



# Edificación sustentable y emisiones de CO<sub>2</sub>: análisis del transporte de arena en Tijuana y Tecate, B.C.

## *Sustainable building and CO<sub>2</sub> emissions: analysis of the transport of sand in Tijuana and Tecate, B.C.*

Álvarez-Andrade Adriana , Ravelo-García Alicia 

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

**Autor de correspondencia:** Adriana Álvarez Andrade, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México. E-mail: [adrianaa@uabc.edu.mx](mailto:adrianaa@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0002-9977-2056.

**Recibido:** 15 de Septiembre del 2019      **Aceptado:** 30 de Noviembre del 2019      **Publicado:** 15 de Enero del 2020

**Resumen.** - Las arenas son el segundo recurso natural más consumido en el planeta después del agua dulce y superan a los combustibles fósiles y la biomasa. Actualmente se extraen 50 mil millones de toneladas al año, o un promedio de 18 kg por persona al día [1]. Aunque el enfoque del ciclo de vida de los materiales requiere que se cuantifiquen los costos ambientales del proceso constructivo en todas sus etapas, los esfuerzos de agencias de la ONU y organismos internacionales por contabilizar las emisiones de CO<sub>2</sub> no han considerado la contribución de los GEI durante el transporte de materiales como la grava y arena y, si lo hacen, los datos están agregados en otros rubros. Más del 60% de los agregados pétreos producidos en Baja California provienen del cauce del arroyo Las Palmas que corre entre Tijuana y Tecate, B.C.; por lo que los efectos ambientales regionales son importantes. Este estudio tuvo por objetivo estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte de arena utilizando el método de nivel 1 del IPCC y una técnica de aforo vehicular. Se analizó el acarreo desde la zona de extracción, en el arroyo Las Palmas, hasta una estación de transferencia ubicada en el arroyo Alamar. Se identificaron dieciséis tipos de automotores. Para un recorrido de 75 km, se calculó una emisión de 77.7 kg de CO<sub>2</sub>. Se encontraron emisiones desde 0.8 hasta 8.7 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de arena transportada; o su volumen equivalente de 1.3 a 13.9 kg/m<sup>3</sup>; por lo que los automotores más eficientes en términos de emisiones fueron los de mayor capacidad de carga. La remoción de arenas de los cauces de ríos, además de generar impactos hídricos también contribuye al cambio climático debido al impacto acumulativo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que se enfatiza en la necesidad de políticas para promover medios de transporte más eficientes para el traslado de materias primas.

**Palabras clave:** Gases de efecto invernadero; Análisis de ciclo de vida; Extracción de pétreos; Dióxido de carbono; Evaluación del impacto ambiental.

**Abstract.** – The sands are the second most resources extracted and traded by volume after water and outperform fossil fuels and biomass. Currently, 50 billion tons are extracted per year, or an average of 18 kg per person per day [1]. Although the life cycle approach of materials requires that the environmental costs of the construction process be quantified at all stages, the efforts of UN agencies and international organizations to account for CO<sub>2</sub> emissions have not considered the contribution of GHGs during the transport of materials such as gravel and sand and, if they do, the data is aggregated in other topics. More than 60% of the aggregates produced in Baja California come from the Las Palmas river that runs along the municipalities of Tijuana and Tecate, B.C. Hence the regional environmental effects are important. This study aimed to estimate CO<sub>2</sub> emissions during sand transport using the IPCC level 1 method and vehicular counting techniques. Sand transportation from the extraction zone, in the Las Palmas river, to a transfer station located in the Alamar river was analyzed. Sixteen types of vehicles were identified. For a route of 75 km, an emission of 77.7 kg of CO<sub>2</sub> was calculated. Emissions from 0.8 to 8.7 kg of CO<sub>2</sub> were found per ton of sand transported; or its equivalent volume of 1.3 to 13.9 kg / m<sup>3</sup>; Therefore, the most efficient vehicles in terms of emissions were those with the greatest load capacity. The removal of sands from riverbeds, in addition to generating water impacts, also contributes to climate change due to the cumulative impact of CO<sub>2</sub> emissions. This emphasizes the need for policies to promote more efficient means of transport for the transfer of aggregates.

