Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Arquitectura y Diseño
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación de Arquitectura y Diseño
Doctorado en Diseño

Metodología para la Evaluación Integral de Materiales de Construcción implementada en una App: Caso de Estudio

Tesis que para obtener el Grado de Doctora en Diseño

Presenta:
Laura Edith Garibaldi Durán

Director:
Dr. David Joaquín Delgado Hernández
Codirector:
Dr. Juan Carlos Arteaga Arcos
Tutor Académico:
Dr. Miguel Ángel Rubio Toledo
Tutora:
Dra. Lourdes Loza Hernández
Tutor:
Dr. Arturo Santamaría Ortega

Noviembre 2026

ÍNDICE

RESUMEN 5

INTRODUCCIÓN 6

- Problemática 6
- Problema 14
- Justificación 15
- Hipótesis 17
- Objetivo general 17
- Objetivos específicos 17

MARCO TEÓRICO 18

- Definición 18
- Clasificación 18
- Propiedades 19
- Uso 20
- Vida útil 21

MARCO REFERENCIAL 22

- Proceso productivo 22
- Principales exportadores e importadores 26
- Exportación e importación de materiales en México 30
- Costos de la construcción en México 34
- Toxicidad de los materiales en la actualidad 36

MARCO EPISTEMOLÓGICO 38

- Teoría de los Sistemas Complejos 38
- Planteamiento epistémico 39
- Reflexión epistémico-metodológica 42

DISEÑO METODOLÓGICO 44

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN 48

CASO DE ESTUDIO 55

- Delimitación de los materiales 55
- Delimitación de las propiedades 59
- Selección de las fuentes documentales 61
- Construcción de la base de datos 62

Identificación de los factores variables 68
Cálculo de impactos 72
Evaluación de impactos 93
Obtención de resultados 105
Diseño operativo de la App 106
Programación de la App 110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 111
CONCLUSIONES 115
REFERENCIAS 118
FUENTES DE CONSULTA 125
ÍNDICE DE FIGURAS 127
ÍNDICE DE TABLAS 129
ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS 133
ANEXOS 134

¿Qué es el diseño?

“Un plan para colocar elementos de la mejor manera y así lograr un propósito en particular”

Eames, 1972.

RESUMEN

La industria de la construcción es una de las más contaminantes. Está documentado que el proceso productivo de los materiales tiene un impacto considerable en el medio ambiente. Sin embargo, éstos no solo tienen impactos ambientales en la etapa de producción sino a lo largo de todo su periodo de vida útil que, aunque son mínimos, son aquellos en los que se puede tener mayor incidencia.

En el contexto actual, no es posible abordar la problemática ambiental de los materiales de construcción con independencia de aspectos técnicos, económicos y de seguridad que resultan fundamentales para su selección. En este planteamiento, se detectó un área de oportunidad para desarrollar una metodología que permite evaluar de forma integral los impactos mencionados, obtenidos durante su periodo de vida útil. En virtud del alcance, se evidenció la necesidad de incluir el diseño y la programación de una herramienta digital como parte de esta.

Por ello, lo que se presenta en este documento es la propuesta metodológica para evaluar el impacto integral de los distintos materiales que pueden ser empleados para la edificación de un elemento constructivo. Se demuestra su aplicación en un caso de estudio seleccionado así como los resultados obtenidos del proceso de evaluación. No se omite mencionar que, entre los anexos de este documento, se incluye el manual de usuario de la App desarrollada como parte del trabajo de investigación.

INTRODUCCIÓN

Problemática

La industria de la construcción es considerada una de las más contaminantes (Orzón, 2013). La explotación de recursos, el consumo energético, la emisión de gases contaminantes y la generación de residuos que tienen los edificios a lo largo de su periodo de vida útil, apuntalan lo anterior. La extracción y proceso de los materiales de construcción, combustibles y alimentos, representa más del 90% de la pérdida de biodiversidad y estrés hídrico del planeta (UNEP, 2019).

De acuerdo con el informe emitido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Alianza Mundial para los Edificios y la Construcción (*Global Alliance for Buildings and Construction, Global ABC*), en el año 2024, debido al alto consumo energético y a la gran cantidad de emisiones generadas, la industria superó una quinta parte de las emisiones globales. La estimación de este dato considera tanto la construcción como el uso de los edificios.

El informe detalla que durante el año 2022, el sector de la construcción tuvo un impacto cercano a las 10 gigatoneladas, aproximadamente el 37% de las emisiones de CO_2 totales) y un consumo energético de 132 exajulios, más de un tercio de la demanda global (UNEP, 2024). Sin embargo, se reconoce una reducción del 3.5% de emisiones, derivada de los resultados obtenidos en el *Forum Mondial Bâtiments et Climat* (2024), en el que se estimó un impacto representativo del sector correspondiente al 21%.

Las emisiones de CO_2 son un indicador contundente del impacto ambiental de una actividad. En el Informe sobre la Brecha de Emisiones (2024) del Programa Ambiental de las Naciones Unidas, se registra un reporte de la contribución de los gases de efecto invernadero (GEI), medida en gigatoneladas de dióxido de carbono equivalentes ($GtCO_2e$), que tuvieron los distintos sectores durante el año 2023.

En el desglose, se detalla que el sector energético es el más representativo, pues contribuye con 15.1; el transporte aporta 8.4; la agricultura, 6.5 y la industria 6.5 $GtCO_2e$. Ahora bien, aunque no se detallan los demás rubros, con base en los datos anteriores, es posible estimar que la producción de petróleo y los procesos industriales aportan 5.8 y 5.2 $GtCO_2e$, respectivamente. Mientras que la contribución de los edificios, en donde se considera únicamente el uso, es aproximadamente de 3.5.

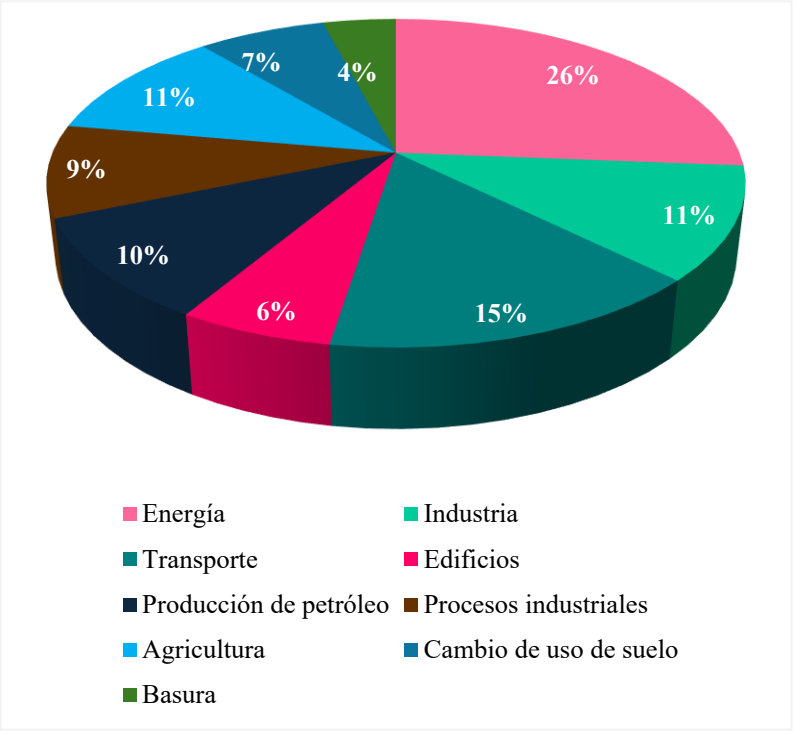
Los porcentajes de participación de cada uno de los sectores se encuentran detallados de la siguiente manera:

energía 26%; transporte 15%; agricultura e industria 11%, cada una; producción de petróleo 10%; procesos industriales 9%; cambio de uso de suelo 7%; y, por último, basura 4% (UNEP, 2024) (Figura 1). Es importante aclarar que el reporte en cifras cerradas acepta una variación del 1% especificada en el documento de emisión.

Figura 1

Emisiones de gases de efecto invernadero por sector durante el 2022

Elaboración propia



Ahora bien, si se observan de forma directa los datos anteriores, en donde los edificios reportan únicamente el 6%, no se entiende la razón de ser considerada una de las más contaminantes. En este sentido, dentro del mismo informe se detalla la composición del 9% de emisiones que aportan los procesos industriales. Entre sus consideraciones está que el 3% lo aporta la producción de cemento, el 1% la de metales y el 2% la de químicos, mientras que el porcentaje restante lo suma la producción de otros (UNEP, 2024).

De esta forma, para estimar el impacto objetivamente, al 6% de los edificios se le tendría que sumar al menos 4% más derivado de la producción de cemento, acero y algunos componentes químicos. Lo anterior, sin olvidar que el desplazamiento de los materiales de construcción, invariablemente, contribuye con las emisiones de transporte. Por ello, parte del 15% de las emisiones totales de este rubro corresponden, también, a la industria de la construcción (UNEP, 2024).

Crecimiento de la industria de la construcción

Durante el año 2021, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) reportó que la industria promedió cerca de 10 billones de dólares, aproximadamente el 5% del Producto Interno Bruto (PIB) de los países en vías de desarrollo y el 8% del de los países desarrollados. Según la misma fuente, 100 millones de personas en el mundo tienen empleos relacionados con la construcción.

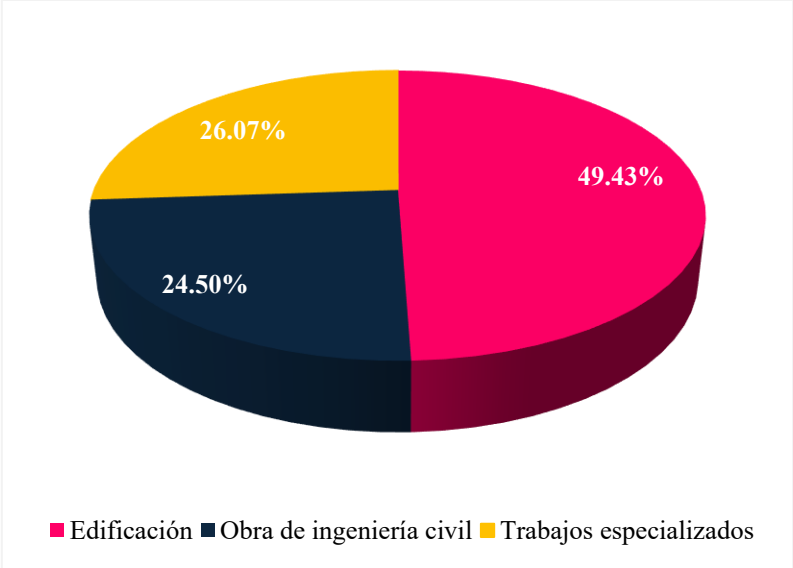
De acuerdo con la información difundida en el portal Cuéntame de México, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el año 2024, la industria de la construcción aportó 2.3 billones de pesos, dato que corresponde al 7.2% del PIB. Esto representó un crecimiento del 0.8% en comparación con la cifra reportada para el año 2022. Así mismo, durante el año 2023, la industria constituyó la base de empleo de 582,000 personas.

Con base en la misma fuente, en el 2024, se tuvo registro de 28,197 empresas dedicadas a la industria de la construcción en el país, distribuidas en tres subsectores. De las cuales, un total de 13,938 (49.43%) pertenece al subsector de edificación -vivienda, equipamiento y servicios-; 6,907 (24.50%) al de obra de ingeniería civil -infraestructura, suministro de agua y energía, así como redes de telecomunicaciones-; y, las 7,352 restantes (26.07%) al de trabajos especializados -preparación de terrenos, instalaciones y acabados- (Figuras 2 y 3).

Figura 2

Sectores de la industria de la construcción

Elaboración propia

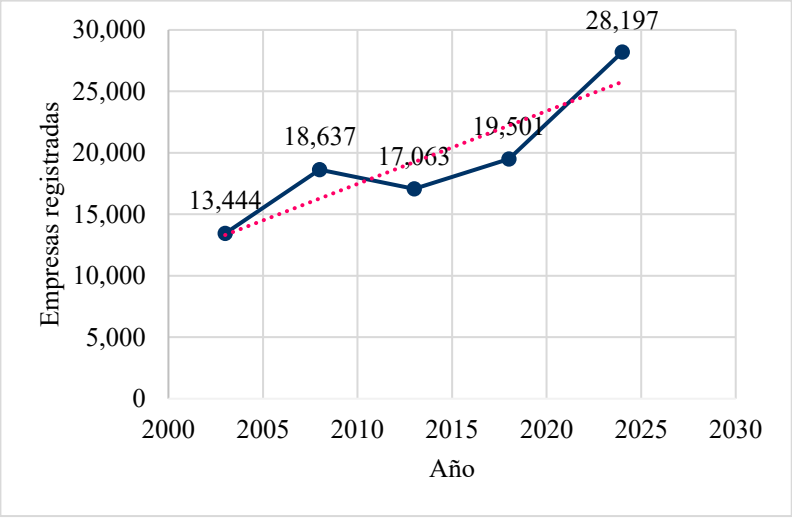


El crecimiento en términos económicos de la industria de la construcción está directamente relacionado con el incremento poblacional. Los seres humanos requieren de espacios de vivienda, equipamiento, servicios e infraestructura que deben edificarse para satisfacer sus necesidades. De tal manera que, el aumento en el número de personas, invariablemente se traduce en la demanda de más espacios construidos.

Figura 3

Crecimiento de la industria de la construcción

Elaboración propia



Crecimiento poblacional

Para el año 2025, se tiene un dato de población mundial correspondiente a 8,231,613,070 personas (Worldometer, 2025). Ahora bien, si se contrasta el dato con respecto a los 2,493,092,848 habitantes, estimados para mediados del siglo pasado, se obtiene una diferencia de 5,738,520,222 personas en solo 75 años. En la Tabla 1, puede observarse el incremento quinquenal de 1950 al 2025, así como su representatividad porcentual.

Tabla 1

Incremento poblacional quinquenal de 1950 a 2025

Elaboración propia

Año	Población	Incremento	% de cambio
2025	8,231,613,070	344,611,778	4.19%
2020	7,887,001,292	416,509,420	5.28%
2015	7,470,491,872	448,759,724	6.01%
2010	7,021,732,148	434,762,016	6.19%
2005	6,586,970,132	415,267,139	6.30%
2000	6,171,702,993	412,824,011	6.69%
1995	5,758,878,982	431,075,872	7.49%
1990	5,327,803,110	458,859,645	8.61%
1985	4,868,943,465	421,337,229	8.65%
1980	4,447,606,236	376,870,959	8.47%
1975	4,070,735,277	376,051,483	9.24%
1970	3,694,683,794	360,150,091	9.75%
1965	3,334,533,703	319,062,809	9.57%
1960	3,015,470,894	275,257,102	9.13%
1955	2,740,213,792	247,120,944	9.02%
1950	2,493,092,848	-	-

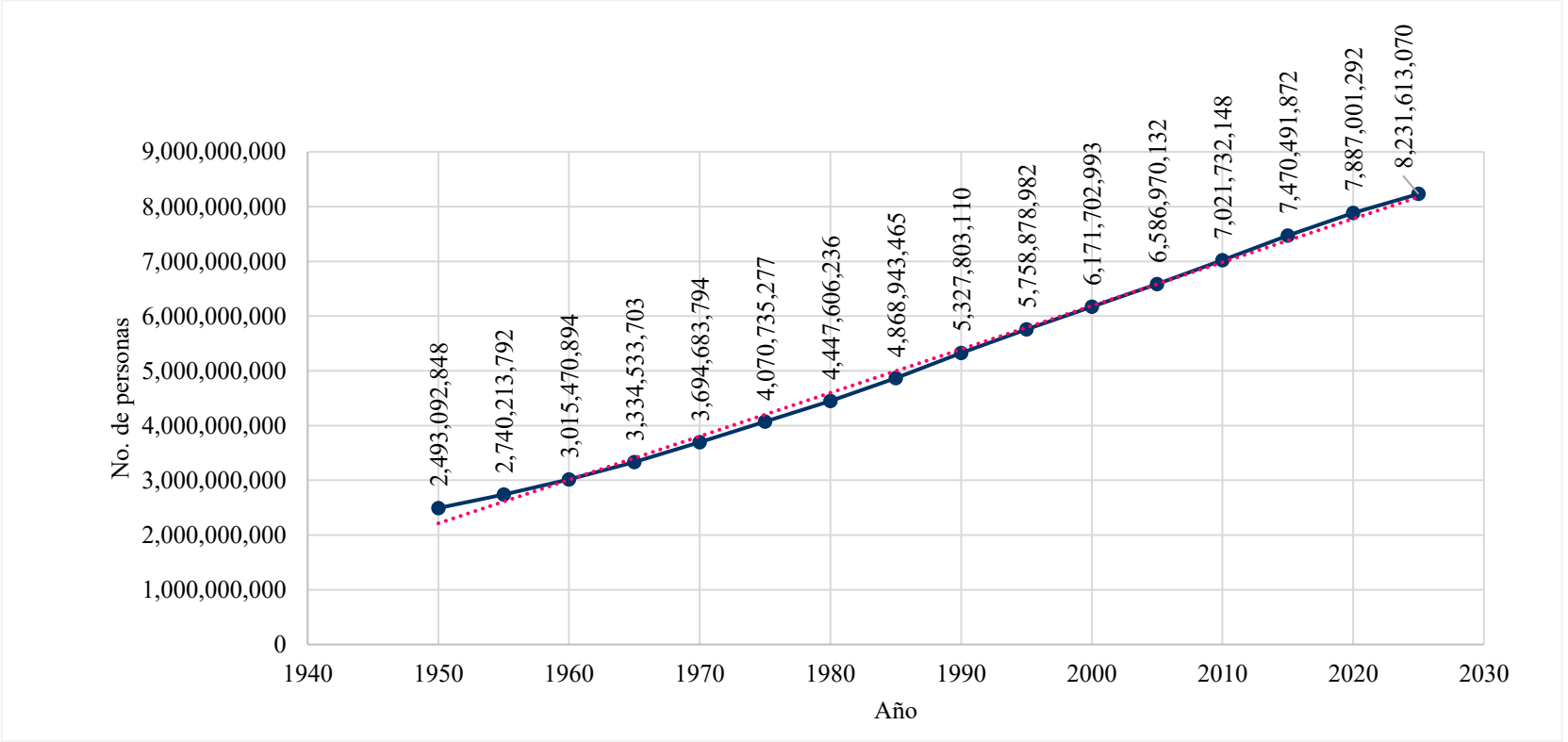
Ahora, si bien es cierto que el porcentaje de cambio ha ido en descenso, al graficar los datos, es posible observar una tendencia lineal de crecimiento en una población que se ha duplicado casi dos veces en el periodo citado (Figura 4). Cabe destacar que, de acuerdo con información del Reporte Mundial

de las Ciudades del 2022, emitido por la ONU, en 1950 el 25% de la población vivía en ciudades, mientras que para el 2020 se contabilizó el 50%.

Figura 4

Crecimiento poblacional de 1950 a 2025

Elaboración propia



La concentración de aproximadamente la mitad de los habitantes en zonas urbanas trajo consigo un aumento en la superficie territorial. En este sentido, aunque no se tiene una cifra actualizada, se sabe que la extensión urbana tuvo un crecimiento promedio anual de 24,472.50 km^2 durante la última década del siglo pasado y de 19,834.13 km^2 en la primera década y media del presente. De tal manera que pasó de los 1,365,097 a los 1,907,334 km^2 en un lapso de 25 años (Tabla 2).

Tabla 2
Incremento de la superficie urbana de 1990 a 2015
Elaboración propia

Año	Superficie (km^2)	Incremento (km^2)	Promedio anual (km^2)
2015	1,907,334	297,512	19,834.13
2000	1,609,822	244,725	24,472.50
1990	1,365,097	-	-

Si se contrastan estos datos, es posible estimar un incremento porcentual de 39.7 % en el periodo de tiempo registrado. Esto implica que, de continuar la tendencia, para el año 2040 la superficie urbana restaría 757,621 km^2 a las reservas territoriales, con lo que podría alcanzar una extensión de 2,664,955 km^2.

En lo que respecta a México, la periodicidad quinquenal para la realización de Censos de Población y Vivienda hace que los últimos datos oficiales de los que se tiene registro sean los correspondientes al año 2020. Con base en dicha información, se sabe que la población para el último año censado es de 126,014,024 habitantes, distribuidos en las 32 entidades del país.

En el Sistema Urbano Nacional para el año 2020, se tuvo registro de 453 ciudades, con una superficie total de 1.76 millones de hectáreas, en las que se concentraron 87.3 millones de habitantes. Ahora, el crecimiento de estas ciudades ha conformado metrópolis. Así, de acuerdo con la misma fuente, 136 de las ciudades conforman 92 metrópolis, con una superficie de 1.4 millones de hectáreas, en las que habitan 74.6 millones de personas.

Si se contrastan los datos anteriores con respecto a la población total estimada para el año 2020 de 126,014,024 personas, se obtiene que aproximadamente el 59.20% vive en metrópolis, el 10.08% en ciudades, mientras que el 30.72% lo hace en zonas rurales. De lo anterior, es importante no perder de vista que las metrópolis provocan una importante deforestación del territorio de desplante.

Impacto de producción de los materiales

Los materiales de construcción siempre han tenido un impacto sobre el medio ambiente. La extracción de materias primas como la piedra y la madera, de la misma forma que la producción artesanal de materiales como el adobe y los

ladrillos, aunque mínimo, han dejado su huella. Lo anterior, en contraste con materiales como el concreto, el acero, el vidrio y el plástico, de producción industrial.

La Revolución Industrial fue un parteaguas en la construcción, no solo por los avances que favorecieron el proceso productivo de los materiales mencionados sino, sobre todo, porque esta etapa fue fundamental para su introducción a la industria. Es importante precisar, pues, que no es que los procesos productivos sean más contaminantes en la actualidad, sino que la construcción reciente demanda de la producción de otro tipo de materiales.

De éstos, vale la pena destacar los datos que se reportan para el cemento y el acero, derivados no sólo de la extracción de materias primas sino, sobre todo, de las altas temperaturas requeridas para obtenerlos. Aunque se tiene registro de una disminución en las emisiones de CO_2 para la producción del primer material, uno de los datos de mayor aceptación es de 900 kg de dióxido de carbono, por tonelada de material (Ennomotive, 2024). Asimismo, se documentan hasta 1.46 toneladas de CO_2 por tonelada de acero producido (Cámara Nacional de la Industria del Acero, 2025).

Es importante mencionar que la cadena de producción y suministro del cemento, colocan al concreto como el material predominante de la industria de la construcción, seguido por el acero. Por tal motivo, para el año 2024, se estimó una producción de cemento de 4.37 billones de toneladas (Mordor, 2025) y de 1.88 billones de toneladas de acero (Di Maggio, 2025). Otros materiales de gran impacto, que se suman a los mencionados, son el aluminio y el plástico (UNEP, 2023).

Demanda de materiales

Para dimensionar la problemática, se propone centrarse en los datos de vivienda en México, ya que es uno de los rubros más representativos y de los que más información se tiene. De acuerdo con el INEGI (2020), para el último censo, se tiene registro de 35,219,141 viviendas, para satisfacer la demanda de la población del país, de las cuales el 78.4% tiene losas de concreto armado, o bien, vigueta y bovedilla como solución constructiva.

Ahora bien, con base en el Código de Edificación de la Vivienda (SEDATU, 2017), ésta se clasifica en seis tipos, según la superficie y las características de los espacios que las conforman. Para efectos del análisis, baste con centrarse en lo primero. Se tiene registro de que la vivienda económica tiene una superficie aproximada de 40 metros cuadrados, la popular de 50, la tradicional de 71, la media de 102, la residencial de 156 y la residencial plus de 188. Un promedio de 101.16 metros cuadrados.

Si se multiplica el promedio anterior por las 27,611,806 viviendas del país, que consideran elementos de concreto para sus cubiertas se obtienen 2,793,210,350 metros

cuadrados de superficie. Con un espesor promedio de 15 cm para las losas, es posible estimar un volumen de 418,981,552.50 metros cúbicos de concreto para su construcción. Y, con base en datos paramétricos (González 2024), con 60 kilogramos de acero por metro cúbico, el resultado arroja un estimado de 25,138,893.15 toneladas de acero.

Como se mencionó, el análisis anterior está centrado únicamente en la vivienda. Ahora, aunque no se tienen datos que permitan hacer un análisis similar para estimar la cantidad de materiales necesarios para la construcción de infraestructura o edificios para equipamiento y servicios, su escala permite sensibilizar su alcance.

No se omite mencionar que, aunque no se tiene una cifra exacta, se tiene un dato aproximado de que el 17% de las 35,219,141 viviendas, tienen lámina de asbesto como solución constructiva (León, 2024). Vale la pena la mención, debido a que están documentados los graves riesgos a la salud y al medio ambiente que implica su uso.

Es importante no olvidar que en México existen 126,014,024 habitantes, de manera que lo que puede estimarse al respecto corresponde a la cantidad de población mencionada. Si se escala a los 8,231,613,070 personas nivel mundial, la cifra prevista se vuelve alarmante.

Disponibilidad de los materiales

Para entender el panorama actual de la disponibilidad de los materiales de construcción es preciso considerar tres fenómenos que están asociados a esto: el capitalismo, la digitalización del dinero y la interconexión de los mercados.

En el apartado anterior, se mencionó la importancia en términos productivos de la Revolución Industrial. Sin embargo, vale la pena destacar que también representó un parteaguas en el paradigma conceptual del valor de los productos. Por un lado, mientras que la producción artesanal centraba el valor en el trabajo y los recursos necesarios, por el otro, con la producción industrial que entre otras cosas, permitió eficientarlos, el valor de los productos fue asociado a la oferta y la demanda (Marx, 1890).

El nuevo paradigma del valor, en consecuencia, hizo que los porcentajes de ganancia se multiplicaran y, con ello, que pudieran acumularse grandes cantidades de dinero derivadas del comercio. Esto fue el origen del capitalismo, modelo económico que rige en la actualidad. En lo que respecta a los materiales de construcción, tal como anticipó Marx (1890), la distribución de los medios de producción llevó al desarrollo de grandes potencias, de manera que su disponibilidad obliga a recorrer grandes distancias.

No se omite mencionar que otros aspectos fundamentales para el fortalecimiento de los sitios de

producción fueron: la digitalización del dinero y la interconexión de los mercados. Si bien es cierto que los productos comenzaron a recorrer mayores distancias después de la primera Revolución Industrial, con los avances tecnológicos de la cibernética, en donde ya no fue necesaria la equivalencia monetaria y el dinero quedó limitado a cifras (BBVA Reserch, 2019), surgieron alianzas comerciales entre distintos países que convirtieron las economías en interdependientes.

De esta forma, la interconexión de los mercados marca la pauta de la disposición de los materiales de construcción en la actualidad. En este sentido, los datos emitidos por la Secretaría de Economía (2024), referentes a las operaciones mundiales durante el año 2022, permiten identificar a los países que lideran la producción y comercialización.

Con respecto al cemento, se tiene un registro comercial que posiciona a Turquía, Vietnam y Canadá como los principales exportadores. Del acero y del vidrio, por su parte, se sabe que fueron China, Alemania y Estados Unidos en ambos casos. Por último, se reporta que los principales exportadores de plástico fueron China, Estados Unidos y Alemania durante el mismo periodo.

Como puede verse, China lidera en la actualidad la producción de acero, de vidrio y de plástico, mientras que Turquía hace lo propio con la del cemento. Esta información permite, por un lado, dimensionar las distancias que recorren los materiales de construcción, desde los principales sitios de producción hasta sus lugares de uso y, por el otro, anticipar el impacto ambiental que el hecho conlleva.

Durabilidad de los materiales

Los materiales de construcción poseen periodos de vida útil en los que se garantiza su seguridad estructural. De acuerdo con análisis realizados, se tiene registro de que los materiales con mayor durabilidad son el concreto y la piedra natural, seguidos por las placas de acero, los perfiles metálicos, el cobre y la cerámica. Mientras que para los primeros se reportan 100 años, para los segundos, únicamente 80. Por su parte, para el tabique y el tabicón, se estima una vida útil de 60 (Hernández, 2019).

Lo anterior, es importante en términos ambientales, debido a que los materiales mencionados no consideran componentes biodegradables y/o reciclados. Por tal motivo, mayoritariamente, observan un periodo de vida lineal. Esto implica que después del periodo estimado, se conviertan casi en su totalidad, invariablemente, en desperdicios depositados en rellenos sanitarios. Vale la pena destacar de entre éstos, el acero y el aluminio por ser reciclables innumerables veces.

Problema

Para mitigar la problemática de la industria de la construcción, en lo que respecta a la selección de materiales, se han desarrollado métodos de evaluación como Batelle y

Leopold, en la década de los setenta; o Conesa-Fernández, en la de los noventa, basados en el Análisis del Ciclo de Vida (Bustamante, 2022). Por ello, sus análisis se centran exclusivamente en aspectos ambientales. Sin embargo, como se ha visto, la problemática ambiental es el resultado de la combinación de aspectos de distinta índole. Por tal motivo una perspectiva basada exclusivamente en un ámbito resulta limitante.

Recientemente se han desarrollado métodos de evaluación multicriterio, que se basan en la comparación de características de distinta índole, ponderados mediante modelos matemáticos. Al respecto, en los anexos de este documento, se refieren algunos trabajos relevantes. De éstos, es preciso mencionar dos cosas: la primera, que al mismo tiempo que se eligieron los aspectos evaluables, se descartaron otros que también pueden ser importantes; y, la segunda, que no se considera el periodo de vida útil de los materiales.

Por lo anterior, se observa un área de oportunidad en el desarrollo de una metodología de evaluación integral de materiales de construcción. Es así como, lo que se busca es que puedan evaluarse los impactos obtenidos durante el periodo de vida útil y que se visibilicen la mayor cantidad de rubros posible. De aquí, se desprende la pregunta de investigación siguiente: ¿cómo desarrollar una metodología que permita evaluar de forma integral los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad de los materiales de construcción obtenidos a lo largo de su periodo de vida útil?

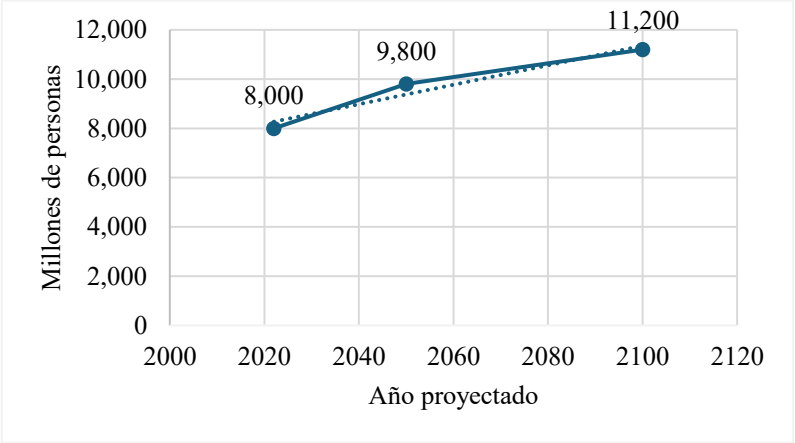
Justificación

La problemática ambiental de la industria de la construcción es creciente, debido a que está directamente relacionada con el incremento poblacional. En este sentido, las proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas (2017), estiman que para el año 2050, la población será de 9,800,000,000 de personas, mientras que para el 2100, será de 11,200,000,000 (Figura 5).

Figura 5

Proyección de crecimiento poblacional para el 2100

Elaboración propia



Con estos datos, se proyecta un crecimiento del 23% para mediados del siglo y, del 40%, para inicios del siguiente. Lo anterior, comparado con los 8,000 millones de habitantes registrados para el año 2022. Esto permite anticipar el incremento de construcción, en virtud de los espacios necesarios para satisfacer las necesidades de vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios de la población esperada.

En lo que respecta a México, las proyecciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (2024), estiman un incremento del 14.65% para el año 2040, con respecto al censo anterior. Con ello, pasará de 126,014,024 habitantes a 144,476,530. Ahora bien, si se mantiene la tendencia, tan sólo en el rubro de vivienda, será necesario construir 14,918,164 casas, para satisfacer la demanda del número de personas estimado (Tabla 3).

Tabla 3

Proyecciones de población y vivienda para el 2040 en México

Elaboración propia

Indicador	2000	2020	2040
Población	97,483,412	126,014,024	144,476,530
Número de viviendas	21,942,535	35,219,141	50,137,305
Índice de ocupación	4.44	3.58	2.88
Diferencia población		28,530,612	18,462,506
Diferencia número de viviendas		13,276,606	14,918,164

Con un ejercicio similar al realizado en el apartado de demanda de los materiales, con base en el promedio de metros cuadrados para la construcción de vivienda, es posible estimar que en los próximos veinte años, se tendrán que construir 1,509,121,428.72 metros cuadrados para este rubro. Esto es, un promedio anual de 75,456,071.44 metros cuadrados (Tabla 4).

Tabla 4

Estimación de la superficie de vivienda en México

Elaboración propia

Indicador	2000	2020	2040
Número de viviendas	21,942,535	35,219,141	50,137,305
Superficie estimada	2,219,706,840.60	3,562,768,303.56	5,071,889,732.28
Diferencia de superficie		1,343,061,462.96	1,509,121,428.72
Promedio anual		67,153,073.15	75,456,071.44

Si se considera para la construcción de esta superficie, un porcentaje de concreto armado similar al registrado (78.4%), se sabe que la demanda de cemento y de acero, será considerable. Ahora bien, aunque en la vivienda de tipo horizontal es posible emplear materiales de perfil ecológico, es importante no perder de vista que, técnicamente, la vivienda vertical no lo permite. Esto, sin olvidar que para la construcción de obras de infraestructura, de equipamiento y de servicios, la escala y el uso de los edificios, limita la

posibilidad de selección de materiales, mayoritariamente, a los anteriores.

La selección informada de los materiales de construcción, necesarios para satisfacer la demanda futura, justifica el desarrollo de una metodología de evaluación integral, que permita las siguientes tres cosas. La primera, centrarse en las opciones técnicamente viables. La segunda, medir los impactos obtenidos durante el periodo de vida útil. Y, la tercera, que los resultados permitan visibilizar que el tipo, la cantidad, el lugar de donde se obtienen y se deponen, así como la forma de colocación y demolición de los materiales de construcción, son factores en donde los decisores pueden incidir.

Hipótesis

Si se desarrolla e implementa en una App, una metodología que permita evaluar de forma integral los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad de los materiales viables para la construcción de elementos, obtenidos durante su periodo de vida útil; entonces, se podrán tener resultados confiables, ágiles y de fácil difusión, que permitirán la toma de decisiones informadas.

Objetivo general

Desarrollar una metodología integral que implementada mediante una App, permita evaluar los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad, obtenidos a lo largo del periodo de vida útil de los materiales viables, para la edificación de los distintos elementos constructivos.

Objetivos específicos

1. Conocer las características generales de los materiales de construcción.
2. Tener un panorama de los materiales de construcción en la actualidad.
3. Identificar el enfoque teórico que permita abordar el problema de evaluar el impacto integral de los materiales de construcción.
4. Definir el diseño metodológico de investigación que permita cumplir con el objetivo de evaluar el impacto integral de los materiales de construcción.
5. Desarrollar la metodología para evaluar integralmente los materiales de construcción.
6. Demostrar el funcionamiento de la metodología en un caso de estudio.
7. Discutir los resultados obtenidos de la evaluación de los materiales del caso de estudio.

MARCO TEÓRICO

Definición

Los materiales de construcción son aquellas materias primas o productos que se emplean en la edificación. Es importante mencionar que la diferencia entre ambos se centra en sus procesos de fabricación. Mientras que las materias primas son aquellas que no sufren modificaciones, salvo algunas físicas para su empleo, los productos son resultado de un proceso en el que sus componentes tienen modificaciones químicas (Callister, 2016).

Clasificación

Existen múltiples clasificaciones para los materiales de construcción. Lo anterior, hacer posible identificar tanto coincidencias como diferencias entre ellas. A continuación, como ejemplo, se mencionarán algunas.

Bustillo (2008), propone una distinción de seis tipos: los áridos, las piedras naturales, los conglomerantes, los cerámicos y vidrios, los metales, así como los bituminosos y plásticos. Al respecto, sostiene lo siguiente:

1. Los áridos son los materiales granulares empleados en la construcción.
2. Las piedras naturales, las rocas extraídas de su yacimiento para dicho propósito.
3. Los conglomerantes, por su parte, son aquellos capaces de endurecerse una vez que son mezclados con el agua, tales como el cemento, la cal y los yesos.
4. Los cerámicos son los materiales sólidos inorgánicos, no metálicos, obtenidos mediante su fusión a altas temperaturas. Dentro de esta clasificación, se encuentran los vidrios por su proceso de fabricación.
5. De los metales, menciona que son los obtenidos del proceso de mineralurgia y metalurgia.
6. Los bituminosos son los que están constituidos por sustancias aglomerantes, formados por mezclas de hidrocarburos. Los plásticos, utilizan materiales poliméricos, por ello, el autor los agrupa.

Fernández (2006), en cambio, considera una clasificación de cinco tipos, centrada en las propiedades físicas y químicas de los materiales de construcción. Así, distingue: los materiales bio naturales, los metálicos, los cerámicos, los poliméricos y los compuestos.

1. Los materiales bio naturales, consideran a aquellos que tuvieron vida, tales como la madera.
2. Los metálicos, son los materiales que tienen la capacidad de conducir calor. De éstos, distingue los ferrosos de los no ferrosos.

3. Los cerámicos, que son el resultado de un proceso de fusión de elementos, mediante un proceso que involucra calor para obtenerlos.
4. Los poliméricos, que son aquellos materiales en donde los monómeros provenientes del petróleo se unen para formar estructuras poliméricas, que son la base de los plásticos. Es importante destacar que éstos se clasifican en tres tipos: los termoplásticos -que pueden fundirse y formar nuevas estructuras-; los elastómeros -con una alta resistencia a la deformación- y los termoestables -que no pueden volver a fundirse-.
5. Los compuestos son aquellos que, como su nombre lo indica, están formados por la unión de dos o más materiales con el propósito de mejorar las propiedades de alguno. De acuerdo con Hernández (2013), uno de los materiales funciona como matriz y el o los otros como despersoide(s).

Propiedades

Fernández (2006), clasifica las propiedades antes mencionadas en dos tipos: las intrínsecas y las extrínsecas. Por un lado, las primeras son aquellas asociadas a los componentes, por lo que pertenecen al material sin importar su contexto. Por el otro, las segundas, son las derivadas del lugar en el que éste es usado.

