San Carlos, ni en estado Cojedes, de alfarerías, y sí el funcionamiento de fábricas de bloques de concreto. En relación con el cerramiento horizontal, el orden de menor a mayor impacto ambiental son: las de lámina acero-asfalto-aluminio, paneles aislantes, machihembrado y finalmente la losa de tabelones; la alternativa menos contaminante es la de mayor uso en las

VIS, aunque su uso está más vinculado a su bajo costo y facilidad de colocación.

Finalmente, en la tabla 2, se presentan los porcentajes de CO₂-eq para los elementos agrupados de las doce viviendas analizadas, se observa que en todos los casos cuando la pared es de BHC, el elemento pared es el de más aporte con un rango de 35,6 y 45,9%. Cuando se utilizó los BHA en tres de los cuatro casos, las paredes fueron el elemento que más aportó, salvo cuando el techo era de tabelones, elemento que resultó con mayores porcentajes de CO₂-eq. Para la mampostería de adobe en el 75% de los casos el elemento con más contribución fue la cubierta techo, excepto cuando es de lámina acero-asfalto-aluminio, en ese caso, resultó superior los elementos agrupados de superestructura.

Tabla 2. Porcentajes de Kg de CO₂-eq para los elementos agrupados de las doce viviendas

Tipo de vivienda	Elementos agrupados **						
	Infraestructura	Pisos	Paredes	Superestructura	Techos	Puerta-ventana	Pintura
A	6,7	8,7	45,9	15,5	7,9	2,6	12,6
B	6,2	7,9	42,0	14,2	15,8	2,4	11,5
C	5,2	6,7	35,6	12,1	28,6	2,0	9,8
D	5,9	7,6	40,1	13,6	19,5	2,3	11,0
E	7,9	10,2	36,5	18,2	9,3	3,0	14,8

F	7,1	9,2	32,9	16,4	18,2	2,7	13,4
H	5,9	7,6	27,2	13,6	32,3	2,3	11,0
I	6,8	8,7	31,3	15,6	22,4	2,6	12,7
L	10,5	13,5	16,0	24,1	12,3	4,0	19,6
M	9,2	11,8	14,0	21,1	23,4	3,5	17,1
N	7,2	9,3	11,0	16,6	39,5	2,8	13,5
O	8,6	11,0	13,1	19,7	28,3	3,3	16,0

** : no se incluye los aportes CO₂-eq por consumo de energía y agua operacional

Fuente: Hernández y Carballo (2021)

CONCLUSIONES

Para las VIS el cerramiento vertical que debería implementarse, es el de bloques de adobe revestido por la cara exterior, ya que además de su baja producción de CO₂-eq, ofrece seguridad, es económico, es un buen aislante térmico y que, además, puede ser elaborado por los beneficiarios, evitando el uso del BHC, muy difundido en la construcción de viviendas en la ciudad de San Carlos, pero el más nocivo.

En el cerramiento horizontal, la solución actual de láminas de acero-asfalto-aluminio es la que ofrece menores aportes y es la más económica, pero no ofrece seguridad ni confort térmico, por lo que el uso de láminas de techo con paneles aislantes, es una solución que brinda una baja contribución de CO₂-eq, ofrece seguridad y sobre todo, es un

excelente aislante térmico y acústico, que incidirá en la reducción de los costos de climatización mecánica y tributará en una mejor calidad de vida de sus ocupantes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Abadi, I. y Martín, F. 2009. *Instrumento de Evaluación de Viviendas de Interés Social*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Centro de Estudios del Espacio Arquitectónico. CEEA. Caracas. Pág. 97.
- Greenpeace. (2020). *Cambio Climático*. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>
- Growing Buildings. (2020). *Construcción y emisiones CO₂ a la atmósfera*. Recuperado de: <https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/>
- Hernández G., E. 2016. *Metodología para cuantificar los impactos ambientales de partidas de obra COVENIN, basada en Análisis de Ciclo de Vida*. In Morante A. C., Paredes T. F., Molina M. G. y Rojas M. P. eds. [Libro en CD]. Disponible: SERIE LIBRO PEII N° 3; La Multidisciplinaria Investigativa. UNELLEZ. Pág. 1-21.
- Hernández G., E. 2019. *Metodología para la evaluación de la sustentabilidad en viviendas de interés social en la ciudad de San Carlos, Cojedes, Venezuela*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. San Carlos - Cojedes. Venezuela.

- Hernández G., E. y Carballo, N. (2017). *Evaluación de los impactos potenciales en la vivienda social de San Carlos-Cojedes, aplicando el Análisis de Ciclo de Vida*. Memorias de las XXII Jornadas Técnicas de Creación Intelectual y VI de Postgrado. UNELLEZ-VIPI. Depósito Legal: CO2017000007. Cojedes. Venezuela.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F., México: Mc. Graw Hill.
- IPCC [Panel Intergubernamental del Cambio Climático]. (2013): *Glosario* [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- La Información. (2015). *Venezuela se compromete a reducir sus emisiones un 20% para 2030*. Recuperado de: https://www.lainformacion.com/asuntos-sociales/venezuela-se-compromete-a-reducir-sus-emisiones-un-20-para-2030_abOeVwYFFwyjczXqWkkVU4/
- Lindsey, R. (2020). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Recuperado de: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- Lopera G., A. (2016). *Cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono en el Valle de Aburrá*. (Tesis de Pregrado). Universidad Ingeniería Ambiental Envigado, Colombia.
- Organización de Naciones Unidas. 2018. *El sector de la construcción y los edificios tiene un rol clave en la reducción de emisiones*. Programa para el Medio Ambiente. Recuperado de: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-sector-de-la-construccion-y-los-edificios-tiene-un>
- Ortiz, O., Bonnet, C., Bruno, J. C. y Castells, F. 2009. Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain. *Building and Environment*, 44(3): 584-594.
- Ortiz, O., Castells, F. y Sonnemann, G. 2009. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23(1): 28-39.
- Ruiz A., D y Zúñiga L., I. (2012). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*. 1ª edición, 1ª impresión, UNED. Madrid. Pág.117.
- Spainhouse. (2017). *La vivienda, origen del 19% de CO₂ ¿Cómo reducir la contaminación desde casa?* Recuperado de: <https://noticias.spainhouses.net/2017/02/la-vivienda-origen-del-19-de-co2-como-reducir-la-contaminacion-desde-casa/>
-

Venezuela. 2017. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela. Pág. 180.