**Keywords:** Greenhouse gases; Life cycle analysis; Sand extraction; Carbon dioxide; Environmental impact assessment.



## 1. Introducción

El principal objetivo de la edificación sustentable es reducir los impactos negativos en el ambiente durante todo el ciclo de vida de las construcciones. Esto es, debe analizarse el proceso constructivo desde su diseño, construcción, operación, mantenimiento, renovación y hasta su demolición. La edificación sustentable busca un equilibrio entre la satisfacción de las necesidades de confort, la salud de los usuarios, la funcionalidad y la reducción de los impactos negativos en el ambiente y en la sociedad, al tiempo que sea económicamente costeable. Esta también es la meta de los análisis de Ciclo de Vida, también llamados “de la cuna a la puerta”.

Se estima que la energía utilizada para la construcción, fabricación, transporte de materiales de construcción y operación de las edificaciones, representa un consumo anual de energía de casi 45% del consumo total en México [2]. Esto tiene serias repercusiones en el ambiente ya que más del 89% de la energía que consumimos en México proviene de la quema de combustibles fósiles [3]. Tan solo el sector de la construcción representa el 13.18% del consumo de energía en el país [3], y cerca del 12% de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), según un estudio de 2009 [4]; aunque, con base en proyecciones, se espera que para 2030 las emisiones de CO<sub>2</sub> se hayan incrementado a 16% [5].

Si bien el procesamiento de la arcilla para la fabricación del clinker (componente esencial del cemento), es el proceso que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la extracción de arena puede tener impactos críticos en los ecosistemas locales [6]. Uno de los impactos ambientales más significativos, tanto a escala local como global, son las emisiones de GEI durante el transporte de los grandes volúmenes de arena y grava, que son necesarios para la construcción. De acuerdo con el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA), las arenas son el segundo recurso natural más consumido en el planeta después del agua dulce. Cambios en los patrones de consumo, una población creciente, urbanización en aumento y el desarrollo de

infraestructura han triplicado la demanda en las últimas dos décadas. Actualmente se extraen 50 mil millones de toneladas al año, un promedio de 18 kg por persona por día. [1]. El Panorama de los Recursos Globales 2019, por ejemplo, menciona que la extracción de arena, grava y arcilla pasó de 9 mil millones en 1970 a 44 mil millones de toneladas en 2017, que representó un gran cambio en los recursos naturales extraídos a escala global, de biomasa a minerales [6].

Según una estimación del PNUMA del 2012, la producción global de cemento para concreto (el cual se hace con cemento, agua, arena y grava), fue de alrededor de 3,700 millones de toneladas. En la industria de la construcción, para cada tonelada de cemento se necesitan alrededor de 6 a 7 toneladas de grava y arena [4]. Esto implica un uso mundial de agregados para el concreto que puede estimarse entre 25,900 y 29,600 millones de toneladas al año. Pero la estimación puede llegar a 40 mil millones de toneladas anuales si consideramos otros usos como, rellenos, desarrollos costeros, ampliación de playas, terraplenes de carreteras y usos industriales. Lo cual duplica la cantidad de sedimento arrastrado por todos los ríos del mundo [5]. El escenario regional en Baja California refleja las tendencias globales y como resultado la extracción y el aprovechamiento de los materiales pétreos de los cauces de arroyos de la zona Tecate-Tijuana se ha incrementado desde hace varios años. Esto ocurrió como consecuencia del lucrativo mercado de exportación que se generó a partir de las restricciones para la explotación de arena en el estado de California, Estados Unidos, en los años 1980, cuando el gobierno federal cerró las explotaciones de bancos de arena en la costa californiana [7].