Entre las propiedades intrínsecas se encuentran: las físicas, las mecánicas, las térmicas, las reológicas y las ópticas. Las extrínsecas, por su parte, consideran: las económicas, las ambientales e, incluso, las sociales de los materiales de construcción (Fernández, 2006).

Sastre y Muñoz (2010), proponen una clasificación más amplia para los materiales. Los autores parten de distinguir que existen propiedades comunes, a todos, y particulares, para cada estado físico de la materia. Reconocen cuatro estados físicos: sólido, líquido, gaseoso y pasta. Sin embargo, para el primero, distinguen entre sólidos granulares y compactos.

Entre las propiedades físicas comunes a todos los materiales se encuentran: la masa, el peso, la densidad, la homogeneidad y la isotropía. Particularmente, en las que respectan a los fluidos están: la presión, la tensión superficial, la viscosidad y la tixotropía. En lo correspondiente a las de las pastas, solo se menciona la consistencia, es decir, la fluidez (Sastre & Muñoz, 2010).

En el mismo orden de ideas, entre las propiedades físicas de los sólidos granulares están: la porosidad, la compacidad, la capilaridad, la cohesión y la finura. En lo que respecta a las de los sólidos compactos están agrupadas en cinco tipos: las de la materia, las mecánicas, las reológicas, las térmicas y las correspondientes a las ondas de luz, radiación y sonido (Sastre & Muñoz, 2010).

Para continuar con los sólidos compactos, porosidad, capilaridad, eflorescencia, absorción, adsorción, permeabilidad, difusibilidad, pulidez, rugosidad, brillo, color, transparencia, traslucidez y opacidad son las propiedades físicas de la materia. Resistencia a la rotura, tenacidad, resiliencia, dureza, deformabilidad, rigidez, ductilidad y maleabilidad, constituyen las mecánicas. Dilatación térmica, entumecimiento, retracción e intumescencia, las reológicas. Conductividad, calor específico, fusión y soldabilidad, las térmicas. Finalmente, absorción, reflexión, transmisión, refracción y emisividad, las comunes a ondas de luz, radiación y sonido (Sastre & Muñoz, 2010).

Con respecto a las propiedades fisicoquímicas de los materiales, Sastre y Muñoz (2010), identifican la resistencia a los productos químicos; la combustibilidad, inflamabilidad y la autoextinguibilidad, como indicadores de resistencia al fuego; la putrefacción, heladicidad, oxidación, corrosión y carbonatación, como características de la durabilidad.

Por último, entre otras propiedades, se encuentran las relacionadas con costos, toxicidad y reciclaje. De éstas, vale la pena destacar las relacionadas con las primeras, ya que dentro de los costos se distinguen tres tipos: los ambientales, los energéticos y los monetarios. En el Anexo 2 del documento, se encuentra un desglose de las principales propiedades.

Uso

Las partidas de obra son el conjunto de actividades, que permiten agotar las distintas etapas constructivas de un edificio (Firma DC, 2021). Ahora bien, aunque no existe una clasificación de los materiales de construcción con respecto a su uso, es importante precisar, que en todas las partidas existen actividades que los consideran. De esta forma, es posible agruparlos como se describe a continuación:

1. Preliminares: materiales para relleno y mejora de terrenos.
2. Cimentación: materiales para mamposteo, zapatas, losas de cimentación y cajones, entre otros.
3. Estructurales: materiales para columnas, zapatas, trabes, muros de carga y losas, entre otros.
4. Albañilería: materiales para muros envolventes y divisorios.
5. Instalaciones: materiales para instalaciones hidráulicas, sanitarias, eléctricas, gas y especiales.
6. Acabados: materiales par aplanados, pisos, plafones, pintura, carpintería y cancelería, entre otros.

Vida útil

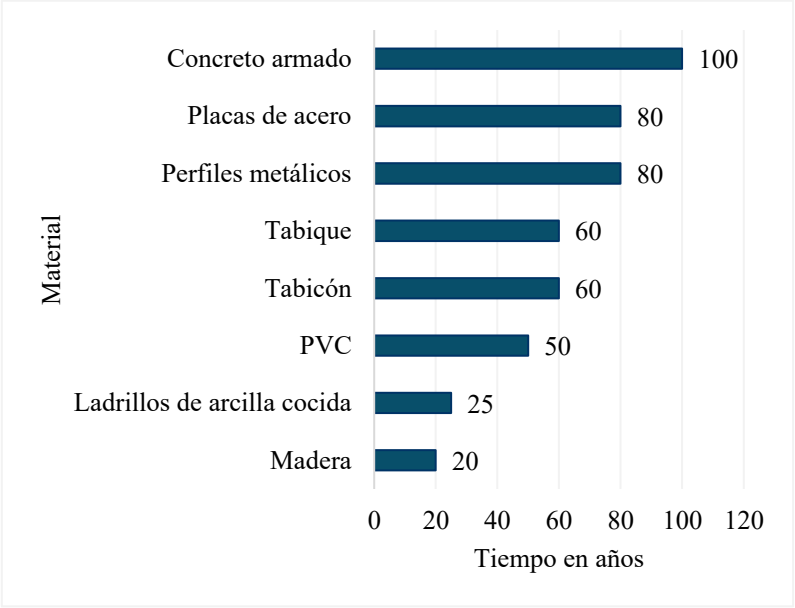
Los materiales de construcción poseen periodos de vida útil, en los que se garantiza su seguridad estructural. Hernández (2019), sostiene que los materiales de mayor vida útil son el concreto y la piedra natural, que reportan 100 años; seguidos por las placas de acero, perfiles metálicos, cobre y cerámica, con una duración de 80. También, tanto para el tabique como para el tabicón desglosa una vida de 60 años. Para el PVC, los ladrillos y la madera, reporta vidas de 50, 25 y 20 años, respectivamente (Figura 6).

Lo anterior es importante, debido a que los mencionados, mayoritariamente, observan un tipo de vida lineal, además de no considerar entre sus componentes materiales biodegradables. Por ello, en el periodo determinado, se convierten en desperdicios que terminan depositados en rellenos sanitarios. Vale la pena destacar de entre éstos, al acero y al aluminio, por ser reciclables innumerables veces. No obstante, los materiales suman por concepto de deposición, considerablemente, a la problemática ambiental de la industria de la construcción.

Figura 6

Periodo de vida útil de los materiales de construcción

Elaboración propia



MARCO REFERENCIAL

Proceso productivo

Cemento

El proceso productivo del cemento inicia con la extracción de calizas y arcillas de las canteras. Una vez extraídas, se transportan a las plantas para fragmentar la materia prima en trituradores. El resultado obtenido del paso anterior, se pre homogeniza, con base en mezclas proporcionales de los diferentes tipos de arcilla, caliza o de otros materiales. En silos, se dosifica para la molienda, de la que se consiguen las harinas crudas que permiten una mejor homogenización.

La parte medular del proceso consiste en introducir las harinas homogenizadas, en hornos a temperaturas de 1400°C, para obtener el *Clinker.* Éste se muele y se mezcla con yeso para prolongar el tiempo de fraguado. Derivado de la mezcla anterior, se obtiene el cemento. El proceso concluye cuando se almacena en silos hasta su envase y comercialización (CEMEX LATAM, 2023).

El consumo energético, para lograr las altas temperaturas necesarias para la obtención del *Clinker,* emite cantidades considerables de CO_2. Aunque se tiene registro de 900 kg de dióxido de carbono por tonelada de material (Ennomotive, 2024), es importante destacar que, desde hace algunos años, las empresas iniciaron su transición hacia el uso de energías limpias y agua reciclada, con lo que han logrado una reducción en el impacto ambiental de producción. Por ejemplo, para el 2024, la empresa CEMEX, reportó emisiones de hasta 506 kgCO_2 por cada tonelada de material.

Ahora bien, la producción de cemento para el año 2024, se estimó en 4.37 billones de toneladas (Mordor, 2025). Si se multiplica el dato anterior por el correspondiente a las emisiones por tonelada de producción del material, se tiene como resultado 3.93 billones de toneladas de dióxido de carbono, emitidas por la industria cementera durante el periodo analizado. Esto denota la importancia de los esfuerzos de la industria mexicana, con las que el cálculo reporta 2.21 billones de toneladas (Figuras 7 y 8).

Acero

En lo que respecta al segundo material de mayor uso, el acero, el proceso productivo inicia con la extracción del mineral de hierro, carbón y chatarra, que son las materias primas. Una vez obtenidas, se funden en altos hornos de oxígeno directo o de arco eléctrico, para convertir la materia prima en acero líquido. Esto se lleva a cabo en un laminador de rolado en caliente, de dónde posteriormente se envía tanto

a los laminadores calientes o como a los fríos, según el uso del material (Arcelor Mittal, 2024).

Si el acero se emplea de forma natural, con lo anterior termina el proceso, sin embargo, algunos aún son sometidos a un proceso de recocido, galvanizado o recubrimiento, para concluirlo (Arcelor Mittal, 2024). Ahora bien, para estimar el impacto ambiental que tiene, es importante destacar que la temperatura de fundición es de 1700°C, mayor a la necesaria para la producción del *Clinker*.

Se tiene registro de que la producción mundial de acero para el año 2024, fue de 1.88 billones de toneladas (Di Maggio, 2025). De acuerdo con los datos de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (2025), en México se emiten 0.97 toneladas de dióxido de carbono por cada tonelada de acero producido, mientras que en el resto del mundo, se documentan 1.46 toneladas.

Con los datos anteriores, es posible realizar cálculos para estimar las emisiones de CO_2 que tuvo la producción de acero para el año 2024. Si se considera el primer dato, el resultado es de 1.82 billones de toneladas de dióxido de carbono. No obstante, si se considera el segundo, arroja 2.74 billones de toneladas. Es decir, una diferencia de 0.92 billones de toneladas entre uno y otro (Figuras 7 y 8).

Aluminio

El proceso de fabricación del aluminio inicia con la extracción de la bauxita, misma que se tritura y se mezcla con sosa cáustica y agua, para formar una pulpa que se calienta a alta presión para obtener la alúmina. Con ácido sulfúrico, se separa de impurezas para proceder a fundirla a una temperatura de 2000°C. De tal forma, el aluminio líquido se obtiene mediante la electrólisis de la alúmina fundida. A continuación, el aluminio líquido se vacía en moldes, en donde se deja enfriar y solidificar para posteriormente cortarlo. Con el acabado deseado, ya sea natural, pulido, anodizado, pintado, entre otros, el proceso concluye (Fabricación Industrial, 2024).

Se tiene un registro de producción de 111.2 millones de toneladas de aluminio para el año 2023. Si se considera que la producción del aluminio primario reporta emisiones de 14.8 toneladas de CO_2 por tonelada de material (International Aluminium,2025), es posible estimar 1645.76 millones tCO_2 (Figuras 7 y 8). Es importante destacar, que el aluminio es un material reciclable, por ello, las emisiones promedio de producción pueden reducirse hasta 10.04 tCO_2. Sin embargo, lo destacable es que la proporción es de más de 10:1.

Vidrio

Con respecto al proceso productivo del vidrio, a continuación, se mencionará el correspondiente al vidrio flotado, que es el que se emplea comúnmente en la

construcción. Una vez que se extraen las materias primas, se pesan y mezclan con algo de agua para llevarlas al horno, donde se funden a temperaturas que alcanzan los 1490 °C. Posteriormente, se le da un baño de estaño, con lo que el vidrio se enfría a 1090 °C.

Tras el baño de estaño, el vidrio rígido es introducido a un túnel de enfriamiento, en el que se reduce la temperatura de aproximadamente 538 °C, hasta llegar a la temperatura ambiente. El proceso concluye con la inspección y corte del material, con base en los formatos deseados.

Ahora bien, se tiene registro de 130 millones de toneladas de vidrio producido, durante el 2024 (Recovery Recycling Technology Worldwide, 2026). También, de que se emiten 0.12 toneladas de dióxido de carbono, por tonelada de material. Los datos anteriores, permiten calcular 15.6 millones de toneladas de CO_2, para mencionado periodo (Figuras 7 y 8).

Plástico

Para la producción del plástico, se consideran materias primas como celulosa, carbón, gas natural, sal y, por supuesto, petróleo crudo. El petróleo crudo es destilado en una refinería para separar los componentes pesados de los ligeros, con lo que se obtienen las denominadas *fracciones*. Una de las *fracciones* obtenidas de este proceso es la *nafta*, que es el componente principal en la fabricación de plásticos (Plastics Europe, 2025).

Mediante la polimerización y la policondensación, con sus respectivos catalizadores, se consiguen monómeros como el etileno y el propileno, que se unen para formar grandes cadenas poliméricas (Plastics Europe, 2025). Una vez obtenidas, se procede a su transformación en resinas plásticas. Como resinas, son sometidas a distintos procesos: inyección, extrusión, moldeo por compresión o rotación, entre los más conocidos. Lo último, transforma el plástico en productos terminados (Poli Santafé, s.f.).

De acuerdo con el *United Nations Development Programme*, la producción anual de plástico para el año 2022, se estimó en 438 millones de toneladas. Además, se tiene conocimiento de que por cada tonelada de producción se emiten 3,5 toneladas de CO_2 (Zero Emissions Objetive, 2020). Esto es, 1533 millones de toneladas de dióxido de carbono (Figuras 7 y 8).

El plástico en la construcción se emplea como aislamiento térmico y acústico; en la fabricación de tuberías, canalizaciones, ventanas y cerramientos; también, como base de materiales impermeabilizantes; y, finalmente, como componente reciclado en la fabricación de materiales ecológicos compuestos (Es Plásticos, 2022). Por esta razón, contribuye considerablemente con la cifra anterior.

Figura 7

Producción de materiales de construcción 2022-2024

Elaboración propia

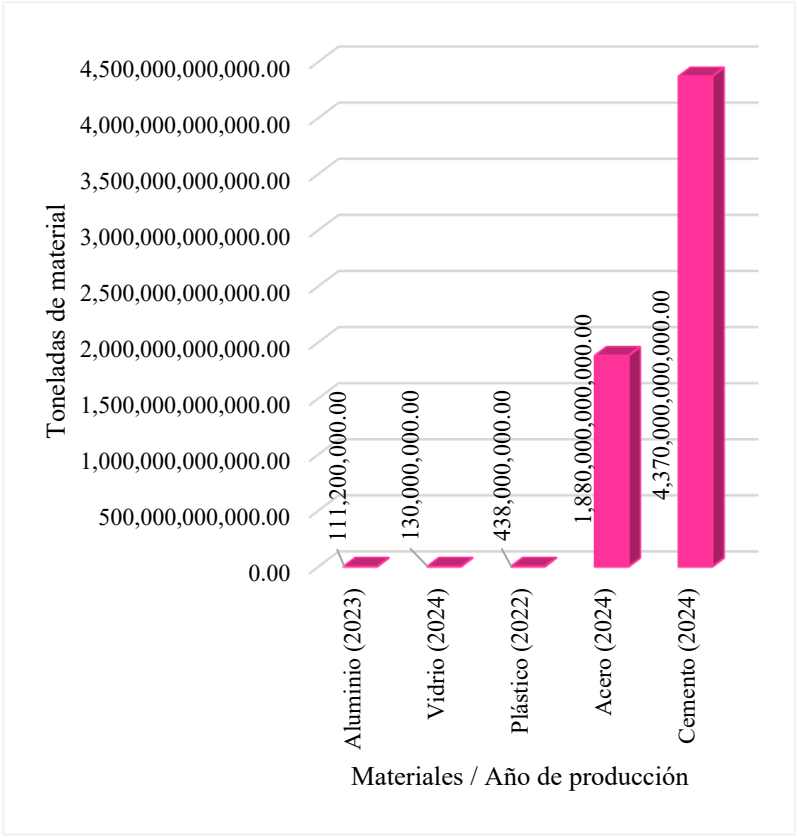
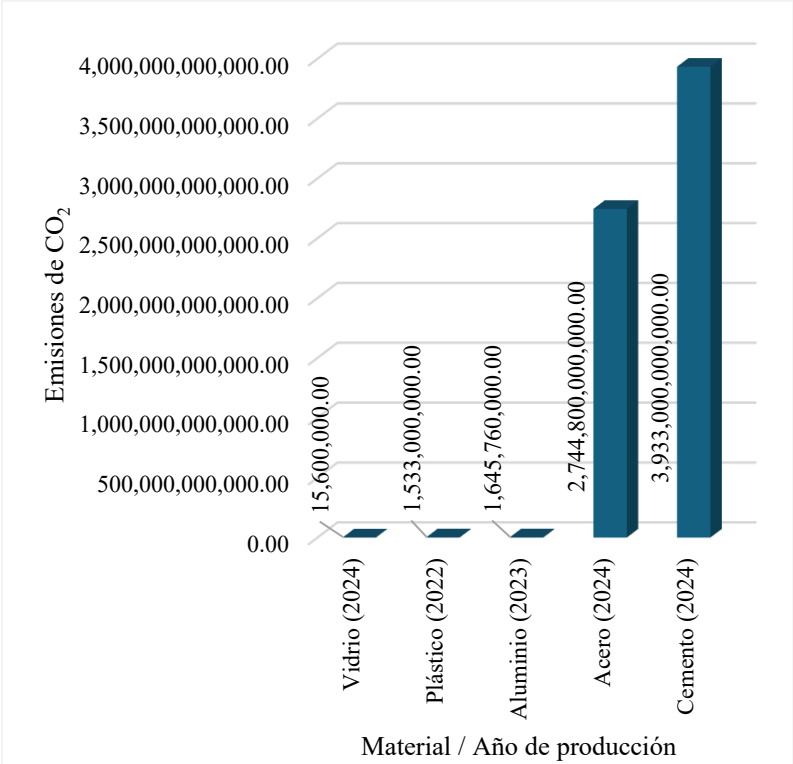


Figura 8

Emisiones de CO_2 de los materiales de construcción producidos 2022-2024

Elaboración propia



Principales exportadores e importadores

La producción de materiales de construcción está directamente relacionada con la tecnología con la que se cuenta para hacerlo. Como resultado, pueden identificarse países exportadores e importadores, que conforman una red de dependencia comercial. Los datos emitidos por la Secretaría de Economía (2024), referentes a las operaciones mundiales durante el año 2022, permiten clarificar lo anterior.

Cemento

En lo que refiere al cemento, los principales países exportadores fueron: Turquía, Vietnam y Canadá, con cifras equivalentes en millones de dólares de 1,189, 910 y 399, respectivamente. Por el contrario, entre los principales países importadores se encontraron: Estados Unidos, Israel y Reino Unido, con 2100, 408 y 351 millones de dólares, en el orden dado (Figuras 9 y 10).

Figura 9

Principales países exportadores de cemento durante el año 2022

Elaboración propia

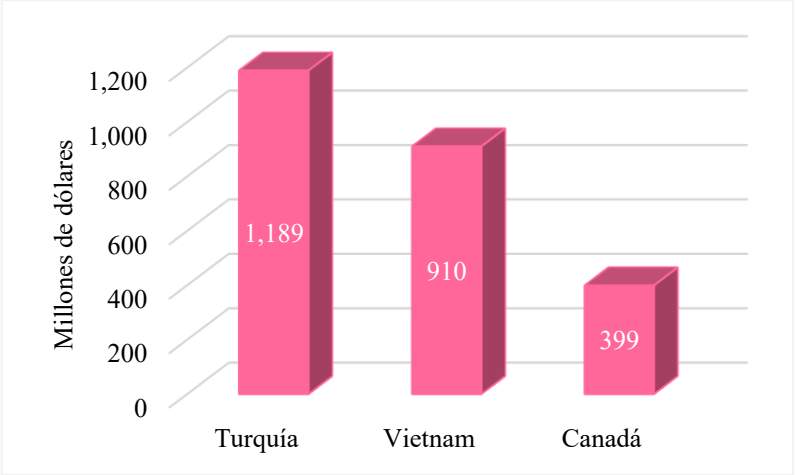
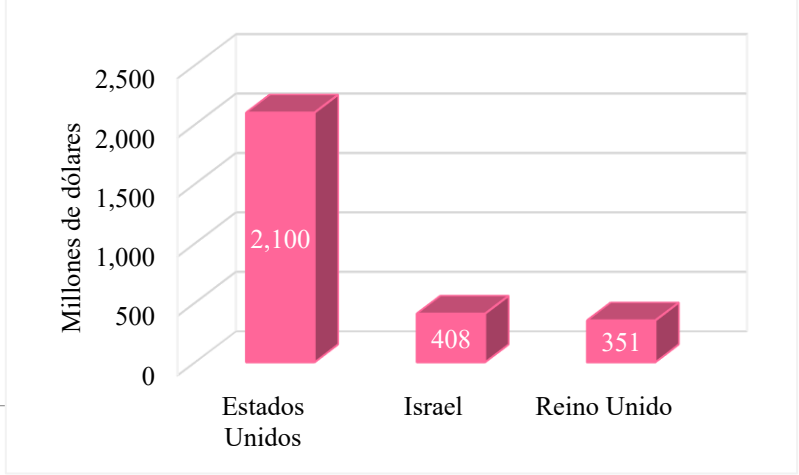


Figura 10

Principales países importadores de cemento durante el año 2022

Elaboración propia



Acero

Del acero, se reporta que durante ese año, los principales exportadores fueron: China, Alemania y Estados Unidos, quienes comercializaron 108,654, 33,487 y 22,022 millones de dólares. Asimismo, entre los principales importadores se encontraron: Estados Unidos, Alemania y Francia, con 59,226, 31,149 y 15,660 millones de dólares, correspondientes al orden mencionado (Figuras 11 y 12).

Figura 11

Principales países exportadores de acero durante el año 2022

Elaboración propia

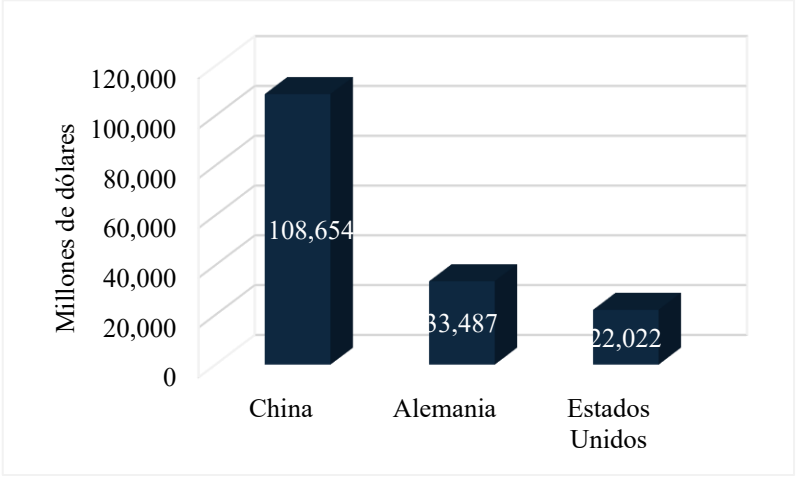
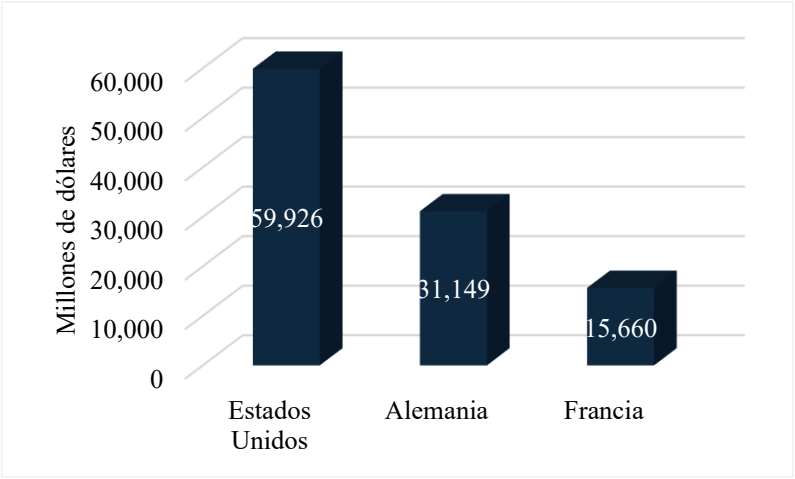


Figura 12

Principales países importadores de acero durante el año 2022

Elaboración propia



Vidrio

Del vidrio, por su parte, se tiene registro de un comportamiento comercial que posiciona a China, Alemania y Estados Unidos, como los principales exportadores, con cifras de 24,311, 7,690 y 6,577 millones de dólares. Ahora, estos mismos países ostentan ser, también, los países de mayor importación de este material. En este sentido Estados Unidos importó 10,523, millones de dólares, mientras que Alemania y China, 6,112 y 5,060, respectivamente. Vale la pena destacar que China fue el país que más exportó y el que menos importó, de manera opuesta a lo que sucedió con Estados Unidos (Figuras 13 y 14).

Figura 13

Principales países exportadores de vidrio durante el año 2022

Elaboración propia

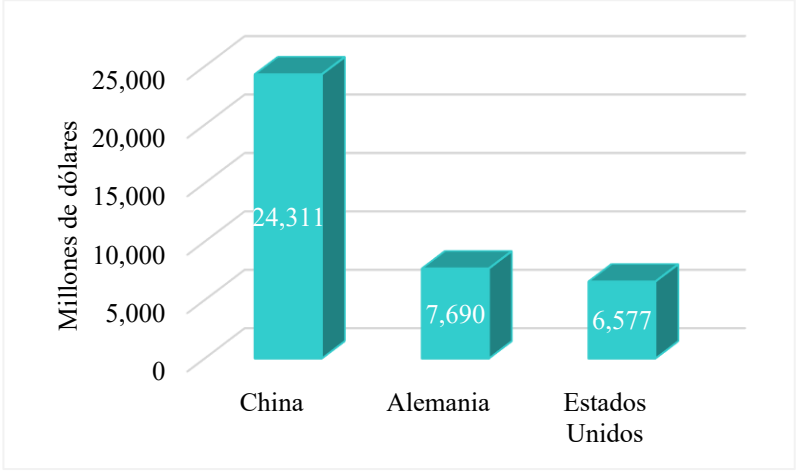
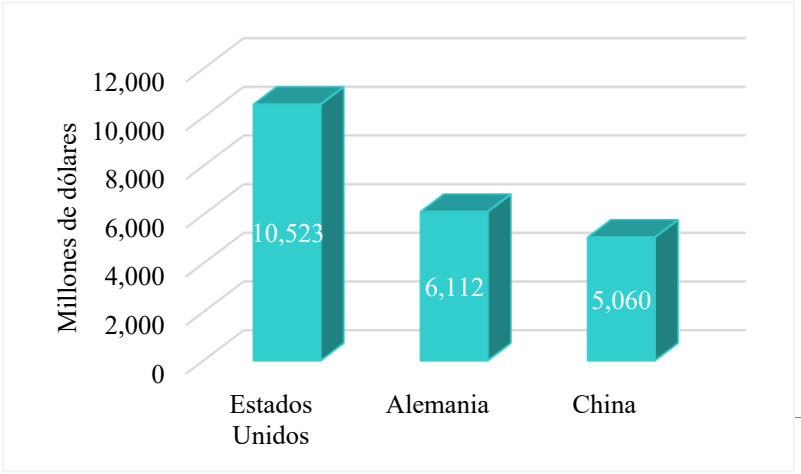


Figura 14

Principales países importadores de vidrio durante el año 2022

Elaboración propia



Plástico

El plástico es otro de los que merece la pena observar, debido a que materiales poliméricos, como el PVC, tienen cada vez mayor representatividad en la industria de la construcción. Al respecto, la Secretaría de Economía (2024), identificó entre los principales exportadores durante el año 2022 a China, Estados Unidos y Alemania, con inversiones en millones de dólares equivalentes a 139,916, 84,155 y 79,916, respectivamente. Los mismos países, también, fueron detectados como los mayores importadores. Estados Unidos ostenta el primer lugar con 89,467 millones de dólares, seguido por China y Alemania con 70,992 y 53,254 (Figuras 15 y 16).

Figura 15

Principales países exportadores de plástico durante el año 2022

Elaboración propia

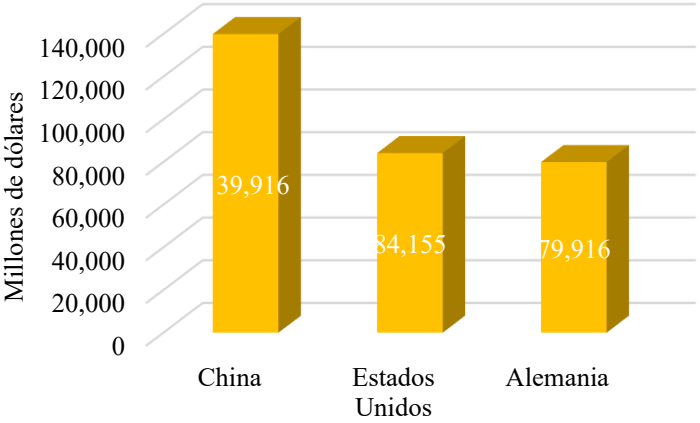
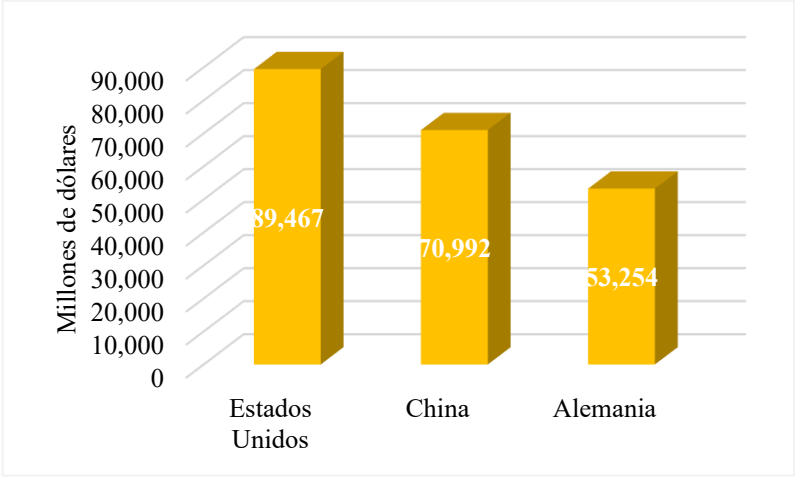


Figura 16

Principales países importadores de plástico durante el año 2022

Elaboración propia



Distancia recorrida por los materiales de construcción

Ahora bien, con un contraste entre los principales exportadores e importadores, es posible estimar las distancias recorridas entre ellos, esto sin olvidar que países no mencionados, también forman parte de la red comercial. En este sentido, las distancias constituyen un parámetro que permite sensibilizar el impacto ambiental derivado del transporte, sobre todo, si se considera la equivalencia en toneladas de material, que corresponde a las cifras mencionadas.

Con respecto a la intersección entre los principales productores y exportadores de cemento durante el año 2022, se obtuvieron los datos reportados en la Tabla 5, mediante la plataforma Geodatos (2025), que permite estimar distancias de centro a centro entre los países. De éstos, vale la pena destacar que se registran distancias de hasta 13,814 kilómetros, medidos en línea recta.

Tabla 5

Distancia entre los principales exportadores e importadores de cemento durante el año 2022

Elaboración propia

	Turquía	Vietnam	Canadá
Estados Unidos	10,205	13,814	2,262
Israel	879	7,655	9,672
Reino Unido	3,389	10,045	5,827

En lo concerniente al cruce entre exportadores e importadores de acero durante el año 2022, los datos obtenidos se concentran en la Tabla 6. En este caso, la distancia máxima reportada es de 11,671 kilómetros.

Tabla 6

Distancia entre los principales exportadores e importadores de acero durante el año 2022

Elaboración propia

	China	Alemania	Estados Unidos
Estados Unidos	11,671	7,882	0
Alemania	7,242	0	7,882
Francia	8,042	817	7,685

Particularmente, para el caso de la exportación e importación del vidrio y el plástico durante el año 2022, los mismos países fueron tanto los principales exportadores como importadores. Aquí, además de lo destacado, se repite un cruce similar al del acero entre China y Estados Unidos, con la distancia máxima igual a la mencionada en el párrafo anterior (Tabla 7).

Tabla 7

Distancia entre los principales exportadores e importadores de vidrio y plástico durante el año 2022

Elaboración propia

	China	Alemania	Estados Unidos
Estados Unidos	11,671	7,882	0
Alemania	7,242	0	7,882
China	0	7,242	11,671

Exportación e importación de materiales en México

Con base en la misma fuente, la Secretaría de Economía (2024), pudieron obtenerse datos de las operaciones comerciales de materiales de construcción durante el año 2022. Los cuales, permiten clarificar el estado actual respecto a la producción exportación e importación en México.

Cemento

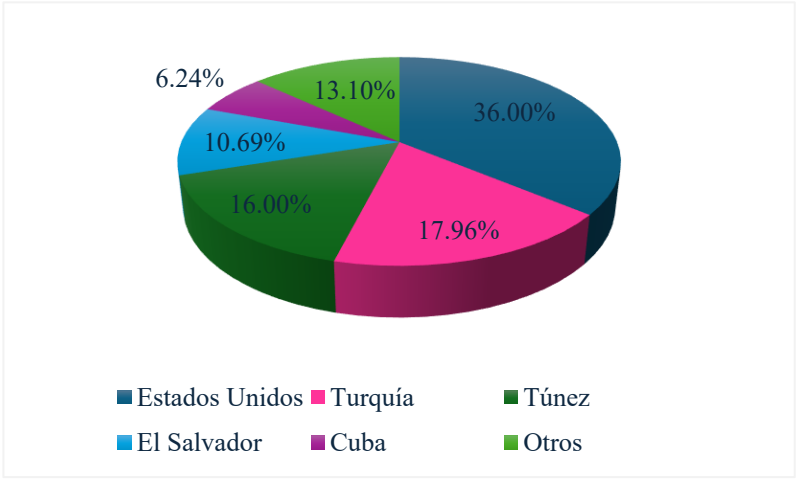
México es un país productor de cemento, por tal motivo, para el periodo mencionado se tiene registro de una mayor exportación que importación de dicho material. En este sentido, la Secretaría de Economía (2024), reportó ventas equivalentes a 118 millones de dólares, en contraste con las compras, que fueron de 24.5 millones de dólares.

Con respecto a lo último, se sabe que para ese año los principales países de los que provino el cemento importado fueron: Estados Unidos, Turquía, Túnez, El Salvador y Cuba. En la Figura 17, pueden observarse los porcentajes de representatividad de cada uno.

Figura 17

Principales países importadores de cemento a México durante el año 2022

Elaboración propia



Acero

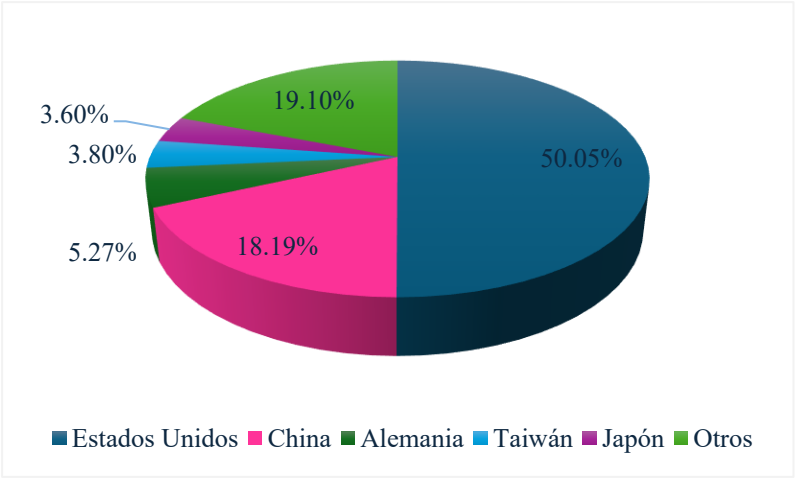
En lo que refiere al acero, aunque México también es un país productor de este material, las importaciones superaron por poco las exportaciones durante el año 2022. Así, se sabe que la exportación fue el equivalente a 9,797 millones de dólares, mientras que la importación, lo fue a 10,897 millones de dólares.

Entre los países importadores de acero a México durante el año 2022 figuran: Estados Unidos, China, Alemania, Taiwán y Japón. En la Figura 18, se muestran los porcentajes de representatividad de cada uno. Vale la pena destacar el caso de Estados Unidos, ya que representó el 50% de las importaciones para el periodo citado.

Figura 18

Principales países importadores de acero a México durante el año 2022

Elaboración propia



Vidrio

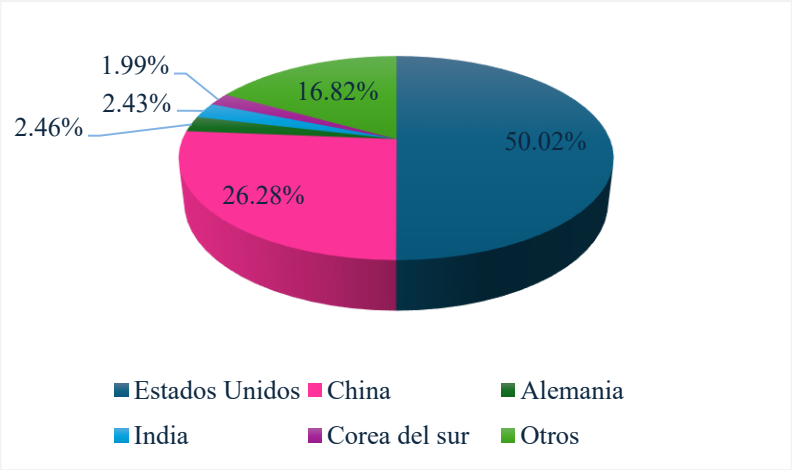
Del vidrio, por su parte, se menciona que durante el 2022, las exportaciones fueron el equivalente a 2,273 y las importaciones a 2,161 millones de dólares. También, se reportó que aproximadamente el 50% de este material fue

importado por Estados Unidos, seguido por países como China y Alemania con porcentajes destacables (Figura 19).

