



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad
Morelia

Análisis de ciclo de vida y mitigación de
impactos ambientales en muros de sistemas
constructivos urbanos

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

CARLA BUCIO SISTOS

DIRECTOR: MTRO. LUIS BERNARDO LÓPEZ SOSA
CO-DIRECTOR: DR. CARLOS ALBERTO GARCÍA BUSTAMANTE

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad
Morelia

Análisis de ciclo de vida y mitigación de
impactos ambientales en muros de sistemas
constructivos urbanos

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

CARLA BUCIO SISTOS

DIRECTOR: MTRO. LUIS BERNARDO LÓPEZ SOSA
CO-DIRECTOR: CARLOS ALBERTO GARCÍA BUSTAMANTE

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE
DIRECTORA
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 13** del **Comité Académico de la Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **12 de noviembre del 2018**, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno (a) **Carla Bucio Sistos** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **414108200**, con el trabajo profesional titulado: "Análisis de ciclo de vida y mitigación de impactos ambientales en muros de sistemas constructivos urbanos", bajo la dirección como **tutor** del M. en C. Luis Bernardo López Sosa y como Co-tutor: Dr. Carlos Alberto García Bustamante.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente: Mtra. Carolina Tapia Torres
Vocal: Mtro. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez
Secretario: M. en C. Luis Bernardo López Sosa
Suplente 1: Dr. Ricardo Musule Lagunes
Suplente 2: Dr. José Núñez González

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 01 de febrero del 2019.


DR. VÍCTOR HUGO ANAYA MUÑOZ
SECRETARIO GENERAL

Ofrezco un reconocimiento a la Licenciatura en Ciencias Ambientales y a los apoyos recibidos durante la realización de la presente tesis. Asimismo, agradezco a los miembros del jurado, la Mtra. Carolina Tapia Torres, el M. en C. Luis Bernardo López Sosa, el M. en C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez, el Dr. Ricardo Musule Lagunes y el Dr. José Núñez González, por su invaluable sugerencias y comentarios sobre la tesis.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM ENES Morelia por brindarme las bases para poder realizar mi tesis de licenciatura.

A mi tutor, el M. en C. Luis Bernardo López Sosa y a mi co-tutor, el Dr. Carlos Alberto García Bustamante por el apoyo brindado.

Un especial agradecimiento al Dr. Joan Rieradevall, quien me abrió las puertas para realizar la estancia de investigación en el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (ICTA) y me brindó sugerencias y comentarios oportunos.

A la Mtra. María del Carmen Buerba por la asesoría brindada.

A mi mamá, Enrique, mis hermanas, Gerardo y a mis amigos y amigas porque su apoyo fue fundamental en la realización de mi tesis.

Índice

Resumen	8
Abstract	8
Índice de tablas	9
Índice de figuras	9
Glosario	11
Capítulo 1. Introducción	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. El crecimiento poblacional y las grandes ciudades	15
1.3. El sector vivienda mexicano	16
Capítulo 2. Marco teórico	18
2.1 Cambio Climático ante el incremento poblacional	18
2.2 La arquitectura convencional y sus impactos ambientales	19
2.3 La arquitectura sustentable	24
2.3.1 Alcances y limitaciones	25
2.4 Impactos ambientales asociados a la construcción sustentable	25
2.5 Metodologías para la evaluación ambiental	26
2.6 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	26
2.7 Softwares para ACV	27
Capítulo 3. Metodología	27
3.1 Pregunta de investigación	27
3.2 Objetivo general	28
3.3 Objetivos específicos	28
3.4 Hipótesis	28
3.5 Justificación	28
3.6 Metodología	29
3.6.1 Análisis de impactos ambientales	30
3.7 Análisis de impactos ambientales	31
3.7.1 Alcance del estudio	31
3.7.2 Unidad funcional	32
3.7.3 Definición de los límites del sistema	32
3.7.4 Criterios de asignación	35

3.7.5 Fuente de datos	35
3.7.6 Impactos a evaluar	35
3.7.7 Análisis de inventario	36
3.7.7.1 Block hueco de concreto	36
3.7.7.2 Tabique industrial	37
3.7.7.3 Tabique tradicional	39
3.8 Análisis económico	39
3.8.1 Dimensionamiento económico de materias primas	39
3.8.2 Dimensionamiento económico de mano de obra	41
3.9 Análisis energético funcional	41
3.9.1 Análisis térmico	41
3.9.2 Análisis acústico	42
3.9.3 Análisis de propiedades mecánicas	43
3.10 Análisis comparativo	43
Capítulo 4. Resultados y discusión	44
4.1 Evaluación del impacto ambiental	44
4.1.1 Potencial de calentamiento global	44
4.1.2 Potencial de acidificación	45
4.1.3 Potencial de eutrofización	45
4.1.4 Interpretación	46
4.2 Evaluación económica	49
4.2.1 Estimación de costos generales	49
4.3 Análisis energético funcional	51
4.3.1 Resistencia térmica	51
4.3.2 Evaluación acústica	52
4.3.3 Evaluación de propiedades mecánicas	52
4.4 Integración de resultados	52
4.5 Discusión	54
4.6 Conclusiones	57
Referencias	59
Anexos	63

Resumen

El presente estudio se centra en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de tres muros de 1 m² construidos a partir de diferentes materiales; uno construido con base en tabique tradicional, un segundo constituido de block hueco de concreto y, por último, un muro de tabique industrial; materiales que pueden ser utilizados en cualquier sistema constructivo urbano. Se incluye un análisis comparativo integrado, que incorpora una evaluación multiparamétrica de todos los resultados obtenidos, con el fin de que el usuario pueda tomar decisiones en función de una matriz que contempla distintos parámetros, tanto ambientales y energéticos como de carácter económico. La información para el análisis de inventario se obtuvo mediante la recolección directa de información, las bases de datos Ecoinvent y NREL, así como a través de la búsqueda bibliográfica. El ACV se realizó utilizando la herramienta Excel y los resultados muestran impactos ambientales elevados para el m² de muro de tabique tradicional, seguido por aquel de block hueco de concreto, siendo el tabique industrial el que afecta en menor medida al ambiente. Asimismo, se encontró que el impacto ambiental no necesariamente está relacionado con los indicadores de funcionalidad de los materiales constructivos estudiados, tampoco con los indicadores económicos. Por lo tanto, se puede concluir que esta herramienta comparativa no sólo refleja las diferencias entre los materiales, sino que representa una metodología para la toma de decisiones de tal forma que la selección de materiales dependerá de la importancia de cada uno de los parámetros propuestos.

Abstract

The present study focuses on the Life Cycle Assessment (LCA) of three walls of 1 m² constructed of different materials; one built of traditional brick, a second constituted of hollow concrete blocks and finally, a wall system made from industrialized bricks; materials that can be used in any urban construction system. An integrated comparative analysis is included, which incorporates a multiparametric evaluation of the results obtained, in order that the user can make decisions based on a matrix that contemplates different parameters: environmental, energetic and economic. The information for the inventory analysis was obtained from the direct information gathering, the Ecoinvent and NREL databases, and through a bibliographic research. The LCA was performed using the Excel tool and the results show high environmental impacts for the m² of traditional brick wall, followed by that of hollow concrete block, with the industrial brick affecting the environment to a lesser extent. It was found that the environmental impact is not necessarily related to the functionality indicators of the construction materials studied, nor to the economic indicators. Therefore, it can be concluded that this comparative tool not only reflects the differences between the materials studied but represents a methodology for decision making that can be diversified according to the prioritization of the proposed parameters, so that the selection of materials will depend on the importance of each of the proposed parameters.

Índice de tablas

Tabla 1. Impactos a evaluar.	36
Tabla 2. Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de block hueco de concreto.	37
Tabla 3. Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de tabique industrial.	38
Tabla 4. Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de tabique tradicional.	39
Tabla 5. Costo de materias primas para la construcción de 1 m ² de muro de block hueco de concreto.	40
Tabla 6. Costo de materias primas para la construcción de 1 m ² de muro de tabique industrial.	40
Tabla 7. Costo de materias primas para la construcción de 1 m ² de muro de tabique tradicional.	40
Tabla 8. Definición de valores para la unidad funcional m ² (máximos y mínimos).	43
Tabla 9. Emisiones de CO ₂ eq por muro.	44
Tabla 10. Emisiones de CO ₂ eq derivadas del transporte por m ² de muro.	44
Tabla 11. Emisiones de SO ₂ eq por muro.	45
Tabla 12. Emisiones de SO ₂ eq derivadas del transporte por m ² de muro.	45
Tabla 13. Emisiones de PO ₂ eq por muro.	45
Tabla 14. Emisiones de PO ₂ eq derivadas del transporte por m ² de muro.	45
Tabla 15. Costos generales para la construcción de 1 m ² de muro de block de concreto.	50
Tabla 16. Costos generales para la construcción de 1 m ² de muro de tabique industrial.	50
Tabla 17. Costos generales para la construcción de 1 m ² de muro de tabique tradicional.	50
Tabla 18. Costos generales para la construcción de 1 m ² de muro de concreto.	51
Tabla 19. Ponderación de los valores normalizados.	53

Índice de figuras

Figura 1. Consumo final energético en el sector residencial, comercial y público en México.	16
Figura 2. Promedio global de concentraciones de gases de efecto invernadero.	19
Figura 3. Emisiones antropogénicas globales de CO ₂ .	19
Figura 4. Principales fuentes de emisión de CO ₂ con respecto al consumo de energías en la producción del cemento (Límites: cuna a puerta).	21
Figura 5. Proceso de producción de block de concreto	22
Figura 6. Proceso de producción de ladrillo artesanal.	23
Figura 7. Proceso de producción de ladrillo industrial.	23
Figura 8. Metodología integrada.	30
Figura 9. Fases de un ACV de acuerdo a ISO 14040.	30
Figura 10. Imagen satelital de la UNAM ENES Morelia.	32
Figura 11. Etapas del ciclo de vida de una construcción según el estándar EN 15643-2 del CEN/TC 350.	33
Figura 12. Límite del sistema de block de concreto.	33

Figura 13. Límite del sistema de tabique industrial.	34
Figura 14. Límite del sistema de tabique tradicional.	34
Figura 15. Límite de los sistemas de muros.	35
Figura 16. Aislamiento térmico para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana.	42
Figura 17. Impactos ambientales de la producción de tabiques y block por m ² muro.	46
Figura 18. Impactos ambientales de la producción del total de materiales por m ² de muro.	47
Figura 19. Impactos ambientales derivados del transporte de materiales para 1 m ² de muro.	48
Figura 20. Impactos totales por m ² de muro.	49
Figura 21. Costos totales por m ² de muro.	52
Figura 22. Integración de resultados.	54
Figura 23. Análisis multiparamétrico integrado.	55

Glosario

Caracterización

Resulta en la conversión de los resultados del inventario en unidades equivalentes de una sustancia capaz de impactar negativamente en el medio ambiente, utilizando factores de caracterización. (Zabalza *et al.*, 2012)

Categorías de impacto

Grupos que representan los impactos potenciales al medio ambiente, derivados de los procesos o sistemas, a los cuales se asignan los resultados del inventario de ciclo de vida.

Clasificación

Fase del Análisis de Ciclo de Vida en la cual se asignan los datos del inventario a la categoría de impacto correspondiente. (Zabalza *et al.*, 2012)

Coefficiente de conductividad térmica (λ)

Medido en $W/m^2^{\circ}C$, es la cantidad de calor que pasa a través de una superficie de $1 m^2$ y es capaz de aumentar la temperatura $1^{\circ}C$ en ambos lados. (Escalona, 2007)

Coefficiente global de transferencia de calor (K)

También simbolizado por la letra U, el coeficiente K representa la velocidad con la que la energía en forma de calor se transmite desde el aire exterior al aire interior a través de la unidad de espesor de un material. Sus unidades en SI son $W/m^2^{\circ}C$. (Morillón, 2007)

Criterios de asignación

En caso de que los procesos a analizar generen más de un producto, los criterios de asignación son útiles para distribuir de manera equitativa los impactos en los distintos productos. (Zabalza *et al.*, 2012)

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Gases presentes en la atmósfera -tales como el dióxido de carbono, los óxidos nitrosos, el metano y los clorofluorocarbonos- derivados principalmente de actividades humanas, que atrapan la energía proveniente del sol y contribuyen al calentamiento global. (OECD, 2011)

Normalización

“Cálculo de la importancia relativa de los indicadores de impacto del sistema analizado en relación a las magnitudes reales o previstas a escala nacional, continental o global para dichos

indicadores”. (Zabalza *et al.*, 2012)

Ponderación

“Los resultados de los indicadores normalizados de las diferentes categorías de impacto son convertidos a unidades comunes utilizando para ello factores de ponderación numéricos basados en juicios de valor.” (Zabalza *et al.*, 2012)

Potencial de Acidificación

El potencial de acidificación de una sustancia se determina por su capacidad de formación de iones de hidronio (H^+), provenientes de la reacción química entre una molécula de agua y un ácido. Se expresa como el número de iones H^+ producidos por kg de sustancia en relación a los producidos por el SO_2 . La acidificación es la pérdida de la capacidad natural de neutralización del suelo y agua, como consecuencia de la adición de compuestos ácidos, tales como ácido sulfúrico y nítrico. (INECC, 2013)

Potencial de Calentamiento Global (PCG)

El PCG es el índice que mide el efecto y permanencia de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en comparación con la sustancia de referencia, el dióxido de carbono (CO_2), en un horizonte temporal determinado (20, 50 o 100 años). Dicho potencial se expresa en unidades de CO_2 equivalente. (IPCC, 2014)

Potencial de Eutrofización

Índice que mide el enriquecimiento excesivo de nutrientes derivados de actividades antropogénicas (principalmente fósforo y nitrógeno) en el agua, ocasionando una disminución en el oxígeno disuelto en el agua. La eutrofización representa una disminución en la calidad del agua. (INECC, 2013; IPCC, 2014)

Resistencia a compresión

Medida en Kg/cm^2 , se define como la capacidad de carga o el esfuerzo máximo que puede soportar un material por unidad de área.

Aislamiento acústico

Representa la capacidad que tiene un material para impedir que el sonido se introduzca en algún lugar o salga de él.

Resistencia térmica (R)

Corresponde a la capacidad de una sustancia para oponerse al flujo de calor a través de ésta (Morillón, 2007). La resistencia térmica está relacionada al espesor del material y está dada

por la siguiente fórmula:

$$R = L / k$$

Donde:

R = Resistencia térmica ($m^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$)

L = espesor del material (m)

k = conductividad térmica ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)

(Çengel, 1998)

La resistencia total de un muro representa la suma de todas las resistencias térmicas de cada material que lo compone.

Sistema constructivo

“Conjunto de elementos, técnicas, materiales y herramientas que forman una organización funcional con una misión constructiva común.” (Monjo, 2005)

Unidad funcional

En un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), los sistemas son evaluados de acuerdo a su función. La unidad funcional es la especificación física o funcional de un producto o sistema productivo que provee de una referencia que permite comparar resultados de un ACV.

(Curran, 2012)

Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia las sociedades humanas han sido capaces de transformar su entorno y adaptarlo a su estilo de vida con el objetivo de satisfacer necesidades básicas como la vivienda, la obtención de alimentos y otros recursos vitales como el agua, entre otros. El crecimiento poblacional y el actual sistema económico han derivado en una sobreexplotación de los recursos naturales así como en el aumento de desechos y emisiones de contaminantes a la atmósfera, haciendo creciente el llamado metabolismo industrial, definido como “el uso de materiales y energía por parte de la industria y de la forma en que estos materiales fluyen a través de los sistemas industriales, son transformados y son descartados como residuos” (Garner & Keoleian, 1995 citado por Bermejo, 2005).

Específicamente en México, el sector vivienda, que se basa principalmente en la arquitectura convencional, se encuentra inmerso en dicho metabolismo consumiendo alrededor del 19% de la energía total producida en el país, expulsando el 7% de las emisiones totales y desechando aproximadamente 16,660 toneladas de residuos cada día (Ramos *et al.*, 2016). Las construcciones convencionales producen impactos al medioambiente durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas y su transporte hacia el proceso de transformación, la energía necesaria para producir los materiales constructivos, el transporte de los anteriores a la obra, el consumo de agua y energía y la generación de desechos en el proceso de construcción así como la demanda de recursos durante la fase de uso y mantenimiento, hasta la etapa de demolición y disposición final de los elementos que componen la construcción (Zabalza *et al.*, 2012).

En respuesta, la arquitectura conocida como aquella sustentable surge como una solución para mitigar los impactos de aquella convencional y mantener una relación armónica con el ambiente, basándose en la eficiencia tanto energética como en el uso del agua y en el diseño, en el uso de materiales de bajo impacto ambiental, en la reducción de desechos y en el confort térmico (Barragán & Ochoa, 2014). No obstante, debido a la falta de estudios sobre arquitectura sustentable, aún existe cierto grado de incertidumbre hacia este tema.

En este sentido, alrededor del mundo han surgido metodologías que permiten la cuantificación de impactos ambientales con la finalidad de realizar mejoras en productos y sistemas y así colaborar en la reducción de daños al ambiente. Una de las metodologías mayormente utilizadas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) el cual tiene como objetivo cuantificar los impactos asociados a un producto o a un proceso durante todo su ciclo de vida, usualmente desde la extracción de materia prima hasta el desecho del producto. (Curran, 2012)

A pesar de que México se ha sumado al desarrollo y a la evaluación de metodologías mediante el Análisis de Ciclo de Vida, los estudios se han basado principalmente en la producción de energía, la gestión de residuos y la producción de alimentos. Por tal razón, en nuestro país existen pocos análisis de este tipo en el sector residencial y, por tanto, una carencia de información referente a los impactos derivados de la construcción de viviendas.

Uno de los estudios de ACV relacionados a la arquitectura existentes en nuestro país es el realizado por el Centro Mario Molina, el cual consiste en un análisis que comprende la evaluación ambiental de edificios comerciales modelando dos escenarios: uno que incluye el

ciclo de vida de los edificios bajo los estándares más comunes y el segundo, que toma en cuenta la construcción y operación de los edificios con uso eficiente de agua y energía. Dichos edificios fueron construidos con materiales convencionales y se analizaron las etapas de extracción de materia prima, manufactura y transporte de materiales, construcción de los edificios y uso de los mismos (Centro Mario Molina, 2014). Otro estudio llevado a cabo por González (2012) compara cinco tipos de muro distintos mediante ACV, dos de ellos construidos a base de blocks de concreto y de ladrillo macizo artesanal, mientras que los tres restantes representan muros de adobe mecanizado estabilizado con cemento, cal o yeso.

Por otro lado, se han realizado análisis de energía del ciclo de vida (LCEA por sus siglas en inglés), como aquel realizado por Ramesh, Prakash, & Shukla (2010), en los cuales se identifica la demanda energética de edificaciones utilizando como herramienta el ACV. Un estudio adicional realizado por Arnaldo Cardim (2001) se centra en analizar, mediante ACV, los impactos ambientales de productos derivados del cemento Portland, uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial.

Un trabajo de suma importancia es aquel publicado en 2013 por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Suppen (ed), 2013) en el cual compilan los esfuerzos realizados en torno al ACV en la edificación en México, del cual podemos resaltar las siguientes contribuciones: Impacto ambiental de los materiales de construcción que analiza y compara el acero, vidrio, ladrillos, madera y concreto, en términos de consumo de energía, emisiones ambientales, costo económico y durabilidad; Huella de carbono de tres sistemas constructivos de muro usados en viviendas de interés social, evaluando un sistema a base de ladrillo de barro cocido, un segundo sistema a base de tabicón sólido de cemento y un tercero a base de block hueco de cemento; Análisis de Ciclo de Vida y aspectos medioambientales en el diseño estructural, en el cual se incorporan cuestiones de la Ingeniería Estructural así como la problemática medioambiental en nuestro país y finalmente; ACV de viviendas de interés social en México, que analiza viviendas construidas en diferentes sitios y con diferentes técnicas y materiales.

Por último, es importante recalcar el trabajo sobre huella de carbono realizado por Patricia Güereca y colaboradores (2016) en el cual se analizan 12 sistemas de construcción de muros diferentes en términos de emisiones de CO₂, entre ellos el tabique industrial de la empresa Novaceramic.

A pesar de la basta y sustentada información que se tiene sobre materiales de construcción, existe una escasez de publicaciones referentes a la construcción con tabique industrial, un material con alta resistencia y baja conductividad, ambas térmicas, cuya producción deriva en un bajo impacto ambiental.

