

País o países solicitantes:	México
Título de la solicitud:	Análisis del estado actual del sector de la construcción y demolición respecto a la Economía Circular en la Ciudad de México para el desarrollo de una plataforma de Marketplace de materiales derivados de los residuos de la construcción y demolición en la ciudad como proyecto piloto escalable para México.
END:	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC
Solicitante:	Nombre de la organización: Secretaría del Medio Ambiente, SEDEMA. Nombre contacto: Mtra. Leticia Gutiérrez Lorandi Cargo: Directora General de Coordinación de Políticas y Cultura Ambiental Correo electrónico: leticiagl@cdmx.gob.mx Plaza de la Constitución 1, piso 5, Centro, Cuauhtémoc, C.P. 06000, Ciudad de México Tel: 53 45 80 00 Ext. 1520

Objetivo climático:

- Adaptación al cambio climático
- Mitigación del cambio climático
- Combinación de adaptación y mitigación del cambio climático

Ámbito geográfico:

- Comunitario
- Subnacional: Ciudad de México
- Nacional
- Varios países

Si la solicitud tiene carácter subnacional o plurinacional, indique las zonas geográficas concretas (provincias, estados, países, regiones, etc.).

Enunciado del problema relacionado con el cambio climático (máximo una página):

Actualmente, la industria de la construcción es responsable de más de 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo y de 30% del consumo global de recursos. Mantener estos esquemas en este sector, que depende de maquinaria y materiales intensivos en carbono, amenaza con poner al mundo en una vía rápida hacia un aumento de la temperatura global de 3 ° C o más, para 2050. (C40, 2020). Acorde con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de México, el sector de la industria contribuye con 17.3% de las emisiones a nivel nacional y entre los subsectores que generan más emisiones se encuentran los del cemento, siderúrgica y química (INECC, 2015).

En la Ciudad de México, 65% de los residuos de la construcción y demolición (RCD) reportados en materia de impacto (461,276.61 m³/año) fueron enviados a sitios de disposición final (SEDEMA, 2020). Además, en el Inventario de Emisiones de la Ciudad de México edición 2016, se reporta que este sector contribuye con 5.05 toneladas de emisiones de compuestos tóxicos al año. Estas cifras revelan las importantes

pérdidas que año con año se incurren en materiales, productos y componentes valiosos, así como las pérdidas económicas y los efectos negativos en toda la cadena de valor de los materiales. Aunado a lo anterior, la mala disposición de este tipo de residuos provoca fuertes impactos ambientales, principalmente en áreas de valor ambiental como las barrancas, donde son depositados de manera ilegal, y genera emisiones adicionales derivadas del transporte, ya que muchos de estos residuos se depositan en estados vecinos dado que la Ciudad de México no cuenta con sitios de disposición final.

La sustentabilidad es uno de los ejes rectores del Plan de Gobierno de la Ciudad de México 2019-2024, en el que se establece que la Ciudad de México requiere un modelo de desarrollo urbano y económico que reduzca la contaminación, conserve y restaure sus recursos naturales, reduzca la generación de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático y genere estrategias de mitigación y adaptación a través del manejo sustentable de los recursos. En esta línea, la Economía Circular es uno de los ejes estratégicos para mitigar emisiones de GEI, para favorecer la reintegración de recursos a la economía, generar crecimiento económico de bajo carbono, desarrollar oportunidades de empleo incluyente, sustentable y procurar una recuperación económica verde.

Aunado a los problemas anteriores, la actual emergencia sanitaria causada por el COVID-19 ha puesto de manifiesto la insostenibilidad y fragilidad del actual modelo económico lineal en las cadenas de suministro, en la productividad y prácticamente en todos los ámbitos de desarrollo. Ante este contexto, y en alineación con las necesidades que los países deben atender en el corto y mediano plazo en términos de sustentabilidad, desarrollo económico y creación de empleo de calidad, la Economía Circular es un motor de desarrollo que permitirá aprovechar las oportunidades de re-valorización de flujos de materiales derivados de la construcción y demolición. Como hemos señalado arriba, ésta permitiría contribuir a la mitigación de impactos socioambientales y generar beneficios económicos directos para las empresas y las comunidades locales.