Figura 19

Principales países importadores de vidrio a México durante el año 2022

Elaboración propia



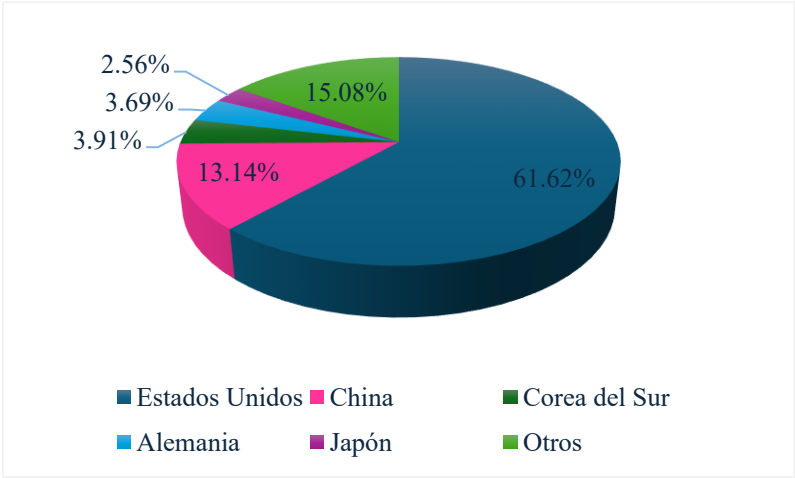
Plástico

Finalmente, del plástico, se reportaron compras equivalentes a 32,000 millones de dólares. Lo anterior, en oposición con los 12,374 millones de dólares correspondientes a las ventas. A continuación, en la Figura 20, se observan los porcentajes de importación de países como Estados Unidos, China, Corea del Sur, Alemania y Japón, que fueron los mencionados como principales para el año 2022. No se omite hacer notar, la relevancia del primer país, en virtud de que el 61.62% de la cifra reportada, provino de ahí.

Figura 20

Principales países importadores de plástico a México durante el año 2022

Elaboración propia



Con la información anterior, con base en un ejercicio similar de cálculo de distancias, mediante el apoyo de la plataforma Geodatos (2025), se obtuvieron las recorridas por los materiales importados a México durante el año 2022. Se destacan entre éstas, por un lado, 15,108 y 12,846 kilómetros como las máximas; por el otro, 1,629 y 1,804 kilómetros como las mínimas (Tabla 8).

Tabla 8
Distancia recorrida por los materiales importados a México durante el año 2022
Elaboración propia

Cemento		Acero		Vidrio		Plástico	
Estados Unidos	1,629	Estados Unidos	1,629	Estados Unidos	1,629	Estados Unidos	1,629
Turquía	11,806	China	12,846	China	12,846	China	12,846
Túnez	10,424	Alemania	9,465	Alemania	9,465	Corea del Sur	11,563
El Salvador	1,804	Taiwán	12,980	India	15,108	Alemania	9,465
Cuba	2,555	Japón	10,817	Corea del sur	11,563	Japón	10,817

Como se anticipó, el cálculo de las distancias mencionadas para la exportación e importación de cemento, acero, vidrio y plástico, generales y particulares de México, sirven como parámetro para dimensionar el impacto que tiene el transporte de materiales. Ahora bien, para un análisis preciso se requiere de información respecto a las cantidades, rutas comerciales y medios de transporte empleados, mismos que por ahora no se tienen.

Por lo anterior, baste con conocer los impactos ambientales que tiene la quema de los combustibles empleados por los distintos medios de transporte para presuponerlo. En la Tabla 9, se desglosan los últimos datos emitidos por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014), correspondientes tanto a la energía liberada como a las emisiones de CO_2 de un litro de los diferentes combustibles.

Tabla 9
Indicadores por tipo de combustible
Elaboración propia

	Densidad kg/litro	PCN MJ/l	Factores de emisión CO_2 $kgCO_2$/ l
Gasolina	0.739	42.570	2.322
Turbosina	0.783	43.280	2.462
Gas avión	0.716	43.390	2.250
Diesel	0.826	43.180	2.596
Combustóleo	0.999	39.030	3.097
Gas LP	0.525	81.990	1.580

Costos de la construcción en México

Para continuar, centrados en materia económica, otro de los aspectos que requiere ser tratado para tener un panorama más amplio, son los costos de la construcción en México. A lo largo del país, existen factores contextuales en los que se involucran aspectos económicos y culturales, que tienen como resultado configuraciones regionales correspondientes a sus condiciones.

Derivado de lo anterior, es posible observar variaciones en los costos de construcción. Ahora bien, uno de los ámbitos en dónde esto se tiene mayoritariamente analizado, es en la valuación inmobiliaria. Al respecto, publicaciones basadas en el análisis de costos por metro cuadrado de construcción en distintas regiones, documentan cuantitativamente las diferencias (González, 2024).

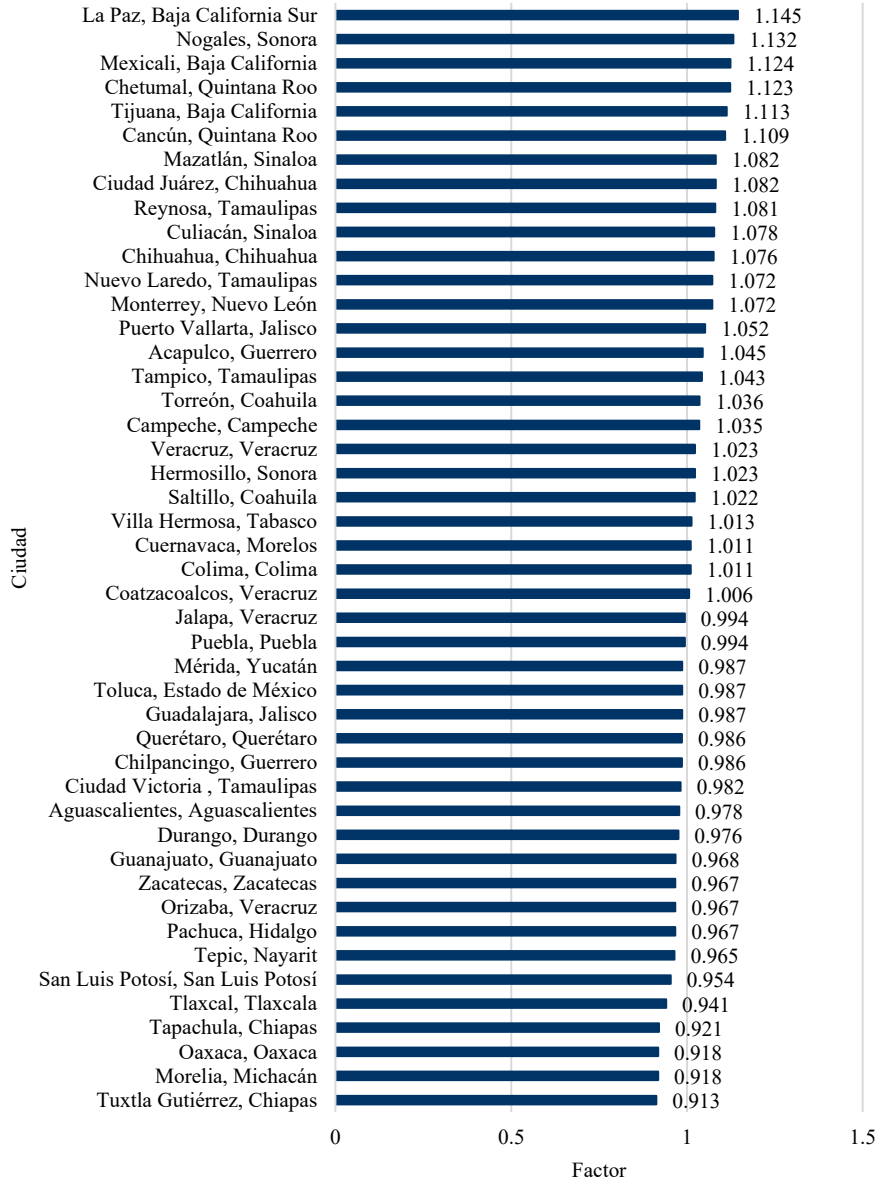
De los datos documentados, vale la pena resaltar las diferencias observadas en dos de las ciudades más importantes del país, Guadalajara y Monterrey, con respecto a los costos de la Ciudad de México. De la primera, se estima una diferencia menor, cercana a 1.3%. Por el contrario, para la segunda, los datos apuntan que es 7.2% mayor (González, 2024).

En el mismo orden de ideas, las diferencias máximas registradas son: 14.5% la mayor, y 8.7% la menor. La ubicación geográfica de las ciudades en las que se reportan las diferencias, La Paz, Baja California Sur y Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, respectivamente, permiten observar la clara diferencia que existe en los costos de construcción, entre el norte, el centro y el sur del país. En la Figura 21, se muestra una gráfica comparativa de los costos de las principales ciudades, en ella, puede verificarse lo mencionado en el desglose.

Figura 21

Comparativa de los costos de construcción en México

Elaboración propia



Toxicidad de los materiales en la actualidad

Los componentes de los materiales de construcción pueden tener efectos adversos para la salud. Desde irritaciones e intoxicaciones, hasta provocar enfermedades crónicas que pueden llevar a la muerte (Mehdi et. al., 2014). Vale la pena, pues, mencionar aquellos que se tienen identificados por sus componentes tóxicos (Tabla 10).

- Suelos graníticos. Son empleados por su dureza como pavimentos en zonas de alto tránsito y como revestimientos en cocinas y baños. De éstos, se sabe que contienen radón, cuyo uso está asociado a enfermedades como leucemias y linfomas (Mehdi et. al., 2014). .
- Fibrocemento. Empleado principalmente como cubiertas y en la fabricación de depósitos de agua, es un material que contiene amianto. En algunos países está prohibido su uso, debido a que produce cáncer de pulmón y pleura (Mehdi et. al., 2014). Sin embargo, en México, sólo se trata de un material regulado en la NOM-125-SSA1-2016, de acuerdo con lo publicado en el Diario Oficial de la Federación (2016).
- Pinturas, pegamentos, disolventes y barnices empleados comúnmente en la construcción, contienen benceno. De este componente, se sabe que su uso puede provocar leucemia mieloide, cáncer nasosinusal y cáncer nasofaríngeo (Mehdi et. al., 2014).
- Contrachapados. Usados en la construcción como acabados de paneles para revestimiento de pisos, muros y techos. De ellos, se sabe que contienen formaldehído, un componente tóxico que provoca leucemias y linfomas (Mehdi et. al., 2014).
- Suelos de PVC. Estos materiales contienen ftalatos asociado a enfermedades como asma infantil (Mehdi et. al., 2014).
- Revestimientos de tanques. Al respecto, se conoce que contienen plomo. También, es del dominio que este metal puede producir afectaciones al sistema nervioso y reproductivo (Souza, 2022).
- Tratamientos para madera. Debido a que contienen arseniato de cobre cromado, son considerados tóxicos para la salud. Su uso puede provocar afectaciones a tejidos internos así como a órganos reproductivos (Souza, 2022).

Derivado de lo expuesto, es importante considerar qué tan seguro el uso de los materiales para los seres humanos. Lo anterior, con el propósito de evitar, en la medida de lo posible riesgos para la salud.

Tabla 10

Componentes tóxicos de los materiales de construcción

Elaboración propia

Materiales de construcción	Componente tóxico	Enfermedades relacionadas
Suelos graníticos	Radón	Leucemias y linfomas
Fibrocemento	Amianto	Cáncer de pulmón y pleura
Pinturas, pegamentos, disolventes y barnices	Benceno	Leucemia mieloide, cáncer nasosinusal y cáncer nasofaríngeo
Contrachapados	Formaldehído	Leucemias y linfomas
Suelos de PVC	Ftalatos	Asma infantil
Revestimientos de tanques	Plomo	Afectaciones al sistema nervioso y reproductivo
Tratamientos para madera	Arseniato de cobre cromado	Afectaciones a tejidos y órganos reproductivos

MARCO EPISTEMOLÓGICO

Para abordar el problema de desarrollar una metodología para la evaluación integral de materiales de construcción, es necesario hacerlo desde una perspectiva epistemológica que permita entenderlo. Ahora bien, con lo desglosado hasta el momento, es posible afirmar que la problemática ambiental de la industria de la construcción es el resultado de la combinación e interacción entre factores de distinta índole.

De lo anterior, lo medular es que por la forma interdependiente en la que se estructuran los factores, no es posible gestionarlos con independencia. Así, la Teoría de Sistemas Complejos, que considera estructuras de elementos que interactúan entre sí, resulta pertinente (García, 2000). Por ello, es importante antes de continuar, hacer precisiones que permiten esclarecer la perspectiva de su autor.

Teoría de Sistemas Complejos

Sistemas

Con respecto a los sistemas, García (2000), propone "(emplear) el término "sistema" en un sentido preciso, caracterizándolo como una representación de un recorte de la realidad(…), que sea analizable (…), como una totalidad organizada, en el sentido de tener un funcionamiento característico". También, "(llamar) "funcionamiento de un sistema", al conjunto de actividades que puede realizar (o permite) realizar el sistema, como resultante de la coordinación de las funciones que desempeñan sus partes constitutivas (p. 68).

Tipos de sistemas

Distingue dos tipos de sistemas: los descomponibles y los no descomponibles o semi descomponibles. Acerca del primero, comenta que son sistemas de elementos organizados que pueden ser aislables y actuar de manera independiente, de ahí que les califique de complicados. Del segundo, argumenta que se trata de sistemas determinados por múltiples factores que interactúan de manera conjunta, lo que le hace llamarlos "complejos". (García, 2000, p.68).

Principios de organización

El autor afirma que los sistemas complejos obedecen a tres principios de organización: la estratificación, la interacción entre niveles y la articulación interna. El principio de estratificación refiere a una disposición de elementos en niveles de organización, de acuerdo con sus dinámicas propias pero interactuantes entre sí. Sostiene que mientras los niveles pueden ser estudiados de manera relativamente independiente, las interacciones entre los niveles condicionan o modulan la actividad de niveles subsecuentes (p.7 4), lo que infiere que no

pueden ser desprendidos. El autor aclara que en los niveles existen interacciones con dinámicas propias, aunque no autónomas (p. 76).

Por su parte, con respecto a la articulación interna, García (2000), dice que los elementos del sistema pueden agruparse en subsistemas de acuerdo con los niveles de interacción entre ellos. De tal manera que "estos subsistemas funcionan como subtotalidades que se articulan por relaciones, cuyo conjunto constituye la estructura del nivel" (p. 76).

Evolución de los sistemas

Por último, el autor puntualiza que los sistemas complejos también consideran un principio general de evolución, que comprende las transformaciones propias que sufre el sistema a través del tiempo. Concluye que los elementos que conforman un sistema no son estáticos sino dinámicos, debido a las fluctuaciones producidas bajo la influencia de elementos externos que definen las condiciones del entorno (p. 77).

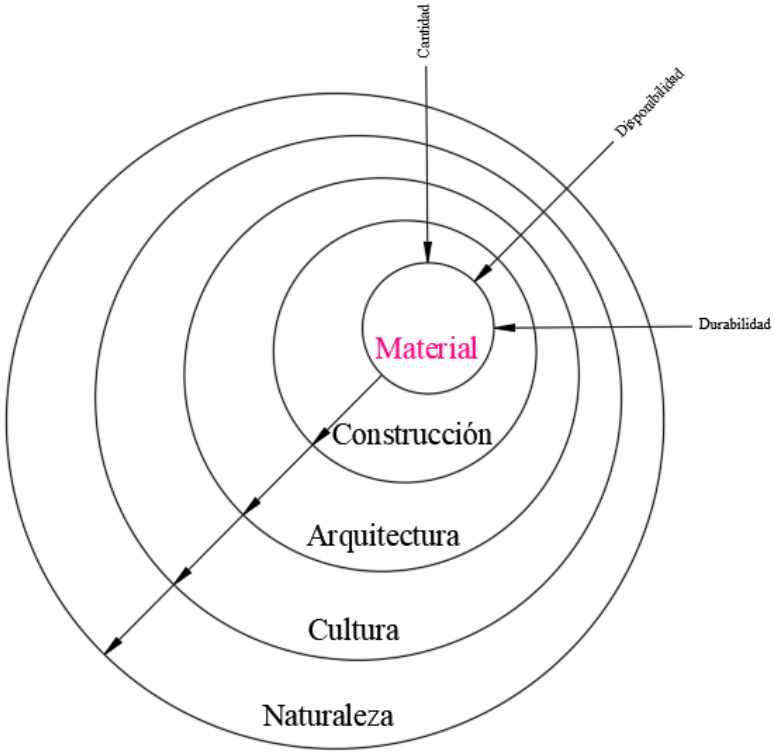
Planteamiento epistémico

Los materiales de construcción son un sistema, ya que sus componentes y propiedades, constituyen una totalidad organizada. Se trata de un sistema complejo, en virtud de que elementos, tales como los componentes, determinan simultáneamente sus propiedades técnicas, económicas, ambientales y de seguridad.

Los materiales como un sistema que puede abordarse con cierta independencia, está inserto en el Sistema Construcción. De la misma forma, la construcción como sistema, en el Sistema Arquitectura. La arquitectura, en el Sistema Cultura y, la cultura, en el Sistema Naturaleza.

Al formar parte de los otros, aunque los elementos del Sistema Materiales interactúan entre sí, no lo hacen con independencia de la existente con los elementos del Sistema Construcción al que pertenece. Lo mismo sucede con las interacciones en los otros niveles.

Figura 22
Integración de los sistemas
Elaboración propia



Para ser más específicos, los componentes y las propiedades son elementos internamente articulados del Sistema Materiales; los materiales y elementos constructivos, del Sistema Construcción; la construcción y el diseño, del Sistema Arquitectura; la arquitectura y los productos científicos, artísticos y tecnológicos, del Sistema Cultura; y, por último, la cultura, el ser humano y el contexto, del Sistema Naturaleza (Figura 22).

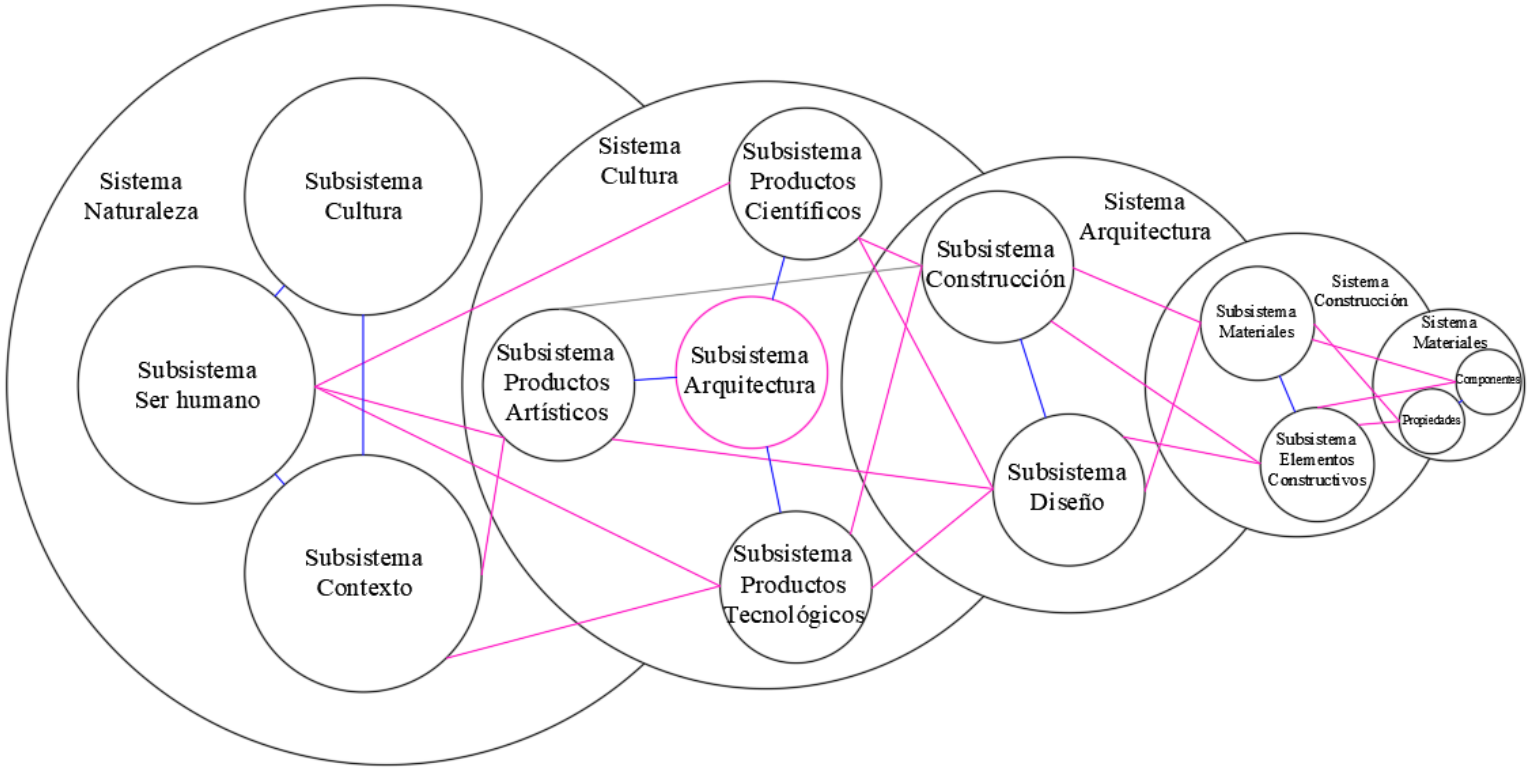
De esta forma, la interacción de los elementos del Sistema Materiales constituye sólo una parte del Sistema Construcción, por lo que se considera un subsistema de éste. Esto significa que el Sistema Construcción es, pues, resultado de la interacción entre el Subsistema Materiales y el Subsistema Elementos Constructivos; tal como lo es el Sistema Arquitectura de la interacción entre el Subsistema Diseño y el Subsistema Construcción. Y así, en lo consecutivo (Figura 23).

De la evolución de los sistemas complejos, el autor afirma que no son estáticos sino dinámicos, producto de cambios en el contexto, por lo que no debe descartarse la integración de nuevos elementos como parte del sistema descrito en cualquiera de sus niveles. Esto implica, que derivado de las articulaciones y de las interconexiones mencionadas, cualquier alteración provoque cambios en él.

Figura 23

Interacción entre los sistemas y los subsistemas

Elaboración propia



Reflexión epistémico-metodológica

Factores contextuales como la cantidad, la disponibilidad y la durabilidad de los materiales de construcción, inciden sobre sus propiedades económicas y ambientales y, en consecuencia, provocan impactos. Estos influyen en la selección de los materiales, hecho que repercute en el tipo de elementos del sistema constructivo disponibles como alternativas viables.

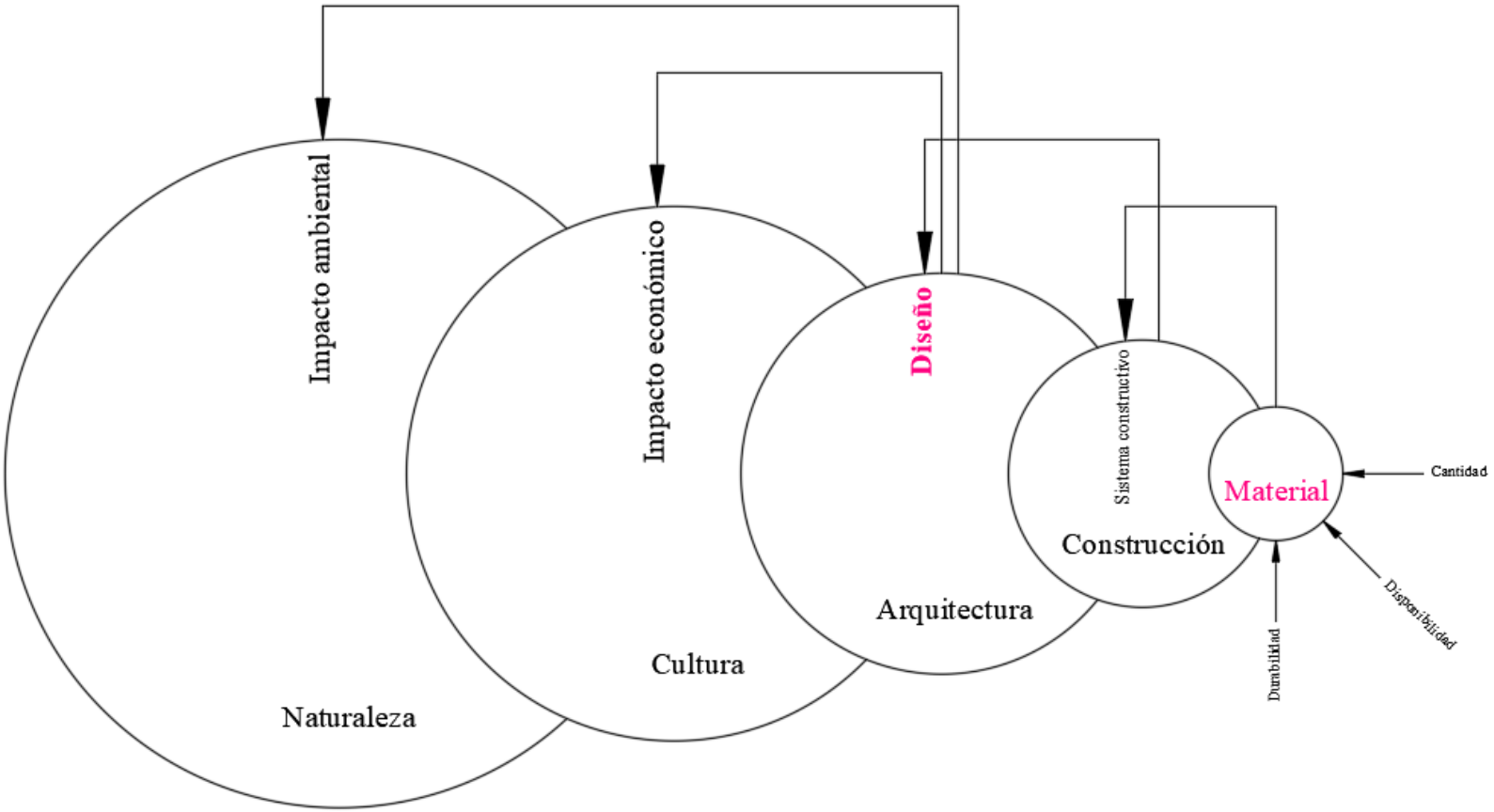
Ahora bien, existe una correlación entre el diseño y el sistema constructivo, de manera que las decisiones tomadas en cualquiera de ellos afecta en el otro. De esta forma, una vez que el diseño se materializa, el objeto construido transfiere los impactos provocados por las decisiones tomadas, en función tanto de los elementos que constituyen el sistema constructivo, como de los factores externos que intervienen en la selección de materiales.

Es así, como las decisiones de diseño se traducen en impactos económicos y ambientales, con el poder de alterar el sistema cultural y natural (Figura 24). De aquí, la importancia de medir y evaluar la incidencia de los factores, con el propósito de que, desde la etapa proyectual, se tomen decisiones informadas.

Figura 24

Incidencia de los factores contextuales sobre los sistemas

Elaboración propia



DISEÑO METODOLÓGICO

Una vez entendido el problema en el contexto actual, bajo el concepto de evaluación integral este trabajo busco obtener un valor correspondiente a la comparación de los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad acumulados durante las distintas etapas del periodo de vida útil, de algunos de los materiales que pueden ser empleados para la construcción de elementos. Se propuso para ello una metodología que permitiera la concentración de los impactos transversales de las etapas de producción, colocación, mantenimiento, demolición y deposición, así como los longitudinales, resultado de la suma de los anteriores, para su posterior comparación y ponderación (Figura 25).

El planteamiento del problema mencionado anticipó un proceso complejo, derivado no sólo de la consideración de varios factores sino, también, del manejo de una gran cantidad de datos para estimar los impactos. Por tal motivo, aunado al desarrollo de la metodología de evaluación integral, se advirtió la necesidad de que esta fuera programada para facilitar su ejecución. Es así como para el abordaje del problema se propuso el diseño metodológico que se describe a continuación:

- Paradigma positivista
- Enfoque cuantitativo
- Tipo correlacional
- Método inductivo
- Periodo transversal
- Tipo documental
- Perspectiva tecnológica

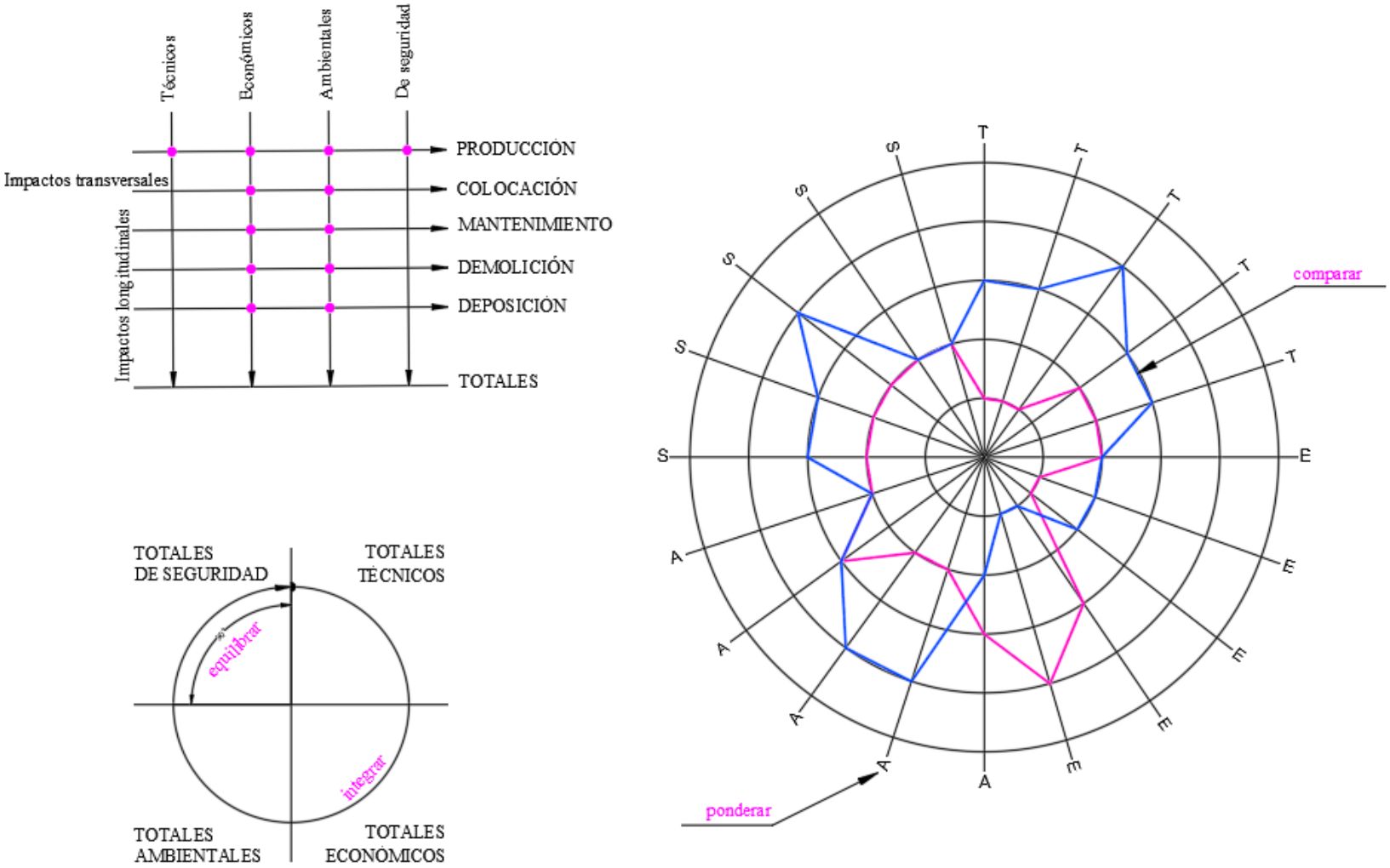
Paradigma positivista

El presente trabajo de investigación consideró como primer punto de su diseño metodológico un enfoque cuantitativo, inserto en el paradigma positivista. Lo anterior, en virtud de que éste se centra en procesos rigurosos de medición de variables para evitar, en la medida de lo posible sesgos provenientes del criterio de los investigadores. De tal manera, la elección obedeció, principalmente, a que los procedimientos de este paradigma son replicables y permiten generalizar los resultados. (Barrero, 2025).

Figura 25

Planteamiento gráfico del problema

Elaboración propia



Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo que se propuso derivó de la necesidad de comprobar la hipótesis planteada. Así pues, bajo éste, pudieron medirse tanto los datos cuantitativos como los cualitativos, que permitieron realizar las comparaciones y ponderaciones necesarias para la evaluación integral de los materiales de construcción.

Tipo correlacional

En apartados anteriores se mencionó que los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad de los materiales de construcción están en función de variables como la cantidad, la disponibilidad y la durabilidad. Así como de los medios de producción, transporte, colocación y demolición. así como de los medios de producción, transporte, colocación y demolición. Como también se vio, estas variables inciden simultáneamente en magnitudes diferentes sobre distintos aspectos. Por ello, se consideró un tipo de investigación correlacional multivariada que permitió establecer la relación o asociación entre variables de distinta índole(Barrero, 2025).

La investigación correlacional multivariada requirió clasificar los dos tipos de variables: las dependientes y las independientes. Por un lado, la evaluación integral de los materiales de construcción se identificó como la principal variable dependiente, aunque también los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad pertenecen a este tipo. Por el otro, factores como la cantidad, la disponibilidad y la durabilidad así como los medios de producción, transporte, colocación y demolición, se identificaron como las variables independientes.

Método inductivo y sistémico

Para continuar, como parte del diseño metodológico de la investigación se propuso el método inductivo que va de lo particular a lo general (Barrero, 2025). Por ello, se buscó qué tanto los métodos como los procedimientos empleados para la evaluación de los materiales de construcción del caso de estudio fueran verificables. Esto permite que una vez verificados puedan ser replicados en otros casos. Se contempló, también, un método sistémico que supone que la alteración de cualquiera de los datos variables considerados, en consecuencia, conducirá a resultados distintos para las evaluaciones.

Periodo transversal

Se propuso una investigación transversal. Aunque como parte del trabajo se consideran impactos futuros, no se consideraron ni proyecciones ni observaciones futuras para estimarlos. De tal forma que los resultados de la evaluación integral consideraron los indicadores obtenidos en el momento en el que se realizó la investigación.

Tipo documental

Se propuso una investigación de tipo documental que permitió precisar la metodología para evaluar el impacto integral de los materiales de construcción. Es importante mencionar que ésta se diseñó como una investigación de escritorio, ya que la evaluación se realizó con base en la información existente y se descartó, desde el inicio, la experimentación como parte de este trabajo.

Perspectiva tecnológica

Con el objetivo de la implementación de la metodología en una App, se tuvo como producto una herramienta digital que permite realizar cálculos rápidos para distintos supuestos. Si bien es cierto que, para efectos de este trabajo se consideró un caso de estudio edificado, lo destacable, es que pueden anticiparse los impactos de elementos no construidos.

Procedimiento

Por último, para llevar a cabo la evaluación integral de los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad acumulados durante las distintas etapas del periodo de vida útil, de los materiales seleccionados para la construcción de un elemento se diseñó una metodología basade en la ejecución de siguientes pasos:

1. Delimitación de los materiales
2. Delimitación de las propiedades
3. Selección de las fuentes documentales
4. Construcción de la base de datos
5. Identificación de los factores variables
6. Cálculo de impactos
7. Evaluación de impactos
8. Obtención de resultados
9. Diseño operativo de la App
10. Programación de la App

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

1. Delimitación de los materiales

El universo que conforman los materiales de investigación es muy extenso. En el mercado existe una amplia variedad para distintos usos: preliminares, estructurales, albañilerías, instalaciones, acabados, entre otros. Ante la imposibilidad de abarcarlos en su totalidad para la evaluación, para efectos del presente trabajo se seleccionó una muestra representativa.

Para obtenerla, se propuso cuantificar los materiales requeridos para la construcción de los distintos elementos de un caso de estudio replicable. Con esto se garantizó, por un lado, que los materiales evaluables fueran los de mayor representatividad para el caso seleccionado y, por el otro, que debido a su replicabilidad los resultados de la evaluación tuvieran un mayor alcance.

2. Delimitación de las propiedades

Como se mencionó en capítulos anteriores, los materiales de construcción poseen distintas propiedades que pueden ser evaluadas. Es importante, antes de continuar, precisar que las evaluaciones son el resultado de la comparación con respecto a algún parámetro así como de la ponderación de los resultados de las comparaciones. Por tal motivo, el criterio de valoración de los parámetros es fundamental.

Con respecto a lo anterior, las propiedades de los materiales de construcción tienen criterios de valoración que pueden ser tanto objetivas como subjetivas. Es decir, aunque para algunas existe un criterio generalizado que permite identificar la condición óptima, para otras, hay discrepancia. Ahora bien, en concordancia con el paradigma positivista y el enfoque cuantitativo del diseño metodológico, el presente trabajo se limitó a evaluar las propiedades que poseen criterios de valoración objetiva para sus parámetros.

3. Selección de las fuentes documentales

Antes de seleccionar las fuentes documentales, es importante advertir que la información correspondiente a las propiedades de los materiales de construcción es de dos tipos: estática y dinámica. La información acerca de los datos generales, las características técnicas, ambientales y de seguridad, corresponde al primer tipo, en virtud de que las variaciones serán nulas o mínimas a lo largo del tiempo. No

así, la información de las características económicas, que se distingue por sus constantes fluctuaciones.

Con respecto a la información estática, para obtener la información general y técnica de los materiales de construcción, se propuso como fuente principal la revisión de las fichas proporcionadas por los productores; para la de seguridad, las etiquetas que contienen tanto la información toxicológica como las medidas necesarias para su buen uso, manejo y almacenamiento; y, para la ambiental, las publicaciones de estudios correspondientes al impacto.

Por su parte, para la información dinámica, la económica, se propuso como fuente el Catálogo Integral de Precios Unitarios (CIPU) de la Ciudad de México, en el que se desglosan los principales conceptos empleados para la edificación. De esto, vale la pena argumentar que la selección obedeció a que el CIPU tiene una actualización periódica, por tratarse de una publicación trimestral. No se omite mencionar, que se previó la utilidad de los códigos de identificación de cada uno de los conceptos, para actualizar los datos económicos (Gobierno de la Ciudad de México, 2024).

Al mismo tiempo, se anticipó utilizar el método empleado en la valuación inmobiliaria para estimar valores referidos, como un método alternativo para mantener actualizada la información económica. En él, mediante la división del último índice nacional de precios y cotizaciones conocido, entre el de la fecha al que se refiere un valor, se obtiene el factor de ajuste aplicable (Gobierno del D.F., -actualmente CDMX-, 2013).