1.2. El crecimiento poblacional y las grandes ciudades

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), una población se denomina rural o urbana dependiendo del número de personas que habitan en la misma. En este sentido, una población es rural cuando el número de individuos que la habitan se encuentra por debajo de los 2,500 mientras que el número de habitantes de aquella urbana rebasa la misma cifra (INEGI, 2010). Durante el periodo de 1900-2010 la población mexicana experimentó un crecimiento demográfico de gran magnitud, primordialmente en

áreas urbanas, en el cual la cifra aumentó de 13.6 a poco más de 112 millones de habitantes. Este rápido incremento en la cifra poblacional se atribuye principalmente a la alta tasa de natalidad y a la masiva migración de los pobladores desde zonas rurales a aquellas urbanas. (Sobrino, 2012)

Así, ocurrió un aumento exponencial en el grado de urbanización, mismo que pasó de aproximadamente 10% en 1900 a alrededor de 70% en el año 2010. No obstante, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) fue aquella en donde se distribuyó la mayor parte de la población con un aumento de 345,000 habitantes en 1900 a 14.5 millones en 1980. A partir de este último año, la ZMCM comenzó a descender su tamaño poblacional debido a la migración por parte de sus habitantes a ciudades intermedias ubicadas en la zona Centro y Frontera Norte del país, transformándose éstas últimas en zonas metropolitanas, es decir, zonas de aglomeración urbana en donde los límites político-administrativos han sido rebasados para ocupar dos o más entidades políticas. (*Ibíd*)

Para el año 2010 México habría llegado a un estado alto de urbanización en donde aproximadamente el 78% de la población habitaba en zonas metropolitanas y centros urbanos (CONAPO, 2012; INEGI, 2010). Actualmente, la tendencia al crecimiento urbano sigue la misma dirección y caracterizándose por tener una mala planeación derivando así en asentamientos irregulares en la mayor parte del país. (Mansilla & Rubio, 2010; Centro Mario Molina, 2014)

El exponencial crecimiento poblacional y la derivada urbanización a su vez originan una creciente edificación de viviendas en México resultando en un tema de gran relevancia en el contexto socioambiental en el que nos encontramos debido a la gran cantidad de impactos ambientales que lo anterior desencadena. Por lo tanto, resultan necesarios los estudios sobre el impacto ambiental que generan las diversas edificaciones, principalmente en el contexto residencial, motivo de la presente investigación.

1.3. El sector vivienda mexicano

El sector vivienda mexicano -mismo que utiliza combustibles para diversas actividades del hogar como la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, la iluminación, el acondicionamiento de interiores y la refrigeración- utiliza principalmente los siguientes tres energéticos; Gas licuado, electricidad y leña (ver Figura 1) (Rosas, 2011).

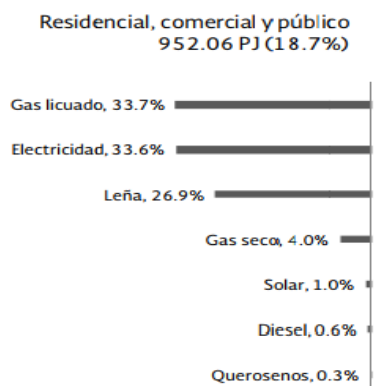


Figura 1. Consumo final energético en el sector residencial, comercial y público en México. (SENER, 2016)

Dicho sector mostró para el año 2015 una disminución en el consumo de leña, así como un aumento en el consumo de energía eléctrica con respecto al año previo. Lo anterior se debe a los programas de apoyo dirigidos a brindar energía eléctrica a las comunidades rurales (*Ibid*). Asimismo, para el año 2016, el 80% de los hogares mexicanos utilizaban gas LP para satisfacer tareas de cocción de alimentos y calentamiento de agua (INEGI citado por Rosas-Flores, Rosas-Flores & Fernández, 2016).

Al aumento en el consumo energético en el sector vivienda se ha sumado el incremento en la construcción de viviendas principalmente con base en concreto, mismo que se compone de una mezcla de agua, arena, grava y cemento. Esta demanda en la construcción de viviendas de concreto se debe principalmente a los bajos costos que estas representan (Güereca *et al.*, 2016). Para el año 2000, alrededor del 80% de las viviendas mexicanas contaban con losa construida a partir de materiales de construcción sólidos (principalmente concreto, tabique, ladrillo y terrado de viguería), mientras que el 63% poseían muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera y cemento. (INEGI, 2000)

Según datos de la Secretaría de Energía (SENER) de México, la industria de fabricación de cemento y productos a base del mismo es considerada como la segunda mayor consumidora de energía, seguida por PEMEX, teniendo impactos sobre el ambiente y los recursos naturales tal como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su importante contribución al cambio climático global (SENER, 2016). Aunado a lo anterior, a nivel mundial la construcción de obras de índole civil es responsable del consumo del 60% de la materia prima que diariamente es retirada y transformada para la creación de productos (Zabalza *et al.*, 2011).

Por lo anterior, resulta de suma importancia estudiar con mayor precisión el problema de la edificación a nivel vivienda y los impactos que ésta genera, lo cual no sólo es relevante para la investigación científica, sino que representa una propuesta innovadora para documentar los procesos de construcción asociados al impacto ambiental, energético y socioeconómico. Además, representa una estrategia informativa para los tomadores de decisiones; en cuanto a la funcionalidad e impactos que generan diversos materiales de construcción.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Cambio Climático ante el incremento poblacional

A pesar de que el efecto invernadero es un fenómeno natural en la Tierra en el cual los gases que conforman la atmósfera y la energía proveniente del sol interactúan para calentar el planeta, desde la época industrial este ha ido en aumento debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y a su derivada emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Conde, 2006). Además, el crecimiento demográfico en el mundo y específicamente en México va acompañado de un incremento en el consumo de recursos naturales no renovables, específicamente energéticos derivados de combustibles fósiles (Aguilar, 2006). Este cambio en el consumo energético se ve reflejado principalmente en países desarrollados debido a la modificación del estilo de vida enfocado a la industria y los servicios. Así, se espera que entre los años 2004 y 2030 el consumo de energía en dichos países aumente de un 46% a 58%. (FAO, 2008)

La quema de dichos combustibles fósiles en adición al cambio de uso de suelo también ha propiciado un aumento en la emisión y acumulación de GEI en la atmósfera, contribuyendo de manera importante al cambio climático global (ver Figura 2).

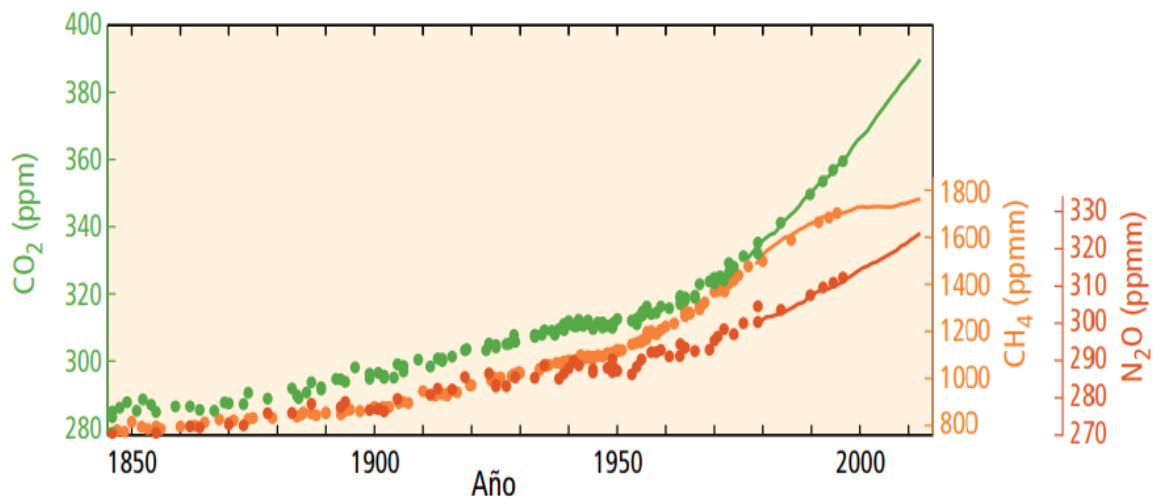


Figura 2. Promedio global de concentraciones de gases de efecto invernadero. (IPCC, 2014)

Así mismo, la producción de cemento, la quema en antorcha (quema de gases que no son utilizados en procesos industriales como refinerías de petróleo) y la silvicultura, así como las prácticas vinculadas al sector residencial de bajo consumo contribuyen de forma significativa a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera (ver Figura 3). (IPCC, 2014)

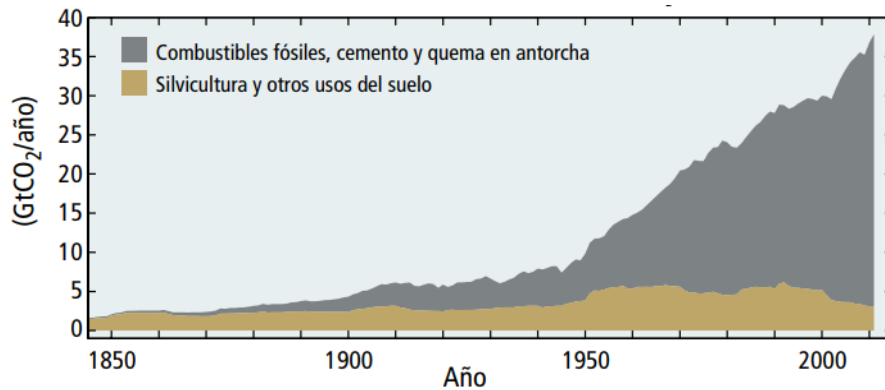


Figura 3. Emisiones antropogénicas globales de CO₂. (IPCC, 2014)

El aumento en la emisión de GEI en el planeta, principalmente de CO₂, propicia cambios importantes en la temperatura global que afectan tanto a las poblaciones humanas como a los ecosistemas en general. Estos cambios incluyen variaciones en la precipitación, derretimiento de casquetes polares y aumento en el nivel del mar, sequías más prolongadas y ondas de calor, así como un aumento en la intensidad en las lluvias y ciclones tropicales cada vez más frecuentes (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007). Además, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014) establece que el cambio climático ha resultado en modificaciones dentro de los ecosistemas y, por ende, en extinciones de especies. En este sentido, el Cambio Climático representa una problemática global que no solamente altera los ciclos y sistemas naturales, así como las condiciones ambientales del planeta, sino que además afecta la salud y calidad de vida de los seres humanos.

Pese a la problemática ambiental que vivimos en la actualidad, las emisiones de GEI y específicamente de CO₂ a la atmósfera siguen en aumento, muchas de las cuales provienen de la producción de cemento en el mundo (ver Figura 3). Como se mencionó anteriormente, dicho incremento es una de las consecuencias derivadas del crecimiento poblacional, específicamente en zonas urbanas, el cual propicia un aumento en la construcción de viviendas con base en concreto. En este sentido, se puede decir que la arquitectura convencional está altamente relacionada con el tema de Cambio Climático, emitiendo grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera y mermando la cantidad de recursos naturales disponibles en el planeta.

2.2 La arquitectura convencional y sus impactos ambientales

En el presente estudio nos referimos como arquitectura convencional a aquella que utiliza materiales sólidos para la construcción de paredes de las viviendas. Entre dichos materiales predominan el tabique de barro cocido o recocido, ladrillo, block de concreto, piedra, cantera y mortero para muros. Para el año 2000, alrededor del 63% de las viviendas mexicanas contaban con muros construidos a partir de materiales de construcción sólidos, principalmente block de concreto y tabique (INEGI, 2000).

Las etapas del ciclo de vida de una construcción convencional, que van desde el suministro de materias primas hasta su disposición final, derivan en impactos al ambiente

como el cambio de uso de suelo, la generación y desecho de residuos sólidos, la emisión de gases contaminantes a la atmósfera (CO_2 , CO_3 , PO_4 , NO_2 y SO_2) y la contaminación de agua (Centro Mario Molina, 2014). Así mismo, los procesos de construcción mantienen un alto consumo de recursos naturales como combustibles, agua y electricidad (Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014). Como se mencionó anteriormente, la construcción de obras civiles representa el consumo del 60% de la materia prima que diariamente es extraída y transformada para la creación de productos en el mundo (Zabalza *et al.*, 2011).

Se sabe que el uso de construcciones convencionales expulsa el 7% de las emisiones totales del país y desecha aproximadamente 16,660 toneladas de residuos diariamente (Ramos *et al.*, 2016), comúnmente depositadas en sitios clandestinos como terrenos baldíos o en áreas verdes (Domínguez & Martínez, 2007) a pesar de que estos últimos se encuentran catalogados como residuos de manejo especial (GDF, 2003).

Además, la secretaría de energía de México estima que la industria de fabricación de cemento y productos a base de este consume una gran cantidad de energía, posicionándose en la segunda mayor consumidora del país, seguida por PEMEX (SENER, 2016). Aunado a lo anterior, una de las desventajas que presenta el cemento es su incapacidad de regresar a su estado natural una vez que entra en contacto con el agua (Jiménez, 2017). Por lo anterior, existen empresas que recolectan cemento de los escombros para que, al triturarlo, este pueda ser reutilizado como grava de menor precio.

Para la elaboración del cemento Portland, el más utilizado mundialmente, se requiere la extracción, molienda y mezcla de materiales calcáreos, materiales arcillosos e impurezas presentes (CEMEX, 2005). La Figura 4 muestra las principales fuentes de emisión de dióxido de carbono que derivan del consumo energético desde la extracción de materias primas hasta la puerta o la salida de la fábrica del cemento Portland. (Cardim, 2001)

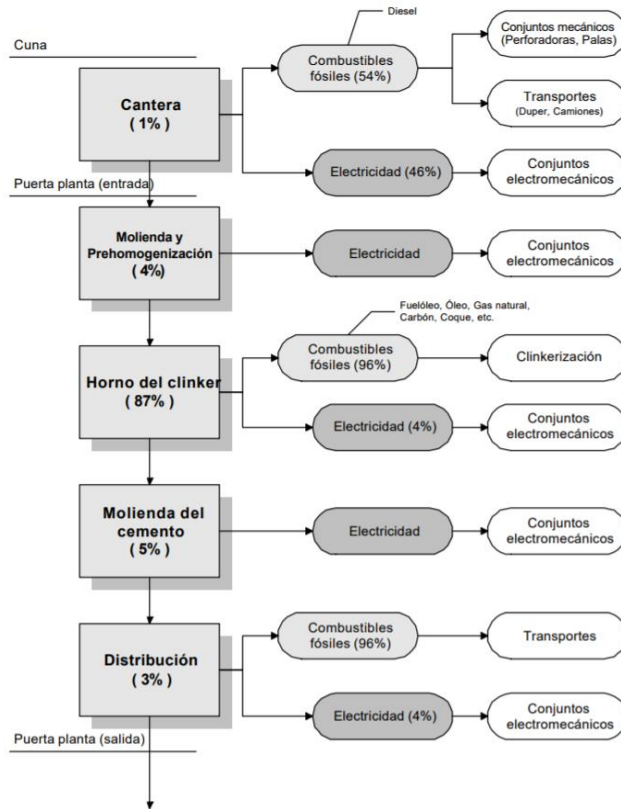


Figura 4. Principales fuentes de emisión de CO₂ con respecto al consumo de energías en la producción del cemento (Límites: cuna a puerta). (Cardim, 2001)

Según Cardim (2001), la energía eléctrica y térmica utilizada para producir 1 kg de cemento Portland tipo I (Portland) suman 4.544 MJ.

Por su parte, según un estudio que compara 13 sistemas constructivos en cuestiones de huella de carbono, el block de concreto, uno de los materiales más utilizados en zonas urbanas debido a su bajo costo, practicidad y alta resistencia mecánica, ignorando su falta de resistencia térmica, representa una de las opciones constructivas con más emisiones de carbono a la atmósfera (Güereca *et al.*, 2016). La Figura 5 muestra el proceso de producción del block, el cual incluye las fases de extracción de materias primas, dosificación de agregados, humectación, mezclado, vibrado, compactado y almacenado.

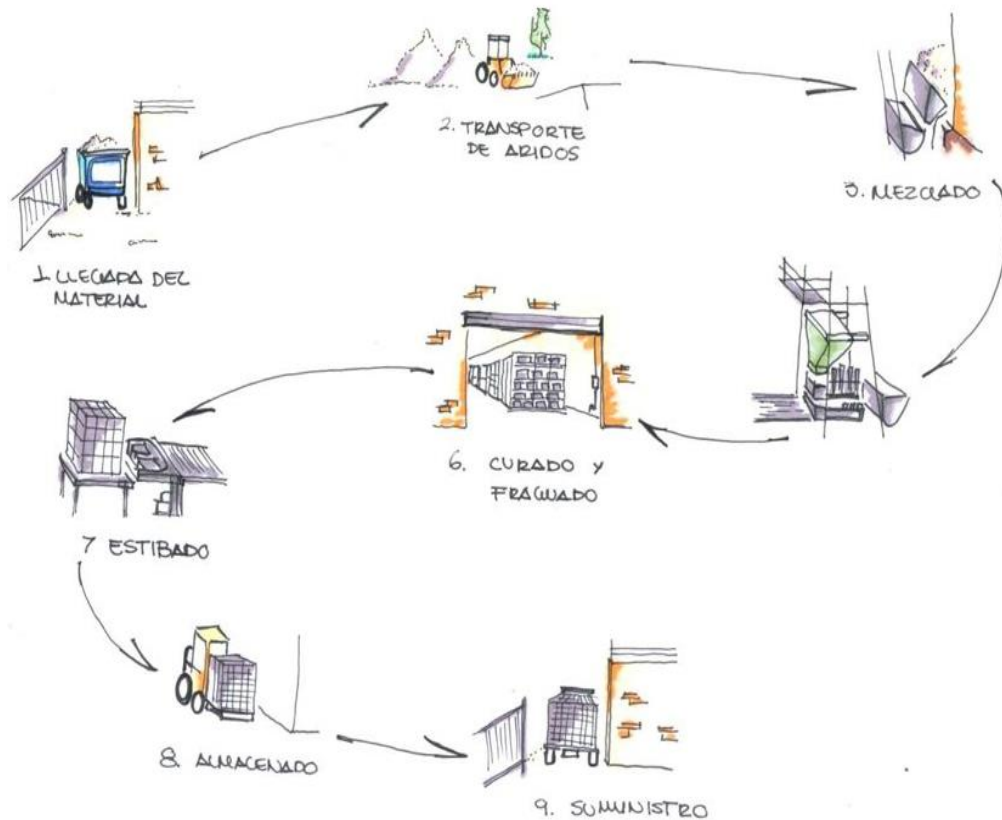


Figura 5. Proceso de producción block de concreto. (González, 2012)

Por otro lado, la producción de tabique, específicamente de aquel artesanal, se ha expandido tanto en el país como en el estado de Michoacán. En este estado, la importancia de la actividad tabiquera ha sido tal que la región es la principal productora, abasteciendo la demanda del material constructivo en grandes ciudades como Guadalajara y Ciudad de México (FAO, 1991). Según el Programa de Gestión para mejorar la calidad del aire en el Estado de Michoacán 2015-2024, para el año 2014 se registraron 818 ladrilleras, responsables de descontroladas emisiones contaminantes a la atmósfera, esto debido principalmente a los procesos de horneado y su baja eficiencia. El proceso de producción de dicho material consta de las fases siguiente: 1) extracción de tierras, 2) transporte de tierras a lugar de producción, 3) mezclado manual de tierras con arcilla y arena, 4) moldeado manual, 5) secado al sol, 6) cocción en horno de ladrillo, 7) almacenamiento y 8) suministro (González, 2012). (ver Figura 6)

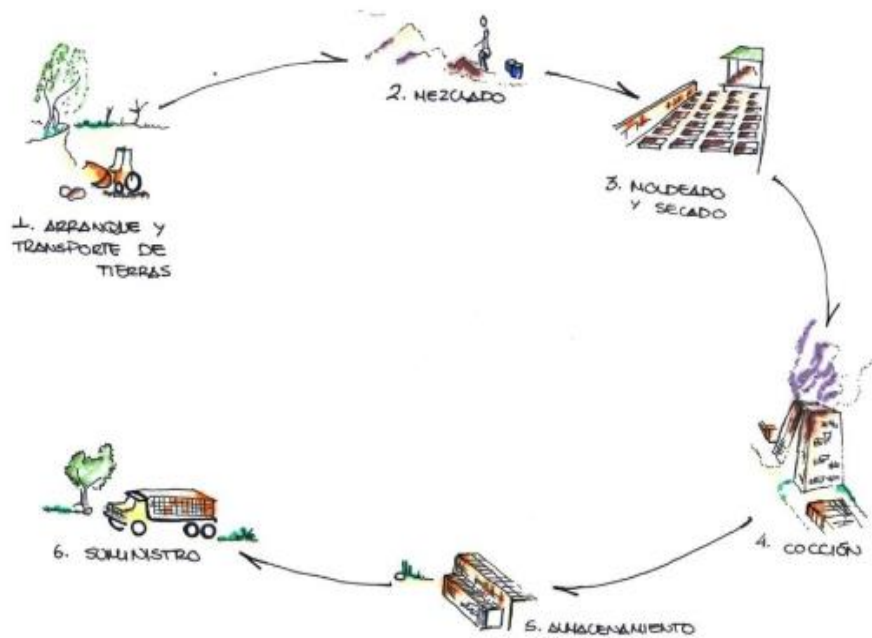


Figura 6. Proceso de producción de ladrillo artesanal. (González, 2012)

No obstante, la producción de ladrillo industrial (ver Figura 7) utiliza maquinaria en la mayoría de sus procesos y hace uso de combustibles con menores impactos ambientales a aquellos utilizados en el proceso de producción del mismo material artesanal. El proceso contiene las fases de: 1) arranque de tierras, 2) transporte de tierras, 3) pudridero de arcillas, 4) molienda y amasado, 5) extrusión y vacío al vapor, 7) secado artificial, 8) cocción, 9) almacenamiento y 10) suministro. (*ibid*)

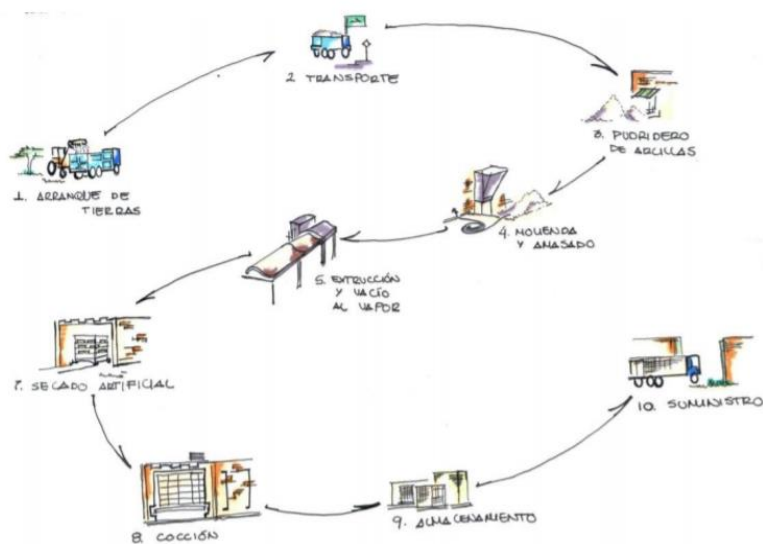


Figura 7. Proceso de producción de ladrillo industrial. (González, 2012)

Aunado a lo anterior, en México, muchas veces se ignora el contexto ambiental en el que las viviendas se construyen, así como los materiales apropiados para la diversidad de climas, resultando en la falta de confort térmico al momento de habitarlas y, por ende, en un mayor consumo de energía para el funcionamiento de tecnologías que permitan mantener una temperatura adecuada dentro de la edificación y, en consecuencia, en mayores impactos ambientales.