Iniciativas previas y en curso para resolver el problema (máximo media página):

Dentro del marco del *Proyecto de Evaluación del estado actual de la Economía Circular para desarrollar una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay RFP / ONUDI / 7000003530*, se identificó que en México hay un gran potencial para revalorizar los residuos de la industria de materiales de la construcción y demolición (RCD). Entre las principales oportunidades se identificaron: 1) La posibilidad de reducir la dependencia en el uso de materias primas vírgenes lo cual conlleva el beneficio de reducir la dependencia a insumos con alta volatilidad de precios en el mercado; 2) la revalorización económica que la venta de estos flujos de materiales aprovechables y recursos supone; 3) la reducción o la eliminación de los costos y emisiones de GEI actuales asociadas a la disposición final de estos flujos; 4) la diversificación de la industria al incursionar en nuevos modelos de negocio enfocados en la recuperación y aprovechamiento de residuos.

Por otro lado, bajo este contexto y considerando que **la colaboración interinstitucional** es fundamental para alcanzar los objetivos planteados, actualmente la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) en colaboración con otras organizaciones internacionales, se encuentra elaborando los análisis correspondientes para determinar **el potencial de reducción de emisiones GEI derivados de los RCD en la ciudad, así como, para medir la efectividad de las estrategias e identificar las áreas de oportunidad que permitan reducir emisiones y alcanzar las metas planteadas en el programa Basura Cero**, con la finalidad de obtener información relevante para la toma de decisiones de política pública en materia de

RCD, en el camino hacia criterios de construcción más limpia en la ciudad potencialmente replicables en otras ciudades con características similares.

A su vez, en 2020, el Gobierno de la Ciudad de México lanzó una convocatoria para la instalación de plantas de reciclaje de residuos de la construcción y demolición. Derivado de esta iniciativa, en 2020, se evaluaron 3 proyectos como factibles para su implementación, entre los que se encuentra el Centro Integral de Reciclaje de Residuos de la Construcción y Demolición (CIREC), inaugurado en este mismo año, el cual al día mil 200 toneladas de residuos mezclados de la construcción y 2 mil 200 toneladas de residuos limpios, lo que representa el 24% de la generación total estimada de RCD en la ciudad.

Adicionalmente, en este mismo año, en julio del presente, fue publicada la actualización de la Norma Ambiental NACDMX-007-RNAT-2019 que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, con el objetivo de promover el reciclaje y reúso de este tipo de residuos en obras públicas y privadas.

Barreras tecnológicas específicas¹ (máximo una página):

La SEDEMA no cuenta con la experiencia en la creación de plataformas de comercio e intercambio, de materiales o productos, e infraestructura digital que conecten distintos actores dentro del territorio de la Ciudad de México. La puesta en marcha de una plataforma de *Marketplace* de este tipo, que inicialmente se enfoque en manejar cascajo y otros materiales derivados de la construcción y demolición, permitirá encadenar los procesos de producto-residuo y establecer un nuevo tipo de negocio y círculo productivo.

Otro beneficio de esta plataforma será la generación de datos estadísticos sobre la producción y reciclaje de residuos, indispensables para evaluar el seguimiento y avance de las iniciativas desarrolladas por el gobierno de la ciudad, así como para el cálculo de reducción de emisiones derivadas del intercambio de material. Actualmente la información con la que se cuenta está basada en estimaciones y se encuentra únicamente de manera física en los expedientes de la Secretaría.

