DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI

ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 133-140

Impacto ambiental de recubrimientos de cal en vivienda social

Environmental Impact of lime-based coatings in social housing

I. Osorio Márquez [a] E. Lozada-Amador [a,*], H. García-Ortiz [a]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42084, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

El ahorro en consumo energético, económico y reducción de emisiones de CO_2 que se pueda efectuar al sustituir materiales industrializados y disminuir el impacto ambiental, no se debe subestimar en el sector de la construcción, más aun cuando se da de forma masiva. En los recubrimientos que forman parte del ciclo de vida de una edificación y de su energía incorporada, las técnicas a base de cal destacan por su comportamiento higrotérmico, su transpirabilidad y su carbonatación como mecanismo natural de endurecimiento, que le otorga estabilidad y durabilidad. En un análisis cuantitativo en viviendas de interés social que se proyecta construir en un año en México y en existentes inacabadas en una ciudad, se equipararon y cuantificaron acabados a base de cal susceptibles de sustituir a los de cemento. Además de su menor energía incorporada y adaptabilidad climática, la cal representa una alternativa accesible para edificaciones de medios y bajos recursos, con beneficios ambientales ampliables al entorno urbano.

Palabras Clave: Industria de la construcción, arquitectura sustentable, medio ambiente, vivienda social.

Abstract

The energy and cost savings, as well as the reduction in CO_2 emissions, that can be achieved by replacing industrialized materials and decreasing environmental impact should not be underestimated in the construction sector, especially when implemented on a large scale. In coatings that are part of a building's life cycle and contribute to its embodied energy, lime-based techniques stand out for their hygrothermal properties, breathability, and carbonation as a natural hardening mechanism, which provides stability and durability. A quantitative analysis of social housing projects planned for construction within a year in Mexico and existing unfinished buildings in a city compared and quantified lime-based finishes that could replace cement-based ones. In addition to its lower embodied energy and climate adaptability, lime represents an accessible alternative for low- and middle-income housing, with environmental benefits that can be extended to the urban environment..

Keywords: Construction industry, sustainable architecture, environment, social housing.

1. Introducción

La industria de la construcción genera entre el 36 % y 40% de las emisiones globales de CO_2 cuando se considera tanto la edificación como la operación de los edificios (CDT, 2024). Dentro de este sector, la producción de cemento representa una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero, al aportar alrededor del 8 % de las emisiones globales (Timperley, 2018). Si se considerara como un país, la industria del cemento sería el tercer mayor emisor del mundo, solo por detrás de China y Estados Unidos (Watts, 2019).

Desde principios del siglo XX, México ha adoptado sistemas constructivos altamente dependientes del cemento y sus derivados, utilizados tanto en infraestructura como en vivienda. A partir de la segunda mitad del siglo XX su uso se intensificó, desplazando progresivamente a materiales tradicionales en viviendas nuevas, ampliaciones y rehabilitaciones (Solano, 2022). La incorporación generalizada de esos sistemas constructivos industrializados ha contribuido también al desplazamiento de los conocimientos locales asociados a la vivienda vernácula (Sánchez Calvillo et al., 2021). En contraste, estos sistemas,

*Autor para la correspondencia: elozada@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: os447289 @uaeh.edu.mx (Israel Osorio-Márquez), elozada@uaeh.edu.mx (Elizabeth Lozada-Amador), hugo_garcia@uaeh.edu.mx (Hugo García-Ortiz)
Historial del manuscrito: recibido el 01/06/2026, última versión-revisada recibida el 07/09/2026, aceptado el 07/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18024

desarrollados históricamente en relación con el medio natural, constituyen ejemplos de construcción sostenible y de adaptación al contexto local (Cruz Vázquez et al., 2024; Rudofsky, 2007).

Antes de la generalización de los materiales industrializados, la vivienda empleaba con eficiencia recursos locales como tierra, piedra, madera y cal. En el territorio mexicano el uso de la cal se remonta a la época prehispánica y fue fundamental tanto en la arquitectura vernácula como en la conservación de monumentos históricos. Su proceso de producción también genera emisiones de CO_2; sin embargo, requiere temperaturas de calcinación menores que el cemento y, durante su fraguado, reabsorbe dióxido de carbono mediante el proceso de carbonatación (Galván-Ruiz & Velázquez-Castillo, 2011). Estas características le otorgan ventajas ambientales y constructivas relevantes, que se detallarán en el apartado 2.3 del artículo y que justifican su uso.

2. Antecedentes

2.1. El Cemento en la industria de la construcción y la calidad de la vivienda

La configuración de las ciudades está representada en su mayoría por la vivienda, con más del 70 % del uso de suelo (ONU-Habitat). De acuerdo al Observatorio de Sostenibilidad Ambiental de la Edificación Residencial cada m_2 construido de edificación de vivienda, supone 441kg de CO_2, siendo el 70% producto del cemento y acero utilizados (Universidad Autónoma de Madrid, s. f.). El cemento ha impulsado la edificación masiva de vivienda mediante empresas constructoras, que ha llegado al acaparamiento en las ciudades, aunque su uso también ha alcanzado las zonas rurales. (Calistro, et. al., 2021). A pesar de ello, sigue existiendo un problema de déficit y precariedad de vivienda.