2.3 La arquitectura sustentable

El concepto de vivienda ecológica tiene sus orígenes en la década de los 60's, tiempo en el que era más conocida como eco-vivienda. La anterior nace de la concepción de que existen recursos y energía limitantes y toma en cuenta la salud humana y ambiental. Así, en los 80's nace el concepto de arquitectura verde que, al igual que el concepto de eco-vivienda, considera el uso eficiente de la energía y recursos, además de incorporar elementos como el clima y poner especial énfasis en los usuarios. Posteriormente, surge la vivienda sustentable, la cual se caracteriza por adaptar las bases del desarrollo sustentable el cual asegura que las decisiones de las generaciones presentes no afecten ni comprometa la satisfacción de las necesidades de aquellas futuras. En este sentido, la arquitectura sustentable adopta el uso de materiales locales de bajo impacto ambiental, el confort térmico, la baja producción de residuos y el uso eficiente de recursos, así como toma en cuenta aspectos sociales tales como la calidad de vida de los usuarios. (Barragán & Ochoa, 2014)

De igual forma, la arquitectura sustentable pretende eliminar los conceptos de residuo y daño ambiental y busca incorporar la materia y energía renovables de la naturaleza para satisfacer las necesidades humanas básicas (Ramos *et al.*, 2016). Por último, dentro del mismo concepto es indispensable tomar en cuenta la dimensión económica de la sostenibilidad, utilizando materiales de bajo costo económico y mano de obra local, así como el costo del mantenimiento y vida útil de la vivienda (Delgado, 2008).

Por su parte, la ONU establece que, para lograr una arquitectura sustentable, se deben tomar en cuenta los puntos de eficacia en el uso de recursos, uso de materiales benignos, un ambiente interior saludable, una forma adecuada al sitio, región y clima y, por último, un buen diseño. (González, 2012)

Así, podemos resaltar que una vivienda construida con base en el concepto de sustentabilidad pretende cumplir con las múltiples consideraciones anteriormente mencionadas. No obstante, en el presente estudio nos enfocaremos en la vivienda ecológica, es decir aquella que reúne solamente materiales locales, de mínimo impacto ambiental y de bajo costo, sin incorporar ecotécnicas y demás cuestiones de relevancia en la arquitectura sustentable.

Dentro de los materiales de construcción comúnmente utilizados en viviendas ecológicas se encuentra la tierra, utilizada en bloques de adobe (tierra, arena, agua y fibra) y en la técnica de tapial. A pesar de que la tierra representa un buen material de construcción utilizado desde culturas antiguas distribuidas geográficamente por todo el mundo por más de 4,500 años, las técnicas de adobe y tapial han sido menospreciadas y ahora limitadas en nuestro país debido principalmente a su vulnerabilidad a la erosión, su baja impermeabilidad,

y la asociación de los materiales hacia construcciones viejas y de mala calidad. Adicional a lo anterior, el costo de la mano de obra, así como el costo unitario de los adobes es elevado (Delgado, 2008), factor que rompe con los principios de la sustentabilidad. Además, en sistemas constructivos urbanos el adobe no representa un material atractivo por su difícil acceso y uso en la construcción.

Por otro lado, han surgido otro tipo de materiales de construcción como alternativa ecológica a los convencionales, tales como el tabique industrial. El anterior, mantiene una mayor eficiencia estructural a comparación del tabique tradicional, así como mejores características térmicas y acústicas. Además, se cree que la producción de tabique industrial representa un menor impacto ambiental que los materiales de construcción comúnmente utilizados, incluso menor a aquel derivado de la construcción de muros realizados a partir de materiales denominados ecológicos como lo es el adobe, debido principalmente a la cantidad de mortero necesario para adherir los tabiques de adobe en la construcción de muros (Güereca *et al.*, 2016). En lo que respecta al tema económico, se cree que el tabique industrial compite con los precios de venta del tabique tradicional e incluso con los precios del block de concreto. Estas premisas han generado especial interés en la investigación de impactos ambientales.

2.3.1 Alcances y limitaciones

Se conoce poco sobre las limitaciones que presentan las construcciones con tabique industrial debido a que dicho material constructivo surgió recientemente. Una de las desventajas podría ser el poco conocimiento sobre el material, lo cual puede traer incertidumbre para los posibles usuarios. Asimismo, el desconocimiento del tabique industrial puede implicar déficit de trabajadores con experiencia o capacitación sobre el uso de este material para sistemas constructivos.

No obstante, al ser un material con buena resistencia térmica, que supone bajo impacto ambiental y además es económico, puede formar parte de la arquitectura sustentable, la cual documenta una gran cantidad de beneficios relacionados a la reducción de impactos hacia el medio ambiente. El Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos (U.S. Green Building Council - USGBC) estima que las construcciones sustentables representan una disminución en el consumo de agua (30-35%), de energía (30%), de emisiones de carbono a la atmósfera (35%) y generación de desechos (50-90%) con respecto a las construcciones convencionales. (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2008).

2.4 Impactos ambientales asociados a la construcción sustentable

A pesar de que la arquitectura sustentable es considerada una práctica basada en los criterios del desarrollo sustentable que pretende mantener una relación armónica con el medio ambiente y disminuir los impactos derivados de la arquitectura convencional, las construcciones sustentables también derivan en impactos negativos hacia la naturaleza tal como lo son la producción y el transporte de materiales, el cambio de uso de suelo y el consumo energético y de recursos naturales. Por su parte, la construcción de un m² de muro de tabique industrial asentado con mortero, presenta una emisión de CO₂ de 29.15 kg, en su mayoría derivada del uso de gas natural durante su fabricación. No obstante, debido a que la

elaboración de tabique industrial utiliza una menor cantidad de energía a comparación de materiales como el cemento, se considera un material un tanto menos dañino para el ambiente (Güereca *et al.*, 2016). Por lo que, de demostrar todos los potenciales beneficios del tabique industrial, se podría referir como un material de carácter sustentable, que posee bajo impacto ambiental, es asequible y con funcionalidad adecuada para desempeñarse de manera adecuada a las necesidades del sector residencial tanto urbano como rural.

2.5 Metodologías para la evaluación ambiental

Anteriormente se ha mencionado de forma general sobre los impactos que genera la creciente urbanización, la construcción masiva de edificaciones en el sector residencial, pero no se han precisado las herramientas y metodologías que se utilizan para cuantificar estos impactos. Algunas de estas herramientas y metodologías comúnmente utilizadas para medir impactos ambientales son los indicadores ambientales, los análisis de riesgo y la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los indicadores ambientales son definidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés) como un parámetro que brinda información sintética que permite describir el estado de un ambiente, área o fenómeno (Polanco, 2006). Por su parte, los análisis de riesgo son útiles para tomar decisiones en torno a los daños a la salud humana o a los ecosistemas que puede ocasionar la exposición de cierto contaminante (Ize *et al.*, 2010). Por último, el ACV es una metodología que hace posible la cuantificación de los impactos derivados de un producto o sistema durante todo su ciclo de vida, es decir, desde la obtención de materia prima hasta el fin de vida o desecho del producto.

En la actualidad, la metodología de ACV ha cobrado relevancia especialmente en la elaboración de políticas ambientales, debido a su capacidad de cuantificar una gran cantidad de impactos ambientales y de brindar información comprensible para cualquier tipo de público. Además, la característica de tomar en cuenta los impactos asociados a un producto o sistema durante todo su ciclo de vida, es decir, desde la extracción de la materia prima hasta el final de su vida útil, hace del ACV una herramienta muy completa (Goedkoop *et al.*, 2016).

2.6 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología estandarizada que consta de cuatro fases interrelacionadas; definición de alcances y objetivos, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación. El ACV permite cuantificar los impactos asociados a un producto o a un proceso durante todo su ciclo de vida y resulta de utilidad para que los tomadores de decisiones dirijan sus acciones a aquellas más eficientes o cercanas a la sustentabilidad. Además, dicha herramienta hace posible la identificación de puntos claves para la mejora de un producto o sistema, así como hacer comparaciones entre productos. (Curran, 2012; Goedkoop *et al.*, 2016)

El ACV surge a finales de los años 60's y principios de los 70's siendo uno de los primeros estudios aquel realizado por el Instituto de Investigaciones del Medio Oeste (MID por sus siglas en inglés) en 1969 para analizar los recursos necesarios, emisiones y generación de residuos asociados a la producción de distintos envases de la empresa Coca-Cola. El

anterior Instituto se refirió a este tipo de estudios como Análisis de Perfil Ambiental y de Recursos (REPA por sus siglas en inglés), término que fue utilizado para referirse a lo que hoy conocemos como Análisis de Ciclo de Vida. En el periodo de 1970-1980 los estudios se realizaban a partir de distintos métodos y marcos teóricos por lo que la herramienta carecía de credibilidad y aceptación. (Curran, 2012)

No obstante, en el año de 1990, debido principalmente a la iniciativa de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental en colaboración con los científicos y usuarios del ACV en Norteamérica y Europa, la metodología, el marco de trabajo y la terminología del ACV presentaron un avance significativo. Así, la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) se incorporó y adoptó la responsabilidad de estandarizar la metodología. Hoy en día el ACV es una herramienta importante dentro de los documentos de políticas y para la toma de decisiones en una diversa gama de temas. (*Ibíd*)

Para el caso de las edificaciones convencionales y ecológicas, el ACV hace posible un análisis que incluye desde la extracción de recursos naturales para su posterior manufactura, el transporte de materiales, la construcción de la edificación que incluye el uso de maquinaria, cambio de uso de suelo así como gastos hídricos y energéticos, hasta llegar a la etapa de uso, demolición y disposición final para así determinar los impactos potenciales asociados a todo el proceso (Rieznik & Hernández, 2005; Centro Mario Molina, 2014). En este sentido, el ACV integra los impactos ambientales que suceden en el conjunto de etapas que conforman el ciclo de vida de un sistema o conjunto de sistemas y los relaciona con problemas específicos (Suppen & Van Hoof, 2005).

2.7 Softwares para ACV

Algunos de los softwares mayormente utilizados para realizar ACV son SimaPro®, OpenLCA®, Umberto® y GaBi®. Los anteriores facilitan la utilización de amplias bases de datos con una gran cantidad de información de inventario que a su vez permiten analizar diversos procesos y productos. Dichos softwares requieren de licencias con costos económicos variados a excepción de OpenLCA®, el cual tiene un acceso libre y sin costo (Pérez, 2014). Por otra parte, Umberto®, SimaPro® y GaBi® contienen bases de datos amplias y, por el contrario, OpenLCA® no cuenta con una base de datos propia, siendo forzosa la introducción de una de ellas al software. En el presente estudio se utilizará la herramienta Excel, utilizando la base de datos Ecoinvent y NREL, útiles para realizar un Análisis de Ciclo de Vida completo.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Pregunta de investigación

¿Podrían los diversos materiales (tabique tradicional, tabique industrial y block de concreto) utilizados en muros de sistemas constructivos urbanos presentar distintos impactos ambientales asociados al calentamiento global, la acidificación y la eutrofización, así como económicos y de carácter energético funcionales?

3.2 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo integrado de tres diferentes materiales, utilizados para sistemas constructivos urbanos, considerando la evaluación de indicadores de impactos ambientales, a través de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, indicadores económicos y energético-funcionales.

3.3 Objetivos específicos

- Realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de tres diferentes materiales, considerando la mitigación de impactos ambientales asociados al calentamiento global, la acidificación y la eutrofización, derivados de la construcción de muros para sistemas constructivos urbanos.
- Realizar un análisis económico de los materiales constructivos evaluados, considerando el dimensionamiento económico de materias primas, mano de obra y costos generales por unidad funcional.
- Elaborar un análisis energético-funcional, incluyendo indicadores que determinen las propiedades acústicas, térmicas y mecánicas de cada material.
- Generar un análisis comparativo integrado, que incorpore una evaluación multiparamétrica de todos los resultados obtenidos de los objetivos específicos anteriores.

3.4 Hipótesis

De acuerdo a Arias (1999) en las investigaciones de carácter exploratorio y descriptivo, como es el caso del presente estudio, usualmente se trabaja con objetivos y no se plantea una hipótesis explícita. Dicho lo anterior, el presente análisis no cuenta con hipótesis.

3.5 Justificación

El presente estudio servirá para fomentar la construcción y el uso de viviendas ecológicas construidas bajo los principios del diseño sostenible que principalmente se basan en la eficiencia tanto energética como en el uso del agua, diseño sostenible, uso de materiales de bajo impacto ambiental, reducción de desechos y en el confort térmico y acústico. Dichas viviendas, al ser construidas a partir de materiales asequibles y con materiales funcionalmente eficientes, promueven un diseño que ahorra energía y utiliza la menor cantidad de recursos posible, como también, permiten reducir costos tanto en la construcción como en el uso y mantenimiento de las mismas. Además, los principios del diseño sostenible derivan en un menor impacto ambiental, mejorando la calidad de vida de los usuarios (Barragán & Ochoa, 2014).

Para ratificar que una vivienda ecológica mitiga los impactos ambientales que resultan de aquella convencional, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) cobra importancia. Este resulta de utilidad para identificar aquellos procesos con mayor consumo de energía, agua y otros recursos, que a su vez generan pérdidas monetarias, etc., dentro de un sistema, permitiendo que los tomadores de decisiones dirijan sus acciones a aquellas más eficientes o cercanas a la sustentabilidad (Curran, 2012).

En este sentido, dicha metodología servirá de apoyo para calcular los impactos ambientales derivados de la construcción de muros de viviendas ecológicas para compararlos con aquellos asociados a los muros de viviendas convencionales y así poder determinar si existe una mitigación de impactos.

Asimismo, es importante recalcar que para poder cumplir con los criterios de la sustentabilidad debemos tomar en cuenta también el sector económico y el sector social, y que este último, puede estar vinculado a la eficiencia funcional de los materiales de los sistemas constructivos estudiados. En este sentido, al comparar los distintos materiales constructivos en cuestión de un análisis económico y uno energético-funcional que engloba tanto el costo de los materiales y de la mano de obra como los valores de resistencia térmica, acústica y la compresión, se contribuye a que los usuarios tengan elementos suficientes para que realicen una toma de decisión posiblemente más cercana a la sostenibilidad de acuerdo a los materiales analizados.

El presente estudio cobra relevancia debido a que existe poca información relacionada al impacto ambiental y económico que representa la construcción de muros. De igual forma, son escasos los estudios que evalúan distintos parámetros tales como el ambiental, funcional-energético y económico.

3.6 Metodología

El presente estudio utilizará la siguiente metodología (ver Figura 8), en la cual, se realizará un análisis comparativo de tres muros de sistemas constructivos que consideran tres tipos distintos de materiales para la edificación de la unidad funcional (un metro cuadrado de muro de construcción), considerando tres diferentes tipos de parámetros: ambientales, económicos y energético-funcionales, cada uno con sus respectivos indicadores.

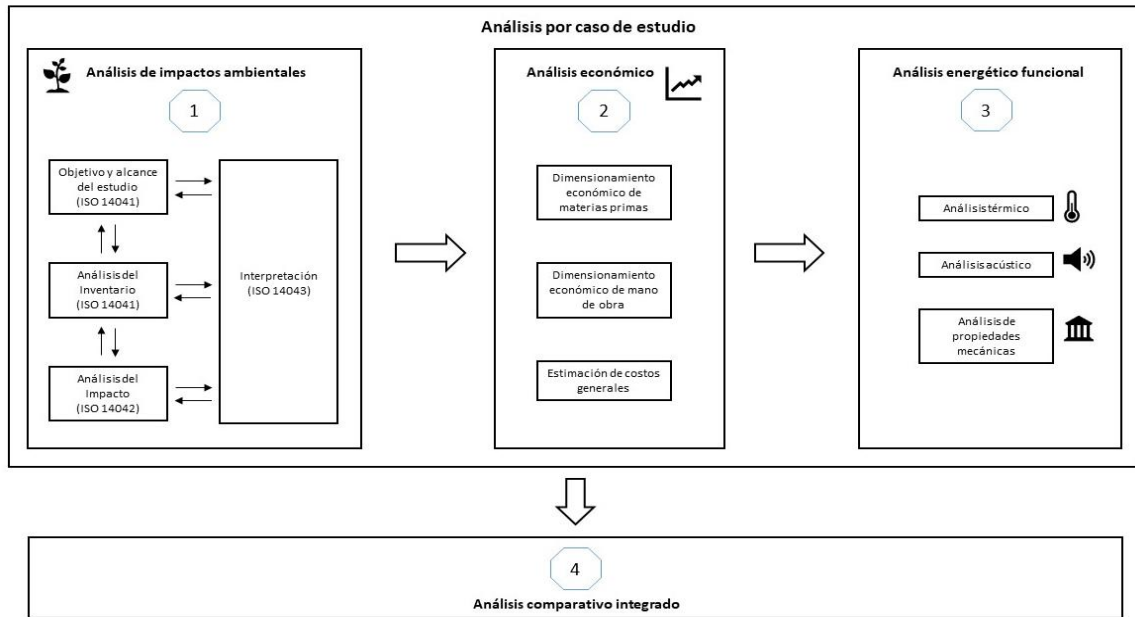


Figura 8. Metodología integrada.

3.6.1 Análisis de impactos ambientales

El Análisis de Ciclo de Vida se determinará utilizando la herramienta Excel y la metodología del presente estudio pretende seguir la norma ISO (International Organization for Standardization) 14040 la cual engloba el marco de referencia (ver Figura 9) y los principios de un ACV y la norma ISO 14044, misma que describe los requerimientos y la guía para desarrollar las etapas que engloban el anterior.

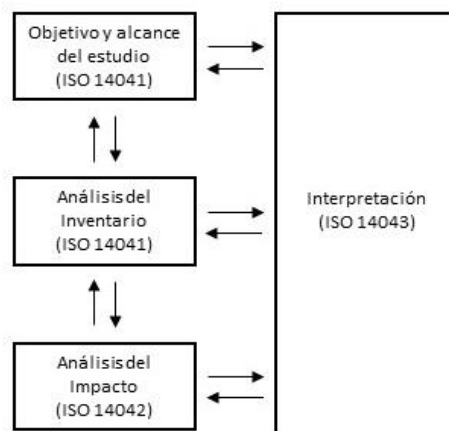


Figura 9. Fases de un ACV de acuerdo a ISO 14040.

1. Definición de alcances y objetivos. La primera etapa consiste en la definición del campo de aplicación del estudio, los objetivos, las escalas temporal y espacial y la justificación del estudio. Además, se deberá definir el sistema o el conjunto de sistemas a estudiar, su función y el destinatario previsto.

2. Análisis de inventario. Seguidamente, la segunda etapa estriba en la compilación de datos -de entrada y salida- que posteriormente servirán para determinar los impactos negativos al ambiente derivados del sistema a estudiar. Aquí se incluye la emisión de GEI, el uso de agua, el desecho de residuos sólidos, entre otros.

3. Evaluación del impacto. La tercera etapa se refiere al análisis de la magnitud del impacto del sistema durante su ciclo de vida. En la misma, se determinan las categorías de impacto y sus respectivos indicadores.

4. Interpretación. Por último, la etapa de interpretación consiste en el cierre del Análisis de Ciclo de Vida, en donde se brindan recomendaciones y conclusiones, así como se reconocen las limitaciones existentes al realizar el estudio. A pesar de que la metodología de ACV conlleva etapas con un orden específico es considerada iterativa, es decir, al avanzar en la misma se requiere regresar y modificar o complementar las etapas anteriores.