Según datos de los Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana, en Baja California se produjeron en promedio 1 millón 300 mil toneladas de arena al año entre 1995 y 2008. La producción tuvo un gran incremento en 2009, llegando a producir 21 millones 300 mil toneladas ese año, con un promedio de 15 millones 340 mil toneladas entre 2009 y 2017 [8]. Esto representó un incremento del 1,177% en la producción de arena en esta entidad,



a pesar del desplome histórico del 6.1 por ciento del producto interno bruto (PIB) en la industria de la construcción, que ese mismo año se manifestó debido a los problemas económicos que la crisis hipotecaria de Estados Unidos provocó en México. Un incremento en esa magnitud no puede tener otra explicación que la exportación legal o ilegal, tal como ha sido reportado por diversas fuentes periodísticas [9, 10]. Los escenarios, global como local antes descritos hacen evidente que para la extracción y el transporte los agregados pétreos se utilizan cantidades de energía masivas, que generan también cantidades ingentes de GEI. Puesto que para el análisis del ciclo de vida de las edificaciones es importante analizar el transporte de las materias primas, en este trabajo nos abocamos a ello.

En la zona de estudio se detectó que se transportan grandes volúmenes de arena por medio de tractocamiones, por lo que surgió el interés de estimar tanto los volúmenes de extracción de arena en el arroyo las Palmas, como las emisiones de GEI durante su transporte, específicamente el CO<sub>2</sub>. De acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), existen 20 concesiones de extracción en 7 cauces a lo largo de la cuenca del río Tijuana, que abarca los municipios de Tijuana y Tecate. Como puede observarse en la tabla 1, del arroyo las Palmas se extrae el 60.5% de los materiales pétreos de la cuenca, lo cual representa una extracción anual concesionada de 15,087,820 metros cúbicos.

**Tabla 1.** Volúmenes de extracción de arena concesionados en los arroyos de la cuenca del río Tijuana.

Cauce	M3/año	%
Arroyo Las Palmas	15,087,820.00	60.5
Arroyo Las Calabazas	602,923.90	2.4
Arroyo Agua Grande	935,490.00	3.8
Arroyo Seco	780,000.00	3.1
Presa A.L. Rodríguez	6,042,000.00	24.2
Arroyo El Florido	566500	2.3
Río Tijuana	921000	3.7
<b>TOTAL</b>	<b>24,935,733.90</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia con base en el REPGA.

El objetivo de este estudio es estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte de arena utilizando la metodología del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés). Este ejercicio contribuye al análisis de ciclo de vida de las edificaciones en su etapa de transporte de materias primas para la construcción, así como a la generación de nuevas técnicas para la evaluación del impacto ambiental.

En una primera etapa, este estudio se limitó a analizar únicamente el acarreo desde la zona de extracción hasta la estación de transferencia ubicada en el arroyo Alamar. En este ejercicio no se contabilizan las emisiones de la maquinaria usada para la extracción y el procesamiento, como tampoco las emisiones generadas en la estación de transferencia y su transporte posterior a los sitios de destino.

## 2. Metodología

Este estudio se enfocó en cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte de arena entre la zona de extracción en Valle de las Palmas, Tijuana, B.C. hasta una de las principales estaciones de transferencia de la ciudad, ubicada en la margen derecha del arroyo Alamar. Otros estudios, para completar el análisis de ciclo de vida, serán necesarios para cuantificar las emisiones en el resto de las etapas de la construcción de edificaciones, como es el transporte de material a los sitios de construcción, así como durante la construcción, la ocupación del inmueble y su abandono.

Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte de arena en este caso de estudio, se utilizaron métodos indirectos. Específicamente, se usaron técnicas de aforo vehicular para estimar la cantidad de automotores de carga de dicho recurso natural que transitan por el punto de muestreo por jornada y semana laboral. Se determinó que el trayecto de ida y vuelta sería aquel realizado entre la zona de extracción, en el cauce del arroyo Las Palmas, y la estación de transferencia, ubicada en el arroyo Alamar, en donde se sabe son concentrados los agregados pétreos de esta zona para después ser



exportados. La distancia de ida y vuelta entre ambos sitios son de 74.8 km (Figura 1).



**Figura 1.** Trayecto del transporte de arena del arroyo Las Palmas al centro de transferencia en el arroyo Alamar, Tijuana, B.C. Imagen aérea de Google Earth.