El procedimiento descrito permite estimar la equivalencia monetaria presente en recursos del pasado, con base en la depreciación provocada por la inflación. Ahora bien, con un procedimiento inverso, en caso necesario, será posible la conversión de valores pasados conocidos a los correspondientes con la fecha de actualización.

4. Construcción de la base de datos

Para la recolección de datos, fue necesario considerar la técnica de observación ilustrada, que requiere de conocimientos previos relacionados con el fenómeno de estudio (Barrero, 2025). En este sentido, para efectos del presente trabajo de investigación, los conocimientos previos acerca de sistemas constructivos, cálculo estructural, administración de obra y valuación inmobiliaria, condujeron la búsqueda de la información en las fuentes seleccionadas.

Inicialmente, se llenaron listas con las características generales (uso general, uso específico, nombre del material, tipo y subtipo, tipo de fabricación, forma de colocación, demolición, periodo de vida útil); técnicas (densidad, dimensiones, peso, número de piezas, resistencias mecánicas); económicas (costos); ambientales (indicadores de consumo de agua, de energía, de emisiones de gases y reciclabilidad); y, de seguridad de los materiales de construcción (descripción de los

etiquetados). La observación ilustrada permitió recolectar, además, los datos necesarios para obtener los indicadores que no se encuentran desglosados en las fuentes.

Posterior a la recolección, se concentró la información en tabuladores. Debido a que la evaluación integral considera impactos obtenidos durante el periodo de vida útil y a que, en el caso de algunos materiales, las unidades de cuantificación pueden diferir según la etapa, fue necesario elegir un tabulador que permitiera la realización de cálculos para garantizar las equivalencias.

5. Identificación de los factores variables

A continuación, se identificaron los aspectos variables que pueden ser afectados por los factores de cantidad, disposición, durabilidad y forma de colocación de los materiales de construcción. De tal forma que se puntualizaron fueron los siguientes: diferencia de costos de construcción en el país, materiales y tipos de refuerzo para elementos constructivos, cantidades de material de refuerzo, tipos de maquinaria y transporte empleados para el manejo y traslado, consumo de combustible de maquinaria y transporte, volúmenes de expansión de los materiales, así como, su periodo de vida útil. La información al respecto permitió realizar los cálculos de impactos según las combinaciones especificadas en el requerimiento.

6. Cálculo de impactos

Especificaciones del requerimiento

En este paso, se seleccionó el elemento constructivo más representativo del caso de estudio para su desglose. Mediante la cuantificación del elemento y de los materiales viables para su edificación, se tuvo la pauta para proponer distintos sitios de producción y deposición, así como la forma en la que serían colocados y demolidos. Con base en ello, se procedió a estimar los impactos por etapa.

Impactos por etapa

Para el cálculo de impactos, se propuso integrar matrices de cada una de las etapas del periodo de vida útil de los materiales: producción, colocación, mantenimiento, demolición y deposición. En las cuales, en función de los factores variables que se mencionaron en el punto anterior, se realizaron los cálculos para obtener los impactos transversales de los materiales seleccionados para la evaluación, es decir, los correspondientes a cada una de las etapas.

Impactos totales directos

El procedimiento anterior, permitió identificar dos tipos de impactos. Por un lado, los iniciales, que corresponden a la etapa de producción y, por el otro, los adicionales, que son los obtenidos en las etapas subsecuentes. De esta forma, en una matriz similar a las anteriores, al sumarlos se obtuvieron los

impactos longitudinales de los materiales seleccionados para la evaluación.

Es importante aclarar que los resultados, obtenidos en la matriz de impactos totales directos, corresponden al periodo de vida útil de cada uno de los materiales de construcción seleccionados para la evaluación. De tal manera que, al tratarse de distintos tipos, corresponden a lapsos diferentes.

Impactos totales directos ajustados

La base de datos se integró con los materiales evaluables que se desprendieron de la muestra. Entre estos, el concreto necesita de materiales de refuerzo, con cantidades variables según el elemento constructivo para el que se considere. Por ello, en un cálculo independiente, se estimaron los impactos económicos y ambientales, correspondientes a los kilogramos de acero del requerimiento de metros cúbicos de concreto, para las opciones evaluables en las que esto aplicó.

Cabe aclarar que para el ejercicio, se consideraron únicamente los impactos de producción, no solo debido a que son los más representativos, sino, también, porque para obtener los adicionales se requiere de datos precisos que complejizan el procedimiento. Con la suma de estos a los resultados obtenidos en la matriz anterior, se realizaron los primeros ajustes. Es así, como en el caso del concreto, los impactos consideraron concreto armado en lugar de simple.

Ahora bien, el propósito medular de la matriz de impactos totales directos ajustados fue realizar las adecuaciones de los costos de construcción a la región del caso de estudio. Esto permitió absorber las diferencias que existen con respecto a la Ciudad de México, de dónde se obtuvieron los referentes.

Impactos totales homologados

Una vez obtenidos los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad totales directos ajustados, se realizaron compensaciones para compararlos en las mismas condiciones, es decir, Se homologaron con respecto al mismo tiempo. Para ello, se dividió el periodo de vida útil máxima detectado entre el periodo de vida de cada uno de los materiales, cuyo resultado arrojó el índice de homologación.

Es importante precisar, que el índice de homologación solamente se aplicó sobre los impactos económicos y ambientales. Lo anterior, en virtud de que las propiedades técnicas y de seguridad de los materiales de construcción son constantes durante todo su período de vida útil, por tal motivo, no aplica la homologación para ellos.

7. Evaluación de impactos

Como se vio en el paso anterior, la suma de impactos de las distintas etapas de vida útil de los materiales de construcción arrojó resultados directos y homologados. Ahora bien, aunque la premisa de una evaluación correcta es que las

comparaciones se realicen en las mismas condiciones, lo que conduce, en consecuencia, a la comparación de resultados homologados, para efectos de poder visualizar las diferencias, se propuso comparar ambos. Dentro del procedimiento, se identificaron como comparación directa y homologada.

Comparación directa

En esta comparación, se relacionaron los resultados de los impactos directos totales ajustados. Para la relación, como punto de partida, se estableció el parámetro de comparación. Para ello, se identificó de entre los resultados, aquel que poseyera la condición óptima especificada de cada uno de los impactos considerados. En el caso de datos iguales, se propuso tomar el primero.

Ahora bien, sin importar cuál de los materiales tuvo la condición óptima por rubro, estos se relacionaron de forma directa o inversa según la condición siguiente. Cuando la condición óptima indica que un mayor dato es mejor, el dato identificado se dividió entre cada uno de los resultados de los materiales comparables. Por el contrario, cuando un dato menor es mejor, todos los resultados de los comparables se dividieron entre el identificado.

De esta forma, el referente por rubro entre sí mismo, dio como resultado 1.00, mientras que el resto fueron superiores. Este procedimiento, permitió medir la proporción que guarda cada uno de los indicadores obtenidos, con respecto al dato identificado como correspondiente a la condición óptima.

No se omite mencionar para futuros ejercicios de evaluación que, debido a que los resultados de los impactos están en función de una serie de factores, los resultados pueden ser diferentes, de esta forma, el dato correspondiente a la condición óptima es variable. Esto implica que, cualquier cambio, ya sea en la cantidad, la ubicación de cualquiera de los sitios de producción o de posición, o bien, de la forma de colocación o demolición de los materiales comparables, modificará el resultado de los impactos, un nuevo referente de condición óptima y, por tanto, resultados de comparación distintos.

Comparación homologada

Esta comparación, se realizó con el mismo procedimiento descrito para la comparación directa, con la diferencia de que, en esta ocasión, se relacionaron los resultados totales homologados. Por tal motivo, tanto referentes de condición óptima como las proporciones obtenidas fueron diferentes.

Modelo gráfico

Con el propósito de apreciar las diferencias entre ambas comparaciones, como parte de la metodología, para este punto se propuso usar un modelo para graficar los resultados. En él, se distribuyeron los aspectos evaluables por tipo en

cuatro cuadrantes, con lo que se garantizó la importancia equitativa de los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad de los comparables.

Ahora, para que los cuadrantes estuvieran equilibrados, en virtud de que no consideran el mismo número de aspectos, se propuso el uso de variables ficticias. De esta forma, el modelo permitió graficar el resultado de las comparaciones por rubro para cada uno de los materiales comparables, en el caso de las variables ficticias se propuso como constante graficar 1.00.

Los puntos graficados por rubro, para cada uno de los materiales comparables, permitió conformar figuras, cuya área representa el impacto integral de los materiales sujetos a evaluación. El contraste entre las figuras correspondientes a cada material comparable, obtenidas al graficar los resultados de la comparación directa y la comparación homologada, permitieron visualizar las diferencias antes mencionadas.

A continuación, como último paso del procedimiento de evaluación, se propuso ponderar los resultados de las comparaciones, directa y homologada, mediante dos métodos: uno basado en la entropía y el otro en el criterio. Lo anterior, porque el primero excluye al usuario, al basarse en la medición de la dispersión de los datos comparables, mientras que en el segundo, lo involucra totalmente.

Ponderación por método basado en la entropía

Este método consideró la ejecución de los siguientes pasos:

a) Se relacionaron los resultados con respecto al ideal. Para ello, se dividió 1.00 entre cada uno de los resultados obtenidos de las comparaciones, directa y homologada, de los materiales comparables para tener los resultados ponderables. Esto se hizo para todos los rubros o aspectos que consideró la evaluación.
b) Se obtuvo la representatividad de los ponderables, al dividir cada uno entre la suma de los ponderables por rubro.
c) Se midió la entropía, es decir, la dispersión entre los ponderables por rubro mediante la función logarítmica:

(-1/LOG (número de ponderables)) x
(SUMAPRODUCTO ((ponderables),
LOG(ponderables))).

d) Se restó el resultado de 1.00, con ello, se obtuvo la distancia que guarda con la unidad.
e) Se dividió la distancia de cada uno de los rubros entre la suma de las distancias de todos los rubros para repartir el peso con base en su representatividad.
f) Se multiplicaron los pesos obtenidos para cada rubro por cada uno de los ponderables.

g) Se sumaron los resultados ponderados de todos los rubros para cada uno de los materiales comparables.

Ponderación por método basado en el criterio

Con respecto a este método, los pasos que se llevaron a cabo fueron los siguientes:

a) Se relacionaron los resultados con respecto al ideal. Para ello, se dividió 1.00 entre cada uno de los resultados obtenidos de las comparaciones, directa y homologada, de los materiales comparables para tener los resultados ponderables. También, se hizo para todos los rubros o aspectos que consideró la evaluación.
b) Se obtuvo la representatividad de los ponderables, al dividir cada uno entre la suma de los ponderables por rubro.
c) Se propusieron los pesos de los rubros con base en un criterio, que en este caso, ponderó los aspectos ambientales.
d) Se multiplicaron los pesos por cada uno de los ponderables.
e) Se sumaron los resultados ponderados de todos los rubros, para cada uno de los materiales comparables.

8. Obtención de resultados

Del procedimiento anterior, se obtuvieron los resultados de la evaluación. Por un lado, los conseguidos mediante la ponderación por método basado en la entropía, tanto de los resultantes de la comparación directa como de la homologada. Por el otro, los derivados de la ponderación por método basado en el criterio, también para ambos tipos de comparación.

9. Diseño operativo de la App

Para el diseño operativo de la App, se dividió el procedimiento en dos etapas: la primera, para la obtención de comparables y, la segunda, para la evaluación. Lo anterior, en virtud de que no solo los comparables son dinámicos, al ser resultado de la interacción entre factores, sino que, los referentes de comparación, dependientes de los primeros, también los son.

Del análisis del procedimiento necesario para delimitar los comparables, así como del de los métodos para comparar y ponderar los resultados se definieron los requerimientos para el desarrollo de la App.

10. Programación de la App

Por último, se desarrolló la App, con base en los requerimientos definidos (Anexo 3).

CASO DE ESTUDIO

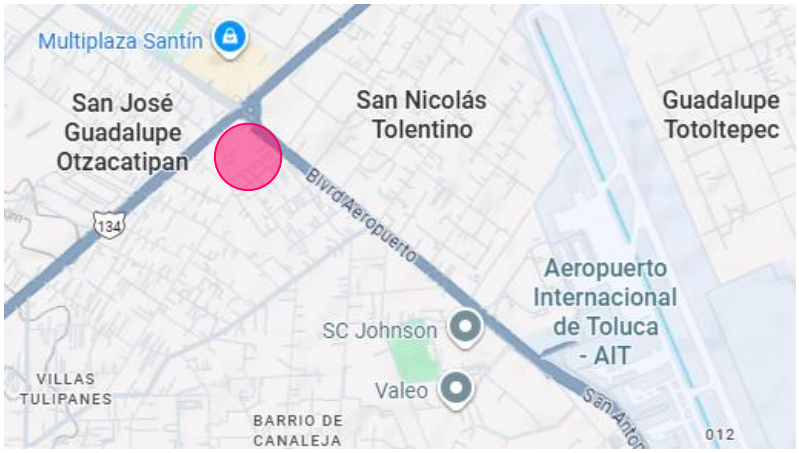
1. Delimitación de los materiales

Elección del caso de estudio

Para el desarrollo del trabajo de investigación, se propuso como caso de estudio, la estación de servicio de combustible ubicada sobre avenida Miguel Alemán (Boulevard Aeropuerto) número 22, colonia San Miguel Totoltepec, Toluca, Estado de México, C.P. 50225. Localizado en las plataformas digitales, mediante las coordenadas geográficas: 19.342202, -99.583659 (Figura 26).

Figura 26

Ubicación del caso de estudio



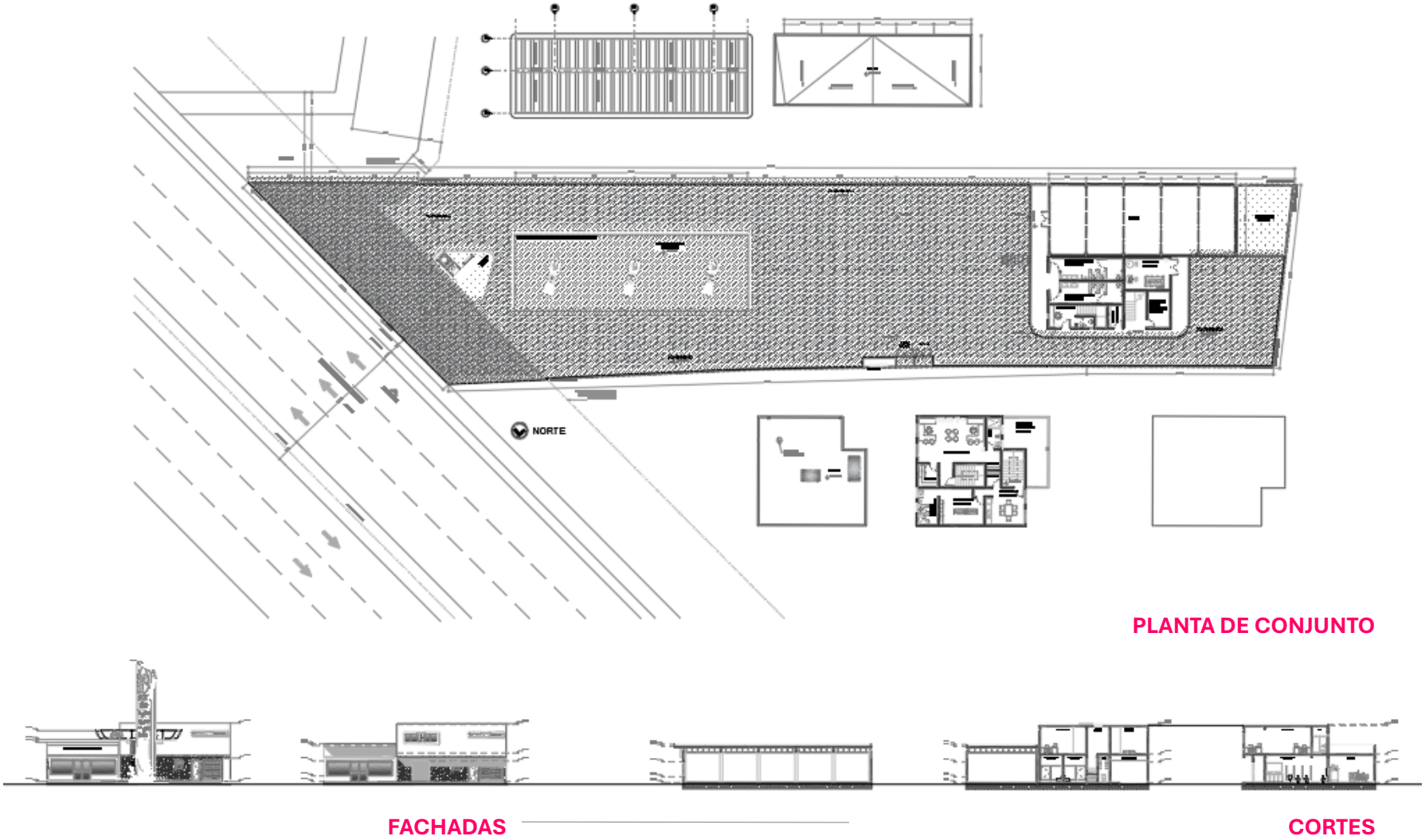
Contexto

La zona oriente de la ciudad de Toluca, concentra la mayor parte de la superficie industrial. Cuenta con una estructura vial conformada por tres vialidades principales: las avenidas Paseo Tollocan, Alfredo del Mazo y José López Portillo, para su conexión estatal y con la Ciudad de México. Por ello, el flujo vehicular que éstas condensan es considerable.

Uno de los cruces de mayor conflicto, se encuentra ubicado en la intersección de la avenida José López Portillo y Boulevard Aeropuerto, derivado de que conecta con destinos como Naucalpan, Ciudad de México, Querétaro y Morelia. Lo anterior, sin mencionar la cercanía con el Aeropuerto Internacional Licenciado Adolfo López Mateos. Por ello, el aforo vehicular sobrepasa la capacidad vial, hecho que provoca congestiones importantes a lo largo del día. Estas condiciones son propicias para negocios de abasto de combustibles.

Figura 27

Planta, cortes y fachadas del caso de estudio



Descripción

Se trata de un predio orientado al nororiente, de posición intermedia, de forma irregular y topografía plana, con superficie de 2025 m². Sobre él, se desplanta una estación de servicio de combustible con las siguiente distribución y superficies: una zona de despacho de 232 m², una tienda de conveniencia de un nivel de 157 m², además, un edificio de dos niveles para oficinas administrativas de 267 m² (Figura 27).

Justificación

En la actualidad, en México se consumen alrededor de 160,000,000 de litros de gasolina y diésel diariamente, razón por la que el sector se posiciona como uno de los motores de la economía nacional. Aunque en el país, se tienen contabilizadas alrededor de 13,884 estaciones de servicio de combustibles, se reconoce un déficit de aproximadamente 3,000 para satisfacer la demanda nacional (ONEXPO, 2025).

Según datos proporcionados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), durante el año 2022, se otorgaron 12,884 permisos para la operación de estaciones de servicio de combustibles, de las cuales sólo 6,986 pertenecen a PEMEX. El reporte de *PETRO Intelligence,* informa que 4,611 estaciones no adquirieron el producto en la petrolera nacional, de manera que se concluyó que el 35.8 % de la gasolina y el diésel vendidos fueron importados (ONEXPO, 2022).

El Estado de México es la entidad con el mayor número de estaciones de servicio, con un registro de 1,268, seguido por los estados de Jalisco y Veracruz, con 1,001 y 828, respectivamente (ONEXPO, 2024). Este dato es congruente, si se considera que cuenta con el parque vehicular más grande del país. Según cifras reportadas en el Periódico El Economista (2024), se tuvo un total de 9,421,189 vehículos para transporte de personas y mercancías en la entidad.

Resultados y aportaciones

La elección de una estación de servicio de combustibles como caso de estudio, se consideró pertinente por múltiples aspectos. Primero, la construcción de estaciones de servicio de combustibles observa un crecimiento relacionado directamente con el poblacional. Segundo, los sistemas constructivos empleados en este tipo de edificios consideran materiales de uso generalizado. Tercero, la escala del edificio es lo suficientemente representativa para observar los resultados. Cuarto, se trata de un proyecto replicable que pudiera servir para proyectar escenarios distintos. Quinto, y último, permite sensibilizar que los impactos calculados para la evaluación de materiales de construcción pudieran ser mayores en virtud de los desplazamientos previos de los combustibles.

Cuantificación del caso de estudio

Con base en los planos, se hizo un desglose de los elementos constructivos por área para estimar la cantidad de material necesario para su edificación. Es importante especificar que, para algunos elementos como las columnas y el pavimento, se consideró la cuantificación de dos materiales distintos. También vale la pena destacar, que las unidades de cuantificación de los elementos constructivos difieren de las unidades de cuantificación de los materiales (Tabla 11).

De lo anterior, se delimitaron los materiales: block, concreto armado, perfil estructural y asfalto, como los de uso tradicional para la construcción de los elementos de la estación de servicio. Tal como se precisó en la metodología, este proceso sirvió para delimitar la muestra, por ello, para efectos del trabajo de investigación, ésta se limitó a los cuatro referidos. En consecuencia, se eligieron los tipos y subtipos más comunes de estos materiales para su análisis.

Tabla 11

Cuantificación de elementos constructivos y materiales de construcción del caso de estudio

Elaboración propia

Área	Elemento constructivo	Cantidad	Unidad	Material	Cantidad	Unidad
Administración	Muro	378.99	m^2	Block	4737.38	piezas
	Losa entrepiso	155.43	m^2	Concreto armado	23.31	m^3
	Losa azotea	127.55	m^2	Concreto armado	12.76	m^3
Tienda	Columnas	12.00	pieza	Concreto armado	4.05	m^3
	Vigas	6.00	pieza	Perfil estructural	42.30	m
	Cubierta	162.06	m^2	Concreto armado	8.10	m^3
Bombas despacho	Columnas	3.00	pieza	Concreto armado	1.17	m^3
				Perfil estructural	13.05	m
Tránsito	Pavimento	1545.36	m^2	Concreto armado	463.60	m^3
				Asfalto	108.17	m^3

Ahora bien, aunque la información que se obtuvo permite evaluar cualquiera de los materiales mencionados, en el apartado correspondiente a la evaluación, únicamente se encontrará reportado el pavimento, ya que según la cuantificación del elemento y de los materiales posibles para su edificación, es el más representativo.

2. Delimitación de las propiedades

Con anterioridad, se mencionó que los materiales de construcción poseen propiedades de distinta índole que pueden ser evaluados. Pues bien, para continuar, Se delimitaron las propiedades técnicas, económicas, ambientales y de seguridad de los materiales de construcción. Este paso fue fundamental, ya que constituyó la dirección para la selección de las fuentes y de la búsqueda de la información.

El criterio de delimitación de las propiedades se centró en la valoración objetiva de los parámetros. De tal manera, que se consideraron únicamente aquellas en donde existe un consenso acerca de la condición óptima, por lo que quedaron descartadas aquellas de valoración subjetiva. Así, la limitación se redujo a cinco propiedades técnicas, cinco económicas, cuatro ambientales y cuatro de seguridad de los materiales de construcción.

Las propiedades técnicas consideradas fueron: el número de piezas, las resistencias a la compresión, a la tensión, a la tracción y al fuego. De éstas, en su mayoría, el dato mayor constituye la condición óptima, ya que las resistencias mecánicas y al fuego garantizan la seguridad estructural y de uso de los edificios. Únicamente, la correspondiente al número de piezas presenta como condición óptima el dato menor, en virtud de la rapidez de colocación y la disminución de juntas (Tabla 12).

Tabla 12

Delimitación de las propiedades técnicas evaluables

Elaboración propia

(-) Piezas (número)	(+) Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	(+) Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	(+) Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	(+) Resistencia al fuego (°C)

Por su parte, las propiedades económicas fueron: los costos de suministro, de mano de obra, de mantenimiento, de demolición y de deposición. Distinto a las propiedades técnicas, en lo que respecta a lo económico, en todos los casos el dato menor constituye la condición óptima para el parámetro (Tabla 13).

Tabla 13
Delimitación de las propiedades económicas evaluables
Elaboración propia

(-) Suministro ($)	(-) Mano de obra ($)	(-) Mantenimiento ($)	(-) Demolición ($)	(-) Deposición ($)

Las propiedades ambientales delimitadas fueron: el consumo de agua, las emisiones de CO_2, el consumo energético y la cantidad de residuos que se desprenden de la producción, colocación, mantenimiento, demolición y de posición de los materiales de construcción. De la misma forma que en las propiedades económicas, en lo que respecta a las ambientales, el dato menor representa, sin objeción, la condición óptima (Tabla 14).

Tabla 14
Delimitación de las propiedades ambientales evaluables
Elaboración propia

(-) Consumo de agua (l)	(-) Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	(-) Consumo energético (KWh)	(-) Residuos (kg)

Finalmente, las propiedades de seguridad seleccionadas fueron: la irritabilidad, toxicidad, salubridad y nocividad que provoca el uso de los materiales de construcción. En este caso particular, se consideró asignar una escala de valoración cuantitativa para mencionadas cualidades, de manera que también el dato menor constituye la condición óptima (Tabla 15).

Tabla15

Delimitación de las propiedades de seguridad evaluables

Elaboración propia

	(-) Irritabilidad (escala)	(-) Toxicidad (escala)	(-) Salubridad (escala)	(-) Nocividad (escala)

3. Selección de las fuentes documentales

La información general de los materiales de construcción se obtuvo tanto de fichas técnicas como de publicaciones especializadas. Particularmente, en lo que respecta a la vida útil, aunque existe literatura en la que se describen los años de vida, la información se cotejó con respecto a los años de vida útil de los elementos constructivos de las edificaciones, asentado en el Manual de Procedimientos y Lineamientos Técnicos de Valuación Inmobiliaria de la Ciudad de México (2013).

La información técnica se obtuvo, mayoritariamente, de las fichas técnicas de los materiales. Para el caso del concreto y del block, derivado del mismo material, se consultaron las páginas de las principales concreteras del país. Para el acero, también se recurrió a los manuales publicados por las acereras de mayor reconocimiento. De estas fuentes, además se recabó la información correspondiente a aspectos toxicológicos y de riesgo de uso.

Como se anticipó, la información económica se obtuvo por fines prácticos del Catálogo Integral de Precios Unitarios de la CDMX (2025). Mientras que para la información ambiental se consultaron los artículos y blogs que se

mencionan en el apartado de fuentes de consulta del presente trabajo de investigación.

4. Construcción de la base de datos

Clasificación

En un tabulador, se construyó una base de datos en la que se concentró la información obtenida de las fuentes mencionadas. Para el orden de los materiales, se propuso una clasificación de cinco niveles basada en la identificación del uso general, el uso específico, el material, el tipo y el subtipo. El primer nivel de la clasificación lo definieron las partidas de construcción (cimentación, superestructura, envolventes y divisorios, pavimentos), el segundo los elementos constructivos (zapatas, losas, columnas y trabes, muros), el tercero el material (block, concreto, perfiles metálicos, asfalto), mientras que el cuarto y el quinto consideraron sus especificidades.

Integración

Para cada uno de los materiales resultantes de la clasificación con base en la muestra, se designaron apartados para la integración de datos generales, así como para los datos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad correspondientes a sus propiedades. Entre las generalidades, se destacan de entre las que se recabaron, la densidad y el peso, los años de vida útil y especificación correspondiente a las formas de producción, colocación y demolición (manual o mecánica) (Figura 28).

Los datos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad, se asentaron con base en las propiedades delimitadas en el segundo paso del procedimiento, según las unidades de medición de cada una. Resulta importante precisar, que la información extraída de las fuentes no siempre pudo tomarse de forma directa. En casos particulares, como los que a continuación se mencionarán, fue necesario realizar cálculos para poder concentrar la información según los criterios y las unidades designadas.

Figura 28

Base de datos de los materiales de construcción evaluables

Elaboración propia

Base de datos de los materiales de construcción												
ID	Clave CIPU	Concepto	Uso general	Uso específico				Material	Tipo	Subtipo	Elaboración	
1	FC15BB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=200 kg/cm2	0	En obra
2	FC15CB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=250 kg/cm2	0	En obra
3	FE12BB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=200 kg/cm2	Proveedor	0
4	FE12CB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=250 kg/cm2	Proveedor	0
5	FE12DB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=300 kg/cm2	Proveedor	0
6	FE12EB	Suministro y colocación	Cimentación y subestructura	Zapata	Trabe	Dado	Losa	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=350 kg/cm2	Proveedor	0
7	FC16BB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=200 kg/cm2	0	En obra
8	FC16CB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=250 kg/cm2	0	En obra
9	FD12BB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=200 kg/cm2	Proveedor	0
10	FD12CB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=250 kg/cm2	Proveedor	0
11	FE13BB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=200 kg/cm2	Proveedor	0
12	FE13CB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=250 kg/cm2	Proveedor	0
13	FE13DB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=300 kg/cm2	Proveedor	0
14	FE13EB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado normal	F'c=350 kg/cm2	Proveedor	0
15	FF12BB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=200 kg/cm2	Proveedor	0
16	FF12CB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=250 kg/cm2	Proveedor	0
17	FF12DB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=300 kg/cm2	Proveedor	0
18	FF12EB	Suministro y colocación	Superestructura	Columna	Trabe	Losa	0	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	F'c=350 kg/cm2	Proveedor	0
19	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	3/4 x 3/4	0.0019	Proveedor	0
20	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 x 1	0.0019	Proveedor	0
21	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 x 1	0.0023	Proveedor	0
22	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 x 1	0.0027	Proveedor	0
23	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 x 1	0.003	Proveedor	0
24	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 x 1	0.0034	Proveedor	0
25	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/4 x 1 1/4	0.0019	Proveedor	0
26	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/4 x 1 1/4	0.0027	Proveedor	0
27	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/4 x 1 1/4	0.003	Proveedor	0
28	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/4 x 1 1/4	0.0034	Proveedor	0
29	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/2 x 1 1/2	0.0019	Proveedor	0
30	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/2 x 1 1/2	0.0027	Proveedor	0
31	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/2 x 1 1/2	0.003	Proveedor	0
32	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	1 1/2 x 1 1/2	0.0034	Proveedor	0
33	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	*1 3/4 x 1 3/4	0.0019	Proveedor	0
34	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.0019	Proveedor	0
35	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.0027	Proveedor	0
36	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.003	Proveedor	0
37	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.0034	Proveedor	0
38	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.0048	Proveedor	0
39	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 x 2	0.0064	Proveedor	0
40	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	*2 1/4 x 2 1/4	0.0019	Proveedor	0
41	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0015	Proveedor	0
42	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0019	Proveedor	0
43	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0023	Proveedor	0
44	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0027	Proveedor	0
45	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.003	Proveedor	0
46	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0034	Proveedor	0
47	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0038	Proveedor	0
48	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0048	Proveedor	0
49	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	2 1/2 X 2 1/2	0.0064	Proveedor	0
50	EB12CB	Suministro , fabricación, transporte y montaje	Superestructura	Columna	Viga	0	0	Perfil PTR	3 x 3	0.0019	Proveedor	0

Cálculos

Para la concentración de la información económica en la base, los datos del Catálogo Integral de Precios Unitarios de la CDMX (2025), no se tomaron de forma directa. Lo primero que debe considerarse, es que los conceptos del CIPU están integrados por costos directos e indirectos. Es decir, no sólo consideran los costos de la construcción sino también aquellos administrativos y de permisos necesarios para la ejecución de las obras.

Lo anterior, obligó a hacer desgloses basados en los porcentajes reportados en las publicaciones de costos por metro cuadrado de construcción, empleados comúnmente en la valuación inmobiliaria como paramétricos. Dichas publicaciones estiman que el 28% de los conceptos corresponde a costos indirectos (González, 2025). Por tal motivo, se consideró únicamente el 72% de lo que aparece en los conceptos del CIPU para el vaciado de la información.

Ahora bien, en cada uno de los conceptos del catálogo se especifica lo que este incluye. De manera, que tuvo que hacerse un análisis para hacer los desgloses según sus consideraciones. Para el propósito, se estimó el porcentaje de representatividad de material y mano de obra de los conceptos. Para hacerlo, se recurrió al análisis de los desgloses reportados en las publicaciones mencionadas (González, 2024) (Tabla 16).

Tabla 16

Representatividad del material y la mano de obra en los costos directos de construcción

Elaboración propia

Uso general	Uso específico	Material	% Material	% Mano de obra y equipo
Cimentación	Losas	Concreto armado	63.26	36.74
Cimentación	Zapatas	Concreto armado	76.38	23.62
Superestructura	Columnas y trabes	Concreto armado	73.73	26.27
Superestructura	Columnas y trabes	Perfil acero	60.55	39.45
Superestructura	Columnas y trabes	Placa de acero	61.10	38.90
Superestructura	Losas macizas	Concreto armado	64.33	35.67
Superestructura	Losas aligeradas	Concreto armado	73.73	26.27
Superestructura	Losas reticulares	Concreto armado	69.00	31.00
Envolventes y divisorios	Muros	Mampostería	50.81	49.19
Envolventes y divisorios	Muros	Block	57.40	42.60
Envolventes y divisorios	Muros	Tabique	62.26	37.74
Envolventes y divisorios	Castillos y dalas	Concreto armado	64.33	35.67
Pavimentos	Pavimentos	Concreto armado	91.56	8.44
Pavimentos	Pavimentos	Asfalto	59.98	40.02
Pisos	Pisos	Adocreto	72.71	27.29
Pisos	Pisos	Adoquín	57.53	42.47
Pisos	Pisos	Concreto armado	64.38	35.62

En el caso de conceptos relacionados con las etapas finales del periodo de vida útil de los materiales, particularmente, con la demolición y la deposición, tuvo que promediarse la información de varios conceptos. Para la demolición, se incluyeron los costos de acarreo, de los que es importante precisar que son distintos en función de la distancia del punto de demolición. Mientras que para la deposición, los promedios obedecen a la variación de los costos, según la clasificación de la zona sobre la cual circulan los vehículos, empleados para el transporte.

Un ejemplo claro, de los cálculos realizados para integrar la base, tiene que ver con el acero de refuerzo. En el CIPU, mediante las claves DB12, se desglosan los precios unitarios para todos los diámetros, de los conceptos integrados por suministro, habilitado y colocación; asimismo, en las claves DB13, las de conceptos integrados únicamente por habilitado y colocación.

Lo anterior, permitió restar al costo de los conceptos DB12, del diámetro mayor y del menor, los correspondientes DB13, con lo que se obtuvo el costo de suministro. Por último, se promediaron las diferencias y se hicieron las conversiones para tener el costo por kilogramo, en virtud de su utilidad (Tabla 17).

Tabla 17

Cálculos de acero de refuerzo para base de datos

Elaboración propia

Clave	Concepto	Unidad	PU
DB12CA	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 30, de 6.4 mm (1/4")	ton	$48,770.27
DB12CK	Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42, de 38 mm (1 1/2")	ton	$34,036.73
DB13CA	Habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 30, de 6.4 mm (1/4")	ton	$15,472.30
DB13CK	Habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42, de 38 mm (1 1/2")	ton	$8,605.41
	Cálculos		
DB12CA	Suministro habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 30, de 6.4 mm (1/4")	ton	$48,770.27
DB13CA	Habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 30, de 6.4 mm (1/4")	ton	$15,472.30
	Diferencia	ton	$33,297.97
DB12CK	Suministro habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42, de 38 mm (1 1/2")	ton	$34,036.73
DB13CK	Habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42, de 38 mm (1 1/2")	ton	$8,605.41
	Diferencia	ton	$25,431.32
	Promedio de las diferencias	ton	$29,364.65
	Promedio de las diferencias	kg	$29.36

En lo que respecta a la información ambiental, no se omite mencionar que los datos obtenidos corresponden a un kilogramo de material (Tabla 18). Por tal motivo, para su concentración, fue necesario realizar los cálculos que arrojaron el dato correspondiente al peso de los materiales, medidos conforme a las unidades comúnmente empleadas para su cuantificación.

Finalmente, cabe la aclaración acerca de la información toxicológica que, aunque las etiquetas refieren ya sea por los componentes o por descuidos en el manejo algún tipo de riesgo, los materiales que forman parte de la muestra fueron considerados seguros por sus efectos mínimos. De esta forma, se designó el número uno como la escala correspondiente a las condiciones seguras y el número dos para aquellas que no lo son.

Tabla 18

Indicadores ambientales de los materiales de construcción

Elaboración propia

	Recursos	Energía	Emisiones	Residuos
Material	l agua/kg material	kWh/kg material	kg de CO_2/kg material	%/kg material
Acero	20.00	9.72	1.46	5.00
Vidrio	1.00	96.94	0.12	0.00
Concreto	0.28	0.14	0.06	80.00
Ladrillo	0.03	0.64	0.19	100.00
Aluminio	125.00	1504.50	14.8	20.00
Plástico	182.00	2.50	3.50	100.00
Asfalto	0.30	0.23	4.50	80.00

5. Identificación de los factores variables

Factores de Ajuste Regional (FAR)

Como se anticipó en apartados previos, los costos de la construcción son diferentes a lo largo del país. De tal forma, edificios con las mismas dimensiones y características tendrán impactos económicos en función de su ubicación. Por tal motivo, se recopiló la información correspondiente a los factores de ajuste regional, que permiten hacer las compensaciones necesarias para aproximarse a los costos en las principales ciudades del territorio (Tabla 19).