(Curran, 2012)

El mismo procedimiento se repite para realizar el análisis de impactos ambientales de los tres materiales. Posteriormente, se integran los resultados derivados de los tres ACV para poder determinar la mitigación de impactos ambientales y así llegar a las conclusiones y recomendaciones.

3.7 Análisis de impactos ambientales

3.7.1 Alcance del estudio

Los sistemas a analizar tienen como función principal dividir espacios o fungir como estructura. Los muros serán representados a través de una simulación de construcción en la ciudad de Morelia, Michoacán, dentro de la propiedad perteneciente a la Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad Morelia ubicada en la antigua carretera a Pátzcuaro 8701, Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Código Postal 58190 (ver Figura 10).



Figura 10. Imagen satelital de la UNAM ENES Morelia.

El primer sistema a evaluar constituye una construcción de 1 m^2 de muro mayoritariamente hecho de block hueco de concreto de $12 \times 20 \times 39.8 \text{ cm}$ juntado con mortero con espesor promedio en junta de 1.2 cm . El segundo constituye una construcción de muro de 1 m^2 de tabique industrial de $12 \times 24 \times 12 \text{ cm}$ juntado con mortero con espesor promedio en junta de 1 cm . Y, por último, el tercer sistema representa 1 m^2 de muro de tabique tradicional rojo de $12.5 \times 5.5 \times 25 \text{ cm}$ con juntas de mortero de 1.5 cm de espesor. Cabe destacar que el espesor de las juntas varía de acuerdo con las fichas técnicas de cada material.

3.7.2 Unidad funcional

Para poder comparar los resultados de los sistemas, la unidad funcional es definida como: 1 m^2 de muro de construcción.

3.7.3 Definición de los límites del sistema

De las etapas del ciclo de vida de una construcción según el estándar EN 15643-2 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 350) mostradas en la Figura 11, se tomarán en cuenta dentro de los límites de los sistemas la extracción de materia prima (A1), el transporte a la planta (A2), su procesamiento (A3) y el transporte de materiales a la obra (A4).



Figura 11. Etapas del ciclo de vida de una construcción según el estándar EN 15643-2 del CEN/TC 350. (Zabalza *et al.*, 2012)

Para cada sistema constructivo estudiado, con diferentes ladrillos de construcción, los límites del sistema se muestran en la Figura 12, Figura 13 y Figura 14.

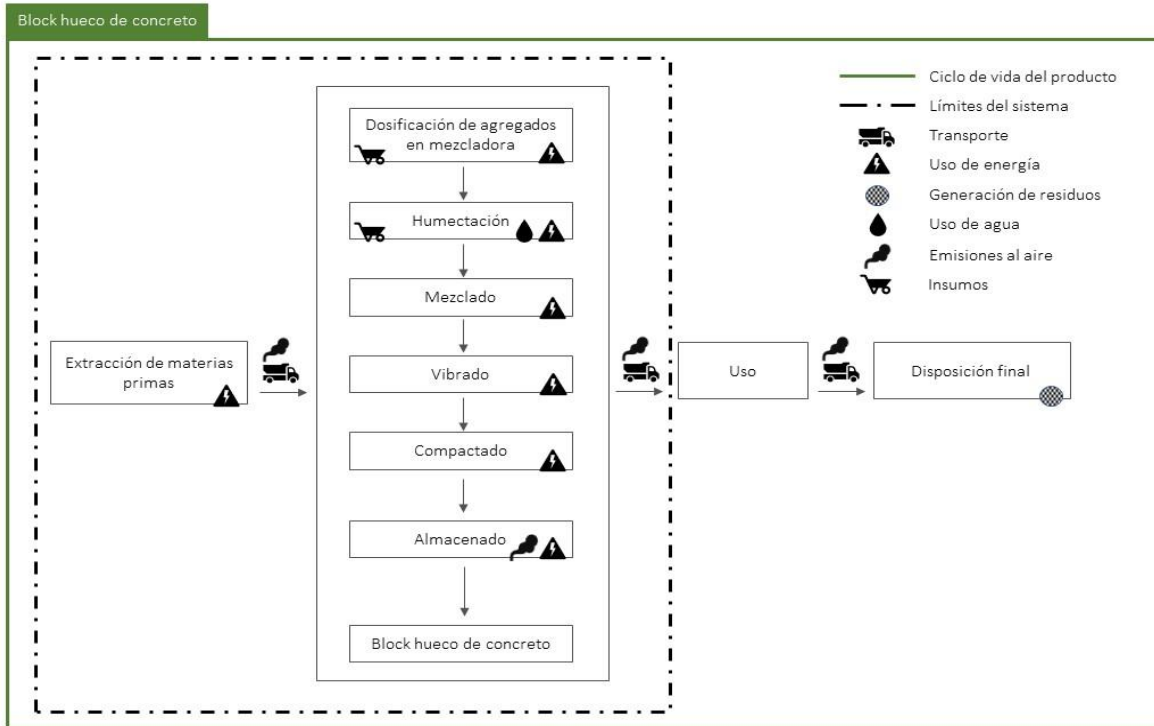


Figura 12. Límite del sistema de block de concreto. Elaboración propia con base en Güereca *et al.*, 2016.

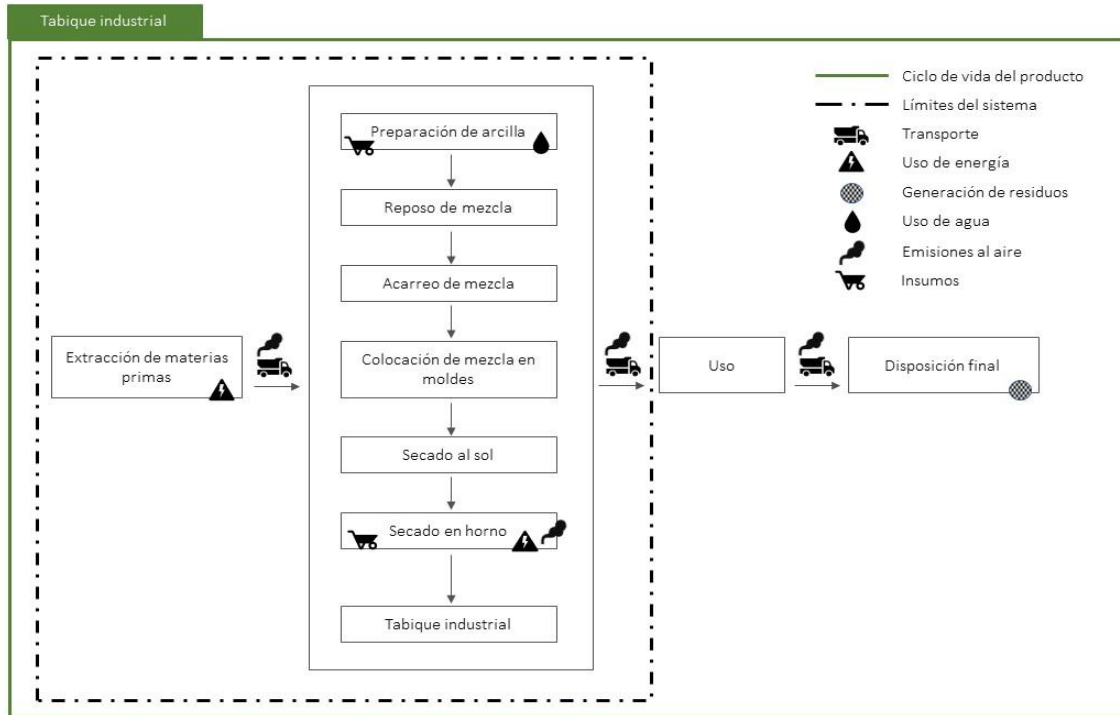


Figura 13. Límite del sistema de tabique industrial. Elaboración propia con base en Güereca *et al.*, 2016.

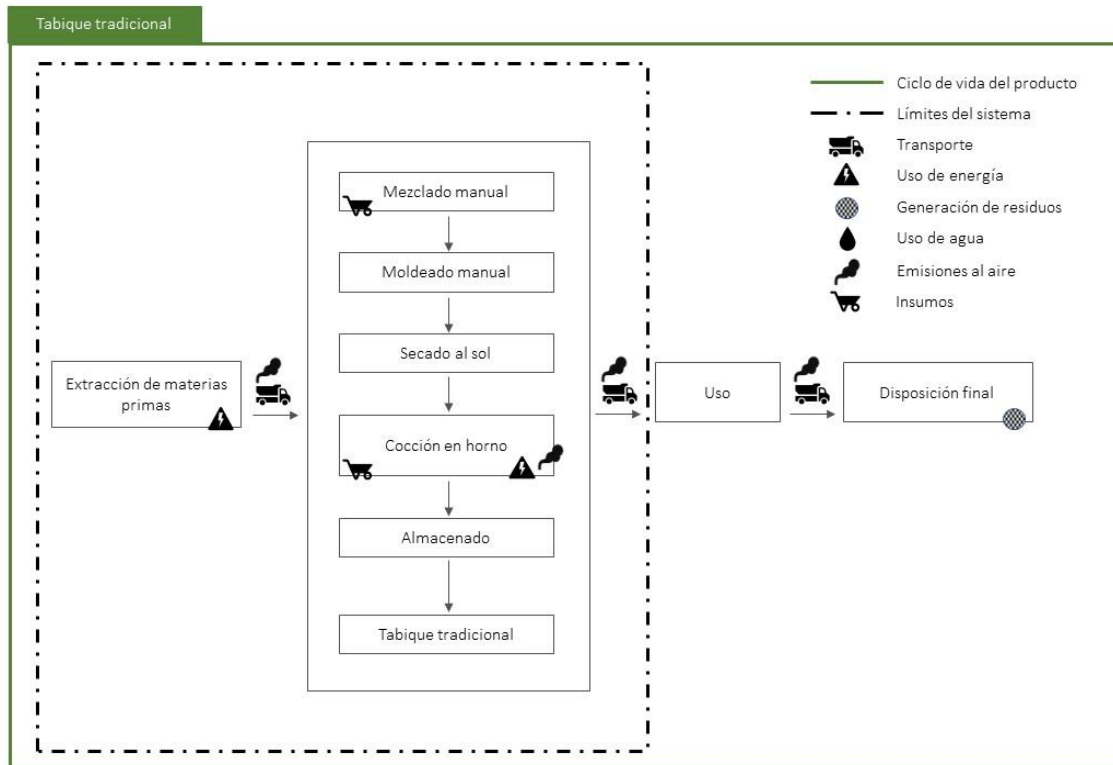


Figura 14. Límite del sistema de tabique tradicional. Elaboración propia con base en Güereca *et al.*, 2016.

En este sentido, se analizarán los tres sistemas de muro por separado, desde la extracción de materias primas, manufactura de productos y transporte de los anteriores al sitio de construcción (Figura 15).

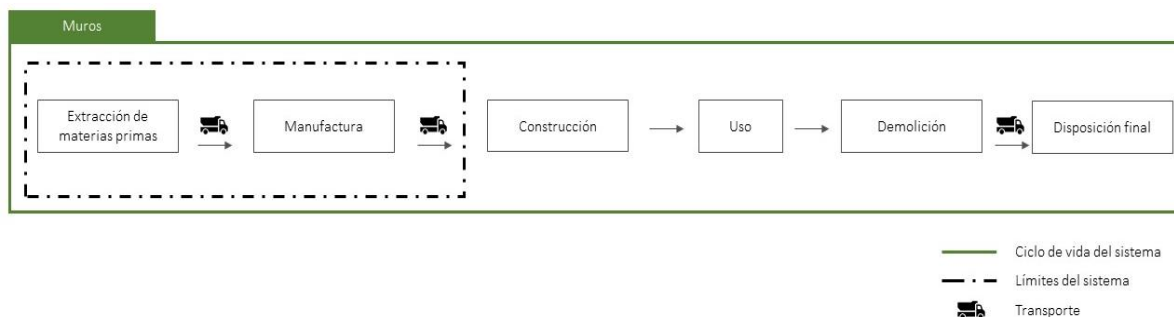


Figura 15. Límite de los sistemas de muros. Elaboración propia.

Cabe destacar que se analizarán únicamente aquellos materiales utilizados para la edificación de la estructura arquitectónica, es decir, aquellos requeridos para instalaciones eléctricas, hidráulicas y de drenaje serán excluidos. Además, no se incluirán los materiales requeridos para la elaboración de dalas, castillos y para la construcción de cimientos y sobrecimientos de los muros, ni aquellos necesarios para la instalación de puertas y ventanas. Puesto que la unidad funcional se ha definido como 1 metro cuadrado de muro constructivo, no se consideran otros materiales estructurales.

3.7.4 Criterios de asignación

Debido a que no existen co-productos en la construcción de muros tanto convencionales como ecológicos, no existieron criterios de asignación.

3.7.5 Fuente de datos

Para el presente estudio se utilizaron fuentes de datos primarios y secundarios. Los primeros obtenidos de la recolección directa de información, correspondientes al cálculo de materiales, así como el transporte de estos a la obra. Los datos secundarios se originaron de la base de datos Ecoinvent y NREL, así como de documentos publicados.

3.7.6 Impactos a evaluar

De acuerdo a la documentación existente sobre los principales impactos derivados de la construcción convencional (Centro Mario Molina, 2014; SENER, 2016; Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014; Ramos *et al.*, 2016), los impactos a evaluar se relacionan a la emisión de GEI, a la acidificación y a la eutrofización. En este sentido, se clasificaron y caracterizaron los impactos ambientales de la Tabla 1:

Categoría de impacto	Unidad
Calentamiento global	Kg CO ₂ -eq
Acidificación	Kg SO ₂ -eq
Eutrofización	Kg PO ₄ -eq

Tabla 1. Impactos a evaluar. Elaboración propia.

3.7.7 Análisis de inventario

3.7.7.1 Block hueco de concreto

El proceso de producción de blocks de concreto, en su mayoría automatizado, llevado a cabo en una empresa mexicana ubicada en Morelia, Michoacán -cuyo nombre no se mencionará debido a cuestiones de confidencialidad- se describe a continuación:

Primeramente, los agregados son extraídos y transportados desde un banco de agregados ubicado en la carretera Morelia-Salamanca, a la planta, recorriendo aproximadamente 22 km, mientras que el cemento se recoge de un depósito ubicado en Irapuato, a 126 km de la planta. Posteriormente, en la planta, se dosifican los tres agregados (arena fina, arena gruesa y grava $\frac{3}{8}$ "") en una mezcladora; la mezcla se humecta y se le agrega cemento para después ser dosificada sobre un molde en donde se expone a vibraciones y posteriormente se compacta y desmoldea sobre una placa de acero. Las piezas formadas sobre las placas se guardan en racks o estantes, mismos que son trasladados a cuartos de curado para depositar las piezas sobre tarimas de madera. Finalmente, terminado el proceso automatizado, con ayuda de un montacargas a diésel, una persona almacena los productos terminados y listos para su venta.

Cabe mencionar que la electricidad es utilizada durante los procesos de dosificación, humectación, mezclado, llenado de moldes, vibrado, compactado y almacenamiento. Por su parte, el montacargas requiere de aproximadamente 350 litros de diésel para el transporte de 500,000 piezas de producción. Asimismo, es importante mencionar que el vehículo que se utiliza para recoger los agregados y transportar los blocks es un camión de carga marca Kenworth modelo T800 año 2018.

Dicho lo anterior, el inventario para la construcción de 1 m² de muro de blocks huecos de concreto de 12 x 20 x 39.8 cm, cuyos datos fueron en su mayoría proporcionados por la empresa mencionada anteriormente, se muestra en la Tabla 2:

Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de block hueco de concreto				
Materiales	Cantidad	Unidad	Proveedor	Fuente
Arena fina	41.3	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	Entrevista a encargado de insumos en fábrica de blocks de concreto en Morelia, Mich
Arena gruesa	36.5	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	
Sello (grava 3/8")	44.35	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	
Cemento	10.7	kg	Portland cement, at plant. Kg NREL	
Agua	15.08	kg	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL	
Electricidad	2.4	MJ	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent	
Diesel	0.3	MJ	Diesel consumption; Diesel fired equipment; Variable power rating MJ NREL	
Mortero	23.8	kg	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent	
Transporte	6.99	tkm	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent	

Tabla 2. Insumos para la construcción de 1 m² de muro construido a partir de block hueco de concreto.

Se supuso que el centro de distribución del cemento de albañilería o mortero fue el establecimiento llamado Construmundo de Morelia el cual se ubica a 4.5 km de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia.

3.7.7.2 Tabique industrial

El proceso de producción de tabiques industrializados llevado a cabo en una empresa mexicana ubicada en Tlaxcala de nombre Novaceramic, se describe a continuación:

En un inicio, los elementos principales, la arcilla *honey*, arcilla Genérica y la Ahuacatlán, son extraídas de distintos lugares y llevadas a la planta de producción, sumando 124.5 km de transporte aproximadamente. Asimismo, otro elemento importante, el papel, se trae desde una papelería ubicada en ciudad Sahagún, a 80 km de distancia. Posteriormente, se

preparan los diferentes tipos de arcilla y se mezclan con papel y agua para dejar en reposo. Una vez homogénea, la mezcla se acarrea y se coloca en moldes para exponerlos al sol. Ya secos, los moldes se introducen en hornos que utilizan gas natural para su funcionamiento. Finalmente, los tabiques son almacenados y están listos para su distribución. Cabe mencionar que la marca del vehículo empleado para el transporte de materiales no se conoce, por lo tanto, se supondrá que es similar a aquel utilizado para el anterior sistema.

Dicho lo anterior, el inventario para la construcción de 1 m² de muro de tabiques industriales de 12 x 12 x 24 cm se muestra en la Tabla 3:

Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de tabique industrial				
Materiales	Cantidad	Unidad	Proveedor	Fuente
Arena	113.27	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	Güereca, et al. 2016
Arcilla total	41.23	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	
Papel	3.31	kg	Paper; at manufacturer. USD (2017) NREL	
Electricidad	16.57	MJ	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent	
Gas natural	193.39	MJ	Natural gas, at industrial user - MX - CMM (Güereca, 2017)	
Agua	19.8	kg	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL	
Mortero	30.38	0.086	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent	
Transporte	51.29	tkm	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent	

Tabla 3. Insumos para la construcción de 1 m² de muro construido a partir de tabique industrial.

Cabe destacar que los tabiques industriales son transportados a un centro de distribución (CEDI) en Morelia desde la planta de Tlaxcala, a 412 km aproximadamente, y posteriormente llevados a 5.3 km a un establecimiento para su venta. Por su parte, al igual que en el caso del muro de block hueco de concreto, se supuso que el mortero se obtiene de Construmundo.

3.7.7.3 Tabique tradicional

El tabique tradicional producido a las afueras de la ciudad de Morelia, Michoacán, resulta de un proceso de producción que se basa en la utilización de un horno de leña. La materia prima se extrae y se transporta a los lugares de producción, a 8 km de distancia. Posteriormente, se realiza un mezclado manual de los insumos para después añadir la mezcla a moldes que formarán los tabiques. Una vez formados los tabiques, son expuestos al sol para después introducirlos a hornos de cocción, utilizando como combustible leña y aserrín para alcanzar temperaturas que van desde 875° C hasta más de 1000°C. Finalmente, los tabiques son almacenados y transportados a puntos de venta, o en este caso, directamente al sitio de construcción, a 5 km de distancia, suponiendo que se utiliza un camión de carga marca Kenworth modelo T800 año 2018. La siguiente tabla muestra el inventario para la producción de 1 m² de muro de tabique tradicional.

Insumos para la construcción de 1 m ² de muro construido a partir de tabique tradicional				
Transporte a la planta	Km	tkm	Proveedor	Fuente
Tierra	215.46	kg	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL	Entrevista a Alejandro Tavera
Leña	347.1	MJ	Tavera, et al.	
Agua	23.75	kg	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL	
Mortero	45	kg	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent	
Transporte	1.7	kg	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent	

Tabla 4. Insumos para la construcción de 1 m² de muro construido a partir de tabique tradicional.

3.8 Análisis económico

El presente capítulo analiza únicamente los costos directos de la construcción de 1 m² de muros de block de concreto, de tabique tradicional y de tabique industrial, dejando de lado los costos indirectos como aquellos relacionados al diseño de la obra, la renta de maquinaria, los alquileres de inmuebles, el pago de impuestos, entre otros.

3.8.1 Dimensionamiento económico de materias primas

Según el sitio web Generador de Precios México, el costo unitario por tabique industrial es de \$ 4.9, para el tabique tradicional es de \$ 3.6, mientras que el block hueco de concreto mantiene un precio de \$ 8.9. Además, calcula que el m³ de agua tiene un costo de \$ 20.43 y

el mortero para albañilería de \$ 422.31/ton. No obstante, al cotizar los materiales en distintas distribuidoras en la ciudad de Morelia, se define que el mortero para albañilería tiene un costo aproximado de \$ 160.00/bulto.

Dicho lo anterior, la Tabla 5 muestra el dimensionamiento económico de materias primas necesarias para la construcción de 1 m² de block hueco de concreto de 12 x 20 x 39.5 cm.