Con base en los resultados anteriores se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizando la metodología de nivel 1 propuesta por el IPCC [11], como se describe a continuación.

### 2.1. Aforo Vehicular

En la ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo de vehículos, los conteos se realizan para obtener estimaciones de volumen, tasa de flujo, demanda y capacidad. Para los fines de este estudio, se calculó el volumen de tránsito, que se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de un carril o de una calzada durante un periodo determinado y se expresa con la siguiente ecuación

$$Q = N/T \quad (1)$$

Donde:

$Q$  son los vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículo /periodo)

$N$  es el número total de vehículos que pasan

$T$  es el periodo determinado (unidades de tiempo)

Se realizaron aforos de automotores durante 77 días, a lo largo de periodos de una hora, considerando cuatro intervalos de 15 minutos, en

los meses de marzo a mayo y de agosto a diciembre del 2018. Los aforos se realizaron algunas veces por la mañana, al mediodía o por la tarde, con base en el horario laboral.

Durante los aforos, se registró el tipo de camión-tolva, con base en un catálogo gráfico de elaboración propia. Para facilitar la identificación en campo, el catálogo contenía las características físicas de la tolva, su capacidad de carga en metros cúbicos y el número de ejes, según la hoja técnica de las páginas web de los fabricantes. De esta manera, no solo se contabilizó el número total de tolvas (846); sino también la cantidad de cada tipo en función de su capacidad de carga, la cual varió desde tolvas pequeñas con capacidad de sólo 5.6 m<sup>3</sup> (tipo A6) hasta las más grandes que cargan 60 m<sup>3</sup> (tipo D1), con un promedio de 26.8 m<sup>3</sup> de todas las observadas (tabla 2).

Tomando como base la clasificación anterior y como resultado preliminar, se encontró que el volumen de tránsito fue de 12 automotores de carga por hora, con un promedio de 328 m<sup>3</sup>/h de arena transportada por el punto de aforo, bajo el supuesto de transporte a máxima capacidad. Considerando que el peso específico de la arena, dependiendo de su contenido de humedad, está entre 1.6 (arena seca) y 1.86 (arena húmeda) toneladas por metro cúbico, las tolvas con menor y mayor capacidad cargarán entre 9 y 96 toneladas, de los tipos A6 y D1 respectivamente, con un promedio de 36.4 toneladas de todas las registradas. Con base en lo anterior, estarían transitando por el punto de aforo un promedio de 524.8 toneladas de arena seca por hora.





**Tabla 2.** Cantidad y capacidad de carga de las tolvas registradas durante los aforos. Capacidad de carga en toneladas, calculada en peso seco.

Tipo de tolva	No. de tolvas	Capacidad de carga (m <sup>3</sup> )	Capacidad de carga (ton)
A2	11	6.9	11.0
A3	17	6.9	11.0
A4	44	6.8	10.9
A5	59	7.6	12.2
A6	8	5.6	9.0
B1	6	28.0	44.8
C1	40	14.0	22.4
C2	4	55.0	88.0
C3	53	24.0	38.4
D1	123	60.0	96.0
D2	112	30.8	49.3
D3	70	23.3	37.3
D4	52	24.0	38.4
D5	69	23.3	37.3
D6	122	22.0	35.2
D7	56	26.0	41.6
<b>Total / Promedio</b>	846	26.8	36.4

Con base en el volumen de tránsito horario se estimó el tránsito por jornada laboral de 8 horas, semanal de 6 días, así como mensual y anual. Lo mismo se hizo para la estimación de los volúmenes de arena transportados, los cuales se presentan en los resultados.

### 2.2. Determinación de emisiones de CO<sub>2</sub>

De las tres metodologías propuestas por el IPCC [11] para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de las fuentes móviles todo terreno, en este trabajo se utilizó el método de nivel 1.