Tabla 19

Factores de ajuste regional (FAR) con respecto a la CDMX

Elaboración propia

Estado	Ciudad	Factor
Aguascalientes	Aguascalientes	0.978
Baja California	Mexicali	1.124
Baja California	Tijuana	1.113
Baja California Sur	La Paz	1.145
Campeche	Campeche	1.035
Coahuila	Saltillo	1.022
Coahuila	Torreón	1.036
Colima	Colima	1.011
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	0.913
Chiapas	Tapachula	0.921
Chihuahua	Chihuahua	1.076
Chihuahua	Ciudad Juárez	1.082
Durango	Durango	0.976
Guanajuato	Guanajuato	0.968
Guerrero	Chilpancingo	0.986
Guerrero	Acapulco	1.045
Hidalgo	Pachuca	0.967
Jalisco	Guadalajara	0.987
Jalisco	Puerto Vallarta	1.052
México	Toluca	0.987
Michoacán	Morelia	0.918
Morelos	Cuernavaca	1.011
Nayarit	Tepic	0.965
Nuevo León	Monterrey	1.072
Oaxaca	Oaxaca	0.918
Puebla	Puebla	0.994
Querétaro	Querétaro	0.986
Quintana Roo	Chetumal	1.123
Quintana Roo	Cancún	1.109
San Luis Potosí	San Luis Potosí	0.954
Sinaloa	Culiacán	1.078
Sinaloa	Mazatlán	1.082
Sonora	Hermosillo	1.023
Sonora	Nogales	1.132
Tabasco	Villa Hermosa	1.013
Tamaulipas	Ciudad Victoria	0.982
Tamaulipas	Nuevo Laredo	1.072
Tamaulipas	Reynosa	1.081
Tamaulipas	Tampico	1.043
Tlaxcala	Tlaxcala	0.941
Veracruz	Jalapa	0.994
Veracruz	Orizaba	0.967
Veracruz	Veracruz	1.023
Veracruz	Coatzacoalcos	1.006
Yucatán	Mérida	0.987
Zacatecas	Zacatecas	0.967

Acero de refuerzo

Otro de los factores variables es el requerimiento de acero de refuerzo. Por ello, se hizo un análisis para identificar cuáles materiales deben ser reforzados y se especificó el tipo de acero comúnmente usado, según el elemento constructivo en el que se emplea el material (Tabla 20).

Tabla 20

Desglose de armado de los elementos constructivos

Elaboración propia

Uso general	Uso específico	Material	Armado	Material armado
Cimentación	Losas	Concreto armado	Si	Varilla
Cimentación	Zapatas	Concreto armado	Si	Varilla
Superestructura	Columnas y trabes	Concreto armado	Si	Varilla
Superestructura	Columnas y trabes	Perfil acero	No	No
Superestructura	Columnas y trabes	Placa de acero	No	No
Superestructura	Losas macizas	Concreto armado	Si	Varilla
Superestructura	Losas aligeradas	Concreto armado	Si	Malla electrosoldada
Superestructura	Losas reticulares	Concreto armado	Si	Malla electrosoldada
Envolventes y divisorios	Muros	Mampostería	No	No
Envolventes y divisorios	Muros	Block	No	No
Envolventes y divisorios	Muros	Tabique	No	No
Envolventes y divisorios	Castillos y dalas	Concreto armado	Si	Varilla
Pavimentos	Pavimentos	Concreto armado	Si	Malla electrosoldada
Pavimentos	Pavimentos	Asfalto	No	No
Pisos	Pisos	Concreto armado	Si	Malla electrosoldada

Cantidad de acero de refuerzo

También, relacionado con lo anterior, el concreto requiere de distintas cantidades de kilogramos de acero, según el elemento constructivo en el que se emplea. De esta forma, con base en el análisis de las publicaciones de costos por metro cúbico de construcción (González, 2024), se identificaron indicadores acerca de las cantidades requeridas por metro cúbico según elemento. No se omite mencionar, que para el caso de los pavimentos, en donde no se identificó el indicador, se realizaron cálculos basados en el espesor del elemento y el tipo de acero empleado para determinarlo (Tabla 21).

Tabla 21

Cantidad de acero de refuerzo requerido por elemento constructivo

Elaboración propia

Uso general	Uso específico	kg/m^3
Cimentación	Losas	60.00
Cimentación	Zapatas	120.00
Superestructura	Columnas y trabes	180.00
Superestructura	Losas macizas	60.00
Pavimentos	Pavimentos	15.00

Tipo de maquinaria

Los materiales de construcción pueden emplear o no, maquinaria para su manejo, en las distintas etapas de su período de vida útil. Como se sabe que, cada tipo de máquina tiene rendimientos y consumos de combustible distintos, se identificaron las más representativas, particularmente para las etapas de colocación y deposición. También, se hicieron los análisis de consumo correspondientes (Tablas 22 y 23).

Tabla 22

Tipo de maquinaria empleada para manejo de los materiales de construcción

Elaboración propia

Material	Colocación	Deposición
Asfalto	Motoniveladora	Retroexcavadora
Block	-	Retroexcavadora
Concreto	Bomba / -	Retroexcavadora
Mampostería	-	Retroexcavadora
Perfil acero	Grúa	Retroexcavadora
Placa de acero	Grúa	Retroexcavadora
Tabique	-	Retroexcavadora

Tabla 23

Consumo de combustible por tipo de maquinaria

Elaboración propia

	Cantidad	Unidad
Bulldozers	0.328	l/m3
Excavadoras	0.151	l/m3
Grúa	0.042	l/m2
Motoniveladoras	0.151	l/m2
Bomba	0.250	l/m3

Tipo de transporte

Similar al caso de la maquinaria, se sabe que los materiales de construcción son desplazados mediante distintos tipos de transporte, en dos momentos de su vida útil. Por ello, se identificaron los comúnmente empleados para el suministro y deposición. Lo anterior, en virtud de que éstos reportan índices de rendimiento y consumo diferentes, los cuales, fueron analizados (Tablas 24 y 25).

Tabla 24

Tipo de transporte empleados para los materiales de construcción

Elaboración propia

Material	Suministro	Deposición
Asfalto	Camión volteo	Camión volteo
Block	Plataforma	Camión volteo
Concreto	Olla	Camión volteo
Mampostería	Camión volteo	Camión volteo
Perfil acero	Plataforma	Camión volteo
Placa de acero	Plataforma	Camión volteo
Tabique	Plataforma	Camión volteo

Tabla 25

Consumo combustible por tipo de transporte

Elaboración propia

	Capacidad volumétrica	Capacidad de carga	Consumo (l/km)
Plataforma	0.00	28000.00	0.40
Camión volteo	14.00	25000.00	0.40
Camión volteo	7.00	10000.00	0.25
Olla	8.00	19200.00	0.67

Volumen de expansión

Otro aspecto, relacionado también con el transporte de materiales, fue su volumen de expansión al ser demolidos. La fragmentación de piezas ocupa un mayor espacio, por ello, se identificaron los índices de expansión de los principales. Lo anterior, porque este dato incide directamente, en el número de viajes necesarios para transportar los materiales demolidos a sus lugares de deposición (Tabla 26).

Tabla 26

Volumen de expansión de los materiales de construcción

Elaboración propia

Material	Mínimo	Máximo	Promedio
Concreto	1.30	1.50	1.40
Ladrillo	1.20	1.40	1.30
Madera	1.10	1.30	1.20
Metal	1.10	1.20	1.15
Asfalto	1.10	1.30	1.20

Periodo de vida útil

Por último, no se puede olvidar la consideración respecto al periodo de vida útil de los materiales. Como se mencionó en apartados anteriores, cada uno tiene un tiempo específico en el que puede garantizar su seguridad estructural. Por ello, se recopiló la información correspondiente a los años de vida de los principales materiales de construcción (Tabla 27).

Tabla 27
Periodo de vida útil de los materiales de construcción
Elaboración propia

Material	Años
Acero	20
Madera	20
Ladrillos	25
PVC	50
Tabicón	60
Tabique	60
Perfiles metálicos	80
Placas de acero	80
Concreto armado	100

6. Cálculo de impactos

El reporte hasta el momento ha referido a los materiales de construcción de la muestra, sin embargo, en lo subsecuente, se centrará en el pavimento, que fue el material seleccionado por su representatividad para la realización de la evaluación. Es importante aclarar que los datos obtenidos para las propiedades son considerados impactos una vez que están en función de las condiciones del requerimiento.

Especificaciones del requerimiento

De acuerdo con la cuantificación del caso de estudio, se requiere la construcción de 1,545.36 metros cuadrados de pavimento. Ahora bien, con base en el tráfico esperable, los materiales considerados viables fueron el concreto y el asfalto. De esta forma, al cuantificarlos, se obtuvieron 463.60 metros cúbicos de concreto y 108.17 metros cúbicos de asfalto, con espesores de 30 y de 7 centímetros, respectivamente.

Derivado de lo anterior, se propuso calcular el impacto de cinco materiales comparables: tres tipos de concreto y dos tipos de asfalto. Para los concretos, se consideraron distintos fraguados y resistencias. Por su parte, para el asfalto, porcentajes de compactación diferentes (Tabla 28).

Tabla 28

Especificaciones generales del requerimiento

Elaboración propia

ID	Uso general	Uso específico	Material	Tipo	Subtipo	Cantidad	unidad
MC1	Pavimento	Pavimento	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	250	463.60	m^3
MC2	Pavimento	Pavimento	Concreto hidráulico	Fraguado normal	250	463.60	m^3
MC3	Pavimento	Pavimento	Concreto hidráulico	Fraguado rápido	300	463.60	m^3
MC4	Pavimento	Pavimento	Mezcla asfáltica	Templada	98 %	108.17	m^3
MC5	Pavimento	Pavimento	Mezcla asfáltica	Templada	95 %	108.17	m^3

Para continuar con las especificaciones del requerimiento, se identificó el sitio de colocación, correspondiente con la ubicación del caso de estudio. Asimismo, se propusieron los lugares de producción y deposición, de cada uno de los materiales comparables.

Los sitios de producción propuestos para los concretos fueron: Barrientos (Tlalnepantla), Apaxco y Toluca. Para el asfalto: plantas ubicadas en Zumpango y Toluca. En lo que respecta a la deposición, se propuso para todos los casos el Relleno Estatal Sanitario ubicado en San Antonio La Isla. Todos pertenecientes al Estado de México (Tabla 29).

Tabla 29

Especificaciones generales del requerimiento

Elaboración propia

ID	Colocación (B)	Producción (A)	Deposición (C)
MC1	Boulevard Aeropuerto & Canaleja, Totoltepec	Cemex, Barrientos	RES San Antonio la Isla
MC2	Boulevard Aeropuerto & Canaleja, Totoltepec	Apasco, Apaxco	RES San Antonio la Isla
MC3	Boulevard Aeropuerto & Canaleja, Totoltepec	Cemex, Toluca	RES San Antonio la Isla
MC4	Boulevard Aeropuerto & Canaleja, Totoltepec	Zumpango	RES San Antonio la Isla
MC5	Boulevard Aeropuerto & Canaleja, Totoltepec	Toluca	RES San Antonio la Isla

Con las especificaciones anteriores, se estimaron para todos los comparables, las distancias que existen entre los lugares de producción y colocación, así como de este último al de deposición. A continuación, se identificaron los medios de transporte necesarios para sus desplazamientos en las etapas de suministro y deposición. Finalmente, para concluir con el requerimiento, se propuso para todos los casos el uso de maquinaria en las etapas de colocación y demolición (Tabla 30).

Tabla 30

Especificaciones generales del requerimiento

Elaboración propia

ID	Distancia (A-B)	Distancia (B-C)	Transporte (A-B)	Transporte (B-C)	Colocación	Demolición
MC1	74.12	25.22	Olla	Volteos	Mecánica	Mecánica
MC2	116.94	25.22	Olla	Volteos	Mecánica	Mecánica
MC3	11.57	25.22	Olla	Volteos	Mecánica	Mecánica
MC4	97.99	25.22	Volteo	Volteos	Mecánica	Mecánica
MC5	20.28	25.22	Volteo	Volteos	Mecánica	Mecánica

Para llevar a cabo el cálculo de impactos de forma manual, se extrajeron de la base de datos las consideraciones más relevantes de los materiales comparables. Entre ellas figuran: el peso, la vida útil, el porcentaje de reciclabilidad y de desperdicio, así como los factores de expansión (Tabla 31).

Tabla 31

Consideraciones de los materiales comparables

Elaboración propia

	Peso (kg)	Vida útil (años)	Reciclabilidad (%)	Desperdicio (%)	Factor de Expansión (FE)
MC1	2400	100	0.20	0.80	1.40
MC2	2400	100	0.20	0.80	1.40
MC3	2415	100	0.20	0.80	1.40
MC4	2360	20	0.20	0.80	1.20
MC5	2360	20	0.20	0.80	1.20

Además de lo anterior, se extrajeron los precios unitarios (PU), con su respectiva clave de identificación CIPU y el desglose de costos directos (CD). También, para cada uno de los comparables, se identificó el porcentaje de participación del costo directo del material y la mano de obra, correspondiente a la construcción de pavimentos (Tabla 32).

Tabla 32

Consideraciones de los materiales comparables

Elaboración propia

ID	Código CIPU	Precio Unitario (PU)	Costo Directo (CD)	Material (%)	Mano de obra y equipo (%)
MC1	QN14CJ	$ 4,254.42	$ 3,063.18	91.56	8.44
MC2	QN14BD	$ 4,156.32	$ 2,992.55	91.56	8.44
MC3	QN14CK	$ 4,538.88	$ 3,267.99	91.56	8.44
MC4	QI12DB	$ 5,193.05	$ 3,739.00	59.98	40.02
MC5	QH12KB	$ 4,399.14	$ 3,167.38	59.98	40.02

Impactos por etapa

Como se anticipó, una vez que son consideradas las condiciones del requerimiento, es posible hablar de impactos. En atención a la metodología propuesta, se estimaron de forma independiente los impactos de los materiales comparables, para cada una de las etapas de su periodo de vida útil.

Impactos técnicos

Como punto de partida, es importante precisar que las propiedades técnicas de los materiales de construcción no son susceptibles de afectaciones derivadas de la cantidad, disponibilidad o durabilidad. De manera, que para efectos de los impactos técnicos, se consideraron de forma directa sus propiedades, únicamente para la etapa de producción (Tabla 33). Para las etapas de colocación, mantenimiento, demolición y deposición, éstos se consideraron en ceros, por lo que no se desglosan en el reporte.

Tabla 33
Impactos técnicos de producción
Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)
MC1	1.00	250.00	50.00	60.00	400
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400
MC3	1.00	300.00	50.00	60.00	400
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50

Impactos económicos

En lo que respecta a los impactos económicos de producción, es importante recordar que los costos corresponden a un desglose de precios unitarios. En virtud de lo mencionado, no fue posible tener un dato preciso para la etapa de producción. Por ello, aunque en esta etapa se consideraron en ceros, quedaron contenidos en la siguiente, dentro del concepto correspondiente al suministro.

Para la etapa de colocación, entonces, se consideraron dos rubros: los costos de suministro y de mano de obra. De esta forma, para calcular los impactos de cada uno de los comparables, se multiplicaron los porcentajes correspondientes, tanto al suministro como a la mano de obra, por el costo directo de cada material (CD). Posteriormente, los resultados se multiplicaron por los metros cúbicos cuantificados para el requerimiento (Tabla 34). Lo anterior, se resume mediante la expresión:

Impacto de suministro = $/m3 costo directo (% de material)(m3 requerimiento)

Impacto de colocación = $/m3 costo directo (% mano de obra)(m3 requerimiento)

Tabla 34

Impactos económicos de colocación

Elaboración propia

ID	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	1,300,235.65	119,855.71	0.00	0.00	0.00
MC2	1,270,254.33	117,092.03	0.00	0.00	0.00
MC3	1,387,172.30	127,869.53	0.00	0.00	0.00
MC4	242,587.43	161,859.77	0.00	0.00	0.00
MC5	205,500.83	137,114.76	0.00	0.00	0.00

Ahora bien, para los impactos económicos de la etapa de mantenimiento, se estimó la sustitución del 5% de la superficie, en cuatro ocasiones, durante el periodo de vida útil del asfalto. Esto, se multiplicó por la suma de los costos del suministro y mano de obra, de los comparables en los que aplica. Para el caso específico de los concretos, se consideró la unidad, con el propósito de anticiparse a etapas posteriores relacionadas con la evaluación (Tabla 35). Así, lo mencionado para el asfalto, se sintetiza en la expresión siguiente:

Impacto de mantenimiento (asfalto) = (0.05 x 4)($ suministro + $ mano de obra)

Tabla 35
Impactos económicos de mantenimiento
Elaboración propia

ID	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
MC2	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
MC3	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
MC4	0.00	0.00	80,889.44	0.00	0.00
MC5	0.00	0.00	68,523.12	0.00	0.00

Para los impactos económicos de la etapa de demolición, con base en el desglose de los conceptos correspondientes a dicha actividad en el CIPU, se estimaron costos por metro cúbico, para la demolición mecánica de concreto y asfalto. De lo anterior, resultaron 1,763.80 y 1,231.84 pesos, respectivamente. A continuación, estos últimos, se multiplicaron por el volumen correspondiente de cada uno de los comparables (Tabla 36). Esto es:

Impacto de demolición = ($/$m^3$ demolición mecánica)(m^3 requerimiento)

Tabla 36
Impactos económicos de demolición
Elaboración propia

ID	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	0.00	0.00	0.00	817,697.68	0.00
MC2	0.00	0.00	0.00	817,697.68	0.00
MC3	0.00	0.00	0.00	817,697.68	0.00
MC4	0.00	0.00	0.00	133,248.13	0.00
MC5	0.00	0.00	0.00	133,248.13	0.00

Finalmente, en lo que respecta a los impactos de la etapa de deposición, se propusieron costos por metro cúbico para cada kilómetro de desplazamiento del material. Lo anterior, derivado del análisis de los costos que se consideran en el CIPU para las zonas: urbana, suburbana y carretera. De tal forma, los resultados fueron 23.79 y 20.51 pesos, para el concreto y el asfalto, respectivamente.

Los costos anteriores, se multiplicaron por los volúmenes del requerimiento de los comparables, afectados por los factores de expansión correspondientes. Lo anterior, finalmente se multiplicó por la distancia existente entre el sitio de colocación y el de deposición para cada uno de los comparables (Tabla 37). Lo dicho, se resume de la siguiente manera:

Impacto de deposición = ($/m3*km deposición)(m3 requerimiento x FE)(km distancia)

Tabla 37
Impactos económicos de deposición
Elaboración propia

ID	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	0.00	0.00	0.00	0.00	389,413.49
MC2	0.00	0.00	0.00	0.00	389,413.49
MC3	0.00	0.00	0.00	0.00	389,413.49
MC4	0.00	0.00	0.00	0.00	67,142.70
MC5	0.00	0.00	0.00	0.00	67,142.70

Impactos ambientales

En lo que respecta a los impactos ambientales de la etapa de producción, en un paso previo, se multiplicó el peso unitario de cuantificación por los indicadores de consumo de agua, emisiones de CO2 consumo energético y porcentaje estimado de residuos. Con ello, se obtuvieron los indicadores unitarios. A continuación, para el cálculo de impactos, se multiplicaron los resultados por la cantidad de unidades de los comparables (Tabla 38).

Impacto de consumo de agua = (cantidad requerimiento)(indicador ambiental * peso unitario)

Tabla 38

Impactos ambientales de producción

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0
MC1	311,539.20	154,533.33	66,758.40	890,112.00	0.00
MC2	311,539.20	154,533.33	66,758.40	890,112.00	0.00
MC3	313,486.32	155,499.17	67,175.64	895,675.20	0.00
MC4	76,584.36	58,714.68	1,148,765.40	204,224.96	0.00
MC5	76,584.36	58,714.68	1,148,765.40	204,224.96	0.00

Para los impactos de colocación, por un lado, con base la capacidad volumétrica de los medios de transporte, se estimó la cantidad de viajes para transportar los volúmenes del requerimiento. Con este dato, se calcularon los litros de combustible necesarios para llevar los materiales del sitio de producción al de colocación, basados en el rendimiento de los medios de transporte empleados. Por el otro, en un procedimiento similar, en consideración del rendimiento de la maquinaria, se estimaron los litros necesarios para la colocación de los volúmenes de los materiales comparables.

De la suma de ambos, se obtuvieron los litros de combustible necesarios para el transporte y colocación mecánica de los materiales comparables. A continuación, se multiplicó el resultado, tanto por el factor de emisión de CO_2 (2.596 kgCO_2/l) como por el factor de consumo energético del diésel (9.836 KWh/l), equivalentes a los 43.180 MJ/l reportados en la Tabla 9. De esta forma, los impactos de colocación, para el caso de estudio, estuvieron en función del transporte y del uso de maquinaria (Tabla 39).

Tabla 39

Impactos ambientales de colocación

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0
MC1	0.00	17,041.03	64,569.50	0.00	0.00
MC2	0.00	26,712.01	101,213.45	0.00	0.00
MC3	0.00	2,913.98	11,041.27	0.00	0.00
MC4	0.00	5,130.17	19,438.52	0.00	0.00
MC5	0.00	1,095.46	4,150.78	0.00	0.00

Para los impactos de mantenimiento, la consideración de sustituir el 5% del asfalto en cuatro ocasiones, arrojó un total del 20% del material requerido para la colocación, durante su periodo de vida útil. Por tal motivo, para los impactos correspondientes a esta etapa, se propuso aplicar el porcentaje al consumo de agua, emisiones de CO_2, consumo energético y generación de residuos estimados. Cabe aclarar, que quedaron descartados los impactos adicionales (Tabla 40).

Tabla 40

Impactos ambientales de mantenimiento

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0
MC1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC4	15,316.87	11,742.94	229,753.08	40,844.99	0.00
MC5	15,316.87	11,742.94	229,753.08	40,844.99	0.00

En lo que respecta a los impactos ambientales de la etapa de demolición, se multiplicaron los volúmenes del requerimiento por el consumo unitario de la maquinaria correspondiente. Con ello, se estimaron los litros de diésel necesarios para demoler mecánicamente los materiales, dato que permitió calcular las emisiones de CO_2 y el consumo energético, que implica su combustión (Tabla 41).

Tabla 41

Impactos ambientales de demolición

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0
MC1	0.00	182.26	690.60	0.00	0.00
MC2	0.00	182.26	690.60	0.00	0.00
MC3	0.00	182.26	690.60	0.00	0.00
MC4	0.00	42.53	161.13	0.00	0.00
MC5	0.00	42.53	161.13	0.00	0.00

Finalmente, para estimar los impactos ambientales de la etapa de deposición, se estimó el combustible necesario para llevar el volumen de los materiales del requerimiento, afectados por su volumen de expansión correspondiente, del sitio de colocación al sitio de deposición. En función de la capacidad volumétrica de los medios, se estimaron los números de viaje, posteriormente, con la distancia y el rendimiento, los litros de diésel necesarios. Mediante un proceso igual al descrito para el uso de combustible, pudieron obtenerse los impactos de esta etapa (Tabla 42).

Tabla 42

Impactos ambientales de deposición

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0
MC1	0.00	7,692.86	29,148.71	0.00	0.00
MC2	0.00	7,692.86	29,148.71	0.00	0.00
MC3	0.00	7,692.86	29,148.71	0.00	0.00
MC4	0.00	1,636.78	6,201.85	0.00	0.00
MC5	0.00	1,636.78	6,201.85	0.00	0.00

Impactos de seguridad

En lo que respecta a estos impactos, de la misma forma que con los técnicos, las propiedades de seguridad de los materiales de construcción tampoco son susceptibles de afectaciones derivadas de la cantidad, disponibilidad o durabilidad. Por ello, en apego al criterio anterior, se consideraron únicamente los impactos de producción y para el resto de las etapas, se consideró en ceros. Es importante recordar que, debido a que se trata de aspectos cualitativos, se propuso la escala de 1.00 para aquellos que son seguros y la de 2.00 para los que no lo son, en cualquiera de los rubros (Tabla 43).

Tabla 43

Impactos de seguridad de producción

Elaboración propia

ID	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC3	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

Con el procedimiento descrito hasta el momento, se obtuvieron los impactos transversales de los materiales de construcción comparables, es decir, los correspondientes a cada etapa de su vida útil. Lo conducente, a continuación, fue integrarlos.

Impactos totales directos

Para continuar con el cálculo de impactos, se sumaron los resultados de cada una de las etapas por rubro. Con esto, se obtuvieron los impactos longitudinales, es decir, los impactos totales, correspondientes al periodo de vida útil de los materiales comparables. En la Tabla 44, se muestran los resultados correspondientes a los impactos técnicos y económicos y, en la Tabla 45, se concentran los ambientales y de seguridad.

Tabla 44

Impactos técnicos y económicos totales directos

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,300,235.65	119,855.71	1.00	817,697.68	389,413.49
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,270,254.33	117,092.03	1.00	817,697.68	389,413.49
MC3	1.00	300.00	50.00	60.00	400.00	1,387,172.30	127,869.53	1.00	817,697.68	389,413.49
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	242,587.43	161,859.77	80,889.44	133,248.13	67,142.70
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	205,500.83	137,114.76	68,523.12	133,248.13	67,142.70

Tabla 45

Impactos ambientales y de seguridad totales directos

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	311,539.20	179,449.48	161,167.21	890,112.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC2	311,539.20	189,120.46	197,811.15	890,112.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC3	313,486.32	166,288.27	108,056.21	895,675.20	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC4	91,901.23	77,267.08	1,404,319.99	245,069.95	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
MC5	91,901.23	73,232.38	1,389,032.25	245,069.95	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00

Impactos totales directos ajustados

Es importante recordar, que entre los materiales comparables, se consideró el concreto. También, que este requiere de 15 kilogramos de acero por metro cúbico , para la construcción de pavimentos. Ahora bien, con un procedimiento similar al descrito, de forma independiente, se estimaron los impactos económicos y ambientales de producción, del material de refuerzo (Tablas 46 y 47). Con la suma de estos resultados a los totales directos, se consiguieron los primeros ajustes.

No se omite mencionar que en apartados previos, se aclaró que para efectos del acero de refuerzo, sólo serían considerados los impactos de producción por ser los más representativos.

Tabla 46

Impactos técnicos y económicos del acero de refuerzo

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	204,201.74	59,842.02	0.00	0.00	0.00
MC2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	204,201.74	59,842.02	0.00	0.00	0.00
MC3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	204,201.74	59,842.02	0.00	0.00	0.00
MC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 47

Impactos ambientales y de seguridad del acero de refuerzo

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	139,080.00	67,608.33	10,152.84	464.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC2	139,080.00	67,608.33	10,152.84	464.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC3	139,080.00	67,608.33	10,152.84	464.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MC5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Para continuar, se multiplicaron los impactos acumulados hasta el momento, por el factor de ajuste regional (FAR), del lugar de ubicación del caso de estudio. De esta forma, al afectarlos por 0.987, se contextualizaron, es decir, dejaron de pertenecer al referente que es la Ciudad de México, para corresponder a las condiciones de Toluca. Con lo anterior, se tuvieron finalmente los impactos totales directos ajustados (Tablas 48 y 49).

Tabla 48

Impactos técnicos y económicos totales directos ajustados (FAR)

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,484,879.71	177,361.66	0.99	807,067.61	384,351.11
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,455,288.14	174,633.91	0.99	807,067.61	384,351.11
MC3	1.00	300.00	50.00	60.00	400.00	1,570,686.18	185,271.30	0.99	807,067.61	384,351.11
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	239,433.79	159,755.59	79,837.88	131,515.91	66,269.85
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	202,829.31	135,332.26	67,632.32	131,515.91	66,269.85

Tabla 49

Impactos ambientales y de seguridad totales directos ajustados (FAR)

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	450,619.20	247,057.81	171,320.05	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC2	450,619.20	256,728.79	207,963.99	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	452,566.32	233,896.60	118,209.05	896,139.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	91,901.23	77,267.08	1,404,319.99	245,069.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	91,901.23	73,232.38	1,389,032.25	245,069.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Impactos totales homologados

Antes de avanzar, aunque es posible evaluar los impactos finalmente obtenidos, es preciso recordar que estos corresponden al periodo de vida útil de los materiales comparables. Es decir, los impactos del concreto corresponden a 100 años, mientras que los del asfalto únicamente a 20. Por ello, si se compararan de forma directa, los resultados carecerían de objetividad.

Por lo anterior, como parte de la metodología para garantizar que las comparaciones se realicen en igualdad de condiciones, se propuso homologar los resultados con respecto a la vida útil máxima detectada. No de los materiales comparables, sino de los evaluables, es decir, la máxima identificada en la base de datos.

En consecuencia, se dividieron los 100 años correspondientes a la vida útil máxima detectada, entre las vidas útiles del concreto y el asfalto, para obtener el índice de compensación. Este se multiplicó por los impactos económicos y ambientales para, con ello, obtener los impactos totales homologados (Tablas 50 y 51).

Tabla 50

Impactos técnicos y económicos totales homologados

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,484,879.71	177,361.66	0.99	807,067.61	384,351.11
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,455,288.14	174,633.91	0.99	807,067.61	384,351.11
MC3	1.00	300.00	50.00	60.00	400.00	1,570,686.18	185,271.30	0.99	807,067.61	384,351.11
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	1,197,168.96	798,777.96	399,189.38	657,579.54	331,349.24
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	1,014,146.57	676,661.32	338,161.58	657,579.54	331,349.24

Tabla 51

Impactos ambientales y de seguridad totales homologados

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	450,619.20	247,057.81	171,320.05	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC2	450,619.20	256,728.79	207,963.99	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	452,566.32	233,896.60	118,209.05	896,139.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	459,506.16	386,335.41	7,021,599.93	1,225,349.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	459,506.16	366,161.90	6,945,161.24	1,225,349.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

7. Evaluación de impactos

En apartados anteriores, se precisó que las evaluaciones son el resultado de la comparación de aspectos con respecto a un parámetro, los cuales se ponderan en función de su importancia. De esta forma, para agotar el paso siete aplicado al caso de estudio, se realizaron los dos tipos de comparación y se aplicaron los dos métodos de ponderación, descritos en el apartado correspondiente a la Metodología.

Derivado de la importancia de la homologación, para efectos del presente desglose, se comienza con la comparación que involucra estos resultados. Es importante recordar, que la distinción entre ambos tipos de comparación alude a los resultados considerados para su realización. Así, la comparación homologada relaciona los impactos totales homologados, mientras que la comparación directa, los totales directos.

Comparación homologada

Con base en lo propuesto, en virtud de que los impactos son variables, se propuso que el parámetro de comparación de los rubros fuera el indicador que representa la condición óptima, es decir, el valor máximo o mínimo, según el caso. Por ello, se identificaron entre los comparables los correspondientes a dicha condición para cada uno de los rubros.

Una vez identificados, cuando el valor máximo es el óptimo, el indicador se dividió entre cada uno de los comparables, por el contrario, cuando el valor mínimo lo es, los comparables se dividieron entre este. De esta forma, el resultado representa el grado de lejanía que tuvieron los comparables por rubro con respecto al referente de comparación, es decir, a la condición óptima.

Así pues, en la Tabla 52, se destaca que los referentes de condición óptima, para los impactos técnicos y económicos, fueron: en el rubro de resistencia a la compresión, el comparable MC3; en los de suministro, demolición y deposición, el MC5; y, en el de mano de obra, el identificado como MC2. De ahí, que al dividirse entre sí mismos, el resultado fue 1.00.

En la Tabla 53 se resalta que, para los impactos ambientales y de seguridad, los referentes de condición óptima fueron: en el rubro de consumo de agua y residuos, el comparable MC1; y en los de emisiones de CO_2 y consumo energético, el MC3. Como se anticipó, para los casos en donde los resultados son iguales, se consideró el primero como el referente de comparación.

Tabla 52

Comparación homologada de impactos técnicos y económicos totales homologados

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	**1.00**	250.00	**50.00**	**60.00**	**400.00**	1,484,879.71	177,361.66	**0.99**	807,067.61	384,351.11
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,455,288.14	**174,633.91**	0.99	807,067.61	384,351.11
MC3	1.00	**300.00**	50.00	60.00	400.00	1,570,686.18	185,271.30	0.99	807,067.61	384,351.11
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	1,197,168.96	798,777.96	399,189.38	657,579.54	331,349.24
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	**1,014,146.57**	676,661.32	338,161.58	**657,579.54**	**331,349.24**
Resultados de comparación										
MC1	**1.00**	1.20	**1.00**	**1.00**	**1.00**	1.46	1.02	**1.00**	1.23	1.16
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.43	**1.00**	1.00	1.23	1.16
MC3	1.00	**1.00**	1.00	1.00	1.00	1.55	1.06	1.00	1.23	1.16
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	4.57	404,447.20	1.00	1.00
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	**1.00**	3.87	342,615.58	**1.00**	**1.00**

Tabla 53

Comparación homologada de impactos ambientales y de seguridad totales homologados

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	**450,619.20**	247,057.81	171,320.05	**890,576.35**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
MC2	450,619.20	256,728.79	207,963.99	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	452,566.32	**233,896.60**	**118,209.05**	896,139.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	459,506.16	386,335.41	7,021,599.93	1,225,349.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	459,506.16	366,161.90	6,945,161.24	1,225,349.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Resultados de comparación										
MC1	**1.00**	1.06	1.45	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
MC2	1.00	1.10	1.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	1.00	**1.00**	**1.00**	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	1.02	1.65	59.40	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	1.02	1.57	58.75	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Comparación directa

Con el propósito de visualizar los sesgos que puede tener la comparación de los resultados directos, mediante el mismo procedimiento descrito con anterioridad, se realizó la comparación directa. Por ello, con la identificación de los referentes de comparación, relacionados con base en la condición óptima, se tuvieron resultados distintos a los de la comparación anterior.

De esta forma, en la Tabla 54, para los impactos técnicos y económicos se destaca que, los referentes de condición óptima fueron: en la resistencia a la compresión, el MC3; en lo que respecta al mantenimiento, el MC1: y, en el suministro, mano de obra, demolición y deposición, el MC5.

Por su parte, para los impactos ambientales y de seguridad, desglosados en la Tabla 55, los referentes de comparación fueron: para el consumo de agua, emisiones de CO_2 y residuos, el MC5; mientras que para el consumo energético fue el MC3. Para los rubros de seguridad se consideró como referente el primero, debido a la igualdad de condiciones.

Tabla 54

Comparación directa de impactos técnicos y económicos totales directos ajustados

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC1	**1.00**	250.00	**50.00**	**60.00**	**400.00**	1,484,879.71	177,361.66	**0.99**	807,067.61	384,351.11
MC2	1.00	250.00	50.00	60.00	400.00	1,455,288.14	174,633.91	0.99	807,067.61	384,351.11
MC3	1.00	**300.00**	50.00	60.00	400.00	1,570,686.18	185,271.30	0.99	807,067.61	384,351.11
MC4	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	239,433.79	159,755.59	79,837.88	131,515.91	66,269.85
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	**202,829.31**	**135,332.26**	67,632.32	**131,515.91**	**66,269.85**

MC1	**1.00**	1.20	**1.00**	**1.00**	**1.00**	7.32	1.31	**1.00**	6.14	5.80
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	7.17	1.29	1.00	6.14	5.80
MC3	1.00	**1.00**	1.00	1.00	1.00	7.74	1.37	1.00	6.14	5.80
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	1.18	80,889.44	1.00	1.00
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	**1.00**	**1.00**	68,523.12	**1.00**	**1.00**

Tabla 55

Comparación directa de impactos ambientales y de seguridad totales directos ajustados

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC1	450,619.20	247,057.81	171,320.05	890,576.35	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
MC2	450,619.20	256,728.79	207,963.99	890,576.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	452,566.32	233,896.60	**118,209.05**	896,139.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	91,901.23	77,267.08	1,404,319.99	245,069.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	**91,901.23**	**73,232.38**	1,389,032.25	**245,069.95**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Resultados de comparación										
MC1	4.90	3.37	1.45	3.63	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
MC2	4.90	3.51	1.76	3.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC3	4.92	3.19	**1.00**	3.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC4	1.00	1.06	11.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	**1.00**	**1.00**	11.75	**1.00**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Ponderación por método basado en la entropía

Este método consideró la ejecución de los siguientes pasos:

a) Se relacionaron los resultados con respecto al ideal. Para ello, se dividió 1.00 entre cada uno de los resultados obtenidos de las comparaciones, directa y homologada, de los materiales comparables para tener los resultados ponderables. Esto se hizo para todos los rubros o aspectos que consideró la evaluación.
b) Se obtuvo la representatividad de los ponderables, al dividir cada uno entre la suma de los ponderables por rubro.
c) Se midió la entropía, es decir, la dispersión entre los ponderables por rubro mediante la función logarítmica:

(-1/LOG (número de ponderables)) x (SUMAPRODUCTO ((ponderables), LOG(ponderables))).

d) Se restó el resultado de 1.00, con ello, se obtuvo la distancia que guarda con la unidad.
e) Se dividió la distancia de cada uno de los rubros entre la suma de las distancias de todos los rubros para repartir el peso con base en su representatividad.
f) Se multiplicaron los pesos obtenidos para cada rubro por cada uno de los ponderables.
g) Se sumaron los resultados ponderados de todos los rubros para cada uno de los materiales comparables.

Es importante aclarar, que se propuso este método, debido a que los porcentajes de ponderación fueron calculados, según la dispersión de los resultados comparados. De esta forma, aquellos que tuvieron una mayor diferencia, por ende, tuvieron más peso. Por el contrario, en los que no existió, quedaron anulados. Esta ponderación se realizó sobre los resultados, tanto de la comparación homologada como de la directa (Tablas 56 y 57).

La ponderación, en ambos casos, se distribuyó en trece de los dieciocho rubros de la evaluación. En lo que respecta a la comparación homologada, la mayor ponderación fue del 18.51% para el mantenimiento, mientras que los de menor ponderación fueron el consumo de agua, que no alcanza a apreciarse por la delimitación de los decimales del reporte, y la deposición, con el 0.1%. Lo anterior, arrojó que el material mejor posicionado fue el MC3, en contraste del MC4 que resultó el peor ubicado entre los comparables (Tabla 56).

Por su parte, en lo que respecta a la comparación directa, igualmente el rubro de mantenimiento tuvo la mayor ponderación con 12.54%, mientras que la menor, el de los residuos, con 4.77%. En este caso, las posiciones fueron coincidentes con las obtenidas para la comparación homologada (Tabla 57).