Materias primas	Cantidad	Costo	Unidad	Total
Block	12.6	\$ 8.9	pieza	\$ 112.9
Mortero	23.8	\$ 3.2	kg	\$ 76.1
Agua	4	\$ 0.02	kg	\$ 0.08
Total				\$ 189.14

Tabla 5. Costo de materias primas para la construcción de 1 m² de muro de block hueco de concreto.

A continuación, en la Tabla 6 se muestra el costo de las materias primas para la construcción de 1 m² de tabique industrial de 12 x 12 x 40 cm.

Materias primas	Cantidad	Costo	Unidad	Total
Tabique industrial	30.8	\$ 4.9	pieza	\$ 153.3
Mortero	21.7	\$ 3.20	kg	\$ 69.4
Agua	5	\$ 0.02	kg	\$ 0.10
Total				\$ 222.92

Tabla 6. Costo de materias primas para la construcción de 1 m² de muro de tabique industrial.

Finalmente, la Tabla 7 enlista las materias primas para la construcción de 1 m² de tabique tradicional de 12.5 x 5.5 x 25 cm.

Materias primas	Cantidad	Costo	Unidad	Total
Tabique tradicional	63	\$ 3.6	pieza	\$ 226.8
Mortero	45	\$ 3.2	kg	\$ 144
Agua	8	\$ 0.02	kg	\$ 0.1
Total				\$ 370.96

Tabla 7. Costo de materias primas para la construcción de 1 m² de muro de tabique tradicional.

3.8.2 Dimensionamiento económico de mano de obra

Para la construcción de un m² de muro a base de tabique industrial se requiere de personas especializadas en trabajos de construcción, específicamente de mampostería. En este sentido, para dicha construcción son necesarios un oficial albañil y un peón albañil, ambos especializados. El oficial albañil requiere de 0.721 horas/m² con un costo de \$ 82.84/hora, mientras que el peón de 0.441 horas con un costo de \$41.82/hora. Así, el costo aproximado de la mano de obra para la construcción de 1 m² de muro de tabique industrial es de \$78.17. (Generador de Precios México)

En cuanto a la mano de obra para la construcción de un m² de muro de block hueco de concreto, se requieren un oficial albañil especializado en trabajos de albañilería, así como un ayudante de las mismas características. El primero de ellos requiere de 0.414 horas/m² de construcción con un costo de \$ 82.84/hora, mientras que el ayudante tiene un rendimiento de 0.260 horas / m² con un costo de \$ 41.82/hora. En este sentido, el costo de la mano de obra para la construcción de 1 m² de muro de block hueco de concreto es de \$45.17. (*Ibid*)

Por último, la mano de obra necesaria para muros de mampostería de tabique recocado tradicional requiere de un albañil especializado en trabajos de mampostería, así como un peón con las mismas características. Sumando el total del costo de mano de obra resulta en \$85.62/m² de muro construido. (*Ibid*)

3.9 Análisis energético funcional

Seguidamente, se elaboró un análisis energético-funcional, incluyendo indicadores que determinen las propiedades acústicas, térmicas y mecánicas de cada material. En este sentido, se analizan las propiedades intrínsecas de los materiales (tales como las conductividad térmica y acústica) así como las características del material al entrar en contacto con el entorno.

3.9.1 Análisis térmico

Con base al Código de Edificación de Vivienda (2010), los materiales en muros exteriores para edificaciones deben permitir la amortiguación de la temperatura exterior con el fin de lograr el confort térmico dentro de la vivienda. En este sentido, la norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 establece que los valores mínimos de resistencia térmica (R) en muros envolventes deben ser de mínimo 1 m² K/W para todas las regiones de México (Figura 16).

Zona térmica No.	Techos m ² K/W (ft ² ·h ² /BTU)			Muros m ² K/W (ft ² ·h ² /BTU)			Entrepisos Ventilados m ² K/W (ft ² ·h ² /BTU)		
	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Minima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	NA	NA	NA
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	0,70 (4,00)	1,10 (6,00)	1,20 (7,00)
3A , 3B 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)	0,90 (5,00)	1,40 (8,00)	1,60 (9,00)
4A , 4B 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)	1,10 (6,00)	1,80 (10,00)	1,90 (11,00)



Figura 16. Aislamiento térmico para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana.

El valor de resistencia térmica debe contemplar cada material que comprende el muro y los espesores de estos, así como las cámaras de aire, la porosidad y las resistencias térmicas tanto del exterior y como del interior. Así, entre mayor sea el valor de resistencia térmica, mayor confort térmico existirá dentro de la vivienda. Considerar la conductividad térmica como un indicador de parámetros energéticos es de suma importancia, puesto que cuando más adversas son las condiciones de confort térmico, mayor se vuelve en consumo energético indirecto, porque se vuelve necesario el uso de sistemas de aire acondicionado o de consumo de diversos combustibles para calefacción. Por lo tanto, este indicador permite validar la funcionalidad de los materiales de construcción y ponderar beneficios vinculados al sector social.

3.9.2 Análisis acústico

A pesar de que la acústica es un elemento fundamental en el confort de una vivienda, comúnmente las propiedades acústicas de los materiales se dejan de lado en el proceso de diseño de una edificación. Con base en la Norma NBE-CA-88, misma que establece las condiciones mínimas con el fin de mantener un nivel acústico aceptable y así proteger a los ocupantes de las construcciones de las fuentes internas y externas de ruido que ocasionan molestias tanto físicas como psíquicas, los niveles de dB recomendables dentro de un hogar se encuentran dentro de 25 y 35 (INIFED, 2014). Los materiales presentan una capacidad de aislamiento acústico que dependerá de su espesor, porosidad, suavidad, elasticidad y resistencia al flujo; dichos valores de aislamiento se mantienen entre 20 y 60 decibeles (dB), siendo el valor más alto, el mejor acústicamente hablando.

3.9.3 Análisis de propiedades mecánicas

Las propiedades de resistencia a compresión de los materiales de construcción resultan de gran relevancia al evaluar las capacidades sismo-resistentes de estos. En este sentido, en lugares con actividad sísmica, los materiales deben ser capaces de soportar las presiones que la misma tierra ejerce sobre ellos, con el fin último de evitar desastres que perjudiquen a los usuarios y/o a terceros. Así, en términos funcionales, considerar la resistencia en materiales de construcción contribuye a generar escenarios más seguros para los usuarios finales. Por lo que este indicador es necesario para la futura toma de decisiones. Si bien es cierto que existen normas que rigen el panorama de la construcción en el sector residencial mexicano, lo cierto también es que no siempre se siguen con estricto apego; y es en estos casos donde se vuelven indispensables marcos de evaluación integrales para conocer de forma generar las características que tienen diversos materiales.

3.10 Análisis comparativo

De forma integrada los resultados del análisis multiparamétrico incorporan todos los indicadores definidos en este capítulo. La metodología utilizada para formar una escala comparativa normalizada se basa en el trabajo de marcos de evaluación mostrados por González, et al, 2017 y Maserá, et al 1999. En este caso, para mostrar los resultados del análisis de los tres muros estudiados se ha definido una escala máxima y mínima (Tabla 8).

Parámetro	Indicador	Valor máximo	Valor mínimo
Ambiental	Calentamiento global (Kg CO ₂ -eq) [Concreto]	139.67	0
	Acidificación (Kg SO ₂ -eq) [Tabique rojo tradicional]	9.91	0
	Eutrofización (Kg PO ₄ -eq) [Tabique rojo tradicional]	1.21	0
Económico	Costo de Materia Prima (\$) [Concreto]	\$2,295.23	0
	Costo mano de obra por unidad funcional (\$) [Concreto]	\$478.44	0
Energético-funcional	Resistencia térmica (w/m ² K) [Tabla roca]	1.0557	0
	Resistencia mecánica a compresión (kg/cm ²) [Concreto]	200	0
	Aislamiento acústico (dBl) [Concreto]	57	0

Tabla 8. Definición de valores para la unidad funcional m² (máximos y mínimos).

La Tabla 8 considera valores máximos de un caso extremo ideal y valores mínimos nulos de un caso extremo mínimo. Los valores máximos en su mayoría están referidos al caso de la unidad funcional considerando únicamente concreto, salvo el caso de la acidificación y eutrofización, que se refieren al caso del tabique rojo tradicional, así como la resistencia térmica, que incorpora un valor máximo para la tablaroca, un material con alta resistencia.

El análisis multiparamétrico integrado de esta propuesta consiste en la construcción de una escala general para todos los indicadores, por lo que cada uno debe ser normalizado a una escala sencilla de integración de resultados que va de 0 a 10, donde 0 es el peor escenario y 10 el mejor. No todos los valores máximos de la Tabla 8 representan la escala de ponderación 10, depende del tipo de indicador que se analice; por ejemplo, los indicadores económicos reflejan valores máximos que representan que cuanto más costoso sean los

materiales y mano de obra, menor ponderación tendrán, por lo que estos límites máximos tendrán valores cercanos a cero, cuando más costoso, menos ponderación reciben, y esto aplica para indicadores cuyos valores máximos generan escenarios desfavorables.

Por lo anterior, el siguiente paso es la construcción de los valores ponderados de 0 a 10 de cada uno de los indicadores propuestos para cada uno de los sistemas analizados, considerando los valores definidos en la Tabla 8. Finalmente, los valores obtenidos se integran en una gráfica radial donde se agrupan por parámetros y se pueden analizar de acuerdo con el criterio del tomador de decisiones, qué indicadores y parámetros tiene más importancia y, en consecuencia, cuál es el material de elección. Sin embargo, el sesgo de la decisión puede estar orientado a alguno de los parámetros ambientales, económicos y energético funcionales.

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1 Evaluación del impacto ambiental

Se ingresaron los datos de la base de datos al inventario generado a partir de Ecoinvent y NREL. Los impactos potenciales se agruparon en las siguientes categorías de impacto: potencial de calentamiento global, potencial de acidificación y potencial de eutrofización.

4.1.1 Potencial de calentamiento global

El índice de Potencial de Calentamiento Global mide la cantidad de calor que un gas de efecto invernadero puede retener en la atmósfera por determinado tiempo (en este caso 100 años) y de esta manera, como puede contribuir al calentamiento global, medido en kg de CO₂eq. En la Tabla 9 y en la Tabla 10 se muestran las emisiones de CO₂eq que derivan de la construcción de 1 m² de muro.

Muros	Emisiones totales por m ²
Block hueco de concreto	32.49 kg CO ₂ eq
Tabique industrial	24.63 kg CO ₂ eq
Tabique tradicional	55.50 kg CO ₂ eq

Tabla 9. Emisiones de CO₂eq por muro.

Muros	Emisiones de CO ₂ eq del transporte por m ²
Block hueco de concreto	0.46 kg CO ₂ eq
Tabique industrial	3.35 kg CO ₂ eq
Tabique tradicional	0.11 kg CO ₂ eq

Tabla 10. Emisiones de CO₂eq derivadas del transporte por m² de muro.

4.1.2 Potencial de acidificación

Por su parte, el índice de Potencial de acidificación, medido en SO_{2eq}, corresponde a la capacidad que tiene una sustancia de acidificar el suelo o el agua. Las emisiones de SO_{2eq} derivadas de la construcción de 1 m² de muro se enlistan en la Tabla 11 y en la Tabla 12.

Muros	Emisiones totales por m ²
Block hueco de concreto	0.02 kg SO _{2eq}
Tabique industrial	0.02 kg SO _{2eq}
Tabique tradicional	9.91 kg SO _{2eq}

Tabla 11. Emisiones de SO_{2eq} por muro.

Muros	Emisiones de SO _{2eq} del transporte por m ²
Block hueco de concreto	1.3 x 10 ⁻⁰⁴ kg SO _{2eq}
Tabique industrial	9.5 x 10 ⁻⁰⁴ kg SO _{2eq}
Tabique tradicional	3.17 x 10 ⁻⁰⁵ kg SO _{2eq}

Tabla 12. Emisiones de SO_{2eq} derivadas del transporte por m² de muro.

4.1.3 Potencial de eutrofización

Por último, en la Tabla 13 y en la Tabla 14 se incluyen las emisiones que contribuyen al aumento excesivo de nutrientes en el agua derivadas de la construcción de 1 m² de muro.

Muros	Emisiones totales por m ²
Block hueco de concreto	0.80 kg PO _{2eq}
Tabique industrial	1.05 kg PO _{2eq}
Tabique tradicional	1.21 kg de PO _{2eq}

Tabla 13. Emisiones de PO_{2eq} por m² de muro.

Muros	Emisiones de PO _{2eq} del transporte por m ²
Block hueco de concreto	1.92 x 10 ⁻⁰⁵ kg PO _{2eq}
Tabique industrial	1.41 x 10 ⁻⁰⁴ kg PO _{2eq}
Tabique tradicional	4.68 x 10 ⁻⁰⁶ kg de PO _{2eq}

Tabla 14. Emisiones de PO_{2eq} derivadas del transporte por m² de muro.

4.1.4 Interpretación

Con el fin de vislumbrar los impactos ambientales derivados únicamente de la producción de los tabiques y el block, se procedió a excluir de la gráfica los materiales que conforman las juntas, resultando en la Figura 17.

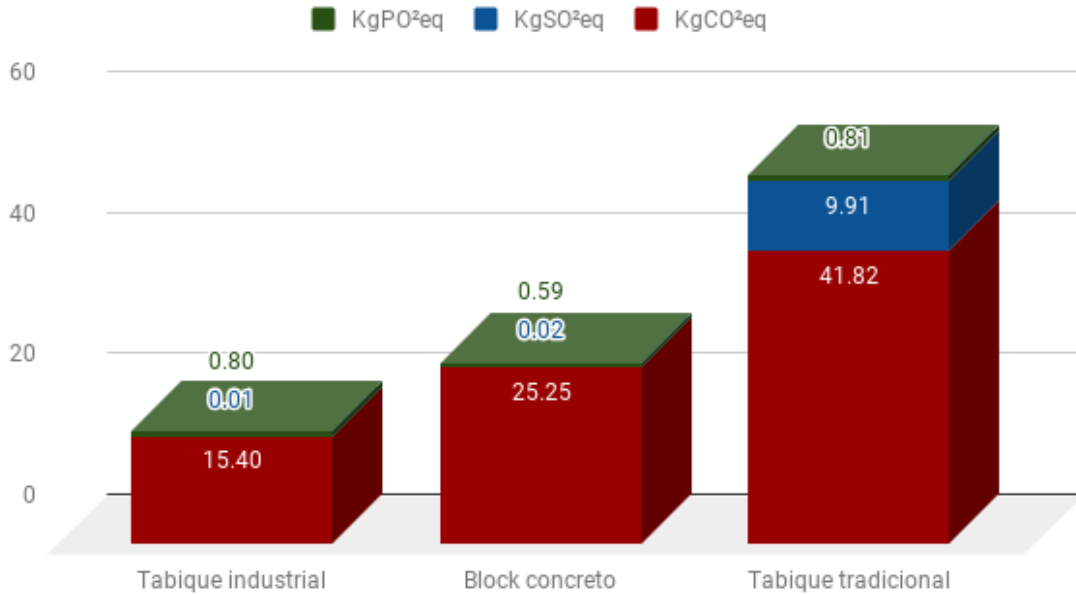


Figura 17. Impactos ambientales de la producción de tabiques y block por m² de muro.

La Figura 18 muestra los kilogramos de CO₂eq, PO₂eq y SO₂eq que derivan de la extracción de materias primas y su procesamiento para la elaboración de 1 m² de muro de tabique industrial, block de concreto y tabique tradicional, incorporando el material necesario para las juntas.

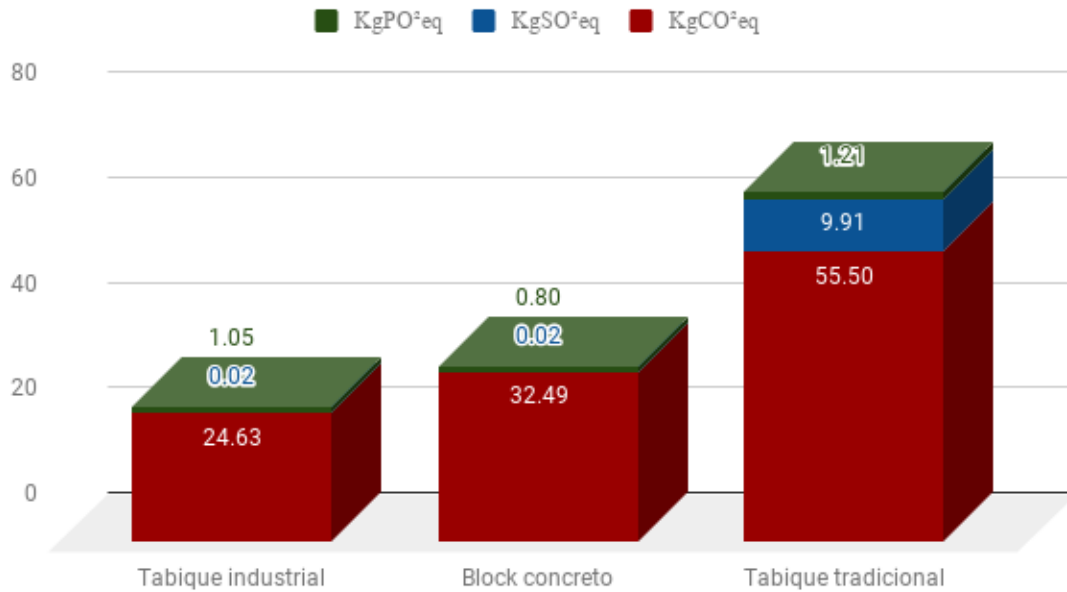


Figura 18. Impactos ambientales de la producción del total de materiales por m² de muro.

Los resultados muestran una huella de carbono elevada para el m² de muro construido con base en tabique tradicional en comparación de los demás muros. Lo anterior se debe principalmente a las emisiones derivadas de la combustión de leña en hornos tradicionales. Además, se aprecia un valor alto de potencial de acidificación en el ciclo de vida del mismo muro debido al nitrato (NO₃) también emitido durante la combustión en hornos de leña. Los resultados de potencial de eutrofización para el muro de tabique tradicional representan aquellos de mayor impacto por una diferencia mínima entre este y el muro de tabique industrial a pesar de que el segundo utiliza una mayor cantidad de materiales para su fabricación.

Por otro lado, las emisiones de CO_{2eq} resultantes de la construcción del muro de block hueco de concreto son consecuencia de la producción de cemento y del uso de mortero, mientras que aquellas de SO_{2eq} provienen principalmente del mortero para la adición de blocks. Además, el agua utilizada en la producción de blocks aporta la mayor cantidad kilogramos de PO_{2eq} para el mismo muro.

Por último, el muro de menor impacto ambiental en el presente estudio, aquel elaborado a partir de tabique industrial, emite Kg de CO_{2eq} debido principalmente al uso de gas natural y mortero. La figura 17 muestra que la producción de tabiques industriales necesarios para la construcción de 1 m² de muro tiene un impacto ambiental mucho menor si la comparamos con la producción de blocks de concreto y tabiques tradicionales necesarios para 1² de muro, de 15.40 Kg de CO_{2eq}, 25.25 Kg de CO_{2eq} y 55.50 Kg de CO_{2eq} respectivamente. En lo que respecta al potencial de acidificación, el uso de mortero sigue siendo el principal emisor de gases acidificantes. Para el caso del PO_{2eq} emitido durante el ciclo de vida de 1 m² de muro de tabique industrial se muestra la mayor cantidad de Kg al utilizar agua para la producción de tabiques.

Lo dicho hasta ahora supone que el ciclo de vida de 1 m² de muro de tabique industrial mantiene una relación más armónica con el ambiente que los demás sistemas, no obstante, hay que tener en cuenta las emisiones derivadas del transporte de materiales desde la manufactura hasta el sitio en donde se realiza la obra, expuestas en la Figura 19.



Figura 19. Impactos ambientales derivados del transporte de materiales para 1 m² de muro.

En este caso, el muro de tabique industrial se encuentra por encima de los demás sistemas al recorrer un aproximado de 645 km en todo su ciclo de vida, seguido por el muro de block de concreto con 177 km y por el muro de tabique tradicional con un traslado de 17.5 km. No obstante, al incorporar los resultados del transporte a los impactos derivados de la producción de materiales para la construcción de 1 m² de muro, aquel con menor impacto hacia el ambiente sigue siendo el muro elaborado a partir de tabique industrial (Figura 20), con 27.98 KgCO₂eq, 0.021 KgSO₂eq y 1.05 KgPO₂eq seguido por el de block de concreto con 32.95 KgCO₂eq, 0.020 KgSO₂eq y 0.8 KgPO₂eq, siendo el muro de tabique tradicional el mayor contaminante.