Cada uno de los 3 niveles está en función de los datos disponibles para la estimación de las emisiones. Según el IPCC, “la mejor forma de calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> es sobre la base de la cantidad y el tipo de combustible quemado” [11]. Este considera el tipo de combustible, que en este caso es diesel, y el factor de emisión, que tiene un valor estándar regionalizado a México de 2.596 kg CO<sub>2</sub>/lt diesel [3]. La fórmula general para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de las

fuentes de energía se describe con la siguiente ecuación:

$$Emisiones = \sum_j (Combustible_j * EF_j) \quad (2)$$

Donde:

Emisiones = Emisiones (kg)

Combustible j = combustible consumido (representado por el combustible vendido en TJ)

EF j = factor de emisión (kg/TJ)

j = tipo de combustible

### 3. Resultados

Se evaluó que en promedio el flujo de tránsito horario fue de 94 automotores de carga. De los meses aforados, el mes de septiembre presentó el valor máximo con 116 automotores de carga, mientras que el mínimo fue en diciembre con 40 automotores de carga. De acuerdo con los cálculos, pueden llegar a transitar por el punto de aforo 2,338 automotores de carga cada mes, y hasta 28,057 al año.

Estos datos nos permiten calcular el consumo de combustible en función del tipo de motor. Para este caso, con base en los automotores de carga-tolva observados durante el aforo, se tomó como estándar el Freightliner f1d 120/motor Detroit Diesel con 6 ejes, que tiene una eficiencia de 0.4 lt/km. Cabe decir que los vehículos pesados de carga en México tienen 15 años de antigüedad en promedio y primordialmente consumen diesel (SCT, 2018), lo cual afecta significativamente su eficiencia.



**Tabla 3.** Estimaciones del flujo de tránsito.

Flujo de tránsito					
Mes	Diario (8 hrs)	Semanal (6 días)	Mensual	Mensual ponderado	Anual estimado
Mar	105	629	2,621		
Abr	100	597	2,488		
May	78	468	1,951		
Ago	112	672	2,800		
Sep	116	694	2,893	2,338	28,057
Oct	108	647	2,694		
Nov	90	542	2,257		
Dic	40	240	1,000		

Se calcularon las emisiones considerando un factor de emisión de 2.596 kg CO<sub>2</sub>/lt diesel sugerido por el INECC para México [2]. De esto resultó que el trayecto de 75 km que cada tractocamión realiza representa 77.67 kg de emisiones de CO<sub>2</sub> (tabla 4).

**Tabla 4.** Cálculo del CO<sub>2</sub> emitido por trayecto.

Combustible consumido (lts) por trayecto	Factor de emisión (kg CO <sub>2</sub> /lt)	CO <sub>2</sub> emitido por trayecto (kg CO <sub>2</sub> )
29,92	2,596	77,67

Con base en este dato, se calcularon las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> (kg) por tonelada de arena transportada, dependiendo de la capacidad de carga de la tolva. Como puede observarse en la tabla 5, las tolvas de tipo D1, D2 y D6 fueron los automotores más frecuentes durante los aforos, representando en conjunto 42% de los automotores transportando arena en el sitio de aforo. Sin embargo, cada una de estas tres tolvas tienen capacidades de carga muy diferentes. Por ejemplo, la D1 carga el doble que la D2 (ver tabla 2). La tabla 5 nos permite comparar la eficiencia de los automotores en términos de emisiones. Así, las tolvas de tipo D1 son las más eficientes al generar 0.8 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada, o 1.3 kg por metro cúbico de arena transportada; en cambio, las tolvas de tipo D2 emiten el doble de CO<sub>2</sub> (1.6 kg). Las tolvas menos eficientes resultaron ser las de tipo A, especialmente la A6, que únicamente puede transportar 9 toneladas y generando 8.7 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada, o 13.9 kg por metro cúbico.

**Tabla 5.** Estimación de kilogramos de CO<sub>2</sub> emitido por metro cúbico de arena y tonelada de arena según tipo de tolva. Elaboración propia.