Tabla 56

Ponderación por método basado en la entropía de resultados de comparación homologada

Elaboración propia

ID	Piezas	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión	Resistencia a la tracción	Resistencia al fuego	Suministro	Mano de obra	Mantenimiento	Demolición	Deposición	Consumo de agua	Emisiones de CO_2	Consumo energético	Residuos	0	Irritabilidad	Toxicidad	Salubridad	Nocividad	0	
MC1	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.46	1.02	1.00	1.23	1.16	1.00	1.06	1.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.43	1.00	1.00	1.23	1.16	1.00	1.10	1.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.55	1.06	1.00	1.23	1.16	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	4.57	404,447.20	1.00	1.00	1.02	1.65	59.40	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.00	3.87	342,615.58	1.00	1.00	1.02	1.57	58.75	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC1	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.6830	0.9846	1.0000	0.8148	0.8621	1.0000	0.9467	0.6900	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC2	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.6969	1.0000	1.0000	0.8148	0.8621	1.0000	0.9111	0.5684	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6457	0.9426	1.0000	0.8148	0.8621	0.9957	1.0000	1.0000	0.9938	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC4	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	0.8471	0.2186	0.0000	1.0000	1.0000	0.9807	0.6054	0.0168	0.7268	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC5	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	1.0000	0.2581	0.0000	1.0000	1.0000	0.9807	0.6388	0.0170	0.7268	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC1	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.1764	0.2893	0.3333	0.1833	0.1880	0.2017	0.2308	0.3010	0.2249	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC2	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.1799	0.2938	0.3333	0.1833	0.1880	0.2017	0.2221	0.2480	0.2249	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC3	0.2000	0.3636	0.3289	0.3297	0.3077	0.1667	0.2769	0.3333	0.1833	0.1880	0.2009	0.2438	0.4363	0.2235	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC4	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.2187	0.0642	0.0000	0.2250	0.2180	0.1978	0.1476	0.0073	0.1634	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC5	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.2582	0.0758	0.0000	0.2250	0.2180	0.1978	0.1557	0.0074	0.1634	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
E	1.0000	0.7570	0.7228	0.7174	0.8317	0.9913	0.8985	0.6826	0.9968	0.9983	1.0000	0.9871	0.7093	0.9929	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
D	0.0000	0.2430	0.2772	0.2826	0.1683	0.0087	0.1015	0.3174	0.0032	0.0017	0.0000	0.0129	0.2907	0.0071	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
P	0.0000	**0.1417**	**0.1617**	**0.1648**	**0.0982**	**0.0051**	**0.0592**	**0.1851**	**0.0019**	**0.0010**	**0.0000**	**0.0075**	**0.1696**	**0.0041**	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
MC1	0.0000	0.0430	0.0532	0.0543	0.0302	0.0009	0.0171	0.0617	0.0003	0.0002	0.0000	0.0017	0.0510	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3147
MC2	0.0000	0.0430	0.0532	0.0543	0.0302	0.0009	0.0174	0.0617	0.0003	0.0002	0.0000	0.0017	0.0421	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3059
MC3	0.0000	0.0515	0.0532	0.0543	0.0302	0.0008	0.0164	0.0617	0.0003	0.0002	0.0000	0.0018	0.0740	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.3455**
MC4	0.0000	0.0021	0.0011	0.0009	0.0038	0.0011	0.0038	0.0000	0.0004	0.0002	0.0000	0.0011	0.0012	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0165
MC5	0.0000	0.0021	0.0011	0.0009	0.0038	0.0013	0.0045	0.0000	0.0004	0.0002	0.0000	0.0012	0.0013	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0174
																					1.0000

Tabla 57

Ponderación por método basado en la entropía de resultados de comparación directa

Elaboración propia

ID	Piezas	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión	Resistencia a la tracción	Resistencia al fuego	Suministro	Mano de obra	Mantenimiento	Demolición	Deposición	Consumo de agua	Emisiones de CO_2	Consumo energético	Residuos	0	Irritabilidad	Toxicidad	Salubridad	Nocividad	0	
MC1	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	7.32	1.31	1.00	6.14	5.80	4.90	3.37	1.45	3.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	7.17	1.29	1.00	6.14	5.80	4.90	3.51	1.76	3.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.74	1.37	1.00	6.14	5.80	4.92	3.19	1.00	3.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	1.18	80,889.44	1.00	1.00	1.00	1.06	11.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.00	1.00	68,523.12	1.00	1.00	1.00	1.00	11.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC1	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.1366	0.7630	1.0000	0.1630	0.1724	0.2039	0.2964	0.6900	0.2752	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC2	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.1394	0.7749	1.0000	0.1630	0.1724	0.2039	0.2853	0.5684	0.2752	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1291	0.7305	1.0000	0.1630	0.1724	0.2031	0.3131	1.0000	0.2735	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC4	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	0.8471	0.8471	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9478	0.0842	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC5	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0851	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC1	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.0606	0.1854	0.3333	0.0655	0.0685	0.0781	0.1043	0.2842	0.0974	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC2	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.0619	0.1883	0.3333	0.0655	0.0685	0.0781	0.1004	0.2341	0.0974	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC3	0.2000	0.3636	0.3289	0.3297	0.3077	0.0573	0.1775	0.3333	0.0655	0.0685	0.0778	0.1101	0.4119	0.0968	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC4	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.3761	0.2058	0.0000	0.4018	0.3973	0.3830	0.3334	0.0347	0.3541	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC5	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.4440	0.2430	0.0000	0.4018	0.3973	0.3830	0.3518	0.0351	0.3541	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
E	1.0000	0.7570	0.7228	0.7174	0.8317	0.7670	0.9959	0.6827	0.7880	0.7980	0.8277	0.8967	0.8058	0.8793	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
D	0.0000	0.2430	0.2772	0.2826	0.1683	0.2330	0.0041	0.3173	0.2120	0.2020	0.1723	0.1033	0.1942	0.1207	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
P	0.0000	**0.0960**	**0.1096**	**0.1117**	**0.0665**	**0.0921**	**0.0016**	**0.1254**	**0.0838**	**0.0798**	**0.0681**	**0.0408**	**0.0768**	**0.0477**	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
MC1	0.0000	0.0291	0.0360	0.0368	0.0205	0.0056	0.0003	0.0418	0.0055	0.0055	0.0053	0.0043	0.0218	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2171
MC2	0.0000	0.0291	0.0360	0.0368	0.0205	0.0057	0.0003	0.0418	0.0055	0.0055	0.0053	0.0041	0.0180	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2132
MC3	0.0000	0.0349	0.0360	0.0368	0.0205	0.0053	0.0003	0.0418	0.0055	0.0055	0.0053	0.0045	0.0316	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.2326**
MC4	0.0000	0.0015	0.0007	0.0006	0.0026	0.0346	0.0003	0.0000	0.0337	0.0317	0.0261	0.0136	0.0027	0.0169	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1650
MC5	0.0000	0.0015	0.0007	0.0006	0.0026	0.0409	0.0004	0.0000	0.0337	0.0317	0.0261	0.0144	0.0027	0.0169	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1721
																					1.0000

Ponderación por método basado en el criterio

Con respecto a este método, los pasos que se llevaron a cabo fueron los siguientes:

a) Se relacionaron los resultados con respecto al ideal. Para ello, se dividió 1.00 entre cada uno de los resultados obtenidos de las comparaciones, directa y homologada, de los materiales comparables para tener los resultados ponderables. También, se hizo para todos los rubros o aspectos que consideró la evaluación.
b) Se obtuvo la representatividad de los ponderables, al dividir cada uno entre la suma de los ponderables por rubro.
c) Se propusieron los pesos de los rubros con base en un criterio, que en este caso, ponderó los aspectos ambientales.
d) Se multiplicaron los pesos por cada uno de los ponderables.
e) Se sumaron los resultados ponderados de todos los rubros, para cada uno de los materiales comparables.

En apartados previos, se anticipó la consideración de un método flexible, que permitiera ponderar aspectos en función de los requerimientos particulares de los usuarios. Por tal motivo, se propuso un método de ponderación basado en el criterio. Ahora bien, en congruencia con la problemática ambiental planteada, se decidió centrarse y dar un peso equitativo a los aspectos ambientales. De esta forma, se lo otorgó un 25% a cada uno de los siguientes rubros: consumo de agua, emisiones de CO_2, consumo energético y generación de residuos.

De igual manera que con la ponderación por el método basado en la entropía, se realizó el ejercicio para los dos tipos de comparación: homologada y directa. Con respecto a la primera, en la Tabla 58, puede observarse que el material favorecido fue el MC3. De la segunda, en la Tabla 59, se refleja que el material MC5 lo fue.

Tabla 58

Ponderación por método basado en el criterio de resultados de comparación homologada

Elaboración propia

ID	Piezas	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión	Resistencia a la tracción	Resistencia al fuego	Suministro	Mano de obra	Mantenimiento	Demolición	Deposición	Consumo de agua	Emisiones de CO_2	Consumo energético	Residuos	0	Irritabilidad	Toxicidad	Salubridad	Nocividad	0	
MC1	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.46	1.02	1.00	1.23	1.16	1.00	1.06	1.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.43	1.00	1.00	1.23	1.16	1.00	1.10	1.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.55	1.06	1.00	1.23	1.16	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	4.57	404,447.20	1.00	1.00	1.02	1.65	59.40	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.00	3.87	342,615.58	1.00	1.00	1.02	1.57	58.75	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC1	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.6830	0.9846	1.0000	0.8148	0.8621	1.0000	0.9467	0.6900	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC2	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.6969	1.0000	1.0000	0.8148	0.8621	1.0000	0.9111	0.5684	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6457	0.9426	1.0000	0.8148	0.8621	0.9957	1.0000	1.0000	0.9938	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC4	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	0.8471	0.2186	0.0000	1.0000	1.0000	0.9807	0.6054	0.0168	0.7268	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC5	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	1.0000	0.2581	0.0000	1.0000	1.0000	0.9807	0.6388	0.0170	0.7268	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC1	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.1764	0.2893	0.3333	0.1833	0.1880	0.2017	0.2308	0.3010	0.2249	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC2	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.1799	0.2938	0.3333	0.1833	0.1880	0.2017	0.2221	0.2480	0.2249	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC3	0.2000	0.3636	0.3289	0.3297	0.3077	0.1667	0.2769	0.3333	0.1833	0.1880	0.2009	0.2438	0.4363	0.2235	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC4	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.2187	0.0642	0.0000	0.2250	0.2180	0.1978	0.1476	0.0073	0.1634	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC5	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.2582	0.0758	0.0000	0.2250	0.2180	0.1978	0.1557	0.0074	0.1634	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.2500**	**0.2500**	**0.2500**	**0.2500**	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
MC1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0504	0.0577	0.0753	0.0562	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2396
MC2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0504	0.0555	0.0620	0.0562	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2242
MC3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0502	0.0609	0.1091	0.0559	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.2761**
MC4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0495	0.0369	0.0018	0.0409	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1290
MC5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0495	0.0389	0.0019	0.0409	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1311
																					1.0000

Tabla 59

Ponderación por método basado en el criterio de resultados de comparación directa

Elaboración propia

ID	Piezas	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tensión	Resistencia a la tracción	Resistencia al fuego	Suministro	Mano de obra	Mantenimiento	Demolición	Deposición	Consumo de agua	Emisiones de CO_2	Consumo energético	Residuos	0	Irritabilidad	Toxicidad	Salubridad	Nocividad	0	
MC1	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	7.32	1.31	1.00	6.14	5.80	4.90	3.37	1.45	3.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC2	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	7.17	1.29	1.00	6.14	5.80	4.90	3.51	1.76	3.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.74	1.37	1.00	6.14	5.80	4.92	3.19	1.00	3.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC4	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.18	1.18	80,889.44	1.00	1.00	1.00	1.06	11.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC5	1.00	24.00	50.00	60.00	8.00	1.00	1.00	68,523.12	1.00	1.00	1.00	1.00	11.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
MC1	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.1366	0.7630	1.0000	0.1630	0.1724	0.2039	0.2964	0.6900	0.2752	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC2	1.0000	0.8333	1.0000	1.0000	1.0000	0.1394	0.7749	1.0000	0.1630	0.1724	0.2039	0.2853	0.5684	0.2752	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1291	0.7305	1.0000	0.1630	0.1724	0.2031	0.3131	1.0000	0.2735	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC4	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	0.8471	0.8471	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9478	0.0842	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC5	1.0000	0.0417	0.0200	0.0167	0.1250	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0851	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
MC1	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.0606	0.1854	0.3333	0.0655	0.0685	0.0781	0.1043	0.2842	0.0974	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC2	0.2000	0.3030	0.3289	0.3297	0.3077	0.0619	0.1883	0.3333	0.0655	0.0685	0.0781	0.1004	0.2341	0.0974	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC3	0.2000	0.3636	0.3289	0.3297	0.3077	0.0573	0.1775	0.3333	0.0655	0.0685	0.0778	0.1101	0.4119	0.0968	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC4	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.3761	0.2058	0.0000	0.4018	0.3973	0.3830	0.3334	0.0347	0.3541	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
MC5	0.2000	0.0152	0.0066	0.0055	0.0385	0.4440	0.2430	0.0000	0.4018	0.3973	0.3830	0.3518	0.0351	0.3541	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	
P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.2500**	**0.2500**	**0.2500**	**0.2500**	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
MC1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0195	0.0261	0.0711	0.0244	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1410
MC2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0195	0.0251	0.0585	0.0244	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1275
MC3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0194	0.0275	0.1030	0.0242	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1742
MC4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0958	0.0834	0.0087	0.0885	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2763
MC5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0958	0.0879	0.0088	0.0885	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	**0.2810**
																					1.0000

8. Obtención de resultados

Con el procedimiento anterior, se obtuvieron los resultados que a continuación se detallan. Con la comparación homologada y la ponderación mediante el método basado en la entropía, el material mejor posicionado fue el MC3 y el peor, fue el MC4. Cuando la comparación fue directa, con el mismo método de ponderación, las posiciones fueron consistentes (Tabla 60).

Cuando la comparación fue homologada y se ponderaron equitativamente los cuatro impactos ambientales, el material mejor posicionado fue igualmente el MC3 y el peor, también coincidió con el MC4. En contraste, cuando se ponderaron con el mismo criterio los resultados de la comparación directa, el material mejor posicionado fue el MC5 y el peor el MC2 (Tabla 60).

Tabla 60

Resultados de la evaluación

Elaboración propia

	Ponderación método entropía		Ponderación método criterio	
Materiales Comparables	Comparación homologada	Comparación directa	Comparación homologada	Comparación directa
MC1	0.3147	0.2171	0.2396	0.1410
MC2	0.3059	0.2132	0.2242	**0.1275**
MC3	**0.3455**	**0.2326**	**0.2761**	0.1742
MC4	**0.0165**	**0.1650**	**0.1290**	0.2763
MC5	0.0174	0.1721	0.1311	**0.2810**
Diferencia	0.3290	0.0676	0.1470	0.1535

No se omite mencionar que, en el apartado correspondiente a la discusión de resultados, se incluye la interpretación de las consistencias y diferencias obtenidas.

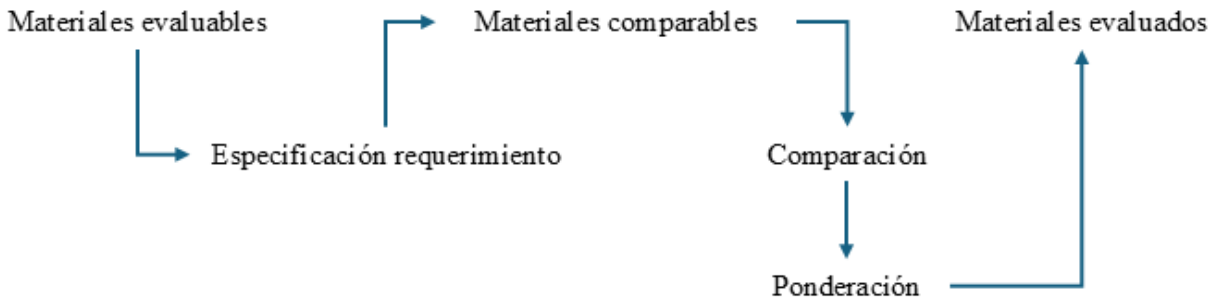
9. Diseño operativo de la App

El diseño operativo de la App se basó en un procedimiento para permitir evaluar los materiales evaluables que son todos aquellos que integran la base de datos que se construyó en el paso cinco de la metodología propuesta. De tal manera que una, vez que son especificadas las condiciones del requerimiento, éstos son considerados materiales comparables. A su vez, cuando son sometidos al proceso de comparación y ponderación detallados en el punto siete, los materiales se convierten en evaluados (Figura 29).

Figura 29

Proceso de evaluación de los materiales de construcción

Elaboración propia



Para efectos del diseño operativo de la App se realizó un análisis del proceso de evaluación. Como resultado se dividió el procedimiento en dos etapas: la primera para la obtención de comparables y, la segunda, para su evaluación. Esto permitió proponer la ruta y los medios de operación que a continuación se detalla (Figura 30).

En la primera etapa es necesario como primer paso elegir el material que se va a evaluar. Para ello se propuso hacer la selección de los materiales evaluables a través de un menú desplegable filtrado con base en la clasificación propuesta para la integración de la base de datos.

Una vez seleccionado el material evaluable, es preciso especificar las condiciones del requerimiento, cantidad, ubicaciones de producción, de uso y de deposición, así como la forma de colocación y demolición. Para poder hacerlo se consideraron distintos medios. Particularmente en lo que se refiere a la cantidad se propuso un espacio de texto libre, requerido con base en la unidad de medición de la etapa de colocación vinculada al filtro de los materiales evaluables.

Para continuar con las condiciones del requerimiento, en lo que respecta a las ubicaciones mencionadas en el párrafo anterior, lo que se propuso fue georreferenciarlas en un mapa interactivo, con el propósito de obtener las distancias que recorrerá un material durante su periodo de vida útil.

Finalmente, para delimitar la forma de colocación y demolición de los materiales de construcción, se decantó por la selección simple entre las opciones: manual o con maquinaria para ambos casos. Lo anterior para poder considerar los impactos derivados de la operación mecánica si los hubiera.

Con el procedimiento anterior se está en condiciones de estimar los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad que tiene el material de construcción seleccionado a lo largo de su periodo de vida útil. De manera que el material ya no es un evaluable sino un comparable, con lo que se agota la primera etapa del procedimiento.

Es importante mencionar que para continuar con la segunda etapa, se estableció como condición repetir el procedimiento de la obtención de materiales comparables hasta tener los que se quieren evaluar. El requisito mínimo para poder hacer la evaluación es de dos.

A continuación, en la segunda etapa, la de evaluación de los materiales comparables, se comparan los impactos de los materiales obtenidos con base en las consideraciones detalladas en la primera etapa. También, como parte de este proceso, se ponderan los resultados de la comparación para determinar el grado de cercanía que tienen los materiales con respecto al criterio de evaluación seleccionado.

Para la comparación de los impactos de los materiales se propuso que estuvieran ocultos pero disponibles tanto los correspondientes al periodo de vida útil (VU) como los homologados con base la vida útil máxima (VUM) detectada en la base. Lo anterior con el propósito de poder observar las diferencias existentes entre la comparación directa y la homologada.

Para la elección del tipo de comparación se propuso un medio de selección simple entre las opciones disponibles. Asimismo, se determinó que la información visible de este paso fueran los resultados de las comparaciones realizadas con base en el criterio detallado en el punto siete de la metodología, para cada uno de los impactos. De manera consideró identificar los resultados correspondientes a la condición óptima comparable (COC).

Como un medio de apoyo para visualizar los resultados de las comparaciones, se propuso de una gráfica circular que permita tanto la sobreposición como la puntualización de cada uno de los materiales comparables. Se estableció como requisito para este punto la transición libre entre la comparación directa y la homologada.

Para concluir con la etapa de evaluación se dispuso que se pudiera elegir entre los dos métodos de ponderación descritos en el punto siete. En el caso de la ponderación por el método basado en la entropía con la selección simple será suficiente para visualizar el peso calculado para los impactos considerados en la evaluación. Sin embargo, para la ponderación basada en el criterio se propuso el uso de cuadros de texto libre para poder especificarlos.

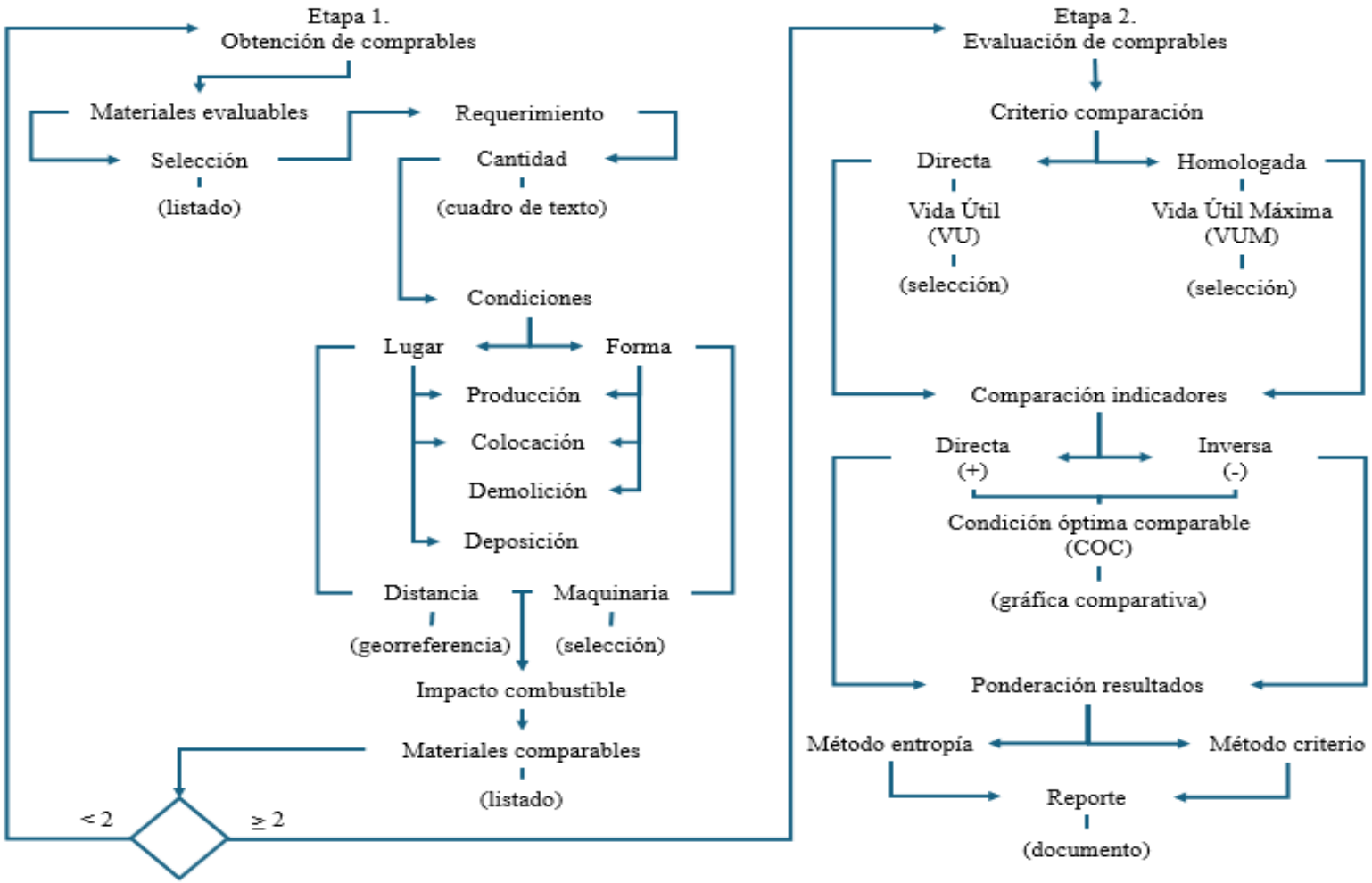
Se consideró pertinente mantener oculto el procedimiento para obtener los pesos de ponderación en ambos casos. El propósito de determinar los pesos es poder ordenar los materiales comparables con base en la aproximación a estos criterios de ponderación. Al igual que con las comparaciones directa y homologada, se requirió la transición libre entre ambos métodos.

Para concluir el diseño operativo de la App, como resultado del procedimiento, se propuso obtener reportes en los que se visualicen los impactos de los materiales. Se determinó como requisito indispensable poder descargarlos e imprimirlos.

Figura 30

Diseño operativo de la App

Elaboración propia



10. Programación de la App

Del diseño operativo de la App, se determinaron las siguientes condiciones para facilitar el uso de la aplicación y hacerla más amigable al usuario:

- Navegación horizontal. Derivado de que en la primera etapa, la conformación de comparables conlleva a un procedimiento cíclico en al menos dos ocasiones y de que, en la segunda etapa, se consideran dos posibilidades de comparación y dos de ponderación, el primer lineamiento fue una navegación horizontal a través de pestañas que permitieran las transiciones durante la ejecución.
- Pestañas con propósitos específicos. Con base en el procedimiento, se requirieron 5 pestañas, cada una con propósitos específicos. La primera, principalmente para la selección de materiales evaluables; la segunda, para las precisiones de las condiciones que convierten los evaluables en comparables; la tercera, para la concentración de comparables; la cuarta, para las comparaciones y; la quinta, para las ponderaciones, que permiten terminar el procedimiento y tener materiales evaluados.
- Vinculación con mapas de georreferencia. Debido a que la distancia es una variable que incide directamente en el resultado de los impactos, se solicitó estimar de forma ágil el recorrido que tienen los materiales de construcción durante su periodo de vida útil. Para ello, se solicitó la vinculación con mapas de georreferencia que permitieran hacerlo.
- Uso de gráficos. Finalmente, en virtud de las comparaciones, se solicitó visualizar gráficamente los impactos de los materiales de construcción de forma conjunta e individual.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Figura 31

Resultado gráfico de la comparación homologada

Elaboración propia

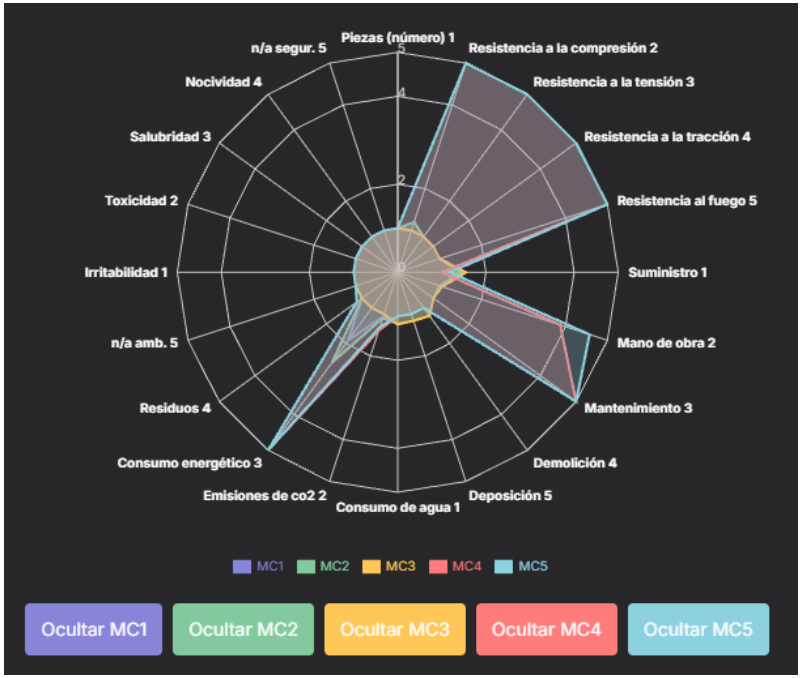
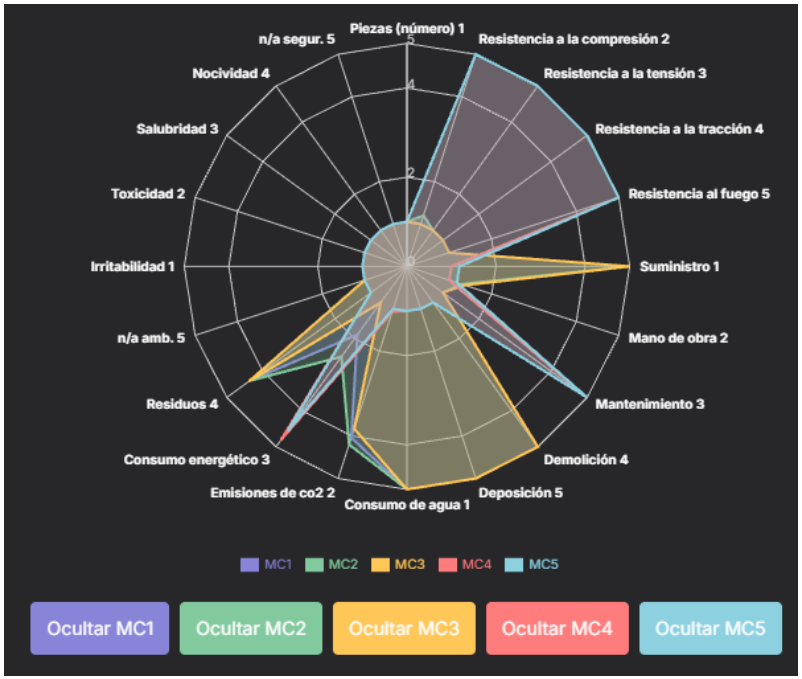


Figura 32

Resultado gráfico de la comparación directa

Elaboración propia



En repetidas ocasiones, se precisó que se realizaron dos tipos de comparación: la homologada y la directa. Ahora bien, en los resultados gráficos, la diferencia es visible. Mientras que en el primer tipo, la discrepancia de áreas es apreciable, en el segundo, éstas tienen una mayor similitud (Figuras 31 y 32). Se recomienda prestar atención al comparable MC3, debido a que en la comparación homologada es más cercano al ideal, en contraste con lo que sucede en la comparación directa.

La ponderación de aspectos, para las comparaciones anteriores, arrojó resultados propios. Así, tanto para la comparación homologada como para la directa, ponderados mediante el método basado en la entropía, el comparable MC3 ocupó el primer sitio y el material MC4 el último. En lo que respecta a la ponderación por criterio, centrada en aspectos ambientales, coincidió que para la comparación homologada, también fue el MC3, no obstante, en la comparación directa fue el MC5 (Tabla 61).

Es importante, prestar atención a la diferencia que existe entre la primera y la última posición de los resultados obtenidos, ya que ésta permite dimensionar la relevancia de decantarse por alguno. Es decir, en las comparaciones homologadas, existe mayor diferencia entre elegir el primero o el último, si se consideran aspectos técnicos y económicos, además de los ambientales. Entre las comparaciones directas, los resultados pueden, incluso ser distintos (Figura 33).

Ahora bien, aunque lo anterior permite hacer reflexiones entre la elección de varios materiales, para efectos de la discusión de resultados, se propone centrarse en las diferencias entre los materiales MC3 y MC5 que fueron los preponderantes. Así, en las Tablas 62 y 63, se muestran los impactos que tiene la elección de ambos, durante un mismo periodo de vida (cien años).

Tabla 61

Resultados de la evaluación

Elaboración propia

	Ponderación método entropía		Ponderación método criterio	
Materiales Comparables	Comparación homologada	Comparación directa	Comparación homologada	Comparación directa
MC1	0.3147	0.2171	0.2396	0.1410
MC2	0.3059	0.2132	0.2242	**0.1275**
MC3	**0.3455**	**0.2326**	**0.2761**	0.1742
MC4	**0.0165**	**0.1650**	**0.1290**	0.2763
MC5	0.0174	0.1721	0.1311	**0.2810**
Diferencia	0.3290	0.0676	0.1470	0.1535

Figura 33

Gráfica comparativa de los resultados de la evaluación

Elaboración propia

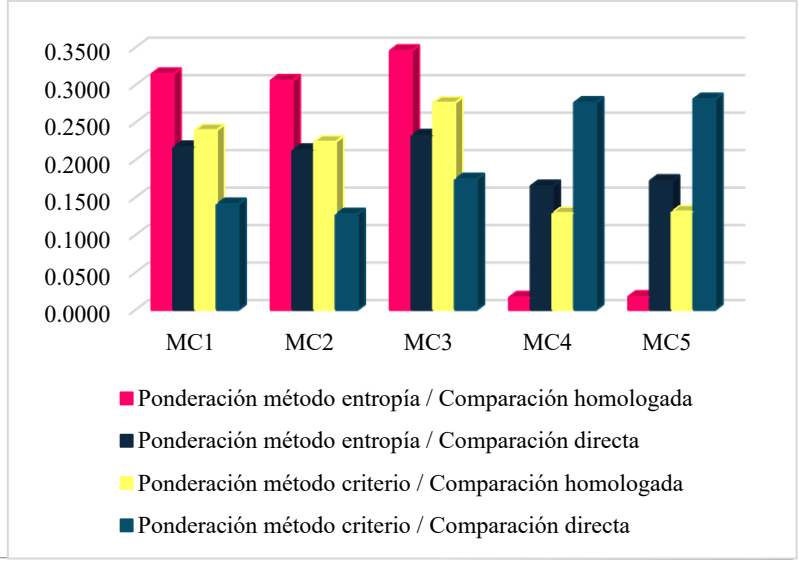


Tabla 62

Comparativa de impactos técnicos y económicos

Elaboración propia

ID	Piezas (número)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la tensión (kg/cm^2)	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia al fuego (°C)	Suministro ($)	Mano de obra ($)	Mantenimiento ($)	Demolición ($)	Deposición ($)
MC3	1.00	300.00	50.00	60.00	400.00	1,570,686.18	185,271.30	0.99	807,067.61	384,351.11
MC5	1.00	12.50	1.00	1.00	50.00	1,014,146.57	676,661.32	338,161.58	657,579.54	331,349.24
Diferencia	0.00	**287.50**	49.00	59.00	**350.00**	**556,539.61**	**-491,390.02**	**-338,160.59**	**149,488.07**	**53,001.87**

Tabla 63

Comparativa de impactos ambientales y de seguridad

Elaboración propia

ID	Consumo de agua (l)	Emisiones de CO_2 (kg CO_2)	Consumo energético (KWh)	Residuos (kg)	0	Irritabilidad (escala)	Toxicidad (escala)	Salubridad (escala)	Nocividad (escala)	0
MC3	452,566.32	233,896.60	118,209.05	896,139.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MC5	459,506.16	366,161.90	6,945,161.24	1,225,349.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Diferencia	**-6,939.84**	**-132,265.29**	**-6,826,952.18**	**-329,210.21**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En este sentido, elegir el comparable MC3, tiene la ventaja de tener mayor resistencia a la compresión y al fuego, entre lo más destacado técnicamente. En lo que respecta a lo económico, tiene la desventaja de ser más caro el suministro, la demolición y la deposición, sin embargo, en lo que respecta a la mano de obra y al mantenimiento es económicamente más barato.

Ahora bien, en términos ambientales, la diferencia entre la elección del MC3 y el MC5, es de 6,939.84 litros de agua; 132,265.29 kg de CO_2; 6,826,952.18 KWh de energía; y, -329,210.21 kg de residuos. Estos resultados corresponden al caso de estudio, sin embargo, si se multiplican por los inmuebles en los que esto puede ser replicable, el alcance es considerablemente mayor.

CONCLUSIONES

El trabajo de investigación realizado permitió tres cosas. La primera, concretar una serie de conclusiones distinguidas como: generales, de los materiales, de los factores, de los impactos y del caso de estudio. La segunda, proyectar el alcance de la metodología, mediante el uso de la herramienta digital conseguida. Y, la tercera, vislumbrar la apertura de nuevas líneas de investigación.

Conclusiones del trabajo de investigación

Generales

Se cumplió la hipótesis. La metodología propuesta, permitió evaluar de forma integral los impactos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad, obtenidos durante las distintas etapas del periodo de vida útil, de aquellos materiales considerados viables, para la edificación de elementos constructivos.

La programación de la metodología, en una herramienta digital, permitió sistematizar la operación de correlación de factores variables para obtener resultados ágiles. La App arroja una serie de reportes en los que no solo pueden dimensionarse los impactos, sino que es posible visualizar la incidencia de las decisiones en el resultado de la evaluación.

Por lo anterior, se infiere que mediante la simulación de escenarios en la App, podrán visualizarse los alcances de las decisiones, con respecto a la selección y uso de los materiales de construcción disponibles. De esta forma, cada resultado sumará a la información que debe considerarse desde la etapa proyectual.

La consideración de métodos para la actualización de costos, así como de factores de ajuste regional, permitirán replicar evaluaciones contextualizadas. Con esto, se garantiza la confiabilidad de los resultados en fechas subsecuentes, adecuados, además, a las condiciones de distintas ciudades en el país.

De los materiales

No existe un material técnica, económica y ambientalmente ideal para la construcción de elementos. Por ello, debe buscarse entre las alternativas viables, aquel que reúna la mayor cantidad de condiciones óptimas, o bien, que en su defecto, en conjunto se alejen lo menos posible de éstas.

De los factores

Factores contextuales como la cantidad, disponibilidad y durabilidad inciden en el impacto económico y ambiental

que tienen los materiales de construcción. Por tal motivo, poder anticiparlo puede contribuir a disminuirlo.

De los impactos

Los impactos de los materiales de construcción pueden clasificarse en iniciales y adicionales. En los primeros, correspondientes a la producción, los usuarios no tienen ningún tipo influencia. Por el contrario, en lo que respecta a los adicionales, las decisiones de diseño y de adquisición, el usuario puede tener un impacto considerable.

De la evaluación

La información que se genera mediante la evaluación de materiales de construcción, derivada de dos tipos de comparación y dos métodos de ponderación, revela tres cosas fundamentales. La primera, que los impactos no cambian, pues corresponden a la interacción de factores específicos del requerimiento, es decir, un material suministrado, colocado, mantenido, demolido y depuesto en las mismas condiciones, tendrá los mismos resultados, salvo los ajustes económicos regionales aplicables.

La segunda, que los aspectos ponderables no sólo definen el orden que ocupan los comparables, sino que la proporción que guardan los resultados ilustra la dispersión que existe entre ellos. Por último, la tercera, que comparar sin hacer las homologaciones pertinentes, puede conducir a resultados aparentemente adecuados, pero que, en un análisis más profundo, son incorrectos.

Del caso de estudio

Los resultados obtenidos de los impactos y de la evaluación, corresponden exclusivamente a las condiciones especificadas en el requerimiento para el caso de estudio. Es decir, son para los tipos de material puntualizados en las condiciones precisadas.

Así, el material favorecido, el concreto de mayor resistencia, en la etapa de producción tuvo los mayores impactos económicos y ambientales, en contraste con el resto de los comparables. Con respecto a los otros concretos, la distancia recorrida del lugar de producción al de colocación, fue fundamental para posicionarlo sobre ellos.

En el caso particular de la comparación con los asfaltos, los años de vida útil fueron medulares. Lo anterior, debido a que al considerar los impactos en un mismo periodo, los que inicialmente representaron mejores condiciones, al final, resultaron desfavorecidos.

No se omite mencionar que, como se comprobó durante el proceso, el efecto es sistémico. De manera que al realizar cualquier cambio, por ende, se obtendrán resultados diferentes.

Alcance del trabajo

Los resultados de la evaluación permitieron dimensionar las diferencias de impactos entre los materiales comparables. Ahora bien, proyectarlas sobre el déficit de 3,000 estaciones de servicio que se tienen estimadas, hace posible dimensionar el alcance del ejercicio para la construcción del elemento evaluado.