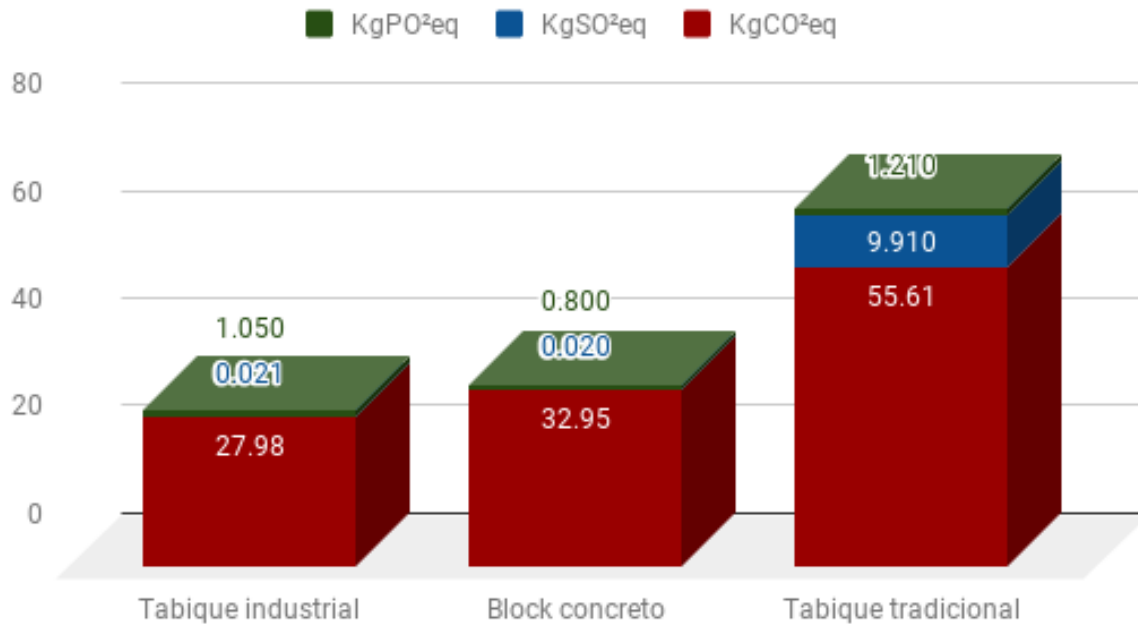


Figura 20. Impactos totales por m² de muro.

Ahora bien, la elección de un material de construcción de mayor impacto ambiental en lugar de otro con mayores emisiones podría significar una mitigación de GEI, es decir, se estaría evitando la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. En este sentido, al optar por construir un m² de muro a partir de block de concreto y no uno elaborado de tabique tradicional, se estarían mitigando 22.66 KgCO²eq, 9.89 KgSO²eq y 0.41 KgPO²eq por m² construido. Más aún, si el tomador de decisiones prefiere construir un muro de tabique industrial antes que uno de tabique tradicional, su elección representaría 27.98 KgCO²eq, 9.88 KgSO²eq y 0.16 KgPO²eq por m² de muro. En cuanto a la relación tabique industrial-block de concreto, al elegir un muro construido a partir del primer material, la mitigación representaría únicamente 4.97 KgCO²eq y, por el contrario, dicha elección significaría una emisión mayor de 0.001 KgSO²eq y 0.25 KgPO²eq por m² construido.

4.2 Evaluación económica

4.2.1 Estimación de costos generales

Con base en los puntos anteriores, la estimación general de los costos directos que representa la construcción de 1 m² de muro de block hueco de concreto de 12 x 20 x 39.8 cm, sin tomar en cuenta la maquinaria utilizada en la obra, es equivalente a \$211.24. Por su parte, la construcción de 1 m² de muro de tabique industrial 12 x 12 x 24 cm tiene un costo total de \$ 301.09, mientras que aquel de 1 m² de muro de tabique tradicional es de \$456.58.

Costos generales para block de concreto	
Materias primas	\$ 189.14
Mano de obra	\$ 45.17
Total	\$ 211.24

Tabla 15. Costos generales para la construcción de 1 m² de muro de block de concreto.

Costos generales para tabique industrial	
Materias primas	\$ 222.92
Mano de obra	\$ 78.17
Total	\$ 301.09

Tabla 16. Costos generales para la construcción de 1 m² de muro de tabique industrial.

Costos generales para tabique tradicional	
Materias primas	\$ 370.96
Mano de obra	\$ 85.62
Total	\$ 456.58

Tabla 17. Costos generales para la construcción de 1 m² de muro de tabique tradicional.

Como se ha mostrado en las tablas anteriores, los gastos por concepto de la unidad funcional se atribuyen principalmente a los insumos, mientras que la mano de obra sólo representa una parte por debajo de la mitad de los costos de los materiales (Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17).

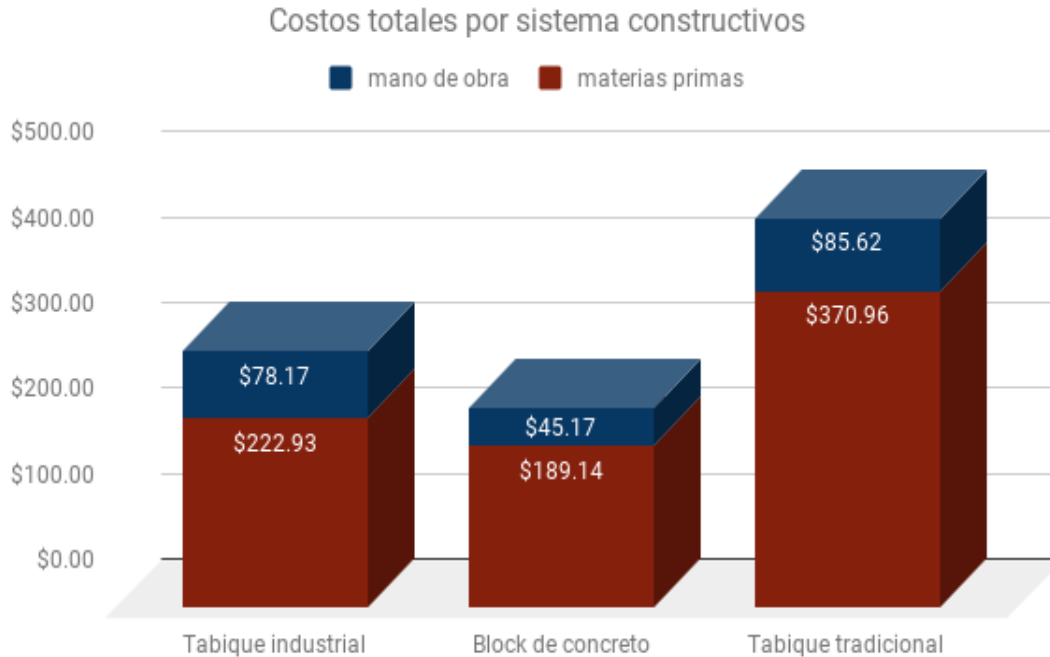


Figura 21. Costos totales por m² de muro.

Además, se analizaron los costos generales para la construcción de un muro de concreto, el cual se considera uno de los más costosos. Esta estimación se realizó para tener un referente extremo de gastos asociados a la construcción de 1 m² de este material (Tabla 18), información que será utilizada en el análisis comparativo multiparamétrico más adelante.

Costos generales para concreto	
Materias primas	\$ 2,295.23
Mano de obra	\$ 478.44
Total	\$ 2,773.68

Tabla 18. Costos generales para la construcción de 1 m² de muro de concreto.

4.3 Análisis energético funcional

4.3.1 Resistencia térmica

La resistencia térmica de la pieza de block hueco de concreto es de 0.36 m²K/W, por ello se han realizado mezclas de block de concreto con cemento aligerado en esfuerzos por aumentar la R y reducir la transferencia de calor, dando como resultado un aumento de la resistencia térmica de 0.1 a 0.24 m²K/W (Al-Jabri et al., 2004), teniendo una R final de 0.504 m²K/W (Borbón *et al.*, 2010). Así, para que el muro de block alcance el valor mínimo de la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 (1 W/m²k) se requiere la adición de un aislante térmico.

Por otro lado, la resistencia térmica de los muros de tabique industrial adicionados con mortero es equivalente a $1.013 \text{ m}^2\text{k/W}$ (Anexo 1). Lo anterior nos indica que los muros de tabique industrial no requieren aislantes adicionales debido a que cumplen con los valores mínimos de resistencia térmica especificados en la norma anteriormente mencionada.

Por su parte, los valores de conductividad térmica del tabique rojo corresponden a $0.95 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Morillon, 2007), así, aplicando la fórmula para obtener la resistencia térmica a partir del espesor del material y la conductividad térmica del mismo, se sabe que la R equivale a $0.131 \text{ m}^2\text{k/W}$. En este sentido, si suponemos que al añadir cemento aligerado al muro la resistencia aumenta $0.24 \text{ m}^2\text{K/W}$, al igual que en los muros de block de concreto, la R final sería de $0.371 \text{ m}^2\text{K/W}$, valor que queda por muy debajo del valor mínimo aceptable en muros mexicanos.

Análogo al caso de los indicadores económicos, con fines de realizar un análisis comparativo integrado al final de este capítulo, se define un caso ideal de baja conductividad térmica, por lo que cabe destacar que se utilizó como caso ideal la resistencia térmica del material denominado tablaroca, cuya conductividad térmica es de $0.1471 \text{ W/m}^2\text{K}$ y aplicando la fórmula para obtener la resistencia térmica para un muro de 12 cm de espesor, nos da como resultado $0.8157 \text{ m}^2\text{K/W}$, aumentando a $1.0557 \text{ m}^2\text{K/W}$ en caso de añadir cemento aligerado al muro (Ruiz, Canto & Lira, 2014).

4.3.2 Evaluación acústica

De acuerdo con el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED, 2014), la resistencia acústica del tabique industrial corresponde a 46.4, mayor a la que se muestra para el tabique tradicional (40 dB), mientras que para un block de concreto cuyo espesor es de 12 centímetros es de 48 dB. El caso ideal de mayor ponderación lo tiene el concreto para espesores de 12 cm, cuya resistencia acústica es del orden de 57dB.

4.3.3 Evaluación de propiedades mecánicas

La resistencia a compresión de la mampostería de tabique industrial corresponde a 60 kg/cm^2 (Anexo 2), mientras que la pieza de block hueco de concreto de $12 \times 20 \times 39.8 \text{ cm}$ tiene una resistencia del mismo tipo de 70 Kg/cm^2 (Anexo 1). Por su parte, la resistencia a compresión que presentan las piezas de tabique rojo recocido, es decir, el tabique tradicional aquí estudiado, es de aproximadamente 52.45 Kg/cm^2 (Gante *et al.*, 2002). Así, para realizar el análisis comparativo, las propiedades mecánicas que se definieron para el caso ideal fueron las de un muro de concreto de 12 cm de espesor, con resistencia de 200 kg/cm^2 .

4.4 Integración de resultados

Como se mencionó anteriormente, los valores del análisis multiparamétrico, son ponderados de 0 a 10 para los indicadores de cada material analizado; estos se muestran en la Tabla 19.

INDICADORES	Block de concreto		Tabique industrial		Tabique tradicional	
	Valor real	Valor normalizado	Valor real	Valor normalizado	Valor real	Valor normalizado
Calentamiento global (Kg CO ₂ eq)	32.95	7.64	27.98	7.99	55.61	6.01
Acidificación (Kg SO ₂ eq)	0.02	9.98	0.02	9.97	9.91	0
Eutrofización (Kg PO ₄ eq)	0.8	3.39	1.05	1.32	1.21	0
Costo de Materia Prima (\$)	189.14	9.18	222.92	9.03	370.96	8.38
Costo mano de obra por unidad funcional (\$)	45.17	9.06	78.17	8.36	85.62	8.21
Resistencia térmica (m ² K/W)	0.50	4.77	1.013	9.59	0.371	3.51
Resistencia mecánica compresión (kg/cm ²)	70	3.50	60	3	52.45	2.62
Aislamiento acústico (dBl)	48	8.42	46.4	8.14	40	7.01

Tabla 19. Ponderación de los valores normalizados.

En la Figura 19, se muestran los parámetros de forma representativa, de tal forma que se pueda tener preferencia sobre algunos indicadores más que otros, pero se debe considerar que los parámetros energéticos-funcionales definen en gran medida la utilidad para el usuario final.

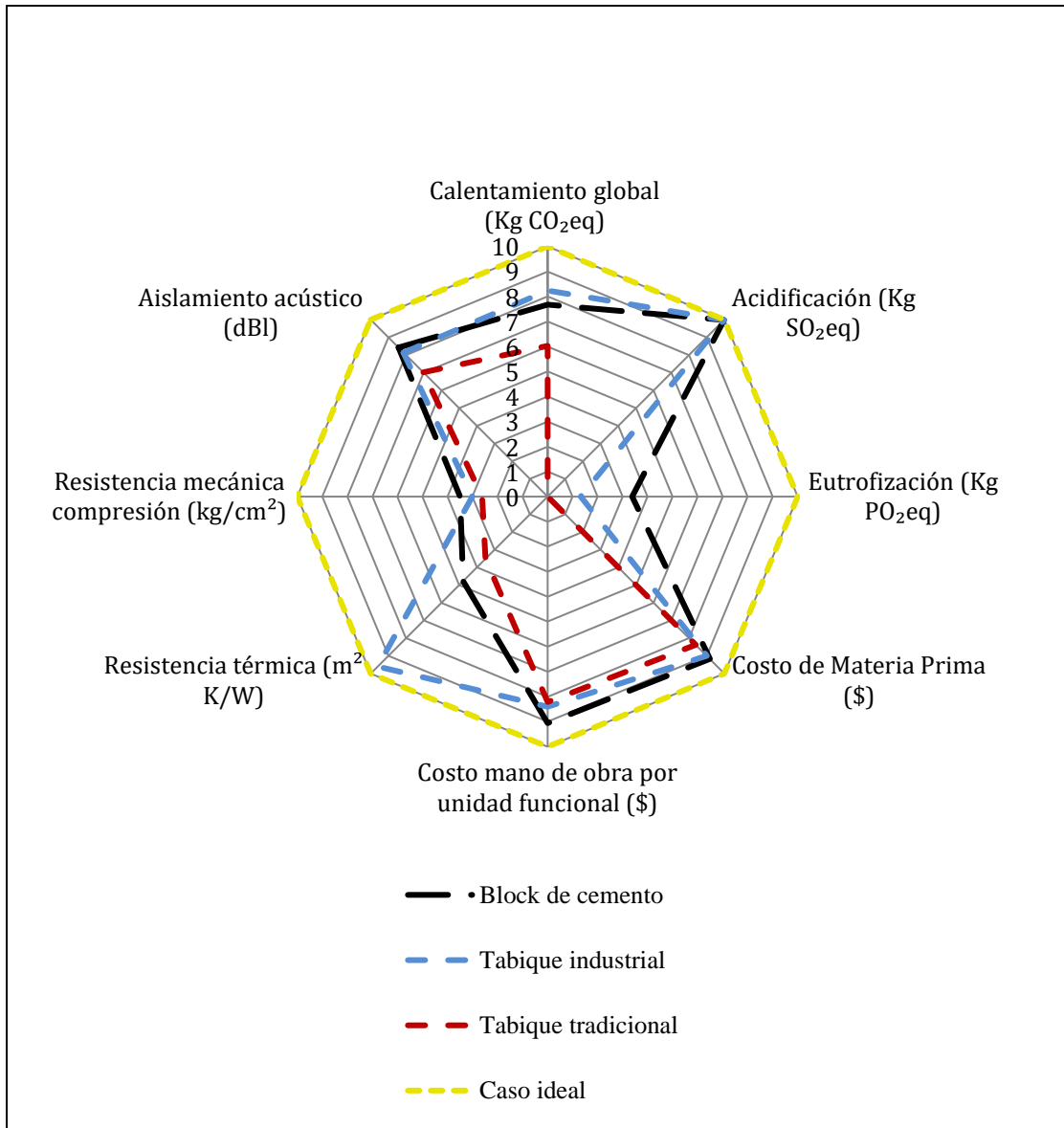


Figura 22. Integración de resultados.

4.5 Discusión

Después de la evaluación multiparamétrica, y los valores obtenidos para cada indicador, los resultados de forma integrada se aprecian en la Figura 23. Se puede apreciar la comparación de materiales, de acuerdo con cada parámetro e indicador, facilitando al lector su interpretación. También, puede notarse que los indicadores están agrupados por parámetros, lo que evidencia las fortalezas y debilidades asociadas a cada uno.

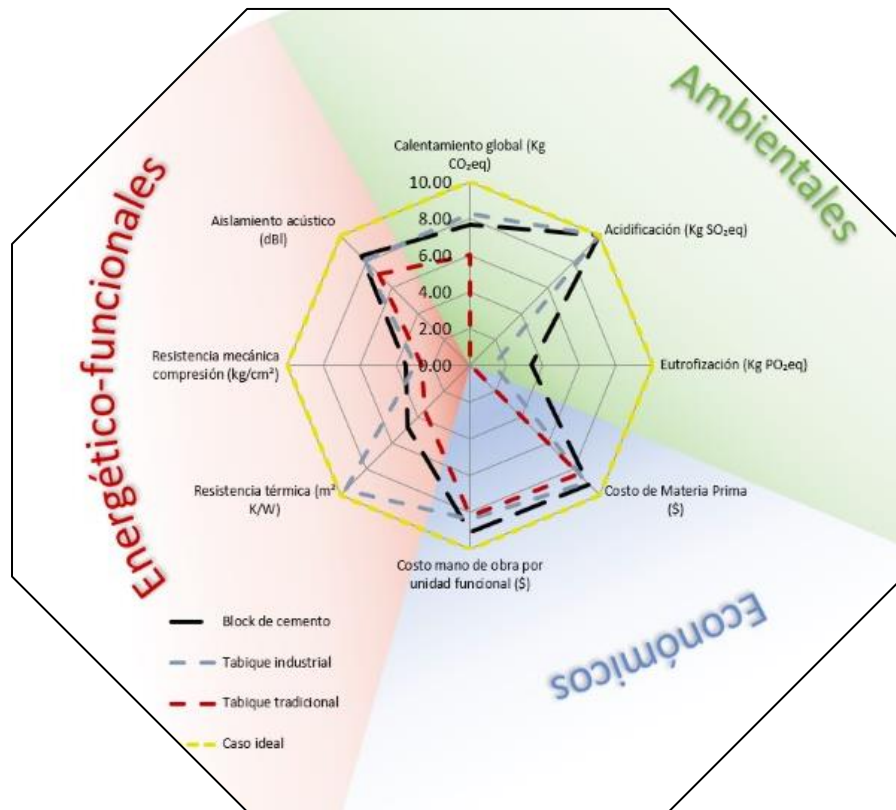


Figura 23. Análisis multiparamétrico integrado.

En términos ambientales, el material que resultó en un mayor impacto en emisiones fue el tabique tradicional, con valores similares a los mostrados en España por Zabalza, *et al.* (2011), los cuales calculan 49.5 kg de CO_{2eq} por m². Por su parte, el block de concreto muestra valores intermedios (32.95 kg de CO_{2eq}) y menores a los mostrados por Güereca *et al.* (2017) debido a que el block analizado en el presente estudio utiliza 7.8% de cemento, mientras que aquel de Novaceramic (Güereca *et al.*, 2017) está formado en un 33% por dicho componente; es decir, se ha identificado un block incluso con menor uso de cemento, lo cual se traduce en menores impactos ambientales, y diversifica el potencial de comparación de los ladrillos analizados. El material con valores más favorables en la presente evaluación fue el tabique industrial, tal como lo muestra el estudio de huella de carbono de Novaceramic en México (Güereca *et al.*, 2017), mismo que calcula 29.15 CO_{2eq} por m². Asimismo, Zabalza, *et al.* (2011) consideran 25.42 kg de CO_{2eq} para el m² de tabique industrial, valor similar al resultante en el presente ACV (27.98 kg de CO_{2eq}).

En términos de los indicadores económicos, el block de concreto ha demostrado ser más económico en cuanto a materias primas y mano de obra para la edificación de la unidad funcional estudiada, en comparación con los otros materiales analizados. Por otra parte, respecto a los indicadores energético-funcionales, el tabique tradicional posee condiciones más desfavorables en cuanto a la resistencia térmica y la resistencia mecánica, mientras que el tabique industrial muestra lo opuesto. Para el caso del aislamiento acústico las propiedades

no son muy distintas entre los distintos materiales, aunque el block de concreto posee mejores condiciones.

Cabe destacar que el uso de hornos de leña, cemento, mortero y gas natural representa la mayor cantidad de emisiones de GEI en los sistemas analizados. Por lo que no es extraño conocer, que el impacto en emisiones es mayor para el tabique tradicional, cuyo proceso de horneado se realiza con biomasa forestal y mediante combustión al aire libre. Sin embargo, este indicador, calentamiento global, no es el más relevante, en síntesis, ninguno lo es. Los indicadores no tienen una priorización *per se*. Por el contrario, el análisis multiparamétrico considera un enfoque más inclusivo e integrado, que permita conocer fortalezas y debilidades en distintos parámetros, para este caso: ambientales, económicos y energético-funcionales.

Por ejemplo, aunque el ladrillo tradicional sea el de mayor impacto ambiental, en muchos casos, su obtención es bastante fácil y es común que el usuario decante su decisión por elegir un material de construcción dada su practicidad de adquisición. En este sentido, tal como se ha mostrado por González, *et al*, (2017), metodologías como la que sigue el presente análisis, muestran un escenario diversificado, donde la priorización de indicadores depende de los parámetros de interés del usuario final, en algunos casos, resulta más importante economizar recursos, aun cuando se descuiden los indicadores ambientales y aquellos que definen la óptima funcionalidad del material de construcción. De la misma forma, se puede pensar en priorizar aspectos ambientales sin importar qué tan costoso resulte el proceso de construcción mediante el uso del material de menor impacto ambiental.