Tipo de tolva	Frecuencia (%)	Vol. CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	Vol. CO <sub>2</sub> (kg/ton)
A2	1	11,3	7,0
A3	2	11,3	7,0
A4	5	11,4	7,1
A5	7	10,2	6,4
A6	1	13,9	8,7
B1	1	2,8	1,7
C1	5	5,5	3,5
C2	0,5	1,4	0,9
C3	6	3,2	2,0
D1	15	1,3	0,8
D2	13	2,5	1,6
D3	8	3,3	2,1
D4	6	3,2	2,0
D5	8	3,3	2,1
D6	14	3,5	2,2
D7	7	3,0	1,9
<b>Total</b>	100	5,7	3,6

Una vez hecho el cálculo de flujo de tránsito, se estimó que aproximadamente 28,057 automotores que transportan arena transitan por el sitio de aforo al año. Esto equivaldría al consumo de 839,451 litros de diesel al año, lo cual representaría la emisión de 65.2 millones kg de CO<sub>2</sub> al año (tabla 6).

**Tabla 6.** Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales.

Promedio anual (camiones)	Combustible/viaje/año	CO <sub>2</sub> emitido al año (kg CO <sub>2</sub> )
28,057	839,451	65,202,116

#### 4. Conclusiones

Las estimaciones de CO<sub>2</sub> de este estudio son conservadoras, ya que se consideró una eficiencia estándar de 0.4 lt/km (Freightliner fld 120/motor Detroit Diesel con 6 ejes), aunque se sabe que el parque vehicular de carga pesada en México tiene



15 años de antigüedad en promedio [12]. Según el Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas [13], en promedio, las emisiones de los vehículos de 10 años o más de antigüedad son más altas que las de los vehículos más recientes: en el caso del monóxido de carbono (CO), entre 3 y 4 veces; hidrocarburos totales (HC), entre 4 y 6 veces; y óxido nítrico (NO), hasta 3 veces más. Con base en ello, se puede afirmar que una menor eficiencia de los automotores involucrados en este ejercicio implica mayores emisiones de las estimadas.

Era evidente que los automotores más eficientes en términos del volumen de emisiones por volumen de arena transportada resultarían ser los de mayor capacidad de carga. Sin embargo, el ejercicio permite constatar el amplio rango de tales emisiones, variando desde 0.8 hasta 8.7 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de arena; o lo que es lo mismo, 1.3 a 13.9 kg de CO<sub>2</sub> por metro cúbico de este material pétreo. Ello nos permite poner el énfasis en la necesidad de políticas para promover medios de transporte más eficientes para el traslado de materias primas.

Es importante considerar que la remoción de arenas de los cauces de ríos, además de generar impactos hídricos también contribuye a la mala calidad del aire y, por efecto acumulativo de las emisiones de GEI como el CO<sub>2</sub>, al cambio climático.

Es necesario que los materiales de construcción que se utilicen en las edificaciones sean reutilizables o reciclables. Estos deben ser materiales que ocasionen el menor impacto ambiental en su ciclo de vida, tanto durante su extracción, su transporte, fabricación, como cuando se usan en la construcción y el destino final que tienen después de la demolición, con el fin de que las futuras construcciones sean más sostenibles.

La extracción de arenas y gravas tiene impactos significativos, como el abatimiento del nivel freático, el incremento de la turbidez del agua, la disminución de la biodiversidad, la degradación del paisaje y la alteración del clima. También genera consecuencias socioeconómicas, culturales e

incluso políticas. La ausencia de datos sobre la extracción de estos materiales de construcción dificulta evaluar su impacto en el clima global. Por lo que la metodología del IPCC conjugada con técnicas indirectas, como el aforo vehicular, contribuyen al desarrollo de metodologías novedosas para análisis de ciclo de vida, como para la evaluación del impacto ambiental.

Este estudio solo cuantificó las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte en el área de estudio, por lo que únicamente nos permite comprender la problemática de los GEI en la primera etapa del transporte; esto es, desde la zona de extracción hasta una estación de transferencia. Otros estudios serán necesarios para cuantificar las emisiones en el resto de las etapas de una construcción con el fin de completar una visión general del ciclo de vida de materias primas, como los agregados pétreos.