A principios de este siglo, un cuarto de la población mundial carecía de vivienda o esta era muy miserable. (ONU-Habitat) Este problema se ha intensificado en los últimos años. De acuerdo con Deniz Igan (2024), jefa de Análisis Macroeconómico del FMI (Fondo Monetario Internacional) la relación entre el ingreso de los hogares y el necesario para acceder a una hipoteca para una vivienda típica se deterioró rápidamente a partir de 2020, alcanzando en 2023 uno de sus niveles más bajos, esto debido principalmente al aumento del precio y de las tasas de interés hipotecarias.

En México, aunque existen mecanismos por medio del INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores), el costo de la vivienda continúa siendo elevado en relación con la calidad de muchas unidades habitacionales, no solo por sus dimensiones también por los materiales, sistemas de construcción e instalaciones que presentan (Correa, 2014).

Si se retoma el artículo 4º de la Constitución Mexicana (2024), que refiere que la vivienda de calidad es un derecho (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2024), debería considerarse su calidad antes, durante y después de construirla.

Ante este panorama, también Igan (2024) señala que mejorar el acceso a la vivienda requiere atender factores estructurales relacionados con las restricciones de uso de suelo, los procesos administrativos y algunos códigos regulatorios de construcción que, en ciertos casos, favorecen a fabricantes de materiales al exigir supuestos estándares de calidad que incrementan los costos. Aunque no se expresa específicamente que el cemento sea uno de los materiales exigidos, los reglamentos de construcción se han inclinado a regular su uso más que cualquier otro material. La construcción de vivienda en México prácticamente ha abandonado las técnicas tradicionales. El último censo en 2020 de INEGI registra 35.2 millones de viviendas, de las cuales solo el 9 % las conserva (Solano, 2022). La idea de que los materiales industrializados, sobre todo del cemento, son mejores, se ha instalado en el imaginario colectivo.

Las NTC (Normas Técnicas Complementarias) se inclinan por este material en combinación con el acero.

Es por eso que este estudio se centra en los acabados, que no ponen en riesgo la seguridad de la vivienda y tienen menos restricciones por reglamento de construcción, pero no dejan de ser significativos.

Los recubrimientos de una vivienda, son la parte que la protege, la más expuesta y por lo tanto la que más se desgasta, que debe renovarse o reponerse periódicamente, además de que también mejora su apariencia. Utilizando la cal como material base en esos acabados, se busca exponer que son una alternativa eficiente para reducir el uso del cemento, que conlleva disminuir el impacto medioambiental, y ser factor de beneficio económico, al ser la cal un material de menor costo y social, porque mejorar la apariencia de las fachadas, adquiere mayor confort térmico y en consecuencia sus habitantes cuentan con una vivienda más digna.

2.2. Impacto ambiental de la fabricación de cemento y de la cal.

El cemento portland tiene un proceso de fabricación que se puede resumir en cuatro principales fases: 1) extracción de materias primas, 2) mezcla y trituración, 3) calentamiento para producir *clínker* y 4) mezcla con otros agregados en menor proporción y empaquetado. La mayor emisión de CO_2 en ese proceso se produce en la fase del calentamiento para producir el *clínker*, materia prima del cemento. El horno donde se calienta debe alcanzar una temperatura de entre 1300 y 1450° C, que solo es posible con la quema de combustibles fósiles (Solano, 2022, pag. 64). Además de la contaminación del aire, también genera contaminación de agua, del suelo y sonora (Cedeño, 2011; Navas et al., 2015). México ocupa el lugar 14 en producir cemento con 50 millones de toneladas métricas (Statista, 2023). De acuerdo a la CANACEM (Cámara Nacional del Cemento), existen 37 plantas distribuidas en toda la República Mexicana. Dos se ubican en la ciudad de Tula en el estado de Hidalgo, que se ha identificado como una de las ciudades más contaminadas del mundo y en parte se debe a las emisiones de las

cementeras, que han generado impactos graves en la salud de los habitantes de la región. (SEMARNAT, 2024)

En contraste, hablar de la cal como material de construcción es un tema amplio. Debido a que tiene siglos de utilizarse, su proceso de fabricación, para su uso en la construcción, se ha ido modificando. La tabla 1, muestra la principal diferenciación de los tipos de cal como se conocen actualmente. Esta división básica muestra diferentes formas de disponer del material; que tiene que ver con la materia prima que utiliza y el proceso de tratamiento.

Tabla 1: Diferencia en los tipos de cal

Producto	Proceso de fabricación	Presentación	Fraguado
Cal viva	Calcinación de caliza (~ 900° C)	Piedra a granel	No aplica
Cal apagada	Hidratación artesanal de val viva	Pasta	Lento al aire
Cal hidratada	Hidratación industrial controlada	Polvo en bulto	Lento al aire
Cal hidráulica natural (NHL)	Calcinación (900°-1200° C.) e hidratación controlada	Polvo en bulto	Rápida con el aire y el agua. (según grado NHL)

Nota: La cal hidráulica natural se clasifica en NHL 2, NHL 3.5 y NHL 5, de acuerdo con su contenido de sílice y aluminio. En México su disponibilidad comercial es limitada (COM-CAL Natural S.L., 2024).

Elaboración propia (2026) Fuentes: (COM-CAL Natural S.L., 2024; Tovar, 2018).