Por lo tanto, el alcance del presente trabajo versa en generar una herramienta metodológica integrada, mediante distintos parámetros e indicadores, que coadyuven a generar foros de diálogo para la determinación de materiales de construcción, que satisfagan las necesidades del usuario final, de acuerdo a su especial interés en los parámetros mencionados.

La propuesta no se limita a la dimensión del sector residencial; es decir, sistemas constructivos aislados ni a ejercicios de autoconstrucción de viviendas. También, se podría articular con estrategias para la licitación de obra pública (escuela, dependencias gubernamentales, etcétera), donde se justifique la selección de materiales en términos de priorizar determinados indicadores; o bien, que se definan normativas para la construcción de diversos inmuebles; análogo a la Norma NBE-CA-88, que define los límites permitidos de resistencia acústica que deben poseer los materiales de construcción, también se podrían establecer límites inferiores, de acuerdo a los indicadores propuestos, para asegurar que las edificaciones posean materiales adecuados en términos de los parámetros de funcionalidad, de impactos ambiental y de asequibilidad (gasto por concepto de insumo y construcción).

En síntesis, esta propuesta sugiere de una forma integrada la evaluación diferentes materiales de construcción, y no se limita a un solo material de construcción, aunque para fines de este trabajo sólo se ha hecho la variación de los ladrillos de construcción, lo cierto es que se puede abordar la misma metodología para determinar análisis comparativos para distintos materiales utilizados en pisos, techos y construcciones específicas.

4.6 Conclusiones

Del presente trabajo se puede concluir que:

- El tabique industrial representa la mejor opción en términos ambientales al presentar valores más bajos de emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ y de $\text{SO}_{2\text{eq}}$. En cuanto a los valores de eutrofización, este material se encuentra por encima del block de concreto y por debajo del tabique tradicional, manteniendo poca diferencia entre los tres. Asimismo, el tabique industrial mantiene una resistencia térmica mayor a la de los demás materiales, parámetro de gran importancia en términos de confort dentro de la vivienda. Dicho lo anterior y a pesar de que la construcción de 1 m^2 de muro elaborado a partir de tabique industrial significa un costo mayor que aquel de block de concreto, aunque menor que un muro de tabique tradicional, el primero se considera la mejor opción ya que el nivel de aislamiento térmico que mantiene evita gastos energéticos y monetarios en la etapa de uso del muro.
- El optar por construir un m^2 de muro a partir de block de concreto y no uno elaborado de tabique tradicional, se estarían mitigando $22.66 \text{ KgCO}_2^{\text{eq}}$, $9.89 \text{ KgSO}_2^{\text{eq}}$ y $0.41 \text{ KgPO}_2^{\text{eq}}$ por m^2 construido. Más aún, si el tomador de decisiones prefiere construir un muro de tabique industrial antes que uno de tabique tradicional, su elección representaría $27.98 \text{ KgCO}_2^{\text{eq}}$, $9.88 \text{ KgSO}_2^{\text{eq}}$ y $0.16 \text{ KgPO}_2^{\text{eq}}$ por m^2 de muro. En cuanto a la relación tabique industrial-block de concreto, al elegir un muro construido a partir del primer material, la mitigación representaría únicamente $4.97 \text{ KgCO}_2^{\text{eq}}$ y por el contrario, dicha elección significaría una emisión mayor de $0.001 \text{ KgSO}_2^{\text{eq}}$ y $0.25 \text{ KgPO}_2^{\text{eq}}$ por m^2 construido.
- A pesar de que el estudio ambiental de los materiales, y la elección de aquellos con menor impacto, resulta de suma relevancia al momento de diseñar una construcción, se exhorta a seguir una serie de recomendaciones para aminorar las afectaciones al ambiente al realizar dicha práctica, tales como: reducir la cantidad de materiales a utilizar, hacer más eficientes los procesos y técnicas de producción y de distribución, reducir el impacto ambiental durante la fase de uso de las construcciones con la ayuda de ecotécnicas, y optimizar la vida útil de las mismas.
- La herramienta comparativa utilizada no sólo refleja las diferencias entre los sistemas, sino que representa una metodología que muestra las fortalezas y debilidades de cada sistema y permite que la toma de decisiones pueda ser diversificada, de acuerdo a la priorización de los parámetros propuestos, de tal forma que la selección de materiales dependerá de la importancia que el tomador de decisiones le brinde a cada uno de los parámetros e indicadores, y así, elija la opción que mejor considere conveniente.
- La resolución de los problemas ambientales, al ser complejos, muchas veces requiere ponderar cuestiones tanto económicas como sociales y ambientales, resultando en una práctica complicada. Es por lo anterior que este estudio cobra relevancia, ya que, al analizar distintos parámetros e indicadores mediante una metodología de carácter integrado, es posible realizar una evaluación de manera cuantitativa con potencial

cualitativo y así llegar a soluciones con mayor sustento y realizar una evaluación diversificada e integrada.

- Finalmente, la presente metodología puede ser reproducible a otros sistemas de construcción, como pisos y techos, así como viviendas en general, variando los materiales utilizados en estos sistemas; también, se puede vislumbrar su potencial de aplicación, coadyuvando en la construcción de políticas públicas asociadas a la edificación de inmuebles de sector público, así como la generación de normativas de construcción.

Referencias

- Aguilar, G. (2006). *Los asentamientos humanos y el cambio climático en México. Un escenario futuro de vulnerabilidad regional*.
- Arias, F. (1999). *El proyecto de investigación. Guía para su elaboración*.
- Barragán, A. & Ochoa, P. (2014). *Estudio de caso: Diseño de viviendas ambientales de bajo costo, Cuenca (Ecuador)*. MASKANA, Vol. 5, No.1.
- Bermejo, R. (2015). *La gran transición hacia la sostenibilidad, principios y estrategias de economía sostenible (Vol. 205)*. Los libros de la Catarata.
- Borbón, Ana C, Cabanillas, Rafael E, & Pérez, Jesús B. (2010). *Modelación y Simulación de la Transferencia de Calor en Muros de Bloque de Concreto Hueco*. Información tecnológica, 2c1(3), 27-38.
- Cárdenas B., Aréchiga, U., Munguía J.L., Márquez C., Campos, A. 2012. *Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire*. Informe Final del Convenio de Colaboración INE/ADA-013/2009. Versión Actualizada junio 2012. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y el Instituto Nacional de Ecología. México D.F. pp44.
- Cardim, A. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña, doctorado en Ingeniería Civil.
- Centro Mario Molina (2014). *Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones*.
- CEMEX (2005). *Manual del Constructor*. México.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (2008). *Edificación sustentable en América del Norte. Oportunidades y retos*.
- CONAPO (2012). *Catálogo. Sistema Urbano Nacional 2012*. México.
- Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. (2007). *Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación*. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.
- Conde, C. (2006). *México y el cambio climático global*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM.
- Curran, M. A. (Ed.). (2012). *Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally*

sustainable products. John Wiley & Sons.

- Çengel, A. (1998). *Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico*. Tercera Edición.
- Delgado, L. (2008). *Urbanismo y arquitectura ecológicos: territorios de la ecología humana*. Boletín CF+ S, (35).
- Domínguez, J. A. & Martínez, E. (2007). *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas*. Ingeniería, 11(3).
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). *Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción*. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 234-254.
- Escalona, V. (2007). *Incidencia de la inercia térmica en edificios de uso intermitente*.
- FAO (1991). *El papel de la biomasa como energético en la actividad tabiguera, el caso de Charo, Morelia, Michoacán en Cinco estudios de caso sobre el uso de dendroenergía en industrias rurales en México*. Santiago, Chile.
- FAO (2008). *Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas*. Bosques y energía: cuestiones clave. *Estudio FAO Montes (FAO)*.
- Gante, J., Contreras, S., Torres, H. & Serrano, S. (2002). *Obtención de propiedades de mampostería, empleadas en las construcciones de la ciudad de Puebla*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A.C.
- García-Ochoa & Graizbord, B. (2016). *Caracterización espacial de la pobreza energética en México. Un análisis a escala subnacional*. Economía, sociedad y territorio, 289-337.
- Generador de precios de la construcción. México. CYPE Ingenieros, S.A.
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T. & Meijer, E. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. PRé, San Francisco, California.
- González, F. (2012). *Análisis de ciclo de vida de materiales de construcción convencionales y alternativos*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P.
- González-Avilés, M., López Sosa, L. B., & Servín Campuzano, H. (2017). *Evaluation framework for small-dimension solar cookers*. Acta Universitaria, 27 (5), 69-75. doi: 10.15174/au.2017.1214
- Güereca, P., Carius, C., Padilla, A. J. & Herrera, H. D. (2016). *Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 sistemas constructivos*. Instituto de Ingeniería UNAM.






- INECC (2013). *Estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del manejo de envases de polietileno tereftalato (PET) en la fase de pos-consumo*. México, D.F.
- INEGI (2000). *XI Censo General de Población y Vivienda 1990 y XII Censo General de Población y Vivienda 2000*
- INEGI (2010). *Volumen y crecimiento. Población total según tamaño de localidad para cada entidad federativa, 2010*.
- INIFED, 2014. *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones*. Volumen 3, Tomo IV. Secretaría de Educación Pública. México, D. F.
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- Ize, I., Zuk, M. & Rojas-Bracho, L. (2010). *Introducción a los análisis de riesgos ambientales*. Segunda edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México.
- Jiménez, L. D. (2017). *La construcción con tierra, una alternativa contra el cambio climático*. Producción de vivienda y desarrollo urbano sustentable, 159.
- Masera, O. Astier, M. & López Ridauro, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*. MundiPrensa-GIRA-UNAM. México D.F. 160 pp.
- Monjo Carrió, J. (2005). *La evolución de los sistemas constructivos en la edificación*. Procedimientos para su industrialización.
- Morillón, D. (2007). *Habitabilidad Térmica en la Vivienda*. En V Simposio Nacional de Ingeniería Estructural en la Vivienda.
- OECD (2011). *Glosario de términos estadísticos*.
- Pérez, M. (2014). *Análisis e identificación de los impactos ambientales de un equipo eléctrico y electrónico durante su ciclo de vida. Aplicación a una aspiradora doméstica*.
- Polanco, C. (2006). *Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones*. Gestión y Ambiente, vol. 9, núm. 2, agosto, 2006, pp. 27-41. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Ramos, M. A., García, S., Quintana, J., Ojeda, A. & Borbón, A. C. (2016). *Evaluación de la gestión de sustentabilidad y seguridad en construcciones de vivienda en México*. EPISTEMUS,

CIENCIA TECNOLOGÍA Y SALUD, (20), 69-73.

- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and buildings*, 42(10), 1592-1600.
- Rieznik, N. & Hernández, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida: Ciudades para un Futuro más Sostenible*. Madrid.
- Rosas, J. A. (2011). *Evolución del consumo y gasto económico de energía en el sector residencial (urbano-rural) mexicano 1996-2006*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- Ruíz, R. P., Canto, R. E. & Lira, L. (2014). *Equipo para la medición de la conductividad térmica de materiales homogéneos y heterogéneos*. Simposio de Metrología 2014.
- SENER (2016). *Balance Nacional de Energía 2015*. Secretaría Nacional de Energía, Subsecretaría de Planeación y Transición Energética.
- Sobrino, J. (2012). *La urbanización en el México contemporáneo*. Notas de población.
- Suppen, N. (ed) (2013). *Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la Construcción en México, Primera*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, pp 17–26
- Suppen, N. & Van Hoof, B. (2005). *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, México.
- U.S. Life Cycle Inventory Database (2012). National Renewable Energy Laboratory, 2012. Accessed November 19, 2012: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>
- Zabalza, I., Isaca, M., Gazulla, C. et al. (2012). *Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación*. Proyecto EnerBuiLCA - Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings (MANUAL).
- Zabalza, I., Valero, A. & Aranda, A. (2011). *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. *Build. Environ.*, 46 (5), 1133-1140.

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica block hueco de concreto 12 x 20 x 39.8 cm.

Forma	Rectangular Hueca
Dimensiones	12x20x39.8 cm
Espesor de Paredes	2.6 cm
Hueco	Doble Hueco 6.1x15.5x20 cm
Tolerancia en dimensiones	±3 mm
Peso por Pieza	10.8 Kg
Resistencia	70 Kg/cm ²
Absorcion Maxima en 24 hrs	5.2 %
Piezas por Tarima	160 Pza
Materiales	Sello
	Grava
	Arena
	Cemento
	Agua
Norma de Calidad	NMX-C-036-ONNCCE-2013
	NMX-C-037-ONNCCE-2013
	NMX-C-038-ONNCCE-2013
	NMX-C-404-ONNCCE-2012
Colores Disponibles	 Gris (Natural)
	 Rosa (Vallarta)
	 Café (Sonora)
	 Negro (Campeche)
	 Amarillo (Durango)

Anexo 2. Ficha técnica tabique industrial de 12 x 12 x 24 cm.



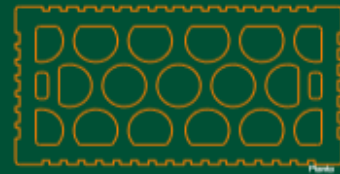
INDUSTRIAS NOVACERMIC

Tabiques para el diseño arquitectónico y estructural
Emilio Sanchez Piedras N° 100, Cd. Industrial Xicoténcatl, Tetla, 90434 Tlaxcala, México

Ficha Técnica Comercial

Elaboración: 06/04/2018

N° Revisión:1



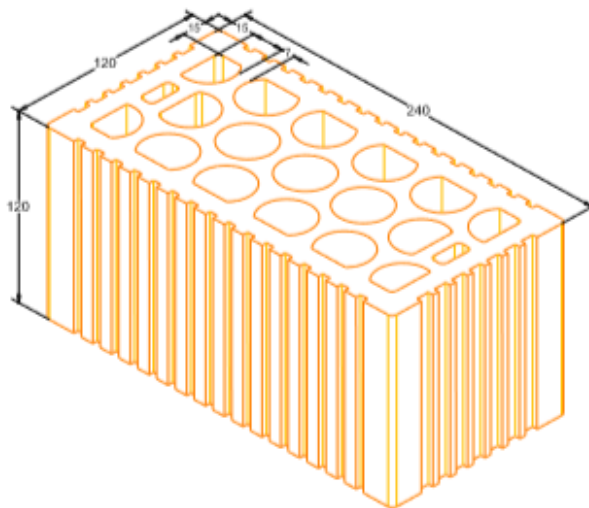
TAB12

TABIMAX 12

Tabique industrializado de alta resistencia

Tipo de pieza: Multiperforada

Recomendados para la construcción que requiere ligereza y velocidad de avance, con acabado estriado para la aplicación de revestimientos. Colocación igual que el tabique rojo, pero con mayor rendimiento y eficiencia estructural



Cotas mm
Medidas Nominales

* Consultar las últimas actualizaciones y revisiones de este documento en la página oficial de Novacermic S.A. de C.V. www.novacermic.com.mx

**La tonalidad de la pieza y/o acabado puede variar de un lote a otro

***Las imágenes aquí mostradas son de uso ilustrativo, puede haber variaciones de color por procesos de impresión.

**** Para la limpieza final de muros hechos a base de ladrillo aparente "natural" se recomienda la utilización de productos para barro

*****De acuerdo a la Nota No. 2 de norma NMX-C-403-ONNCE "Industria de la construcción- Bloques, tabiques o ladrillo y tabicones para uso estructural-Especificaciones y métodos de prueba no aplica prueba de resistencia al fuego"

*****Confirmar la cantidad de piezas por pallet y transporte con su asesor comercial.

DIMENSIONES REALES (cm)		
12.0	12.0	24.0
alto	ancho	largo
Tolerancia dimensional en altura, ancho y largo: ± 3 mm		
ESPESOR DE PAREDES Y AREA NETA		
15.0	7.0	55%
Exteriores (mm)	interiores (mm)	Área Neta %
CARACTERISTICAS DEL SISTEMA		
Pzas/m ²	30.8	Pzas
Peso/pieza	3.4	kg
Espesor de muro	12.0	cm
Consumo de mortero	21.7	Lt/m ²
W solo con mortero	150.8	kg/m ²
W Castillos Ahogado	212.1	kg/m ²
W Castillos Exteriores	210.9	kg/m ²
INFORMACION DE ENTREGA		
Piezas / pallet	288	pzas
Peso Pallet	964.8	kg
Rendimiento Pallet	9.4	m ²
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Resistencia Promedio Compresión Simple (F _p)	200	kg/cm ²
Resistencia Compresión de la Mampostería (F [*] m)	60	kg/cm ²
Resistencia Compresión Diagonal Muretes (V [*] m)	6.5	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad de la Mampostería (E _m)	37194	kg/cm ³
Modulo Rigidez a Cortante de Mampostería (G _m)	13458	kg/cm ²
% De Absorción con Respecto al Peso	16-18	%
Conductividad Térmica de la Pieza (A _{pieza})	0.122	W/m x °K
Resistencia Térmica del Sistema (RT _s)	1.033	m ² x °K/W
Aislamiento Acústico Sist. Castillo Interior	46.4	dBa
Aislamiento Acústico Sist. Castillo Exterior	46.3	dBa
Aislamiento acústico calculados según la Norma NBE-CA-88		
Aislamiento termico calculado según la Norma NMX-460 y NOM-020		



REFELLABLES Conchubonel Mexico		
Método para (en Ba)	Valor	Unidades
Conchubonel Mampostería	0.1222	W/m ² K
REFELLABLES Conchubonel Mexico		
Método para (en Ba)	Valor	Unidades
Conchubonel Acústico	46.3	dBa

Página 1 de 1

Anexo 3. Inventario tabique industrial

TABIQUE INDUSTRIAL										
Calentamiento global CO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.7392	1	0.7392	1.0289	8.7	0.0090	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0002	25	0.0040		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	298	0.2857		114.9425	1.0140	
no, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0	11700	0.0000003				
Arcilla										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.7392	1	0.7392	1.0289	15	0.0154	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0002	25	0.0040		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	298	0.2857		66.6667	0.6365	
no, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0	11700	0.0000003				
Papel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.4360	1	0.4360	1.1734	650	0.7627	Paper; at manufacturer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0097	25	0.2421		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0017	298	0.4954		1.5385	2.5287	
no, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	9.35E-11	11700	1.09E-06				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / MJ	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono fósil	Emisión al aire	Masa	kg	0.0073	1	0.0073	0.0269	0.0075	0.1239	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Dióxido de carbono	Emisión al aire	Masa	kg	3.00E-06	1	3.00E-06				
Metano fósil	Emisión al aire	Masa	kg	3.30E-04	25	8.25E-03				
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Masa	kg	0.00004	298	0.0113				
Gas natural										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / kg tabique	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono	Emisión al aire	Masa	kg	0.1040	1	0.1040	0.1041	0.1041	10.8908	Natural gas, at industrial user - MX - CMM (Güereca, 2017)
Metano	Emisión al aire	Masa	kg	0.0000018	25	0.00005				
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Masa	kg	0.00000018	298	0.0001				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	1	0.0010	0.293252	0.0479	0.0140	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0086	25	0.2143		litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0003	298	0.0780		20.8908	0.2079	
no, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07				
Acidificación SO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor

Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0005	1.2	0.0006	0.0007	8.7	0.000006	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	1.6	2.63E-07		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	1.6	3.68E-05		114.9425	0.0007	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	1.6	1.11E-08				
Arcilla										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0005	1.2	0.0006	0.0007	15	0.00001	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	1.6	2.63E-07		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	1.6	3.68E-05		66.6667	0.0004	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	1.6	1.11E-08				
Papel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0025	1.2	0.0030	0.0031	650	0.0020	Paper; at manufacturer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	5.00E-08	1.6	8.00E-08		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	5.63E-05	1.6	9.01E-05		1.5385	0.0066	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	7.44E-06	1.6	1.19E-05				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / MJ	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	0.0006	1.2	0.0007	0.0007	0.000193	0.00320	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Gas natural										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / millón BTU	MJ / USD	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0019	1.2	0.0023	0.0024	4.1	257.5293	Natural gas; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.02E-08	1.6	4.83E-08		USD / MJ	KgSO2eq / MJ	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	5.50E-05	1.6	8.81E-05		0.0039	0.000009	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.77E-08	1.6	1.08E-07			KgSO2eq / m2	
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0003	1.2	0.0004	0.0005	0.0479	0.00002	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09		litros / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	1.6	7.71E-05		20.8908	0.0003	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	1.6	5.23E-07				
Eutrofización PO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	0.35	5.76E-08	6.80E-03	8.7	5.92E-05	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	0.35	8.05E-06		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	0.35	2.43E-09		114.9425	6.70E-03	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.20E-05	306	6.72E-03				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.87E-09	306	1.18E-06				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.0001				