Sectores:

Indicar los principales sectores relacionados con la solicitud:

- | | | | |
|--|---|---------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Zonas costeras | <input type="checkbox"/> Alerta temprana y evaluación ambiental | <input type="checkbox"/> Salud humana | <input type="checkbox"/> Infraestructura y planificación urbana |
| <input type="checkbox"/> Marítimo y recursos pesqueros | <input type="checkbox"/> Agua | <input type="checkbox"/> Agricultura | <input type="checkbox"/> Fijación de carbono |

¹ «**Todo equipo, técnica, conocimiento práctico o destreza necesarios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse al cambio climático**» (Informe Especial del IPCC. Cuestiones metodológicas y tecnológicas en la transferencia de tecnología, 2000)

<input type="checkbox"/> Eficiencia energética	<input type="checkbox"/> Silvicultura	<input checked="" type="checkbox"/> Industria	<input type="checkbox"/> Energías renovables
<input type="checkbox"/> Transporte	<input checked="" type="checkbox"/> Gestión de residuos		

Añadir otros sectores que considere relevantes:

Catalizadores y enfoques transversales:

Indicar los principales catalizadores y enfoques transversales:

<input type="checkbox"/> Comunicación y sensibilización	<input checked="" type="checkbox"/> Aspectos económicos y toma de decisiones financieras	<input checked="" type="checkbox"/> Gobernanza y planificación	<input type="checkbox"/> Comunitarios
<input type="checkbox"/> Reducción del riesgo de desastres	<input type="checkbox"/> Ecosistemas y diversidad biológica	<input type="checkbox"/> Género	

Asistencia técnica que se solicita (máximo una página):

Objetivo general: Apoyo técnico de especialistas en materia de Economía Circular y tecnologías de la Industria 4.0 para el desarrollo de una plataforma de intercambio de materiales entre privados y entes de la administración pública (*Marketplace*) en alineación con la política pública de desarrollo sustentable y el marco regulatorio para la transición hacia la economía circular en la Ciudad de México, que funja como proyecto piloto para su aplicación a nivel nacional.

Conjunto de actividades:

- Recopilación y análisis de información disponible sobre el sector de la construcción y demolición en la Ciudad de México y su interacción con los sistemas urbanos: **Transporte/Movilidad, Desarrollo Urbano, Gestión de Residuos y Promoción de las PyMES**, para definir el alcance de una plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción y demolición.
- Identificación de las principales oportunidades, fortalezas y barreras de los sectores prioritarios para la transición hacia un modelo de economía circular y el desarrollo de un mercado de revalorización de flujos de materiales.
- Identificación de acciones potenciales de mitigación vinculadas a la industria de la construcción que inciden en el sector residencial con un enfoque para una CDMX sustentable y circular.
- Propuesta de línea base e indicadores de circularidad y ODS, para el sector de la construcción y demolición en la CDMX.
- Cálculo del potencial de reducción de emisiones asociados al análisis del ciclo de vida del sector de la construcción.

- f) Desarrollo de un prototipo de plataforma de mercado de RCD, que sirva como prueba piloto con potencial de escalamiento.
- Estructurar las características de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción y demolición
 - Prueba piloto en la Ciudad de México. El desarrollo de la Asistencia Técnica se llevará a cabo transversalizando los principios de no discriminación, equidad y perspectiva de género.