Teniendo como referencia la tabla 1, la cal a utilizarse en morteros para sustituir el cemento, es la cal apagada en obra o cal hidratada, esta última es la más asequible en una casa de materiales, común para la población. Es muy relevante mencionar que la cal también genera emisiones de CO_2 en su proceso de calcinación, pero posteriormente lo absorbe más que el cemento para endurecerse, de esta forma el ciclo combate la emisión de CO_2, el gas más preocupante de los GEI (Gases de Efecto Invernadero).

2.3. Ventajas de la cal en la construcción

La cal como material de construcción, desde la incursión del cemento, paulatinamente fue disminuyéndose su uso en todas las etapas. Sin embargo, la cal puede utilizarse más en la actualidad, porque continúa ofreciendo ventajas. La fuerte estrategia de mercadotecnia del cemento y probablemente por el fraguado rápido que ofrece, fueron desplazando su uso. Sin embargo, las ventajas que puede brindar deben ser consideradas y se describen a continuación.

Propiedades térmicas. La cal supera a las de otros materiales debido a que los índices de conductividad térmica son menores que los morteros de cemento que es de 0.630 W/mK, mientras que el mortero de cal al exterior es de 0.372 W/mK, (Secretaría de Energía, 2001). Ese factor le permite retardar la temperatura exterior hacía el interior, logrando mayor aislamiento y la adaptabilidad del clima del espacio con sensación más templada. (Tovar, 2018). Esta propiedad es también aprovechada en climas calurosos cuando se deja su color natural en los aplanados, porque refleja la radiación solar hasta un 80%. En climas templados o fríos se le agrega pigmentos minerales para obtener otros tonos que reducen su reflectividad de 25 hasta 30% (Deffis, 1999).

Combate a la humedad. La densidad de un mortero de cal es de 800 kg/m^3 y el de un mortero de cemento - arena es de 2000 kg/m^3.(Secretaría de Energía, 2001) Lo anterior le otorga a la cal porosidad y permeabilidad, que evitan que la humedad del ambiente quede atrapada, esta propiedad también permite al edificio transpirar, es decir el intercambio de fluidos dentro y fuera de los espacios.(Arandigoyen & Álvarez, 2006) Al impedir la humedad se evitan la aparición de salitre, exfoliación de materiales de mampostería y aparición de flora parásita.

Asepsia. Por su elevado PH, mayor a 12 puntos, la cal ha ayudado a combatir la aparición de organismos patógenos y de plagas. (Lara, 2023)

Otras cualidades que la mercadotecnia del cemento promueve para reemplazar a la cal, pero que sin embargo, deben revisarse y que en realidad dependen de como sea utilizada por el constructor, son las siguientes.

Compatibilidad con otros materiales. La cal se ha mezclado con incontables elementos. Se ha aplicado sobre muros de: piedra, tierra, ladrillo, block de cemento, etc. Prado (2000) refiere que la cal es un material con posibilidades de construcción y ornamentación casi infinitas. En ese sentido la cal es también estética. El aplanado y la pintura de cal dan una apariencia natural y fina, debido al grado de fragmentación de sus partículas que genera una textura agradable al tacto.

Durabilidad. Los sistemas constructivos con mortero a base de cal han evidenciado, en edificios de la época prehispánica y virreinal, que pueden permanecer siglos. La cal era obtenida y procesada por métodos tradicionales, pero al utilizarla de manera correcta perdura mucho tiempo en buenas condiciones.

Rendimiento. Los morteros de cal rinden hasta un 50% más que los morteros de cemento debido a su consistencia. La cal es más porosa y su densidad es menor. El mortero cemento-arena tiene un peso volumétrico de 2.10 T/m_3 y el de cal 1.50 T/m_3. En el uso en obra seca más lento, eso permite menos desperdicio, al durar más tiempo la mezcla preparada sin endurecerse y quedar inutilizada como la del cemento.

3. Metodología

El estudio se desarrolló mediante un análisis cuantitativo y comparativo orientado a estimar la reducción del impacto ambiental derivada de la sustitución de acabados

convencionales a base de cemento portland por alternativas elaboradas con cal.

Primero se tomó como unidad de análisis una vivienda de interés social, que suele ser construida masivamente y que en México se promedia en 60 m² de construcción (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2017).

A partir de las divisiones de la vivienda de 60m^2, se cuantificaron los m^2 en los acabados de: aplanados de muros, firmes o pisos y entortado de azotea, por ser elementos susceptibles de sustitución sin modificar la seguridad estructural de la vivienda. A partir de las características y proporciones de los sistemas constructivos convencionales, se determinaron las cantidades para realizar morteros de cemento requeridas y se establecieron sus equivalentes mediante morteros de cal hidratada, considerando proporciones, espesores, superficies y rendimientos de los materiales.

Posteriormente, las cantidades obtenidas para cada alternativa, se investigaron las emisiones de CO_2 asociadas a la fabricación de cal y cemento. (Energy Agency, 2023; European Lime Association, 2022; World Business Council for Sustainable Development, 2018), expresados por tonelada de producto, donde también se consideraron, los porcentajes de reabsorción de CO_2 reportados por las mismas fuentes, con el propósito de obtener una estimación de las emisiones netas por la cantidad de viviendas que se proyecta construir en un año en México. De manera complementaria, se incorporó el impacto asociado a la pintura como acabado. Con estos datos se compararon las cantidades de emisiones de CO_2 de cada alternativa de material en los acabados, además de costos, y consumo energético correspondientes de acuerdo al Inventory of Carbon and Energy (ICE).