No obstante, las limitaciones de este estudio, el ejercicio contribuye al conocimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> de una de las etapas en la economía circular de la industria de la construcción que ha estado desatendida, como lo es el transporte de las materias primas para la construcción de edificaciones. De acuerdo con nuestra revisión de la literatura, las principales agencias internacionales no han considerado en sus reportes cálculos de GEI específicamente para el transporte de materias primas para la construcción. Tal es el caso de los siguientes reportes: el Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico [4], National Greenhouse Gas Emissions Baseline Scenarios: Learning from Experiences in Developing Countries [5], Panorama de los Recursos Globales 2019 [6] y el The Circularity Gap Report 2020 [14].

En el caso del informe de escenarios nacionales de referencia de emisiones de gases de efecto invernadero, para el caso de México hace el análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en donde el mayor impacto generado es debido a la quema de combustibles fósiles (petróleo y gas) y en segundo lugar el sector de residuos (basura y aguas residuales residenciales e industriales). En relación con el análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a las construcciones solo hace énfasis en la reducción de



energía mediante la utilización de tecnologías modernas y energéticamente eficientes por medio de un certificado de cero emisiones de CO<sub>2</sub>, sin considerar la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el transporte de los recursos naturales como los agregados pétreos, o de los materiales utilizados durante la construcción de las edificaciones [5].

Durante más de 10 años, el Panel Internacional de Recursos (PIR) ha presentado evaluaciones científicas sobre las tendencias, los modelos y las consecuencias de la extracción, la utilización y la eliminación de los recursos naturales en nuestras sociedades y economías. El reporte del PIR es quizá el único que ha llevado un seguimiento de los volúmenes de extracción global de minerales no metálicos, especialmente la grava, la arena y la arcilla. De acuerdo con sus estimaciones, aproximadamente la mitad del total de emisiones de GEI se deben a la extracción y el procesamiento de recursos para convertirlos en materiales, combustibles y alimentos. Sin embargo, el reporte no desagrega los datos para el transporte y tampoco específica, cuántas de estas emisiones corresponden al sector de la construcción [15].

Por otra parte, en su segundo informe bianual sobre economía circular, el World Resources Institute (2020), resalta que, a pesar de los esfuerzos, la economía circular en el mundo se ha reducido al pasar de 9.1% en 2017 a 8.6% en 2019. El reporte también dedica un apartado a analizar la rapidez con la que ha crecido la extracción de materiales, multiplicándose 3.5 veces entre 1970 y 2017, al pasar de 26,700 millones de toneladas a 92,000 toneladas, respectivamente. Sin embargo, los datos han sido agregados, sin posibilidades de analizar las estadísticas para agregados pétreos y menos para analizar sus correspondientes emisiones de GEI [14].

Por último, es importante resaltar que en México existe la Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 para la edificación sustentable, criterios y requerimientos ambientales mínimos; la cual, aunque no es de carácter obligatoria, considera específicamente el análisis del transporte, entre otras etapas del ciclo de vida de los materiales de

construcción. Así, en el punto 5.2.4. establece que se deberán considerar los impactos ambientales, sociales y económicos a lo largo de todo el ciclo de vida de la edificación, desde la obtención de las materias primas, manufactura, transporte, colocación en obra, operación de la edificación, mantenimiento, demolición y su la disposición final de los materiales después de la vida útil. Para el caso de nuevas obras o la remodelación de estas, la norma estipula que deben presentarse datos para realizar el análisis del ciclo de vida del material elegido frente a otro material que sirva como punto de comparación. Este análisis comparativo deberá realizarse considerando al menos tres materiales que representen el mayor volumen del total de los que se utilizaran en la construcción de la edificación. En dicho análisis deberá analizarse el tipo y cantidad de energía utilizada para la extracción de la materia prima, la manufactura del material, entre otros, así como también el tipo de transporte y la distancia recorrida entre el sitio de extracción de la materia prima y en manufactura, al sitio de manufactura y distribución, y al punto de distribución y la obra. Además del tiempo de vida útil del material, así como la generación de residuos en la extracción de materiales, manufactura y colocación, todo esto a manera de contribuir a reducir el impacto ambiental directo e indirecto en las cuencas y medio ambiente [16].