La metodología y la herramienta derivadas del trabajo de investigación, aunque en el reporte se centraron en los pavimentos, posibilitan evaluar el impacto de otros materiales de uso común, particularmente estructurales y envolventes. Lo anterior, hace que el alcance para el mismo caso de estudio pueda ser mayor.

Finalmente, si se considera que los materiales que se incluyeron, para el desarrollo de la App, son los que mayoritariamente se usan en la construcción de vivienda y, casi en la totalidad, en la de infraestructura y de equipamiento, el alcance es aún más representativo.

Nuevas líneas de investigación

El trabajo realizado, constituye una base para nuevas líneas de investigación. Por un lado, el mismo proceso, con la precisión puntual de propiedades, apertura la inclusión de materiales de distintos tipos y para diferentes usos. Por otro, las adecuaciones a la metodología para valorar las condiciones óptimas, sobre todo, de aquellas que dependen de las condiciones del contexto, es algo que se vislumbra con claridad. Por último, en lo que respecta a las ponderaciones, las adecuaciones metodológicas posibles, al considerar otros métodos de jerarquización, son evidencia de las múltiples derivaciones que esta investigación puede tener.

REFERENCIAS

Ahmad M.; Mohammed A., O. y Mohammed T. H., (2016). *Eco-material selection using fuzzy TOPSIS method.* International Journal of Stainable Engineering. Vol. 9, no. 5, p. 292–304. https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19397038.2016.1153168?needAccess=true

Arcelor Mittal, (2024). *Producción de Acero.* https://mexico.arcelormittal.com/operaciones/produccion-del-acero/#:~:text=El%20acero%20se%20fabrica%20a,el%20horno%20de%20arco%20el%C3%A9ctrico.

Barrero T,. J. E., 2025. *Diseño Metodológico de la Investigación Científica para Posgrado*. Bolivia. Q Fox Impresores.

BBVA Reserch, (2019). La digitalización del dinero. https://www.bbvaresearch.com/publicaciones/la-digitalizacion-del-dinero/

Bustamante M., S. L. (2022). *Evaluación comparativa de impacto ambiental aplicando la matriz de Conesa-Fernández, el método de Leopold y método de Batelle, en el proyecto de mejoramiento del servicio de transitabilidad de un sector del eje de integración vial norte, en los distritos de Yura y Cerro Colorado – Arequipa.* Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú. https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5800ace7-8ba3-4696-a11b-7a7f1dc902a0/content

Bustillo R., M. (2008). *Los recursos minerales y los materiales de construcción. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.* Universidad Complutense de Madrid. . https://scholar.google.com/scholar?start=10&q=+materiales+naturales+y+materiales+artificiales&hl=es&as_sdt=0,5

Callister, W. D. (2016). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales.* Reverté. https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (2021). *La Construcción en el Mundo.* Blog. https://cmicveracruzsur.org/blog/

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, (2025). *Acero en México.* https://canacero.org.mx/.

Cemex, (2024). *Cemex alcanza meta en reducción de emisiones siete años antes de lo propuesto por el sector en México.* https://www.cemexmexico.com/w/cemex-alcanza-meta-en-reduccion-de-emisiones-siete-anos-antes-que-el-sector.

Consejo Nacional de Población, (2024). *Reconstrucción y proyecciones de la población en los municipios de México* 1990-2040. https://www.gob.mx/conapo/documentos/reconstruccion-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-1990-2040

Cuéntame de México, (s.f.). *La Industria de la Construcción.* https://cuentame.inegi.org.mx/explora/economia/construccion/

Chérrez T., M.; Martínez G., J.; Peralta Z.,D. y Llanes C., E.A., (2018). *Métodos Multicriterio Aplicados en la Selección De Un Material para Discos de Freno.* Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología. p. 83-95. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2018000200083

Diario Oficial de la Federación, (2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-125-SSA1-2016*. https://dof.gob.mx/normasOficiales/6456/salud11_C/salud11_C.html

Di Maggio, D., (2025). *El planisferio del acero: los mayores países productores de acero del mundo.* Expometals Blog. https://www.expometals.net/es/news/el-planisferio-del-acero-los-mayores-paises-productores-de-acero-del-mundo

Ennomotive, (2024). *Producción de cemento: Cómo reducir las emisiones de CO2.* https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento/

Es Plásticos, (2022). *Plásticos en la construcción: aplicaciones para la eficiencia energética.* https://esplasticos.es/blog/plasticos-en-la-construccion-aplicaciones-para-la-eficiencia-energetica/#:~:text=Ventanas,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.

Fabricación Industrial (2024). *Cómo se fabrica el aluminio: proceso detallado*. https://fabricacionindustrial.com/como-se-fabrica-el-aluminio-proceso-detallado/

Fernández, J., (2006). *Material Architecture. Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction.* U.K.: Elsevier. https://archive.org/details/materialarchitec0000fern

Firma DC, (2021). *Partidas de obra.* [video]. https://www.youtube.com/watch?v=tDXvElQlAq4&t=210s

García, R., (2000). *El conocimiento en Construcción. Desde las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos.* Editorial Gedisa. Barcelona, España. Pp. 252. https://repositorio.esocite.la/653/1/Garcia2000ConocimientoEnConstruccion.pdf

Geodatos, (2025). https://www.geodatos.net/

Gobierno de la Ciudad de México (2013). *Manual de procedimientos técnicos para la valuación inmobiliaria.* https://www.finanzas.cdmx.gob.mx/transparencia/14/I/normatividad/manual_procedimientos_lineamientos_tecnicos_valuacion_inmobiliaria_2013_4trim_pf.pdf

Gobierno de la Ciudad de México, (2024). *Tabulador General de Precios Unitarios del Gobierno de la Ciudad de México para realizar los Estudios de Ajuste de Costos del mes de agosto 2024.* https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Tabulador%20GRAL%20de%20PRECIOS%20AGOSTO%202024/tabulador-general-de-precios-unitarios-del-gobierno-de-la-ciudad-de-mexico-agosto-2024.pdf

Gobierno de la Ciudad de México, (2026). *Tabulador General de Precios Unitarios del Gobierno de la Ciudad de México para realizar los Estudios de Ajuste de Costos del mes de marzo 2026.* tabulador-general-de-precios-unitarios-del-gobierno-de-la-ciudad-de-mexico-edicion-2026-marzo.pdf

Gobierno de México, (2024). *Cemento Portland, Normal o Moderado (Exc. Blanco, Incl. Coloreado Artificialmente).* Secretaría de Economía. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/portland-cement-moderate-normal-exc-white-incl-artificially-colored#:~:text=Intercambio%20comercial%20de%20M%C3%A9xico&text=En%202024%2C%20el%20intercambio%20comercial%20total%20de%20Cemento%20Portland%2C%20Normal,fue%20de%20US%24142M.

Gobierno de México, (2024). *Artículos de Hierro o Acero.* Secretaría de Economía. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/articles-of-iron-or-steel

Gobierno de México, (2024). *Plásticos y sus Manufacturas.* Secretaría de Economía. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/plastics-and-articles-thereof

Gobierno de México, (2024). *Vidrio y sus Manufacturas.* Secretaría de Economía. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/glass-and-glassware

Gobierno de México, (2020). *Las ciudades y metrópolis de México según su clasificación.* Sistema Urbano Nacional. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951560/SUN_2020_Parte2.pdf

González M., R., (2024). *Costos Paramétricos octubre 2024.* Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos. Pp. 119.

González M., R., (2025). *Costos Paramétricos enero 2025.* Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos. Pp. 119.

Google Maps, (2025). https://www.google.com.mx/mapshttps://www.google.com.mx/maps/@19.3420762,-99.5843439,14z/data=!5m1!1e4?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDkyMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Gouvernement de France, (2024). *Forum Mondial Bâtiments et Climat.* https://www.ecologie.gouv.fr/rendez-vous/forum-mondial-batiments-climat/english-version

Hernández Moreno, S., (2013). *Método para la selección de nuevos materiales, el caso de los cerámicos. Dirección de Difusión y Promoción de la Investigación y Estudios Avanzados* ed. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

Hernández Moreno, S., (2019). *Degradación y durabilidad de materiales y componentes constructivos.* México: UNAM. https://repositorio.fa.unam.mx/handle/123456789/19044

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2025). *Viviendas particulares habitadas por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2020.* https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Vivienda_Vivienda_01_4de68d98-e773-43eb-bea7-d239ce35524a

Josa C., I.; De la Fuente A., A, , Pons V., O. y Aguado de Cea, A., (2020). *Evaluación de la sostenibilidad de materiales para elementos estructurales de cubiertas*. p. 1-10 https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/345052/josa%20ache.pdf?sequence=1&isAllowed=y

León, G., H. (2024). *El 16 % de casas en Colima cuentan con techos de asbesto, pese a ser altamente cancerígeno*. Diario Avanzada. https://diarioavanzada.com.mx/?p=65658

Marx, K. (1890). *El capital, Crítica de la Economía Política. Tomo I. Proceso de Producción del Capital.* Editorial Progreso. https://www.marxists.org/espanol/m-e/capital/karl-marx-el-capital-tomo-i-editorial-progreso.pdf

Mehdi, H., V.; Muñoz, R., A. y Sanz, R., M.G., (2014). *Los materiales de construcción como fuente de enfermedad. Revisión actualizada de la literatura científica.* ReserchGate. https://www.researchgate.net/publication/331640057_Los_materiales_de_construccion_como_fuente_de_enfermedad_Revision_actualizada_de_la_literatura_cientifica

Mohammad M., A. B. y Ahmed H., (2018). *A Hybrid Multi-Criteria Decision Support System for Selecting the Most Sustainable Structural Material for a Multistory Building Construction.* MDPI, Journal, Sustenability. https://www.mdpi.com/search?q=A+Hybrid+Multi-Criteria+Decision+Support+System+for+Selecting+the+Most+Sustainable+Structural+Material+for+a+Multistory+Building+Construction+&journal=sustainability

Onexpo Nacional, (2024). *Análisis del sector gasolinero: ¿Podrá la CRE superar las emisiones de permisos del año pasado?*. https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/ANALISIS-DEL-SECTOR-GASOLINERO-PODRA-LA-CRE-SUPERA_ujtdb/

Onexpo Nacional, (2025). *La logística de combustibles en México sostiene un mercado de más de 4.000 millones de pesos diarios.* https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/LA-LOGISTICA-DE-COMBUSTIBLES-EN-MEXICO-SOSTIENE-UN_zwyWi/

Onexpo Nacional, (2022). Pemex quiere recuperar este año venta de combustibles en 2,000 gasolineras. https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/PEMEX-QUIERE-RECUPERAR-ESTE-ANO-VENTA-DE-COMBUSTIB_QYHL5/

Orzon, B., (2013). *Response of Construction Clients to Low-Carbon Building Regulations.* Journal of Construction Engineering and Management, 139(12), pp. 1-10. https://www.researchgate.net/publication/275182886_Response_of_Construction_Clients_to_Low-Carbon_Building_Regulations

Plastics Europe, (2025). *Plastics the Fast Facts 2025*. https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2025/

Poli Santafé, (s.f.). *Circuito productivo del plástico: fabricación y procesos*. https://polisantafe.com.ar/circuito-productivo-del-plastico/

Recovery Recycling Technology Worldwide, (2026). *Glass recycling – Current market trends.* https://www.recovery-worldwide.com/en/artikel/glass-recycling-current-market-trends-3248774.html

Sastre S., R. & Muñoz S., F., (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción.* Primera edición ed. Barcelona: Edicions UPC https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36874?show=full

Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano, (2017). *Código de Edificación de la Vivienda.* 3ª. Edición. Pp. 586. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/383811/C_digo_de_Eficaci_n_Vivienda_2017__SEDATU.pdf.

Sin Carbono, (2023). *Emisiones de las empresas embotelladoras*. https://sincarbono.io/emisiones-de-las-empresas-embotelladoras/

Souza, E. (2022). *¿Qué materiales de construcción pueden ser perjudiciales para nuestra salud?.* Revista Archdaily. https://www.archdaily.com/es/978072/que-materiales-de-construccion-pueden-ser-perjudiciales-para-nuestra-salud

United Nations Environment Programme (2023). *Building Materials And The Climate: Constructing A New Future.* https://www.unep.org/es/resources/informe/materiales-de-construccion-y-el-clima-construyendo-un-nuevo-futuro

United Nations Environment Programme (2024). *Emissions Gap Report 2024: No more hot air … please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments.* Nairobi. https://www.unep.org/es/resources/informe-sobre-la-brecha-de-emisiones-2024

United Nations Environment Programme, (2021). *New UNEP syntesis provides blueprints to urgently solve planetary emergencies and secure humanity's future.* https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/new-unep-synthesis-provides-blueprint-urgently-solve-planetary

United Nations Environment Programme (2024). *Not yet built for purpose: Global building sector emissions still high and rising*. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/construcciones-sin-propositos-sostenibles-las-emisiones#:~:text=El%20informe%20concluye%20que%20en,tercio%20de%20la%20demanda%20mundial

United Nations Environment Programme (2019). *We're gobbling up the Earth's resources at an unsustainable rate.* https://www.unep.org/news-and-stories/story/were-gobbling-earths-resources-unsustainable-rate

Vaca, C.; Martínez. J. y Leguísamo, J., (2020). *Selección de materiales mediante uso de multicriterio aplicado a un engranaje helicoidal de la caja de cambios de dmax 3.0. .* CienciAmérica Vol. 9 https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/171/382

Villegas F., N.; Ochoa A., S. R; Saldeño N., Y. N. y Sánchez C., E. H., (2022). *Métodos Un Análisis Multicriterio para la Toma De Decisiones en la Selección de una Mezcla Asfáltica en Pavimentos.* Revista Tecnura, Vol. 75, No. 25, p. 89-112. https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/18929/18634

Vitroglass, (2026). *Proceso del vidrio flotado*. https://glassed-vitroglazings-com.translate.goog/float-glass-process?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge

Worldometer, (2025). World population. https://www.worldometers.info/

Zero Emissions Objetive, (2020). *¿Cuánto CO2 emite el plástico?* https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/

FUENTES DE CONSULTA

Banco Mundial, (2022). *Medio ambiente. Panorama general*. https://www.bancomundial.org/es/topic/environment/overview

BBC News Mundo, (2021). *Los gráficos que muestran que más del 50% de las emisiones de CO2 ocurrieron en los últimos 30 años.* https://www.bbc.com/mundo/noticias-59013521

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, (2023). *Acero: Industria Sustentable en México.* https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/folleto_sustentabilidad.pdf

Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, (2025). *Radiografía de la Industria del Acero en México.* https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/MAPA_2025_VF.pdf

Cámara Nacional del Cemento, (2024). *Radiografía del Sector Cemento 2024*. https://canacem.org.mx/site/wp-content/uploads/2025/04/Mapa_canacem_v11-2.pdf

Coeto, O. (2024). *¿Qué tanto impacta la industria de la construcción en el medio ambiente?* Periódico El Gráfico. https://www.elgrafico.mx/al-dia/industria-construccion-medio-ambiente-contaminacion-materiales-ecologicos

Dmol, (s.f.). *¿Cómo calcular el volumen de escombro en una demolición?* https://dmol.es/calculo-volumen-escombro/

Escobar, S., (2025). *Consumo de concreto aumentaría 5% por obras de infraestructura, vivienda y nearshoring este año.* Periódico El Economista. https://www.eleconomista.com.mx/econohabitat/consumo-concreto-aumentaria-5-obras-infraestructura-vivienda-nearshoring-ano-20250131-744444.html

Eurofin, (2024). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV): qué es y para qué sirve.* https://www.eurofins-environment.es/es/analisis-de-ciclo-de-vida-que-es/

Gobierno de México, (2022). Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/693803/125_2022_Atlas_Nacional_Residuos_Solidos.pdf

Gobierno de México, (2020). *Compendio de Estadísticas Ambientales.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet6c66.html

Gobierno de México, (2024). *Reservas de crudo en México.* https://energia.conacyt.mx/planeas/hidrocarburos/reservas-crudo

Goedkoop, M., Effting, S. & Collington, M., (s.f.). *Anexo Eco-indicador 99. Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. Ministerio Holandés del Medio Ambiente.*

ISSUU, (2020). *Guía para la selección de materiales de construcción sostenibles.* https://issuu.com/intromac/docs/gu_a_degren#google_vignette

Naciones Unidas, (2023). *Datos y cifras*. https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures

Naciones Unidas, (2024). *La crisis climática - una carrera que podemos ganar.* https://www.un.org/es/un75/climate-crisis-race-we-can-win

Opportimes, (2025). *Los 15 principales productores de acero del mundo en 2024*. https://www.opportimes.com/industria/los-15-principales-productores-de-acero-del-mundo-en-2024/

Report Acero (2024). *Destaca México por producir acero con 38% menos emisiones que promedio mundial*. https://reportacero.com/destaca-mexico-por-producir-acero-con-38-menos-emisiones-que-promedio-mundial/#:~:text=23%20de%20abril%20de%202024.%2D%20De%20acuerdo,menos%20emisiones%20de%20CO2%20por%20tonelada%20de

Pangestu, M. E., (2022). *Los altos retornos de la naturaleza.* Banco Mundial Blog. https://blogs.worldbank.org/es/voices/los-altos-retornos-de-la-naturaleza

Reporte Índigo, (2019). *Lo bueno y lo malo de la autoconstrucción en México.* https://www.reporteindigo.com/indigonomics/lo-bueno-y-lo-malo-de-la-autoconstruccion-en-mexico/

Romero, J., (2024). *¿Cuánto diésel por kilómetro consume un camión?*. Webfleet. https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/conoces-el-consumo-de-diesel-de-un-camion-por-km/

Shamseldin, A. K. M., (2019). *Unifying some variables' effects among different environmental assessment methods of buildings.* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687404816000079

Termiun, (2019). *Seis cosas que no sabías sobre el acero.* https://www.ternium.com/es/novedades/noticias/datos-que-no-sabias-del-acero-ternium--20902794521

Walsh, N., P., (2020). *Datos reales sobre la arquitectura y la crisis climática.* Revista Archidaily. https://www.archdaily.mx/mx/931258/datos-reales-sobre-la-arquitectura-y-la-crisis-climatica.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Emisiones de gases de efecto invernadero por sector durante el 2022 7

Figura 2 Sectores de la industria de la construcción 8

Figura 3 Crecimiento de la industria de la construcción 9

Figura 4 Crecimiento poblacional de 1950 a 2025 10

Figura 5 Proyección de crecimiento poblacional para el 2100 15

Figura 6 Periodo de vida útil de los materiales de construcción 21

Figura 7 Producción de materiales de construcción 2022-2024 25

Figura 8 Emisiones de CO_2 de los materiales de construcción producidos 2022-2024 25

Figura 9 Principales países exportadores de cemento durante el año 2022 26

Figura 10 Principales países importadores de cemento durante el año 2022 26

Figura 11 Principales países exportadores de acero durante el año 2022 27

Figura 12 Principales países importadores de acero durante el año 2022 27

Figura 13 Principales países exportadores de vidrio durante el año 2022 28

Figura 14 Principales países importadores de vidrio durante el año 2022 28

Figura 15 Principales países exportadores de plástico durante el año 2022 28

Figura 16 Principales países importadores de plástico durante el año 2022 29

Figura 17 Principales países importadores de cemento a México durante el año 2022 31

Figura 18 Principales países importadores de acero a México durante el año 2022 31

Figura 19 Principales países importadores de vidrio a México durante el año 2022 32
Figura 20 Principales países importadores de plástico a México durante el año 2022 32
Figura 21 Comparativa de los costos de construcción en México 35
Figura 22 Integración de los sistemas 40
Figura 23 Interacción entre los sistemas y los subsistemas 41
Figura 24 Incidencia de los factores contextuales sobre los sistemas 43
Figura 25 Planteamiento gráfico del problema 45
Figura 26 Ubicación del caso de estudio 55
Figura 27 Planta, cortes y fachadas del caso de estudio 56
Figura 28 Base de datos de los materiales de construcción evaluables 63
Figura 29 Proceso de evaluación de los materiales de construcción 106
Figura 30 Diseño operativo de la App 109
Figura 31 Resultado gráfico de la comparación homologada 111
Figura 32 Resultado gráfico de la comparación directa 111
Figura 33 Gráfica comparativa de los resultados de la evaluación 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Incremento poblacional quinquenal de 1950 a 2025 9

Tabla 2 Incremento de la superficie urbana de 1990 a 2015 11

Tabla 3 Proyecciones de población y vivienda para el 2040 en México 16

Tabla 4 Estimación de la superficie de vivienda en México 16

Tabla 5 Distancia entre los principales exportadores e importadores de cemento durante el año 2022 29

Tabla 6 Distancia entre los principales exportadores e importadores de acero durante el año 2022 30

Tabla 7 Distancia entre los principales exportadores e importadores de vidrio y plástico durante el año 2022 30

Tabla 8 Distancia recorrida por los materiales importados a México durante el año 2022 33

Tabla 9 Indicadores por tipo de combustible 33

Tabla 10 Componentes tóxicos de los materiales de construcción 37

Tabla 11 Cuantificación de elementos constructivos y materiales de construcción del caso de estudio 58

Tabla 12 Delimitación de las propiedades técnicas evaluables 59

Tabla 13 Delimitación de las propiedades económicas evaluables 60

Tabla 14 Delimitación de las propiedades ambientales evaluables 60

Tabla 15 Delimitación de las propiedades de seguridad evaluables 61

Tabla 16 Representatividad del material y la mano de obra en los costos directos de construcción 65

Tabla 17 Cálculos de acero de refuerzo para base de datos 66

Tabla 18 Indicadores ambientales de los materiales de construcción 67
Tabla 19 Factores de ajuste regional (FAR) con respecto a la CDMX 68
Tabla 20 Desglose de armado de los elementos constructivos 69
Tabla 21 Cantidad de acero de refuerzo requerido por elemento constructivo 70
Tabla 22 Tipo de maquinaria empleada para manejo de los materiales de construcción 70
Tabla 23 Consumo de combustible por tipo de maquinaria 70
Tabla 24 Tipo de transporte empleados para los materiales de construcción 71
Tabla 25 Consumo combustible por tipo de transporte 71
Tabla 26 Volumen de expansión de los materiales de construcción 71
Tabla 27 Periodo de vida útil de los materiales de construcción 72
Tabla 28 Especificaciones generales del requerimiento 73
Tabla 29 Especificaciones generales del requerimiento 73
Tabla 30 Especificaciones generales del requerimiento 74
Tabla 31 Especificaciones generales del requerimiento 75
Tabla 32 Especificaciones generales del requerimiento 75
Tabla 33 Impactos técnicos de producción 76
Tabla 34 Impactos económicos de colocación 77
Tabla 35 Impactos económicos de mantenimiento 78
Tabla 36 Impactos económicos de demolición 78
Tabla 37 Impactos económicos de deposición 79
Tabla 38 Impactos ambientales de producción 80
Tabla 39 Impactos ambientales de colocación 80
Tabla 40 Impactos ambientales de mantenimiento 81

Tabla 41 Impactos ambientales de demolición 81
Tabla 42 Impactos ambientales de deposición 82
Tabla 43 Impactos de seguridad de producción 83
Tabla 44 Impactos técnicos y económicos totales directos 84
Tabla 45 Impactos ambientales y de seguridad totales directos 85
Tabla 46 Impactos técnicos y económicos del acero de refuerzo 86
Tabla 47 Impactos ambientales y de seguridad del acero de refuerzo 87
Tabla 48 Impactos técnicos y económicos totales directos ajustados (FAR) 88
Tabla 49 Impactos ambientales y de seguridad totales directos ajustados (FAR) 89
Tabla 50 Impactos técnicos y económicos totales homologados 91
Tabla 51 Impactos ambientales y de seguridad totales homologados 92
Tabla 52 Comparación homologada de impactos técnicos y económicos totales directos ajustados 94
Tabla 53 Comparación homologada de impactos ambientales y de seguridad totales directos ajustados 95
Tabla 54 Comparación directa de impactos técnicos y económicos totales homologados 97
Tabla 55 Comparación directa de impactos ambientales y de seguridad totales homologados 98
Tabla 56 Ponderación por método basado en la entropía de resultados de comparación homologada 100
Tabla 57 Ponderación por método basado en la entropía de resultados de comparación directa 101
Tabla 58 Ponderación por método basado en el criterio de resultados de comparación homologada 103

Tabla 59 Ponderación por método basado en el criterio de resultados de comparación directa 104

Tabla 60 Resultados de la evaluación 105

Tabla 61 Resultados de la evaluación 112

Tabla 62 Comparativa de impactos técnicos y económicas 113

Tabla 63 Comparativa de impactos ambientales y de seguridad 113

ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS

Figura A-1 Licencia de la App 140

Figura A-2 Base de datos de la App 141

Figura A-3 Programación de la App 142

Figura A-4 Página de inicio de la App 143

Figura A-5 Pestaña 1 de la App 144

Figura A-6 Pestaña 2 de la App 145

Figura A-7 Pestaña 2 de la App 146

Figura A-8 Pestaña 2 de la App 147

Figura A-9 Pestaña 2 de la App 147

Figura A-10 Pestaña 2 de la App 148

Figura A-11 Pestaña 2 de la App 149

Figura A-12 Pestaña 3 de la App 149

Figura A-13 Pestaña 3 de la App 149

Figura A-14 Pestaña 4 de la App 151

Figura A-15 Pestaña 4 de la App 151

Figura A-16 Pestaña 4 de la App 152

Figura A-17 Pestaña 4 de la App 152

Figura A-18 Pestaña 5 de la App 153

Figura A-19 Pestaña 5 de la App 153

Figura A-20 Reporte de resultados 154

Figura A-21 Pestaña 5 de la App 154

Figura A-22 Pestaña 5 de la App 155

Figura A-23 Reporte de resultados 155

ANEXO 1

Revisión de Evaluaciones Multicriterio

La revisión de literatura centrada en métodos de evaluación multicriterio, realizados en un periodo que comprende de diez años a la fecha, arrojó trabajos significativos al respecto. Es importante mencionar que no todos están directamente relacionados con la industria de la construcción, sin embargo, resultaron destacables por la forma en la que se evaluaron aspectos de distinta índole.

El primer trabajo destacable es el denominado *A Hybrid Multi-criteria Decision Support System for Selecting The Most Sustainable Structural Material for a Multistory Building Construction* (Mohammad, 2023), se realizó con el objetivo de desarrollar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para integrar las preferencias de todas las partes interesadas en un marco de DPI para la selección de los material estructural más sostenible desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental. Mediante la aplicación de dos métodos multicriterio -Fuzzy TOPSIS y Fuzzy VIKOR- la entropía de Shannon y funciones de pertenencia trapezoidal para obtener resultados, se desarrolló aplicación DSS para favorecer la toma de decisiones acerca del material estructural más sostenible.

El segundo trabajo, *Un Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones en la Selección de una Mezcla Asfáltica en Pavimentos* (Villegas, 2022) se basa en una metodología multicriterio para evaluar dos materiales asfalticos utilizados para la pavimentación. A través de la herramienta metodológica fua posible evaluar las características e indicadores asociados a las mezclas. La metodología permitió obtener un parámetro de sostenibilidad y evaluar las características de las mezclas con lo que se obtuvo el índice de sostenibilidad de los dos materiales estudiados. Entre lo destacable está que la metodología permitió la incorporación de variables e indicadores de naturaleza diversa.

E tercer trabajo destacable se denomina *Evaluación de Sostenibilidad de Diferentes Materiales para Elementos Estructurales de Cubiertas, Hormigón y Acero* (Josa, 2020), sobresale por emplear un método distinto, MIVES (Método de Valor Integrado para Evaluaciones Sostenibles), destinado a apoyar decisiones basadas en la teoría de la utilidad de múltiples atributos. Se evaluaron las alternativas para obtener la resolución óptima de los elementos estructurales hechos de diferentes materiales se ha evaluado considerando tres requisitos, seis criterios y doce indicadores. El valor del indicador fue posible por la agregación de la evaluación de

varios indicadores, criterios y requisitos diferentes elegidos previamente por las partes interesadas.

El cuarto, *Selección de Materiales Mediante uso de Multicriterio Aplicado a un Engranaje Helicoidal de la Caja de Cambios de Dmax 3.0.* (Vaca, 2020). Aunque se trata de un trabajo de la industria automotriz, su procedimiento es observable como referente. En él se aplican los Métodos Multicriterio (MCDM) para encontrar el material que cumpla las condiciones requeridas. Mediante el uso de los métodos de ENTROPÍA, TOPSIS, PROMETHEE II y ARAS pudo seleccionarse el material adecuado para un engranaje helicoidal de caja de cambios de la Dmax 3,0 con base en la consideración de criterios cuantitativos y cualitativos.

Un quinto trabajo llamado *Selección de un Material de Cambio de Fase mediante el Uso del Método de Selección Multicriterio para su Uso en un Sistema de Almacenamiento Térmico Automotriz* (Méndez, et. al., 2020) tuvo como objetivo determinar cuál era el mejor material para controlar constantemente la temperatura interior de un automóvil. Con base en la consideración de cinco factores técnicos, a través de los métodos VIKOR, TOPSIS, COPRAS-G PROMETHEE II, pudo concluirse que la selección multicriterio es una herramienta conduce a la mejor opción con base en los parámetros de con los parámetros de conductividad térmica, punto de fusión, calor latente, calor específico y densidad buscados en la aplicación determinada.

El sexto trabajo, *Métodos Multicriterio Aplicados en la Selección de un Material para Discos de Freno* (Chérrez, 2018), tuvo como propósito evaluar un material alterno en la fabricación de un disco de freno en vehículos livianos tipo SUV, a partir de los métodos multicriterio. Para ello, se consideraron cinco materiales candidatos para la aplicación deseada. De manera que mediante la aplicación de los métodos multicriterio (MCDM) empleados en esta investigación -ENTROPIA, COPRAS, VIKOR, ELECTRE, ARAS- permitieron la selección de un material para la fabricación de un disco de freno, incorporando criterios cuantitativos y cualitativos.

El último trabajo, *Eco-material Selection Using Fuzzy TOPSIS Method* (Ahmad, 2016), está enfocado a la selección de materiales ecológicos específicamente para el sector automotriz. Estos materiales tienen la particularidad de que algunos de los datos pueden ser inadecuados debido a la doble naturaleza cuantitativa y cualitativa de la selección. Los datos cualitativos generalmente se identifican en clases, en lugar de expresarse mediante valores numéricos exactos, de manera que los conceptos difusos en la toma de decisiones parezca atractiva para tratar este tipo de calificaciones. El resultado difuso-TOPSIS permitió clasificar los materiales candidatos de modo que cumpla con un conjunto de índices de sostenibilidad, sin comprometer sus requisitos funcionales o técnicos. El estudio reforzó la clasificación de los diferentes grados de acero como la mejor opción para los paneles de

carga de automóviles; explicando así las crecientes tendencias de aleación más fuertes.

ANEXO 2

A continuación se enlistan las principales propiedades de los sólidos, obtenidas de forma directa del libro Propiedades de los Materiales y Elementos de Construcción (Sastre & Muñoz, 2010).

Propiedades mecánicas:

- Deformabilidad: Capacidad de un material o elemento constructivo de deformarse (cambiar de forma). Normalmente esta deformación se produce al modificar el estado tensional del material o elemento (p. 64).
- Rigidez: Capacidad de un material o elemento constructivo de oponerse a una deformación. Normalmente esta deformación se produce al modificar (p. 65).
- Elasticidad: Capacidad de un material o elemento constructivo de contraerse, de dilatarse, de deformarse bajo un determinado esfuerzo (compresión, tracción, flexión, etc.) y recuperar su forma y su volumen primitivo cuando cesa esta acción (p. 69).
- Plasticidad: Capacidad de un material o elemento constructivo de contraerse, dilatarse, deformarse bajo un determinado esfuerzo (compresión, tracción, flexión, etc.) y conservar indefinidamente esta deformación cuando cesa la acción que la ha provocado (p. 69).
- Fluencia: Cualidad que tienen ciertos materiales (generalmente elásticos) de deformarse plásticamente, sin ningún aumento apreciable del esfuerzo al cual está sometido, cuando alcanza el límite de comportamiento elástico y se aproxima al punto de rotura (p. 70).
- Fragilidad: Propiedad de un material o elemento constructivo de romperse sin presentar, previamente, deformaciones aparentes (estas deformaciones existen). No tienen ninguna relación directa con su propia resistencia (p. 70).
- Fatiga: Disminución de la resistencia a la rotura de un material o elemento constructivo elástico sometido a tensiones de intensidad y signo variables (p. 71).
- Resistencia: 1. Capacidad de un material o elemento constructivo para soportar acciones externas o internas sin romperse, deformarse excesivamente o malograse. 2. Oposición que presenta un material o elemento constructivo de ser atravesado por cualquier otro agente externo (corriente eléctrica, vapor, calor, etc.) (p. 71).
- Tenacidad: Capacidad de un material o elemento constructivo para soportar esfuerzos de tracción,

flexión, estiramiento, etc., propia de los materiales que presentan una gran cohesión (p. 72).

- Cohesión: Fuerza de atracción que mantiene unidas a las moléculas o partículas de un cuerpo (p. 73).
- Resiliencia: Resistencia que presentan los sólidos al romperse por un choque (p. 75).
- Dureza: Cualidad que tienen ciertos materiales que presentan una fuerte resistencia a ser penetrados, rayados: que no ceden fácilmente a la presión (p. 75).
- Ductilidad: Capacidad que tienen ciertos materiales de poder ser estirados significativamente sin romperse. Es una propiedad típica de la mayoría de los metales (p. 76).
- Maleabilidad: Capacidad que tienen ciertos materiales de estirarse en láminas por la acción de un esfuerzo externo. Es una propiedad típica de la mayoría de los metales y aumenta, claramente, con la temperatura (p. 77).

Propiedades reológicas:

- Dilatación: Acción por la cual un material o elemento constructivo aumenta de volumen, se alarga, aumenta su espesor, sin aumentar su masa original (p. 79).
- Entumecimiento: Dilatación reversible de un material o elemento constructivo producida por el aumento de la humedad (p. 82).
- Retracción: Contracción no reversible de un material al perder parte del agua propia de su configuración (p. 83).
- Intumescencia: Aumento de volumen considerable causado por la acción del calor (y en ocasiones por la acción del agua) (p. 87).
- Difusibilidad térmica: Propiedad de un material que mide la propagación de los cambios de temperatura a través de un sólido (p. 102).

Propiedades aparentes

- Textura: Aspecto perceptivo visual, táctil, etc., de un cuerpo o una sustancia por la forma de cómo están dispuestas sus partículas (p. 132).
- Rugosidad: Cualidad de la superficie de un cuerpo que presenta pequeñas protuberancias, surcos, poros abiertos, etc. (p. 132).
- Pulidez: Cualidad de la superficie de un cuerpo que presenta una textura lisa y reluciente (p. 132).
- Color: Cualidad de los fenómenos visuales que depende del distinto efecto que produce sobre la retina los rayos luminosos de diferente longitud de onda (p. 135).
- Transparencia: Cualidad del material o elemento constructivo que deja pasar la luz de manera que se puede ver distintamente los objetos a través de ellos.

Que deja pasar, sin absorción, cierto tipo de radiación o fases de partículas (p. 136).

- Traslucidez: Cualidad del material o elemento constructivo que deja pasar la luz pero no ver distintamente los objetos a través suyo (p. 136).
- Opacidad: Cualidad del material o elemento constructivo que no deja pasar la luz a través suyo (p. 137).

Otras

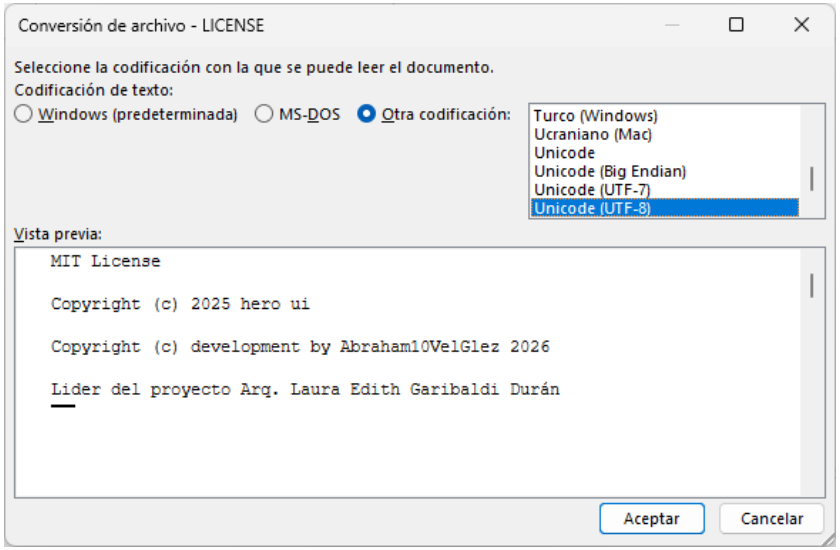
- Resistencia al fuego: Capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y/o del aislamiento térmico en los términos especificados en los ensayos normalizados correspondientes (p. 156).