Con el mismo procedimiento, se realizó un análisis de viviendas existentes sin recubrimiento final, para dimensionar el impacto potencial a escala urbana si se las casas recibieran ese acabado. Para ello se utilizaron datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI correspondientes a viviendas sin recubrimiento de fachada en Pachuca de Soto, Hidalgo, que también establece una superficie promedio de fachada por vivienda, para determinar las cantidades de material necesario. Con base en ello, se calcularon las emisiones de CO_2 correspondientes a la aplicación de acabados de cemento y de cal y se compararon sus emisiones totales, obteniendo una estimación del impacto ambiental.

4. Desarrollo y resultados

4.1. Análisis y cuantificación de acabados convencionales y alternativas a base de cal

Para efectos de este estudio, se consideró como referencia a la vivienda de interés social de 60 m^2 de superficie construida. Esta superficie constituye un parámetro representativo dentro de los criterios normativos y programáticos de la vivienda social en México. Como antecedente, el CEV (Código de Edificación de Vivienda, 2017), establece dimensionamientos de superficie mínima para los diferentes espacios habitables: estancia, comedor, cocina, baño completo, dos a tres recámaras, patio de servicio y circulaciones. La superficie resultante para ese tipo de vivienda de clasificación tradicional/popular se encuentra entre 55 y 62.5 m² (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2017).

Esta referencia es consistente con el Programa Vivienda para el Bienestar, correspondiente al periodo 2025–2026, que también establece una superficie mínima construida de 60 m² para la vivienda de interés social, contemplando una distribución funcional con los mismos espacios habitables antes mencionados (Gobierno de México, 2025).

Por lo anterior, se cuantifican los acabados para muros divisorios, firmes y entortados en azotea para la vivienda tipo de 60 m², como unidad de análisis (Tabla 2).

Tabla 2. Cuantificación de aplanados acabado fino para vivienda de interés social de 60m^2

Espacio	cant	m^2	Dimensiones		Muros Perímetro interior (p)	h	Área (p*h)
			L	Anch.			m^2
Recámaras	2	20.48	3.2	3.2	25.6	2.3	58.88
Sala - comedor	1	20.80	6.5	3.2	19.4	2.3	44.62
Cocina	1	11.2	3.5	3.2	6.7	2.3	15.41
Baño (azulejo)	1	3.75	2.5	1.5			
Circulación (pasillo)	1	3.77	2.6	1.5	8.1	2.3	18.63
M2 construidos		**60.00**					
Fachada frontal exterior					6.8	3.0	20.4
					Área sin restar vanos		157.94
Ventanas	-6		1.5	1.5			-13.5
Puertas	-5		0.9	2.1			-9.45
					M^2 aplanados		**134.99**

Elaboración propia (2026) con datos de (CONAVI, 2017, Gobierno de México, 2025)

Esta consideración permite establecer una base homogénea para cuantificar y comparar cantidades de material en los acabados convencionales a base de cemento con las alternativas de cal analizadas en este estudio. (Tabla 3). Las cantidades de material se obtuvieron a las proporciones y rendimientos estándar. (Grupo Calidra, 2007; IMCYC, 2018; Pérez et al., 2021, p. 41)

Tabla 3. Sustitución de sistemas de acabados de morteros de cemento por cal

Concepto	Cant. (m^2)	Acabado de Cemento	Cem (t)	Acabado alterno de cal hidratada[1]	Cal hidratada (t)
Aplanado acabado fino. Esp. 2.5cm	135	Mortero cem-arena prop. 1:3, esp. 2.5 cm	2.75	Mortero cal-arena, porp.1:3, esp. 2.5cm, acabado con pintura de cal	1.14
Firme o piso	60	Concreto fc=150 kg/cm^2, esp. 10 cm; acabado pulido con mortero 1:5	2.20	Piso de mortero de cal 1:6, esp. 5cm, con acabado fino de cal-arena	1.50
Entortado losa de azotea	60	Mortero cemento-arena prop. 1:3, esp. 5cm	0.86	Mortero cal-arena, prop. 1:3, esp. 5cm	0.88
Costo t material	$3,875.00		**5.81 t**	$3,720.00	**3.52 t**
COSTO PESOS M.N./T	$ 21,377.00			$ 14,383.38	

Notas:
1. Los morteros consideran solo cal, en algunos casos se puede agregar 10% cemento para fraguado rápido. Rendimientos promedio con superficies regulares niveladas, incluye desperdicio. (Grupo Calidra, 2007; IMCYC, 2018; Pérez et al., 2021, p. 41)

Elaboración propia (2026) en base de:
Fuentes: (Grupo Calidra, 2007; IMCYC, 2018; Pérez et al., 2021, p. 41)

Los resultados de la tabla 3, sustituyendo al cemento con cal como material base, muestran la reducción de cantidad de material y por consecuencia de costo en los acabados, en cerca de $7,000 pesos 00/100 M.N. Estos resultados se tomarán como referencia para el desarrollo de los siguientes apartados que analizan la disminución del impacto ambiental.