## Referencias

- [1] United Nations Environmental Programme (UNEP), "Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources," Geneva, Switzerland, 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.11822/28163>
- [2] J. Figueroa-Castrejon, Anibal; Marincic-Lovriha, Ochoa-de -la-Torre, Manuel; Rojas-Menéndez, "Energía en edificaciones," in *Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo Tecnológico para México*, Academia Mexicana de Ciencias, Ed. Ciudad de México, 2010, pp. 81–88. [http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/energias\\_altas.pdf](http://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/energias_altas.pdf)
- [3] Secretaría de Energía (SENER), "Balance Nacional de Energía 2017," México, 2018. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>
- [4] United Nations Environmental Programme





(UNEP), “Greenhouse Gas emission Baselines and reduction Potentials from Buildings in Mexico: A Discussion Document,” Paris, 2009.

<https://www.unenvironment.org/resources/report/green-house-gas-emission-baselines-and-reduction-potentials-buildings-mexico>

[5] Danish Energy Agency (DEA), the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), and the UNEP Risø Centre (URC), *National Greenhouse Gas Emissions Baseline Scenarios, Learning from Experiences in Developing Countries*, 1st ed. DEA/OECD/URC, 2013.

[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/national\\_greenhouse\\_gas\\_emissions\\_baseline\\_scenarios\\_-\\_web\\_-\\_spreads.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/national_greenhouse_gas_emissions_baseline_scenarios_-_web_-_spreads.pdf)

[6] Panel Internacional de Recursos (PIR), *Panorama de los Recursos Globales 2019. Recursos Naturales para el Futuro que Queremos*. Nairobi, Kenia: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019.

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27518/GRO\\_2019\\_SPM\\_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27518/GRO_2019_SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

[7] U.S. Geological-Survey, “Mineral Commodity Summaries: Sand and gravel (Construction),” 2013.

<https://www.anchorapartments.com.au/product/7958-production-of-sand-from-stones.html>

[8] Servicio-Geológico-Mexicano-(SGM), “Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2017; Edición 2018,” Ciudad de México, 2018.

[http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2017\\_Edicion\\_2018.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2017_Edicion_2018.pdf)

[9] V. Beiser, “Sand mining: the global environmental crisis you’ve never heard of,” *The Guardian*, London, pp. 2–5, 2017.

<https://www.theguardian.com/cities/2017/feb/27/sand-mining-global-environmental-crisis-never-heard>

[10] G. Ramos, “Impiden más extracción de arena en valle de las palmas,” *Radar Tecate*, Tecate, 15-Sep-2018. <http://radartecatenews.com/2018/09/15/impiden->

[extraccion-arena-en-valle-las-palmas/](#)

[11] W. Davies, “CAPÍTULO 3. Combustión Móvil,” in *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, S. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe, Eds. Hayama, Kanagawa: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), 2006, pp. 3.1-3.74.

[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0\\_Overview/V0\\_0\\_Cover.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf)

[12] Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), “Principales Estadísticas del Sector Comunicaciones y Transportes 2018,” Ciudad de México, 2018.

<https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-07-31-1/assets/documentos/gaceta6.pdf>

[13] Instituto Nacional de Ecología (INE) and Centro de Transporte Sustentable de México A.C. (CTS MEXICO), “Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase IV: medición de emisiones en cinco ciudades y análisis de resultados globales,” México, D.F., 2011.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112406/2010\\_CGCSA\\_RSD\\_Toluca.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112406/2010_CGCSA_RSD_Toluca.pdf)

[14] M. de Wit, J. Hoogzaad, and C. von Daniels, “The circularity gap report 2020,” Amsterdam, 2020.

<https://www.circularity-gap.world/2020>

[15] PIR, *Panorama de los Recursos Globales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos*. Nairobi, Kenia: Panel Internacional de Recursos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019.

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27518/GRO\\_2019\\_SPM\\_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27518/GRO_2019_SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

[16] *NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación sustentable-criterios y requerimientos ambientales mínimos*. DOF: 04/09/2013, 2013.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5312875&fecha=04/09/2013)



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)