ANEXO 3

Manual Técnico de la App

Figura A-1

Licencia de la App



Ing. Abraham Velázquez González (Figura A-1)

Lenguajes de programación:

- *PostgreSQL* y *SQL* para la base de datos (Figura A-2)
- *TypeScript, JavaScript y CSS* para el desarrollo de la App (Figura A-3)

Repositorio del Código Fuente:

GitHub.com

Servidor:

Hostinger.mx

Navegadores compatibles:

- Google Chrome
- Microsoft Edge
- Mozilla Firefox

Dirección:

https://arquitectsoft.vercel.app

Resolución recomendada:

1920x600 o superior

Figura A-2

Base de datos de la App

```
--
-- PostgreSQL database dump
--

-- Dumped from database version 17.10 (29ad1b7)
-- Dumped by pg_dump version 17.0

-- Started on 2026-08-12 10:50:42

SET statement_timeout = 0;
SET lock_timeout = 0;
SET idle_in_transaction_session_timeout = 0;
SET transaction_timeout = 0;
SET client_encoding = 'UTF8';
SET standard_conforming_strings = on;
SELECT pg_catalog.set_config('search_path', '', false);
SET check_function_bodies = false;
SET xmloption = content;
SET client_min_messages = warning;
SET row_security = off;

DROP DATABASE material;
--
-- TOC entry 3526 (class 1262 OID 16483)
-- Name: material; Type: DATABASE; Schema: -; Owner: neondb_owner
--

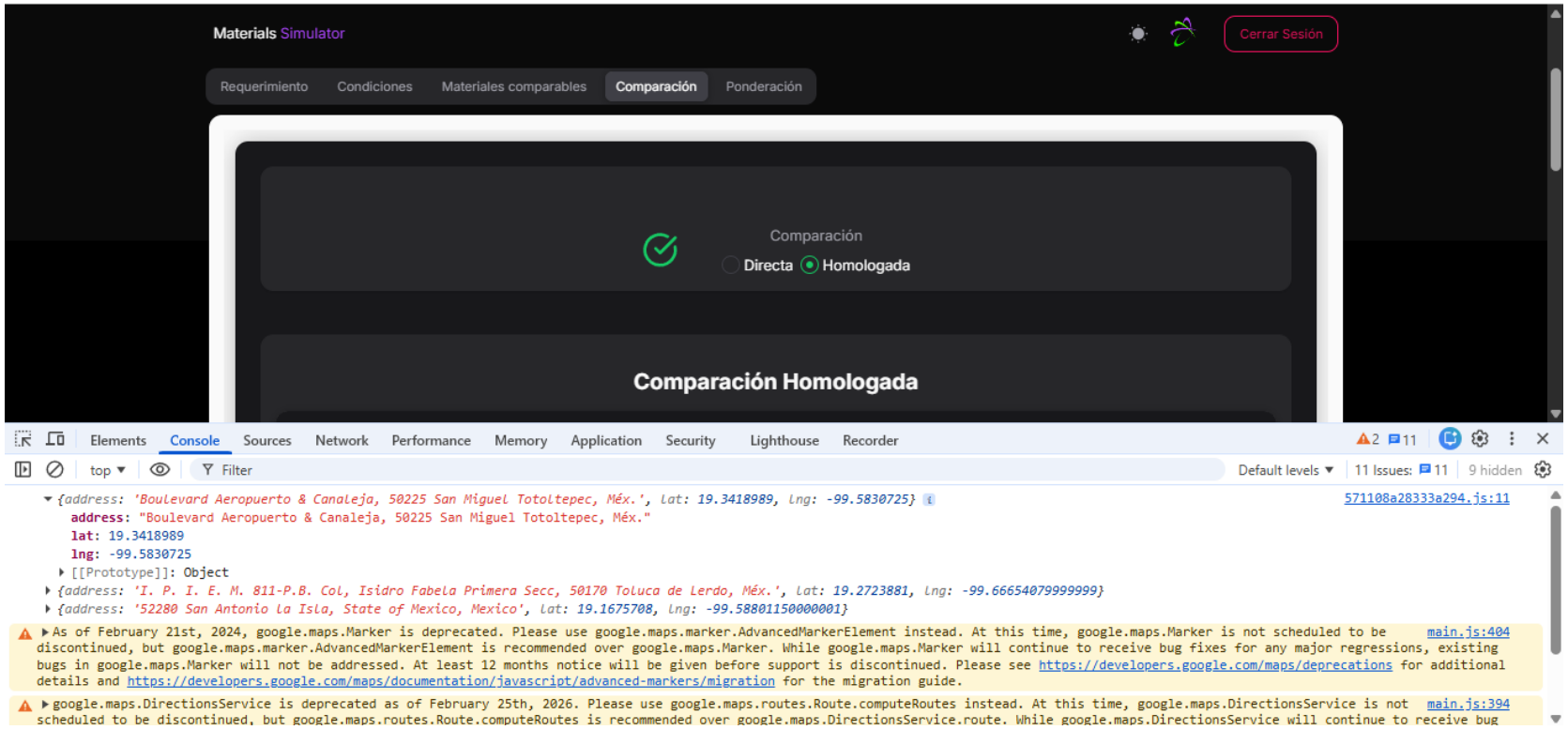
CREATE DATABASE material WITH TEMPLATE = template0 ENCODING = 'UTF8' LOCALE_PROVIDER = builtin LOCALE = 'C.UTF-8' BUILTIN_LOCALE = 'C.UTF-8';


ALTER DATABASE material OWNER TO neondb_owner;

\connect material
```

Figura A-3

Programación de la App



Manual de Usuario *Material Simulator*

Descripción

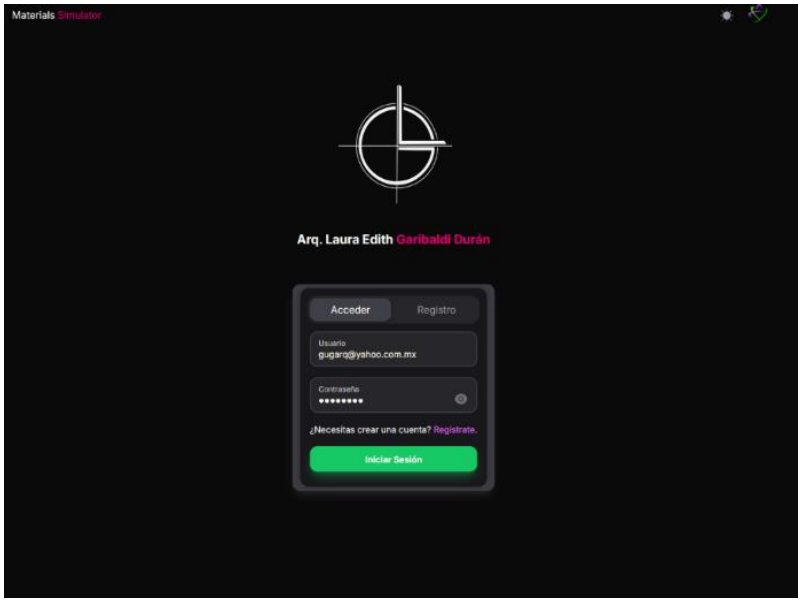
Material Simulator es una plataforma web diseñada para realizar análisis, cálculo y comparación de los impactos que tienen los materiales de construcción durante su periodo de vida útil. Mediante métodos de ponderación de aspectos basados en la medición de la entropía entre los datos, así como de la especificación del criterio de los usuarios, es posible determinar cuál es el mejor material.

Inicio de sesión

En los navegadores Google Chrome, Microsoft Edge o Mozilla Firefox, la dirección https://arquitectsoft.vercel.app conducirá a los usuarios a la página de inicio de la plataforma web. Si es la primera vez que se ingresa se tendrá que realizar un registro con los siguientes datos: nombre completo, correo electrónico y contraseña de acceso (Figura A-4). Si ya se tiene un registro previo se podrá ir directamente a la pestaña de acceso, en dónde se requerirá el correo electrónico y la contraseña previamente registradas para el inicio de sesión.

Figura A-4

Página de inicio de la App



Navegación general

Al iniciar la sesión, en la pantalla principal se visualizarán un menú distribuido en cinco pestañas denominadas: Requerimiento, Condiciones, Materiales comparables, Comparación y Ponderación. Es importante mencionar que, aunque la operación es secuencial, en las tres últimas se podrá alternar ilimitadamente.

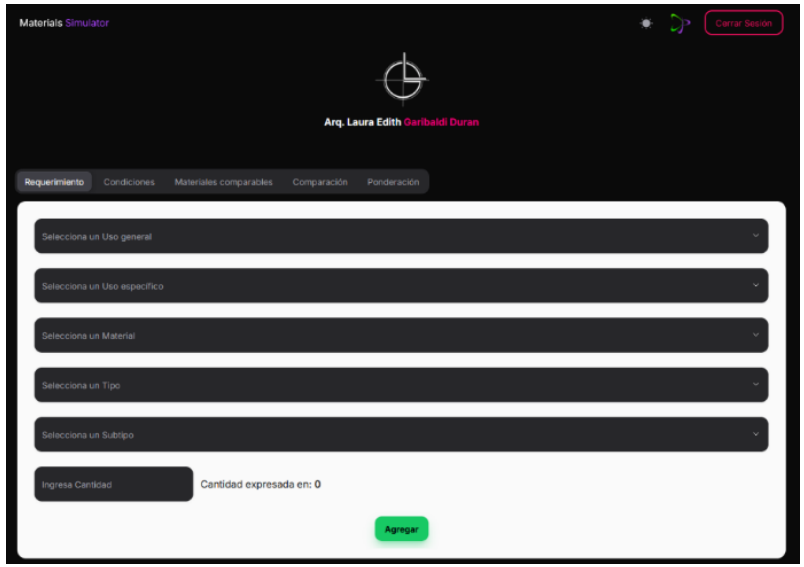
En la parte superior derecha se encontrará un menú dedicado exclusivamente al cambio de tema en el sitio que permitirá invertir los tonos de los colores, representado por los íconos de un sol y una luna. En la misma ubicación, estará el botón principal denominado "Cerrar sesión" que permitirá el abandono de la plataforma.

Pestaña 1

Para la obtención de los materiales comparables, en la pestaña de "Requerimiento" se tendrá que seleccionar de entre los combos, el uso general, el uso específico, el material, el tipo y el subtipo. Así mismo, se tendrá que especificar de forma manual la cantidad de material requerida cuantificada en metros lineales, cuadrados o cúbicos según sea el caso. Una vez completado el formulario, el botón de "Agregar" conducirá al usuario a la pestaña consecutiva (Figura A-5).

Figura A-5

Pestaña 1 de la App



Pestaña 2

En la pestaña de “Condiciones” se tendrán que capturar las ubicaciones correspondientes al lugar de uso, lugar de producción y lugar de deposición del material de construcción seleccionado para evaluarse. Para capturar el lugar de uso se deberá escribir sobre la caja de texto la dirección. Para el lugar de producción y de deposición, además de la forma descrita, se podrá hacer la búsqueda por nombre de las plantas de producción, así como de los rellenos sanitarios autorizados.

Los módulos de producción y de deposición tienen submódulos con distintas opciones de uso para agilizar las búsquedas. El submódulo de producción considera las siguientes:

- Fijar
- Seleccionar planta
- Agregar planta
- Eliminar planta

- Fijar / desfijar (Esta selección permite que quede fijo el texto de la caja, por lo que ya no será requerido en la captura de otro material comparable) (Figura A-6).

Figura A-6

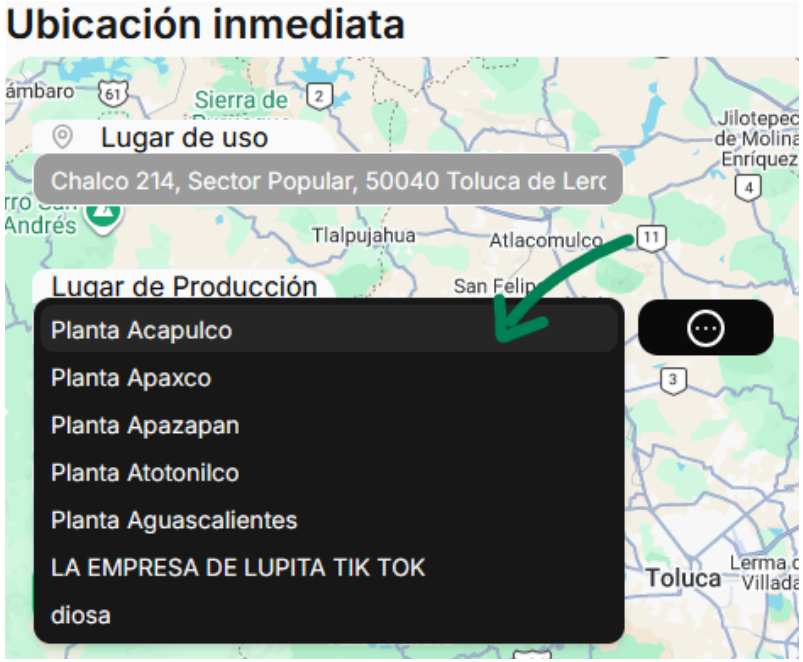
Pestaña 2 de la App



- Seleccionar planta / Dirección (Esta selección devuelve a la vista del mapa un combo de nombres de plantas de materiales registradas previamente. Al desactivarse la opción el botón regresará la caja de texto inicial para poder capturar de forma manual la dirección).
- Agregar planta (Con esta selección se despliega un formulario que permite agregar a un listado de plantas de producción una nueva. La búsqueda podrá

hacerse mediante la captura de la dirección o bien con el nombre de la planta, lo que permitirá visualizar el resultado en el mapa (Figura A-7). Se podrá asignar en el formulario un nombre de identificación elegido por el usuario. Para finalizar el proceso se tendrá que dar clic en el botón "Guardar").

Figura A-7
Pestaña 2 de la App



Por su parte el submódulo de lugar de deposición contiene las siguientes opciones:

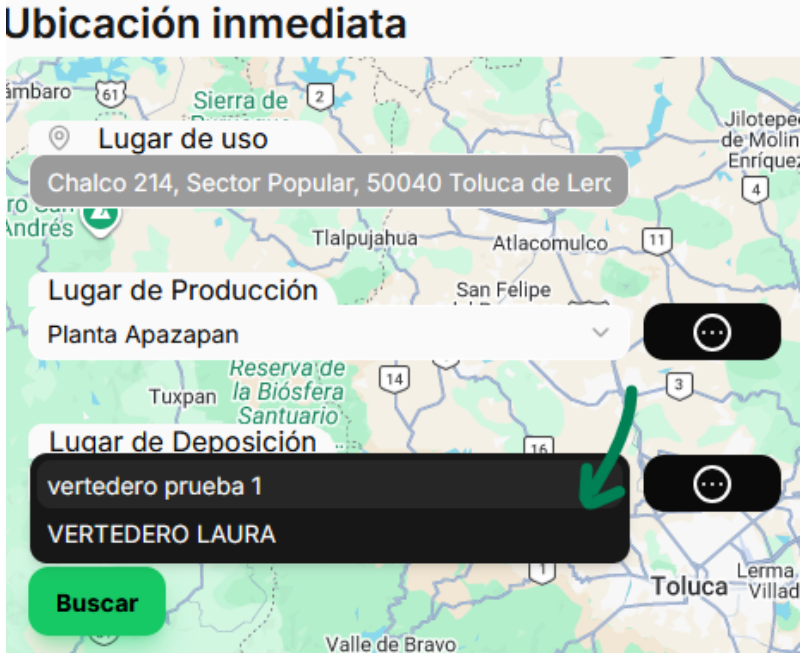
- Seleccionar planta
- Agregar planta
- Eliminar planta
- Seleccionar vertedero / Dirección normal (La selección devuelve a la vista del mapa un combo de nombres de vertedero para depositar residuos de materiales, al seleccionar nuevamente la opción regresa la caja de texto inicial para poder capturar de forma manual la dirección) (Figura A-8).

Figura A-8
Pestaña 2 de la App



- Agregar vertedero (Con la selección se despliega un formulario para agregar un nuevo vertedero ya sea por nombre o por dirección de ubicación, en este caso, también se puede asignar un nombre de identificación. Con un clic sobre el botón "Guardar" quedará el registro disponible en la lista que aparece sobre el mapa) (Figura A-9).

Figura A-9
Pestaña 2 de la App

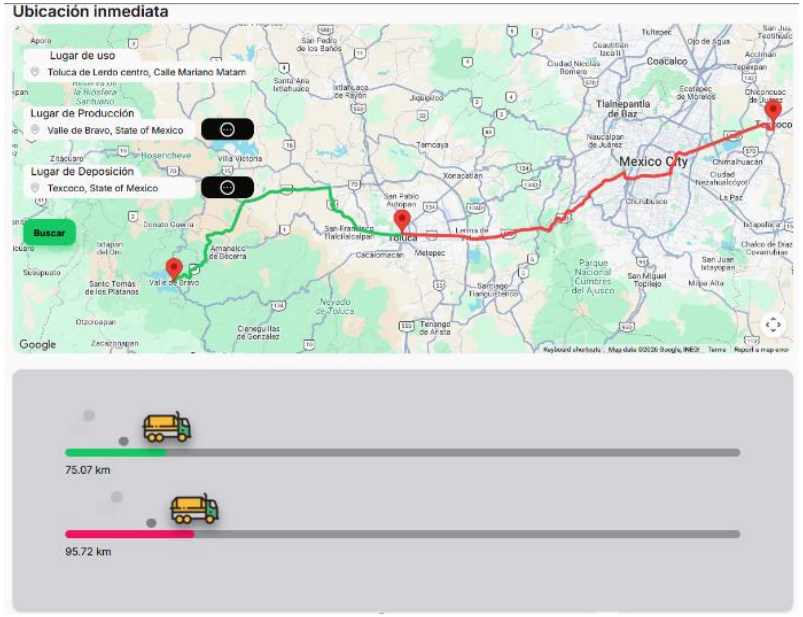


- Eliminar vertedero (Con la selección se despliega un formulario con la lista de todos los vertederos registrados previamente. Para eliminarlos se tendrá que seleccionar el deseado y dar un clic sobre el botón “Eliminar”).

Una vez capturadas las ubicaciones en los cuadros de texto, con el botón de “Buscar” éstas aparecerán identificadas en el mapa, además se trazará en color verde la ruta del lugar de producción al de uso y en rojo la del lugar de uso al de deposición. Además del trazo, en la parte inferior del mapa se desplazarán dos íconos con base en la distancia estimada por la ruta trazada y aparecerá el dato expresado en kilómetros para ambos casos (Figura A-10).

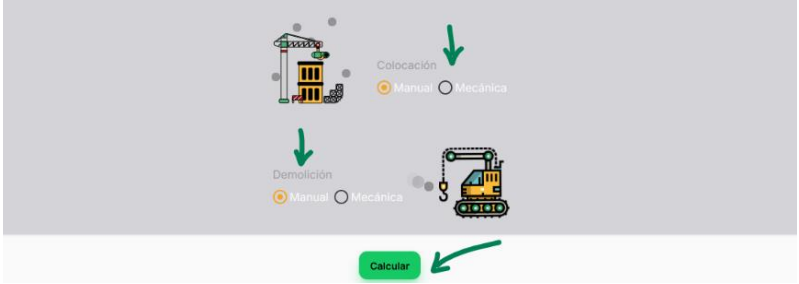
Figura A-10

Pestaña 2 de la App



Por último, en la parte inferior de la pestaña “Condiciones” se encontrará un menú de selección para las formas de colocación y demolición en donde se tendrá que elegir entre las opciones de “Manual” o “Mecánica”. Con esta selección se concluye el apartado. Para continuar con el proceso, se tendrá que oprimir el botón “Calcular” que conducirá al usuario a la pestaña siguiente (Figura A-11).

Figura A-11
Pestaña 2 de la App



Pestaña 3

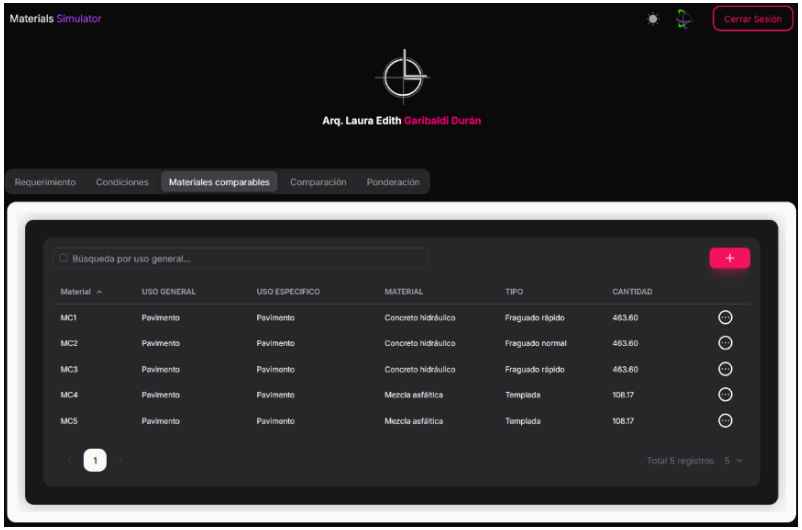
En la pestaña de “Materiales comparables” al concluir los pasos anteriores aparecerá un listado con las generalidades del material comparable cargado. Para cada uno de los materiales estará disponible la opción “Editar” que conducirá a las secciones previas para hacer las modificaciones pertinentes y “Eliminar” que borrará el registro del comparable (Figura A-12).

FiguraA-12
Pestaña 3 de la App



En la parte superior derecha se encontrará el botón “+”, con el que se podrá iniciar nuevamente el proceso descrito para agregar a la lista un nuevo comparable (Figura A-13). Es importante mencionar que en la pestaña “Requerimiento” sólo estarán disponibles para la selección aquellos correspondientes al uso general especificado para el primer material, por ello, para los materiales subsecuentes el combo estará inactivo.

Figura A-13
Pestaña 3 de la App



También, en la pestaña “Condiciones” de forma automática, estará inactivo el cuadro de texto correspondiente al lugar de uso en el mapa de ubicaciones. Solamente en los casos en los que se haya dejado fijo el lugar de producción en el primer comparable, el campo correspondiente estará bloqueado durante todo el ejercicio de evaluación. De lo contrario, se tendrá que llenar tal como el del lugar de deposición, con las opciones disponibles descritas previamente.

Pestaña 4

En la pestaña de “Comparación”, se encontrarán los submódulos de “Comparación Directa” y “Comparación Homologada”. Como requisito de diseño, el segundo estará activo de forma automática, debido a que es el tipo de comparación recomendada.

Con la selección del submódulo deseado, la aplicación tomará como base de comparación, para el primer caso, los impactos directos obtenidos para los comparables, mientras que, para el segundo, los impactos homologados con base en la vida útil máxima detectada. Es importante aclarar que estos datos se mostrarán al final de la evaluación, no durante el proceso.

En la parte superior del módulo, se visualizarán los resultados de la comparación de los indicadores seleccionados, comparados con respecto a la condición óptima. Aparecerán marcados con color, los materiales que la poseen para cada uno de los rubros. De esta forma, los resultados siempre serán superiores a 1.00.

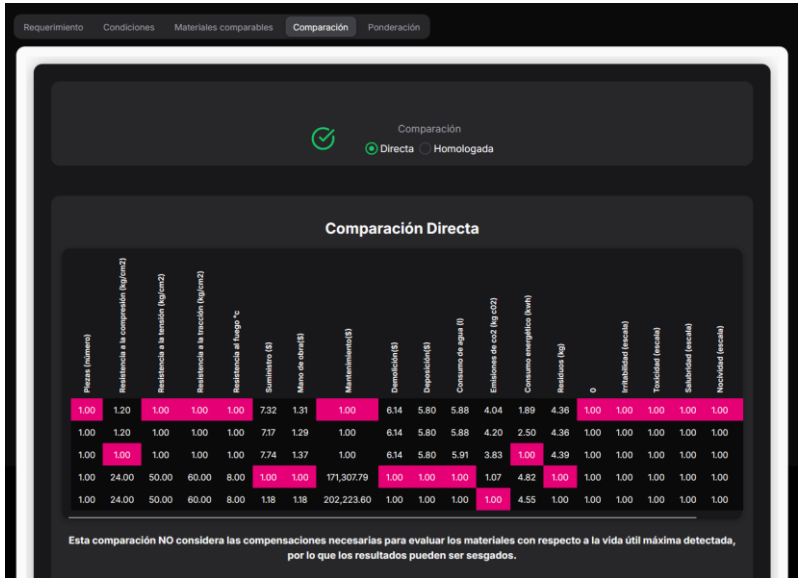
En la parte inferior, se encontrará una gráfica comparativa en la que se registrarán los resultados obtenidos de la comparación elegida. Es importante precisar que, como requisito de diseño, el límite gráfico es de cinco unidades para facilitar su apreciación. Por ello, sin importar cuánto puedan exceder los resultados, todos los que superen el límite se graficarán en este punto.

En la gráfica, cada uno de los materiales comparables estará identificado con un color. De forma automática, estarán visibles los comparables mediante la superposición de las figuras obtenidas, sin embargo, en la parte inferior se encontrarán botones identificados con los colores de los comparables, que permitirán activar o desactivar su visualización. Al ubicar el cursor sobre alguno de los botones aparecerá el área que conforma la figura.

Comparación directa

En el caso de haber elegido esta comparación aparecerá la leyenda de advertencia siguiente: “Esta comparación NO considera las compensaciones necesarias para evaluar los materiales con respecto a la vida útil máxima detectada, por lo que los resultados pueden ser sesgados” (Figura A-14).

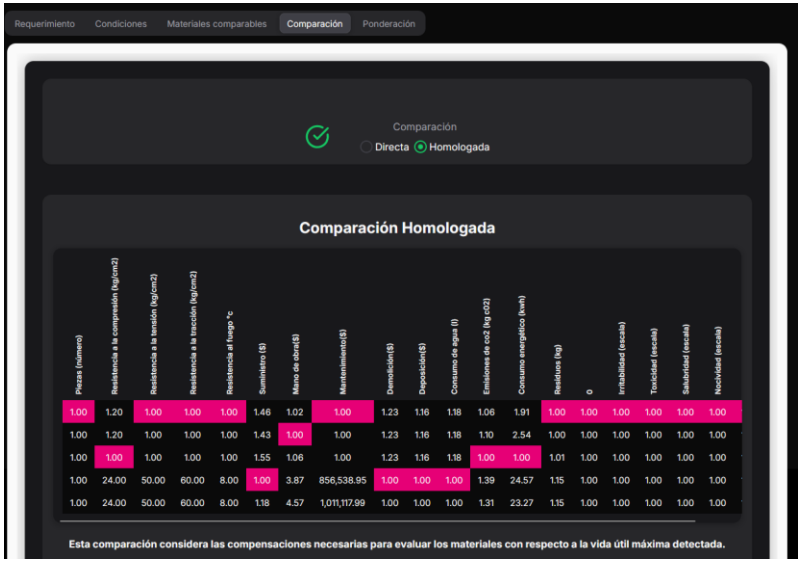
FiguraA-14
Pestaña 4 de la App



Comparación homologada

En el caso de haber elegido esta comparación aparecerá la leyenda de advertencia siguiente: “Esta comparación considera las compensaciones necesarias para evaluar los materiales con respecto a la vida útil máxima detectada” (Figura A-15).

Figura A-15
Pestaña 4 de la App



Se podrá alternar ilimitadamente entre cada una de las comparaciones. Al respecto, es importante precisar que el tipo de comparación que permanezca activo cuando se transite a la pestaña final, será sobre el cual se realice el proceso de ponderación (Figuras A-16 y A-17).

Figura A-16

Pestaña 4 de la App

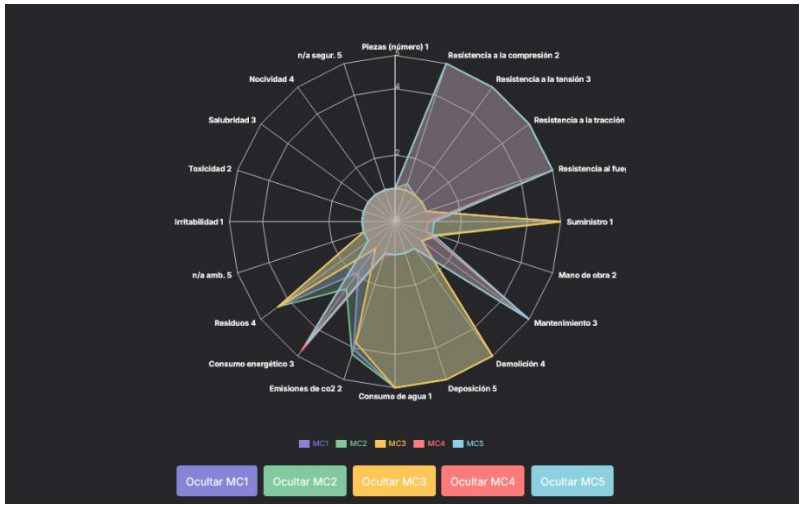
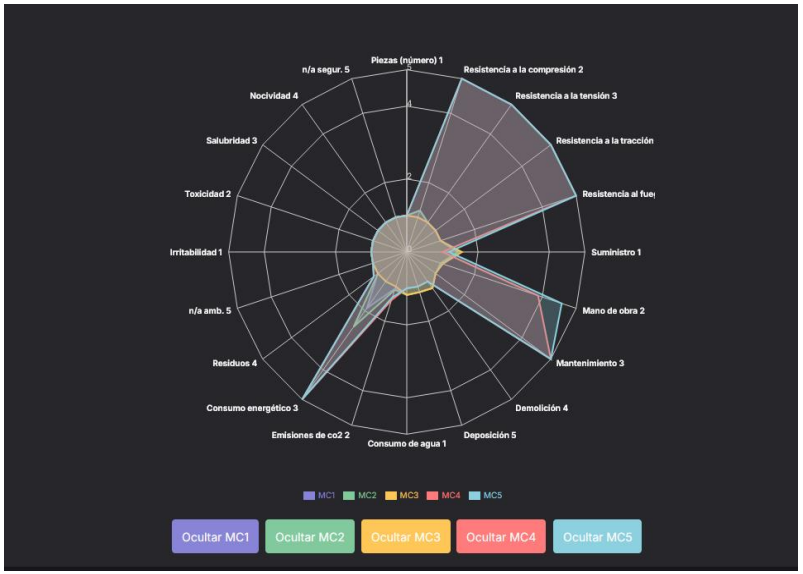


Figura A-17

Pestaña 4 de la App



Pestaña 5

En la pestaña de “Ponderación, se encontrarán los submódulos de “Método” y “Criterio”. Como requisito de diseño, el primero estará activo de forma automática. Con la selección del submódulo deseado, la aplicación tomará como criterio de ponderación, para el primer caso, la dispersión de los resultados obtenidos de la comparación, mientras que, para el segundo, la ponderación que especifique el usuario.

Evaluación por método

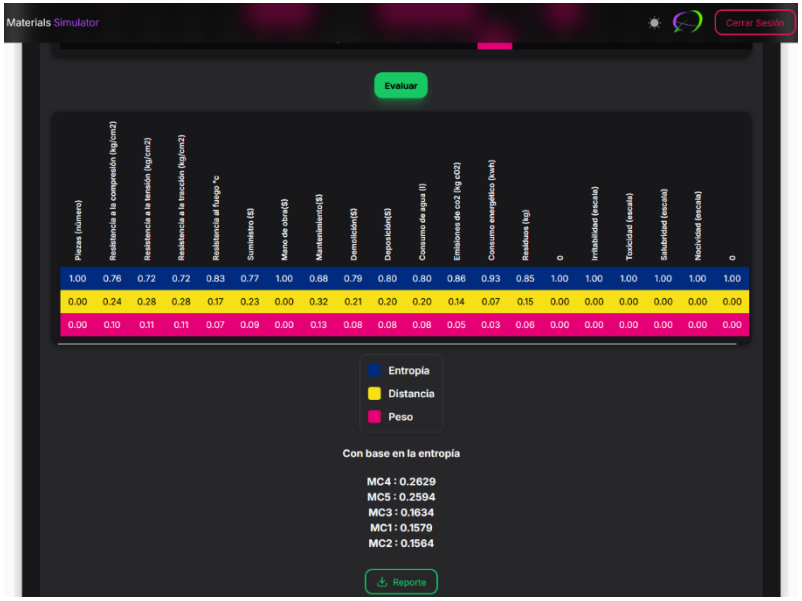
En la parte superior del módulo, permanecerán los resultados de la comparación de los indicadores seleccionados, comparados con respecto a la condición óptima. Al seleccionar el botón “Evaluar”, ubicado en la parte inmediata posterior, se visualizará la entropía calculada para cada uno de los rubros, así como el orden de ponderación de los comparables con base en ella (Figura A-18).

Figura A-18
Pestaña 5 de la App



En la parte inferior de la pantalla, se encontrará el botón con el ícono de descarga del reporte. Al activarlo, en una pantalla adicional, aparecerá un formulario con los impactos obtenidos a lo largo del periodo de vida útil de cada uno de los materiales comparables, ordenados con base en los resultados obtenidos de la entropía (Figura A-19).

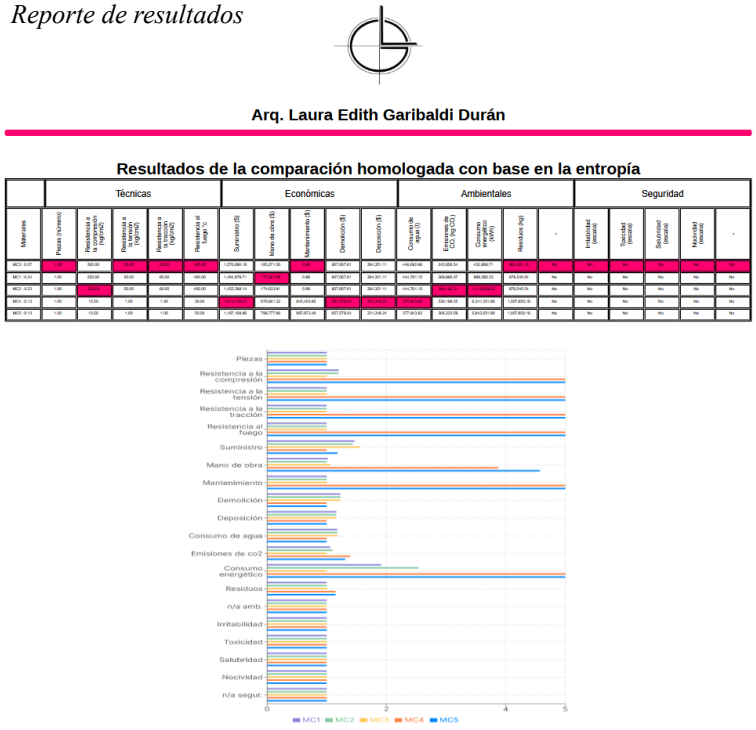
Figura A-19
Pestaña 5 de la App



Derivado de las posibles combinaciones, el encabezado del reporte especificará el tipo de comparación y de ponderación del que se desprende. Además de los resultados, se incluirá una gráfica comparativa de los materiales por rubro (Figura A-20).

Figura A-20

Reporte de resultados



Evaluación por criterio

Al seleccionar la evaluación por criterio, al igual que en el otro tipo, permanecerán visibles los resultados de la comparación seleccionada (Figura A-21). A diferencia del método, en la parte inferior se encontrarán habilitados cuadros de texto para especificar el porcentaje de ponderación deseado para cada uno de los rubros. Como requisito de diseño, será necesario repartir el 100% entre los que se quieran evaluar (Figura A-22).

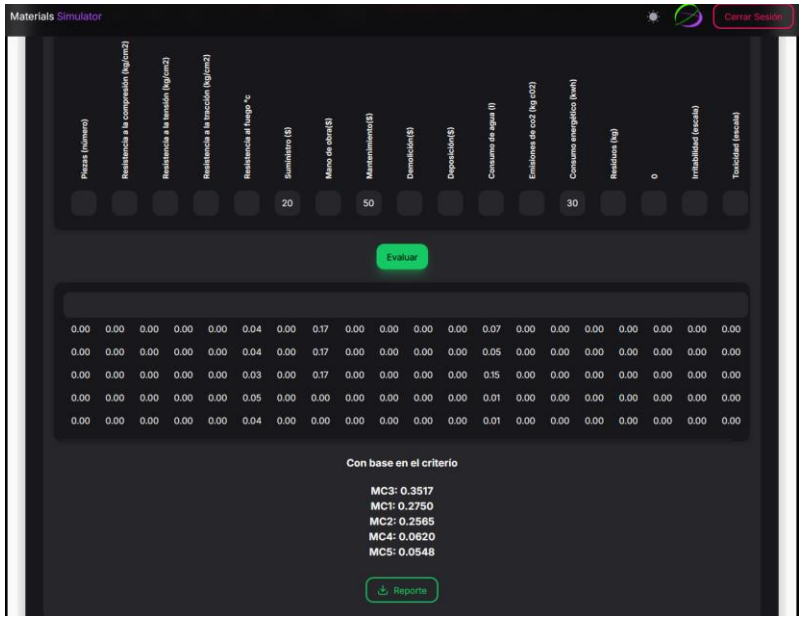
Figura A-21

Pestaña 5 de la App



Figura A-22

Pestaña 5 de la App

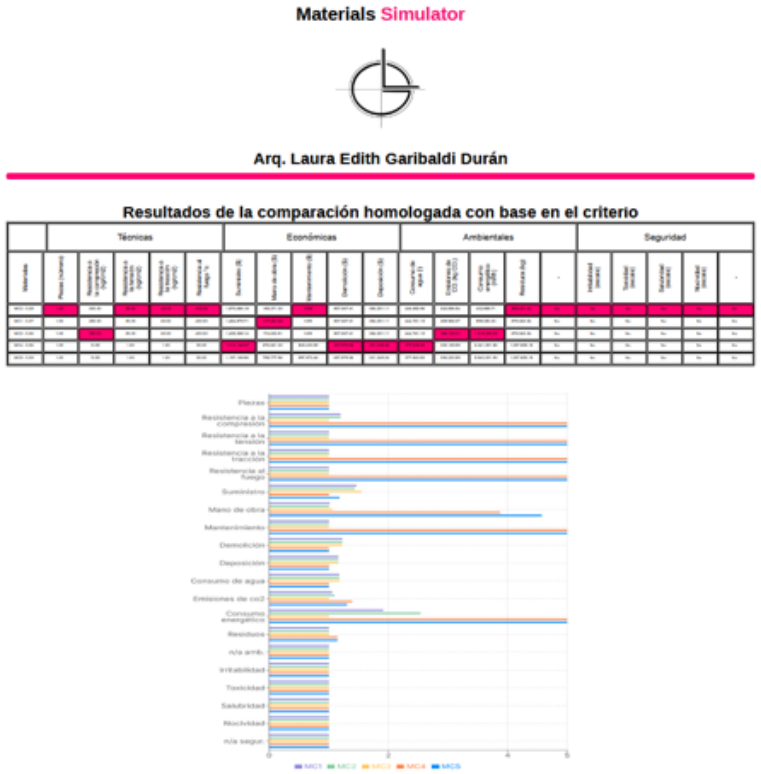


Una vez especificados, con el botón de “Evaluar”, aparecerá la ponderación aplicada a los rubros, al mismo tiempo, el orden de los materiales comparables en función de ésta. De igual forma que en la ponderación anterior, en la parte inferior de la pantalla, se encontrará el botón con el ícono de descarga del reporte que, al seleccionarlo, enviará el formulario correspondiente al tipo de comparación elegido ponderado por criterio.

La alternancia entre las dos últimas pestañas permitirá descargar, entonces, cuatro reportes: el de evaluación por método para la comparación directa y homologada, así como el de evaluación por método para las mismas comparaciones. Los reportes estarán en un formato PDF que podrá ser guardado o impreso para consulta (Figura A-23).

FiguraA-23

Reporte de resultados



Por último, es importante mencionar que el ejercicio de evaluación estará disponible mientras la sesión no haya sido cerrada. La activación del botón para hacerlo limpiará el formulario, para el siguiente inicio de sesión. Con ello, se podrá empezar un nuevo ejercicio de evaluación.