4.2. Estimación de la reducción de emisiones de CO_2 por la sustitución de acabados

A partir de las cantidades de cemento y cal determinadas para los acabados de la tabla 3 del apartado anterior, se estimaron las emisiones de CO_2 asociadas a la fabricación de ambos materiales: cemento y cal, con el propósito de comparar el impacto ambiental de las dos alternativas. Para ello, se consideraron los factores de emisión reportados en la literatura para cada material y posteriormente se incorporó su capacidad de reabsorción de CO_2 mediante el proceso de recarbonatación, a fin de obtener una estimación de las emisiones netas.

En el caso de la cal, la European Lime Association (2022) reporta un rango de 0.90 a 1.10 toneladas de CO_2 por tonelada de cal producida. Para el cemento Portland, los valores reportados se encuentran entre 0.80 y 0.95 toneladas de CO_2 por tonelada de material (Cámara Nacional del Cemento, 2023; Andrew, 2019).

A los valores mencionados se considera también la capacidad de recarbonatación natural de ambos materiales, es decir, su potencial para reabsorber CO_2 a lo largo de su vida útil. Los productos de cal pueden recuperar alrededor de 30% de las emisiones liberadas durante su fabricación (European Lime Association, 2022), mientras que el cemento Portland presenta el 25% de acuerdo con los análisis de ciclo de vida de la Internacional Energy Agency (2023) y de la World Bussiness Council for Sustainable Development (2018).

En la tabla 4. Se establecen la comparación de emisiones de CO_2 con las cantidades obtenidas de la tabla 3. Se agregó un parámetro del impacto de la pintura, que también es un factor significativo en el acabado de la vivienda. La pintura es un producto que genera también otros tipos de contaminantes al ambiente, entre ellos oxidación fotoquímica, depreciación de la capa de ozono y acidificación, (Stichnothe et al., 2011) provocados principalmente por los compuestos orgánicos volátiles (COV) (Maydos Coating, 2022) además peligrosos para la salud humana.

Los datos se multiplicaron por la cantidad de 186 mil viviendas de interés social que se proyecta construir en un año en México (Maldonado, 2025), y así obtener la cantidad posible ahorro de emisiones de CO_2.

Tabla 4. Comparación de emisiones de CO_2 por uso de cemento y de cal en acabados de vivienda de $60m^2$

Cantidades por vivienda			
Material para acabados (tabla 3)	Emisión neta CO_2 (t)	Proyección viviendas de interés social construidas 2025	Emisión CO2 (t)
Cem 5.81 t	4.14	186 mil	770,040 (A)
Cal 3.52 t	2.71	186 mil	504,060 (B)
Pint vin. 27 lt*	0.018	186 mil	3,348 (C)
Ahorro CO2	1.45 T	(A+C)-B =	**269,328 T**

Elaboración propia en base a resultados de tabla 3 y datos de (European Lime Association, 2022; International Business Council for Sust Maldonado, 2025)
* Calidad promedio, fuente: (Stichnothe et al., 2011)

La sustitución de cemento Portland por cal en los acabados de una vivienda de 60 m² representa una reducción estimada de 1.45 t de CO_2 por vivienda (- 35%)**.** Esta reducción, adquiere notabilidad al considerar la contribución de los materiales de construcción al impacto ambiental de la vivienda. Gámez-García et al. (2019), mediante un análisis de ciclo de vida de una vivienda social mexicana, estimaron una carga de 17 t de CO_2 equivalente durante su ciclo de vida**,** de las cuales aproximadamente 13 t corresponden a las etapas de construcción (A1-A5). Asimismo, los autores identificaron que las etapas de producción de materiales (A1-A3) representan aproximadamente 70–72 % del potencial de calentamiento global**,** debido principalmente a materiales como concreto, acero, piezas cerámicas y morteros.

Este resultado se incrementa al considerar la escala de la construcción habitacional en México. La Cámara Nacional del Cemento (CANACEM) reporta una producción promedio

anual de 42.5 millones de toneladas de cemento Portland**,** además de aproximadamente 4.8 millones de toneladas de mortero**,** lo que evidencia la magnitud de los materiales cementantes empleados en el sector de la construcción. En este contexto, la construcción de 186,000 viviendas nuevas prevista durante año Maldonado (2025), permite dimensionar un escenario de aplicación masiva, al proyectar sobre este universo la reducción de emisión o ahorro potencial de 268,328 t de CO_2**.** Esta cifra no implica que la totalidad corresponda directamente a la industria cementera ni constituye una reducción observada, sino que representa un escenario potencial derivado de la sustitución de cemento por cal en acabados del sector de la construcción**.**

La estimación del consumo energético de los materiales, referente a la energía incorporada en todo el ciclo de vida desde su fabricación hasta eliminación, donde se involucra la emisión de GEI también se consideró en este análisis. El Inventory of Carbon and Energy (ICE) de Hammond y Jones (2008), refiere que el cemento Portland supera a la cal hidratada, presentando valores entre 4.60 y 5.90 MJ/kg, mientras que la cal registra valores entre 4.57 y 5.30 MJ/kg. La tabla 5 muestra el ahorro en el consumo energético asociado a las cantidades estimadas anteriormente.