Arcilla										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	0.35	5.76E-08	6.80E-03	15	1.02E-04	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	0.35	8.05E-06		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	0.35	2.43E-09		66.6667	4.21E-03	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.20E-05	306	6.72E-03				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.87E-09	306	1.18E-06				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.00007				
Papel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	5.00E-08	0.35	1.75E-08	1.58E-02	650	1.03E-02	Paper; at manufacturer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	5.63E-05	0.35	1.97E-05		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	7.44E-06	0.35	2.60E-06		1.5385	3.41E-02	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	5.11E-05	306	1.56E-02				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.52E-07	306	7.72E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.00010				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / MJ	KgPO2eq / m2	Proveedor
Fósforo	Emisión al aire	Mass	kg	1.40E-12	306	4.28E-10	7.12E-08	0.000000	0.00000033	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Fósforo	Emisión al agua	Mass	kg	2.30E-10	306	7.04E-08				
Nitrógeno	Emisión al agua	Mass	kg	1.00E-09	0.42	4.20E-10				
Gas natural										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / millón BTU	MJ / USD	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.02E-08	0.35	1.06E-08	5.45E-03	4.1	257.5293	Natural gas; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	5.50E-05	0.35	1.93E-05		USD / MJ	KgPO2eq / MJ	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.77E-08	0.35	2.37E-08		0.0039	2.12E-05	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-08	306	7.04E-06			KgPO2eq / m2	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	1.77E-05	306	5.42E-03			4.09E-03	
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.58E-06	0.42	2.76E-06				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05		litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07		20.8908	7.47E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.003405	306	1.041949				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	2.59E-12	306	7.92E-10				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.69E-07	306	8.23E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.027252	0.42	0.011446				
Total tabique industrial										
	KgCO2eq	15.401723								
	KgSO2eq	0.012984								
	KgPO2eq	7.96E-01								

Materiales para construir 1 m2 de muro de tabique industrial

Calentamiento global CO2eq

Mortero

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.182	1	0.182	0.3015	9.1603	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Metano fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.000013	25	0.000325			
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.00040	298	0.1192			

Agua

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0010	1	0.0010	0.2933	0.0479	0.0140	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0086	25	0.2143		litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0003	298	0.0780		20.8908	0.0702	
Fluoruro de hidrógeno, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, HCFC-22	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07				

Acidificación SO2eq

Mortero

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	0.00010	1.2	0.0001	0.0001	0.0036	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	1.6	0.000001			

Agua

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.25E-04	1.2	3.90E-04	4.67E-04	0.0479	2.24E-05	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09		litros / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	1.6	7.71E-05		20.8908	1.12E-04	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	1.6	5.23E-07				

Eutrofización PO2eq

Mortero

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / m2	Proveedor
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	0.35	0.0000002	0.0000002	0.000005	Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Fósforo	Emisión al agua	Mass	kg	4.00E-12	306	1.22E-09			

Agua

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05		litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07		20.8908	2.52E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0034	306	1.0419				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	2.59E-12	306	7.92E-10				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.69E-07	306	8.23E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0273	0.42	0.0114				

Total 1 m2 de muro de tabique industrial	
KgCO2eq	24.6322
KgSO2eq	0.0167
KgPO2eq	1.05E+00

Transporte (Ton/km)

Calentamiento global CO2eq

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono, fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.0575	1	0.0575	0.0653	3.35	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Metano	Emisión al aire	Mass	kg	4.00E-09	25	1.00E-07			
Óxido de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000	298	0.0078			

Acidificación SO2eq

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	5.02E-06	1.2	6.03E-06	1.86E-05	9.53E-04	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	7.84E-06	1.6	1.25E-05			

Eutrofización PO2eq

Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq / m2	Proveedor
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	7.84E-06	0.35	2.75E-06	1.41E-04	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent

Anexo 3. Inventario block de concreto.

BLOCK DE CONCRETO										
Calentamiento global CO2eq										
Cemento										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	7.1990	1	7.1990	13.0814	113	1.4782	Portland cement, at plant. Kg NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0002	25	0.0046		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0197	298	5.8778		8.8496	15.8315	
,1,1,3,3,3-hexafluoro-, h	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0	11700	0.00000002				
Grava										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.7392	1	0.7392	1.0289	8.7	0.0090	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0002	25	0.0040		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0010	298	0.2857		114.9425	0.3970	
,1,1,3,3,3-hexafluoro-, h	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0	11700	0.00000003				
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.7392	1	0.7392	1.0289	8.7	0.0090	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0002	25	0.0040		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0010	298	0.2857		114.9425	0.6970	
,1,1,3,3,3-hexafluoro-, h	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0	11700	0.00000003				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / MJ	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono fosil	Emisión al aire	Masa	kg	0.0073	1	0.0073	0.0269	0.0075	0.0167	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Dióxido de carbono	Emisión al aire	Masa	kg	3.00E-06	1	3.00E-06				
Metano fosil	Emisión al aire	Masa	kg	3.30E-04	25	8.25E-03				
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Masa	kg	0.00004	298	0.0113				
Diesel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2		Proveedor
Dióxido de carbono [En	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.1990	1	3.1990	28.7825	8.1557		Diesel consumption; Diesel fired equipment; Variable power rating MJ NREL
Metano [Emisiones ino	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0001	25	0.0032				
Óxidos de nitrógeno [E	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0858	298	25.5803				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0010	1	0.0010	0.2933	0.0479	0.0140	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0086	25	0.2143		litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0003	298	0.0780		20.8908	0.1556	

,1,1,3,3,3-hexafluoro-, F	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07				
Acidificación SO2eq										
Cemento										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0097	1.2	0.0117	0.0119	113	0.0013	Portland cement, at plant. Kg NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0002	1.6	0.0003		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	8.19E-09	1.6	1.31E-08		8.8496	0.0144	
Grava										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0005	1.2	0.0006	0.0007	8.7	0.000006	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	1.6	2.63E-07		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	1.6	3.68E-05		114.9425	0.0003	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	1.6	1.11E-08				
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0005	1.2	0.0006	0.0007	8.7	0.000006	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	1.6	2.63E-07		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	1.6	3.68E-05		114.9425	0.0005	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	1.6	1.11E-08				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / MJ	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	0.0006	1.2	0.0007	0.0007	0.000193	0.00043	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Diesel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor	
Óxido de azufre [Emisic	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0056	1.2	0.0068	0.0081	0.0023	Diesel consumption; Diesel fired equipment; Variable power rating MJ NREL	
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.25E-04	1.2	3.90E-04	4.67E-04	0.0479	2.24E-05	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09		litro / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	1.6	7.71E-05		20.8908	2.48E-04	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	1.6	5.23E-07				
Eutrofización PO2eq										
Cemento										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor

Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0002	0.35	0.00006	0.0228	113	0.0026	Portland cement, at plant. Kg NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	8.19E-09	0.35	2.87E-09		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	7.40E-05	306	2.27E-02		8.8496	0.0276	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.59E-08	306	1.10E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.00009				
Grava										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	0.35	5.76E-08	6.80E-03	8.7	5.92E-05	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	0.35	8.05E-06		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	0.35	2.43E-09		114.9425	2.62E-03	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.20E-05	306	6.72E-03				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.87E-09	306	1.18E-06				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.00007				
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	1.65E-07	0.35	5.76E-08	6.80E-03	8.7	5.92E-05	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.30E-05	0.35	8.05E-06		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	6.94E-09	0.35	2.43E-09		114.9425	4.61E-03	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.20E-05	306	6.72E-03				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.87E-09	306	1.18E-06				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0002	0.42	0.00007				
Electricidad										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / MJ	KgPO2eq / m2	Proveedor
Fósforo	Emisión al aire	Mass	kg	1.40E-12	306	4.28E-10	7.12E-08	0.000000	0.00000004	Electricity, low voltage (MX) market for Alloc Def, S (kwh) Ecoinvent
Fósforo	Emisión al agua	Mass	kg	2.30E-10	306	7.04E-08				
Nitrógeno	Emisión al agua	Mass	kg	1.00E-09	0.42	4.20E-10				
Diesel										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / m2	Proveedor	
Amonio [Emisiones ino	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0	0.35	0	0	0	Diesel consumption; Diesel fired equipment; Variable power rating MJ NREL	
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02	Drinking water and wastewater treatment; at
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05		litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07		20.8908	5.59E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0034	306	1.0419				

Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	2.59E-12	306	7.92E-10					consumer. USD (2017) NREL
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.69E-07	306	8.23E-05					
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0273	0.42	0.0114					
Total block de concreto											
	kgCO2eq	25.2536									
	KgSO2eq	0.0181									
	KgPO2eq	0.5940									
Materiales para construir 1 m2 de muro de block de concreto											
Calentamiento global CO2eq											
Mortero											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2			Proveedor
Dióxido de carbono fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.182	1	0.182	0.3015	7.1763			Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Metano fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.000013	25	0.000325					
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.00040	298	0.1192					
Agua											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg		Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0010	1	0.0010	0.2933	0.0479	0.0140		Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0086	25	0.2143			litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	0.0003	298	0.0780			20.8908	0.0561	
1,1,1,3,3,3-hexafluoro-, H	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07					
Acidificación SO2eq											
Mortero											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / kg			Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	0.00010	1.2	0.0001	0.0001	0.0028			Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	1.6	0.000001					
Agua											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg		Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	3.25E-04	1.2	3.90E-04	4.67E-04	0.0479	2.24E-05		Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09			litro / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	1.6	7.71E-05			20.8908	8.95E-05	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	1.6	5.23E-07					
Eutrofización PO2eq											
Mortero											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / m2			Proveedor
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	0.35	0.0000002	0.0000002	0.000004			Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Fósforo	Emisión al agua	Mass	kg	4.00E-12	306	1.22E-09					
Agua											
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg		Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02		Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05			litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07			20.8908	2.02E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0034	306	1.0419					
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Mass	kg	2.59E-12	306	7.92E-10					
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Mass	kg	2.69E-07	306	8.23E-05					
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Mass	kg	0.0273	0.42	0.0114					
Total 1 m2 de muro de block de concreto											
	kgCO2eq	32.4861									
	KgSO2eq	0.0210									
	KgPO2eq	0.7957									

Transporte									
Calentamiento global CO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono, fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.0575	1	0.0575	0.0653	0.46	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Metano	Emisión al aire	Mass	kg	4.00E-09	25	1.00E-07			
Óxido de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000	298	0.0078			
Acidificación SO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	5.02E-06	1.2	6.03E-06	1.86E-05	1.30E-04	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	7.84E-06	1.6	1.25E-05			
Eutrofización PO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq / m2		Proveedor
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	7.84E-06	0.35	2.75E-06	1.92E-05		Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent

Anexo 4. Inventario de tabique tradicional.

TABIQUE TRADICIONAL										
Calentamiento global CO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / ton	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.7392	1	0.7392	1.0289	8.7	0.0090	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0002	25	0.0040		kg / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	298	0.2857		114.9425	1.9287	
1,1,3,3,3-hexafluoro-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0000	11700	0.0000003				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	1	0.0010	0.2933	0.0479	0.0140	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0086	25	0.2143		litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0003	298	0.0780		20.8908	0.2211	
1,1,3,3,3-hexafluoro-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07				
Quema de leña en horno tradicional										
Flujo		g / kg tabique	g / tabique	Kg / tabique	Calentamiento 100 años	KgCO2eq / m2	KgCO2eq totales	Proveedor		
Dióxido de carbono		291.85	583.7	0.5837	1	36.7731	39.6711	Tavera, et al.		
Metano		0.92	1.84	0.0018	25	2.8980				
Acidificación SO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / ton	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0005	1.2	0.0006	0.0007	8.7	0.000006	Sand, gravel, clay, phosphate, other nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	1.65E-07	1.6	2.63E-07		kg / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.30E-05	1.6	3.68E-05		114.9425	0.0013	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	6.94E-09	1.6	1.11E-08				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0003	1.2	0.0004	0.0005	0.0479	0.00002	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09		litro / USD	KgSO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	4.82E-05	1.6	7.71E-05		20.8908	0.0004	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	3.27E-07	1.6	5.23E-07				
Quema de leña en horno tradicional										
		g/tabique	kg / tabique	kg/m2	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	Proveedor			
Nitrato NO3		0.0003675	0.3675	19.8119	0.5	9.9060	Tavera, et al.			
Eutrofización PO2eq										
Arena										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / ton	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	1.65E-07	0.35	5.76E-08	6.80E-03	8.7	5.92E-05	Sand, gravel, clay, phosphate, other
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.30E-05	0.35	8.05E-06		kg / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	6.94E-09	0.35	2.43E-09		114.9425	1.27E-02	

Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	2.20E-05	306	6.72E-03	6.80E-03			nonmetallic minerals; at mine. USD (2017) NREL
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	3.87E-09	306	1.18E-06				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	0.0002	0.42	0.00007				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05		litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07		20.8908	7.94E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	0.0034	306	1.041949				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	2.59E-12	306	7.92E-10				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.69E-07	306	8.23E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	0.0273	0.42	0.0114				
Total tabique tradicional										
	KgCO2eq	41.8209								
	KgSO2eq	9.9076								
	KgPO2eq	8.07E-01								
Calentamiento global CO2eq										
Mortero										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2	Proveedor	
Dióxido de carbono fósil	Emisión al aire	Mass	kg	0.182	1	0.182	0.3015	13.5686		
Metano fósil	Emisión al aire	Mass	kg	0.000013	25	0.000325				Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Óxidos de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.00040	298	0.1192				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	USD / litro	KgCO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de carbono	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0010	1	0.0010	0.2933	0.0479	0.0140	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Metano	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.00086	25	0.2143		litros / USD	KgCO2eq / m2	
Óxidos de nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	0.0003	298	0.0780		20.8908	0.1123	
1,1,3,3,3-hexafluoro-	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.34E-11	11700	2.74E-07				
Acidificación SO2eq										
Mortero										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor	
Dióxido de azufre	Emisión al aire	Mass	kg	0.00010	1.2	0.0001	0.0001	0.0053		Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	1.6	0.000001				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	USD / litro	KgSO2eq / kg	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	3.25E-04	1.2	3.90E-04	4.67E-04	0.0479	2.24E-05	Drinking water and wastewater treatment; at
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	2.47E-09	1.6	3.95E-09		litro / USD	KgSO2eq / m2	
Eutrofización PO2eq										
Mortero										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	KgPO2eq / m2	Proveedor	
Amonio	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000004	0.35	0.0000002	0.0000002	0.000007		Cement mortar (RoW) market for mortar Alloc Def, S Ecoinvent
Fósforo	Emisión al agua	Mass	kg	4.00E-12	306	1.22E-09				
Agua										
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq totales	USD / litro	KgPO2eq / kg	Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	2.47E-09	0.35	8.64E-10	1.05E+00	0.0479	5.04E-02	Drinking water and wastewater treatment; at consumer. USD (2017) NREL
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	4.82E-05	0.35	1.69E-05		litros / USD	KgPO2eq / m2	
Amonio	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	3.27E-07	0.35	1.14E-07		20.8908	4.03E-01	
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	0.0034	306	1.0419				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al suelo	Masa	kg	2.59E-12	306	7.92E-10				
Fósforo	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	2.69E-07	306	8.23E-05				
Nitrógeno	Flujos elementales/Emisión al agua	Masa	kg	0.0273	0.42	0.0114				
Total 1 m2 de muro de tabique tradicional										
	KgCO2eq	55.5018								
	KgSO2eq	9.9130								
	KgPO2eq	1.21E+00								

Transporte									
Calentamiento global CO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgCO2eq	KgCO2eq totales	KgCO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de carbono, fosil	Emisión al aire	Mass	kg	0.0575	1	0.0575	0.0653	0.11	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Metano	Emisión al aire	Mass	kg	4.00E-09	25	1.00E-07			
Óxido de nitrógeno	Emisión al aire	Mass	kg	0.0000	298	0.0078			
Acidificación SO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgSO2eq	KgSO2eq totales	KgSO2eq / m2	Proveedor
Dióxido de azufre	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	5.02E-06	1.2	6.03E-06	1.86E-05	3.17E-05	Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	7.84E-06	1.6	1.25E-05			
Eutrofización PO2eq									
Flujo	Categoría	Propiedad de flujo	Unidad	Cantidad	Calentamiento 100 años	KgPO2eq	KgPO2eq / m2		Proveedor
Amonio	Flujos elementales/Emisión al aire	Masa	kg	7.84E-06	0.35	2.75E-06	4.68E-06		Transport freight, lorry diesel GLO Alloc Def, S (tkm) Ecoinvent

Anexo 5. Inventario de materiales para la construcción de 1 m2.

Muro de block hueco de concreto de 12 x 20 x 39.8 cm

México generador de precios

Medidas (m)

a	0,2
b	0,398
c	0,12
z	0,015

Materiales	Cantidad	Unidades
Block	12,60	Pzas / m ²
Mortero	0,0238	ton / m ²
Agua	0,0040	m ³ / m ²

Densidades

cemento	1400	kg / m ³
---------	------	---------------------

Block hueco de concreto (m²)

Transporte a la obra	Km	Cantidad	Unidad	tkm
Blocks	20	136,08	kg	2,7216
Mortero	4,5	23,80	kg	0,1071
Agua	0	4	kg	0

Muro de tabique mecanizado de 12 x 12 x 24 cm

Ficha técnica TABIMAX

Medidas (m)

a	0,12
b	0,24
c	0,12
z	0,01

Materiales	Cantidad	Unidades
Tabique mecanizado	30,77	Pzas / m ²
Motero	21,7	l / m ²
Agua	0,005	m ³ / m ²

Densidades

cemento	1400	kg / m ³
---------	------	---------------------

Tabique mecanizado (m²)

Transporte a la obra	Km	Cantidad	Unidad	tkm
Tabique mecanizado	20,1	104,62	kg	2,1028
Cemento	4,5	30,38	kg	0,1367
Agua	0	5	kg	0

Muro de tabique tradicional de 12.5 x 5.5 x 25 cm

México generador de precios

Medidas (m)

a	0,055
b	0,25
c	0,125
z	0,015

Materiales	Cantidad	Unidades
Tabique tradicional	63,00	Pzas / m ²
Motero	0,0450	ton / pza
Agua	0,0080	m ³ / m ²

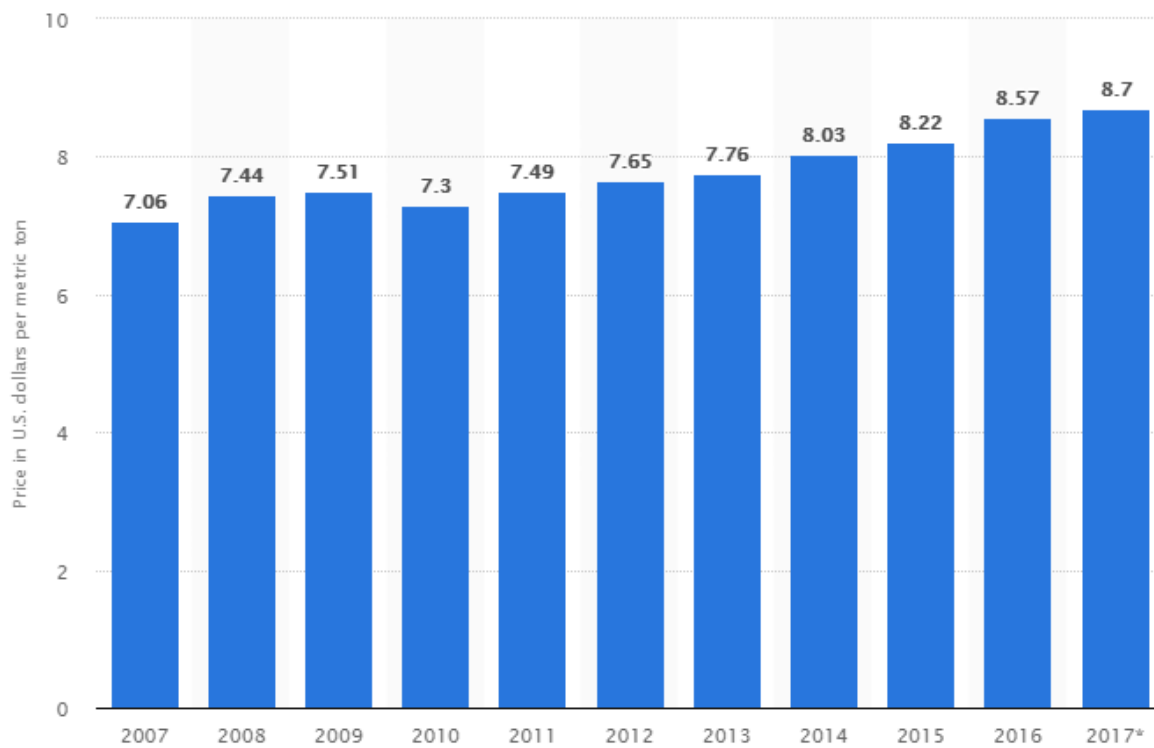
Densidades

cemento	1400	kg / m ³
---------	------	---------------------

Tabique tradicional (m²)

Transporte a la obra	Km	Cantidad	Unidad	tkm
Tabique tradicional	5	182,70	kg	0,9135
Cemento	4,5	45	kg	0,2025
Agua	0	8	kg	0

Anexo 6. Precio promedio de arena y grava en Estados Unidos del 2007 al 2017 (en dólares por tonelada métrica).



Anexo 8. Costo residencial mensual promedio del agua en los Estados Unidos de 2010 a 2018.