Tabla 5: Ahorro del consumo energético en sustitución de material en acabados de vivienda tipo

Material	Cantidad por vivienda (t)	Energía incorporada (MJ/kg)*	Energía total (GJ)
Cemento Portland	5.81	4.60-5.90	26.72-34.28
Cal hidratada	3.52	4.57-5.30	16.08-18.66

Elaboración propia (2026) con datos de Inventory of Carbon and Energy (ICE) de Hammond y Jones (2008)*

Aunque los valores unitarios de energía incorporada por kilogramo son relativamente cercanos entre ambos materiales, la diferencia más significativa se encuentra en la cantidad total requerida por vivienda. El sistema convencional sustituido por la alternativa con cal hidratada, representa una reducción aproximada del 39.4 % en masa de material utilizado. Como consecuencia, la energía total asociada a los acabados, equivalente a una reducción aproximada de 40 % y 46 % menos energía incorporada.

4.3. Proyección del impacto ambiental en viviendas existentes

Con la estimación de las emisiones netas de CO_2 derivadas del uso de materiales de acabados en fachadas, también se puede dimensionar el impacto ambiental de la aplicación de aplanados exteriores y pintura a viviendas ya existentes, que han pospuesto hacerlo, lo más probable por falta de recursos. Por ejemplo en Pachuca de Soto, Hidalgo, el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) cuantificó 11,987 viviendas sin recubrimiento en fachada. Este dato proviene en su mayoría del parque habitacional de bajos recursos que han perdido sus recubrimientos o que nunca contaron con ellos, los cuales son indispensables para la protección del inmueble y la mejora del confort térmico interior (Minke, 2012). En la Figura 1 ejemplifica que las viviendas con aplanados no solo dejan de estar más expuestas a la degradación medioambiental, también representa una mejora a la imagen urbana.



Figura 1. (a)



Figura 1. (b)

Figura 1. (a) Fachadas sin aplanado en Barrio Camelia, Pachuca, Hidalgo. Elaboración propia 2022. (b) Imagen generada por IA con acabados en fachadas. (Google Gemini, 2026)

En la tabla 6 se cuantifica el impacto ambiental si se utiliza cal para hacer ese acabado

Tabla 6. Emisiones estimadas por la aplicación de acabados en fachadas de viviendas existentes

Indicador	Acabado con cemento	Acabado con cal	Diferencia
Viviendas sin aplanado	11,987	11,987	-
Superficie de fachadas	431,532 m²	431,532 m²	-
Material requerido	8,790.47 t	3,644.05 t	−5,146.42 t
Emisión CO_2	8,350 t	4,008 t	−4,342 t
Reducción relativa	-	-	≈52%

Elaboración propia (2026) con datos de Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI) y promedio de m^2 de fachada por vivienda.

El resultado de reducción relativa de 52% de CO_2, no radica únicamente en la cantidad absoluta de emisiones evitadas, sino en la posibilidad de intervenir sobre un componente de la vivienda que no tiene una función estructural y, por tanto, puede ser susceptible de sustitución bajo las condiciones técnicas apropiadas. El escenario analizado muestra que la reducción de emisiones puede alcanzarse sin plantear la sustitución generalizada del cemento en la vivienda, sino disminuyendo su utilización en

aplicaciones específicas de acabado. Esta estrategia incide también en la fabricación de materiales, porque constituye una de las etapas de mayor impacto ambiental de la construcción Gámez-García et al. (2019), relacionadas con la descarbonización de la industria cementera.

5. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la selección de materiales para los acabados puede contribuir a disminuir el impacto ambiental asociado a la construcción de vivienda mediante la sustitución del cemento Portland por cal en aplicaciones localizadas. Esta interpretación es consistente con el análisis de ciclo de vida de vivienda social mexicana realizado por Gámez-García et al. (2019), quienes identifican que las etapas asociadas con la producción de materiales tienen una participación importante en el potencial de calentamiento global de la edificación.

Considerando la escala de producción habitacional y la magnitud de la industria cementera en México por su elevada demanda, los resultados obtenidos muestran el potencial de generar ahorros acumulativos tanto en la construcción de vivienda nueva como en acciones de mejoramiento de viviendas existentes, mediante decisiones aparentemente menores, cuando se reproducen en un número elevado de unidades.

Los resultados deben interpretarse considerando que el impacto ambiental de los acabados depende de múltiples variables, entre ellas la superficie intervenida, el espesor del recubrimiento, la composición del mortero, las técnicas de preparación y aplicación, las condiciones de exposición y las labores de mantenimiento. La durabilidad de los recubrimientos también está condicionada por estos factores (Houben & Guillaud, 1994; Minke, 2012). Por ello, los valores obtenidos corresponden a las condiciones y supuestos establecidos en este estudio y no deben extrapolarse como un comportamiento universal para cualquier sistema de cal. Una investigación posterior podría ampliar el análisis incorporando otras aplicaciones de este material, así como las etapas de mantenimiento, reposición y disposición final.

La recuperación de los acabados a base de cal puede contribuir también a conservar conocimientos constructivos tradicionales cuya permanencia depende de su transmisión y utilización práctica (CRATerre, 2006; Barbero & Montoya, 2025). En este sentido, el empleo de la cal no debe entenderse exclusivamente como una estrategia de reducción de emisiones, sino también como una posibilidad de recuperar soluciones constructivas funcionales y culturalmente apropiadas que fueron desplazadas progresivamente por materiales industrializados (Maldonado & Rivera, 2018).

Conclusiones

El análisis realizado permite concluir que la sustitución del cemento Portland por cal en determinados acabados de una vivienda puede reducir de manera significativa las emisiones de CO_2 asociadas a estos componentes. Para la vivienda de interés social estudiada, la alternativa a base de cal permitió estimar una reducción cerca del 35 % respecto al escenario de acabados con cemento considerado. La proyección de los resultados adquirió mayor relevancia al considerar la escala de construcción de vivienda de interés social en México. El potencial se encuentra en la aplicación repetida de estas decisiones a escala de programas de vivienda.

Asimismo, en el análisis de la falta de recubrimientos de fachadas existentes, donde miles de viviendas han dejado al intemperismo sus muros porque sus habitantes suponen realizar un gasto excesivo, pueden aplicar aplanados y pintura a base de cal, reduciendo no solo el gasto en materiales cementantes y pintura vinílica, también reducen hasta en 50% las emisiones de CO_2 .

No obstante, el uso de cal no debe entenderse como una sustitución general del cemento, sino como una estrategia de reducción de su consumo en aplicaciones específicas donde no desempeña una función estructural y donde las características del proyecto lo permitan. Esta distinción es fundamental, ya que el objetivo no es comprometer el desempeño de la vivienda, sino racionalizar el empleo de materiales de mayor impacto ambiental cuando existen opciones funcionales para determinadas aplicaciones. En este sentido, los resultados respaldan la necesidad de incorporar criterios ambientales desde la selección de materiales, sobre todo para sectores de menores ingresos.

Finalmente, la recuperación de los acabados tradicionales de cal representa una oportunidad que integra consideraciones ambientales, constructivas, económicas y culturales. En esta recuperación de dimensión social, siempre debe considerarse que los materiales y las técnicas sean accesibles y adecuados a las condiciones locales. Además de su potencial para disminuir las emisiones asociadas a los acabados analizados, su recuperación contribuye a mantener conocimientos y prácticas constructivas que forman parte del patrimonio técnico y cultural de las comunidades. En consecuencia, el estudio plantea que la construcción y el mejoramiento de la vivienda pueden incorporar estrategias de sustitución material que permitan reducir su impacto ambiental sin modificar los sistemas estructurales y atendiendo a las condiciones técnicas específicas de cada aplicación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores utilizaron ChatGPT para mejora de la redacción y Gemini para generar una imagen que está citada en el texto. Todo el contenido generado o sugerido por las herramientas fue revisado y editado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

Referencias

Andrew, R. M. (2019). Global CO_2 emissions from cement production, 1928–2018. Earth System Science Data, 11(4), 1675–1710. https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019

Arandigoyen, M., & Álvarez, J. I. (2006). Proceso de carbonatación en pastas de cal con distinta relación agua/conglomerante. Materiales de

Construcción, 56(281), 5–18. https://doi.org/10.3989/mc.2006.v56.i281.83

Barbero Barrera, M. del M., & Montoya Robles, T. del P. (2025). La recuperación del uso de morteros de cal. La situación en el Perú. Ensayo: Revista de Arquitectura, Urbanismo y Territorio, (7), 69–83. https://doi.org/10.18800/ensayo.202507.004

Cámara Nacional del Cemento. (2023). Hoja de Ruta México-FICEM: Hacia una economía baja en carbono. https://canacem.org.mx/site/wp-content/uploads/2023/03/Folleto-Hoja-de-Ruta-CANACEM.pdf

Cámara Nacional del Cemento [CANACEM],(2026) Datos de la industria Hoja de Ruta México-FICEM

Calistro Paita, G., Aguillón Robles, J., & Arista Gonzáles, G. (2021). Análisis bioclimático de la tradición constructiva de la vivienda rural en la Huasteca Potosina. Limaq, 8(008), 53–71. https://doi.org/10.26439/limaq2021.n008.5551

Cruz Vázquez, Ó. R., Salazar Martínez, B. L., & Guerrero Baca, L. F. (2024). Sistemas constructivos tradicionales del patrimonio biocultural de la Mixteca Poblana, México. *Journal of Traditional Building, Architecture and Urbanism*, (5), 387–403. https://doi.org/10.51303/jtbau.vi5.772

CDT. (Construcción, desarrollo tecnología) (2024, octubre 30). PATAFORMA CDT El sector de la construcción ante el gran reto de edificar sin impacto en el medio ambiente. Recuperado de https://www.cdt.cl/el-sector-de-la-construccion-ante-el-gran-reto-de-edificar-sin-impacto-en-el-medio-ambiente/

Cedeño Valdiviezo, A. (2011). Aglomerantes, morteros y aplanados adecuados para proteger el medioambiente. Revista de Arquitectura (Bogotá), 13(1), 106–117. Recuperado a partir de https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/774

COM-CAL Natural S.L. (2024). Catálogo web 2024. https://com-cal.com/wp-content/uploads/2024/03/Catalogo_web_2024.pdf

Comisión Nacional de Vivienda. (2017). *Código de Edificación de Vivienda* (3.ª ed.). Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano / Comisión Nacional de Vivienda. https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda-3ra-edicion-2017

Correa López, G. (2014). Construcción y acceso a la vivienda en México; 2000–2012. Intersticios Sociales, (7), 1–31. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-49642014000100005

CRATerre. (2006). Earth construction: A comprehensive guide. Thames & Hudson.

Deffis Caso, A. (1999) La Casa Ecológica Autosuficiente. Edit. Árbol

European Lime Association. (2021). EuLA carbonation booklet (versión en español). https://eula.eu/wp-content/uploads/2023/11/EuLA-Carbonation-Booklet_32xA4_ES_20211125.pdf

Estados Unidos Mexicanos. (2024). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf

Galván-Ruiz, M., & Velázquez-Castillo, R. (2011). Cal, un antiguo material como una renovada opción para la construcción. Ingeniería Investigación y Tecnología, 12(1). https://www.revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/24120

Gámez-García, D. C., Saldaña-Márquez, H., Gómez-Soberón, J. M., Arredondo-Rea, S. P., Gómez-Soberón, M. C., & Corral-Higuera, R. (2019). Environmental challenges in the residential sector: Life cycle assessment of Mexican social housing. Energies, 12(14), 2837. https://doi.org/10.3390/en12142837

Google Gemini. (2026). Visualización de fachadas en calle Camelia con aplanados y pintura de cal blanca [Imagen generada por IA basada en una fotografía del usuario]. Google. https://gemini.google.com

Gobierno de México. (2025). *Programa Vivienda para el Bienestar: Criterios y características de la vivienda*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano / Comisión Nacional de Vivienda / Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores. https://viviendabienestar.gob.mx/

Grupo Calidra. (2007). Guía práctica para la construcción. Grupo Calidra. https://www.calidra.com/wp-content/uploads/2025/10/Guia-practica-para-la-construccion.pdf

Hammond, G.P., & Jones, C.I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy, 161(2), 87-98.

Houben, H., & Guillaud, H. (1994). Earth construction: A comprehensive guide. Intermediate Technology Publications.

Igan Deniz. (2024). La crisis de asequibilidad de la vivienda. Fondo Monetario Internacional. https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2024/12/the-housing-affordability-crunch-deniz-igan

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020: Viviendas particulares habitadas (tabulados básicos). INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

International Energy Agency. (2023). Cement. IEA. https://www.iea.org/reports/cement

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2018). *Manual de dosificación y rendimientos de concretos y morteros en la edificación*. IMCYC.

Lara Calderón, M. L. (2023). Caracterización de los morteros de revestimiento del Quito colonial en los siglos XVI, XVII y XVIII (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/76707/1/MARCO_LENIN_LARA_CALDERON.pdf

Maldonado, C. S. (2025, mayo 6). El Gobierno de Sheinbaum promete construir 186.000 viviendas nuevas en 2025. El País. https://elpais.com/mexico/2025-05-06/el-gobierno-de-sheinbaum-promete-construir-186000-viviendas-nuevas-en-2025.html

Maldonado, L., & Rivera, J. (2018). Arquitectura vernácula y técnicas tradicionales en México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Maydos Coating. (2022, noviembre 10). The environmental impact of production for paint manufacturers. https://es.maydoscoating.com/2022/11/10/the-environmental-impact-of-production-for-paint-manufacturers/

Minke, G. (2012). Manual de construcción en tierra: Materiales, técnicas y aplicaciones. Fin de Siglo.

Navas, A., et al. (2015, diciembre). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. Enfoque UTE.

ONU-Habitat. (s. f.). Vivienda inviable para la mayoría. https://onu-habitat.org/index.php/vivienda-inviable-para-la-mayoria

Pérez Ramírez G., et. al. (2021) *Manual para la recuperación de técnicas constructivas tradicionales*. Edit. Mayahuel

Prado Nuñez. R. (2000) *Procedimientos de restauración y materiales*. Edit. Trillas

Rudofsky, B. (2007). Constructores prodigiosos: Apuntes sobre una historia natural de la arquitectura. Editorial Pax México.

Sánchez Calvillo, A., Alonso Guzmán, E. M., & López Núñez, M. del C. (2021). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (10), 9–29. https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162

Secretaría de Energía. (2001, 25 de abril). Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). Calidad del aire en la Cuenca Atmosférica de Tula: Informe 2024. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/922359/07_2024_Calidad_del_aire_Cuenca_Atmosf_rica_de_Tula_010823_final.pdf

Solano García, N. E. (2022). Materiales para la edificación: Material complementario para las asignaturas de Sistemas Ambientales I y II. Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.fa.unam.mx/

Statista. (2023). Ranking de los principales países productores de cemento a nivel mundial en 2022. https://es.statista.com/estadisticas/600158

Stichnothe, U., Morgan, A., Gujba, H., & Adisa Azapagic (2011). Estimating the carbon footprint of paints: Some important considerations. Surface Coatings International, 94(3), 108–114. https://www.researchgate.net/publication/359577531_Estimating_the_Carbon_Footprint_of_Paints_Some_Important_Considerations

Timperley, J. (2018, 13 de septiembre). Q&A: Why cement emissions matter for climate change. Carbon Brief. https://www.carbonbrief.org/qa-why-cement-emissions-matter-for-climate-change/

Tovar Alcázar, R. (2018). La cal: Ciencia, técnica y arte. Trillas.

Universidad Autónoma de Madrid. (s. f.). Observatorio UAM Vía Célere. https://eventos.uam.es/observatoriouamviacelere

Watts, J. (2019, marzo 4). Cemento: el material más destructivo de la Tierra. elDiario.es. https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/cemento-material-destructivo-tierra_1_1675968.html

World Business Council for Sustainable Development. (2018). The cement sustainability initiative: Recycling concrete. WBCSD.