Productos esperados

- 1- Análisis del estado actual del sector de la construcción y demolición y las oportunidades y barreras que existen para la elaboración de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción y demolición en la Ciudad de México. El cual debe incluir:
- *El análisis del estado actual del sector de la construcción y demolición respecto a la Economía Circular en la Ciudad de México;*
 - *Claridad sobre los alcances, oportunidades y barreras que existen para la elaboración e implementación de una plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción y demolición;*
 - *Identificación de los principales actores políticos, económicos, sociales y ambientales relacionados con la iniciativa;*
 - *Oportunidades de políticas públicas para impulsar la recuperación económica sostenible a través de la consolidación del mercado digital de materias primas secundarias.*
 - *Viabilidad económica de la plataforma para su implementación.*
 - *Planteamiento de estrategias para derribar las principales barreras identificadas y/o para el aprovechamiento de las oportunidades más relevantes en el sector de la construcción y demolición, en materia de mitigación de GEI y transición hacia la economía circular.*
- 2- Desarrollo del modelo de negocio basado en un prototipo de mercado digital tipo “Marketplace” sobre RCD, que sirva como ejemplo para su aplicación en otras regiones.
- *El concepto técnico y propuesta de elementos y herramientas que se requieren en el desarrollo de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción.*
 - *Desarrollar el “Marketplace” en la que los proveedores y usuarios de materiales relacionados con la construcción y demolición puedan entrar en contacto y vender o intercambiar sus productos o servicios en línea, facilitando la comunicación entre vendedores y clientes del sector.*
 - *Elaborar una propuesta detallada de pasos a seguir para la implementación de la plataforma, a partir de los resultados del prototipo, la cual deberá incluir un análisis de costos para la implementación, requerimientos tecnológicos y de formación de personal, etc.*
 - *Desarrollar los manuales y guías necesarias para garantizar la continuidad del proyecto.*
 - *Capacitación del personal de la SEDEMA e INECC en los procedimientos asociados a la creación y operación de una plataforma.*
 - *Desarrollo de indicadores específicos de seguimiento para evaluar la efectividad de la plataforma.*

Cronograma previsto:

Indicar la duración prevista de la asistencia técnica solicitada. Debe tenerse en cuenta que la asistencia técnica del CTCN se limita a un máximo de 12 meses.

Actividades	Meses (12)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>El análisis del estado actual del sector de la construcción y demolición respecto a la Economía Circular en la Ciudad de México;</i>													
<i>Claridad sobre las oportunidades y barreras que existen para la elaboración de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción y demolición;</i>													
<i>Principales impulsores políticos, económicos, sociales y ambientales y las barreras que puedan obstaculizar la implementación de dicha plataforma;</i>													
<i>Oportunidades de políticas públicas para impulsar la recuperación económica sostenible a través de tecnologías de la Industria 4.0, modelos de negocio de la economía circular y la consolidación del mercado de materias primas secundarias;</i>													
<i>Viabilidad económica de la plataforma para su implementación.</i>													
<i>Planteamiento de estrategias para derribar las principales barreras identificadas y/o para el aprovechamiento de las oportunidades más relevantes en el sector de la construcción y demolición, en materia de mitigación de GEI y transición hacia la economía circular</i>													
<i>El concepto técnico y propuesta de elementos a integrar para el desarrollo de una plataforma de</i>													

<i>intercambio de materiales derivados de la construcción.</i>													
<i>Desarrollar el prototipo de "Marketplace" en la que los proveedores y usuarios de materiales relacionados con la construcción y demolición puedan entrar en contacto y vender o intercambiar sus productos o servicios en línea, facilitando la comunicación entre vendedores y clientes del sector.</i>													
<i>Elaborar una propuesta detallada de pasos a seguir para la implementación de la plataforma, a partir de los resultados del prototipo, la cual deberá incluir análisis de costos para la implementación, requerimientos tecnológicos y de formación de personal, etc.</i>													
<i>Desarrollar los manuales y guías necesarias para garantizar la continuidad del proyecto.</i>													
<i>Capacitación del personal de la SEDEMA e INECC en los procedimientos asociados a la creación y operación de una plataforma</i>													
<i>Desarrollo de indicadores específicos de seguimiento para evaluar la efectividad de la plataforma</i>													

Cobeneficios previstos en materia de género y en otros ámbitos como resultado de la asistencia técnica:

Además de lo anterior, se prevé que este proyecto tenga importantes cobeneficios en otros ámbitos como la creación de empleos verdes. En este sentido, el gobierno de la Ciudad de México ya ha impulsado distintas iniciativas para detonar la participación e inclusión de las mujeres y otras poblaciones vulnerables en el desarrollo de estos empleos.

Por otra parte, otro cobeneficio que se espera con la implementación de la plataforma, es una reducción la extracción de recursos materiales y generación de residuos, impactando de manera positiva en la reducción de emisiones GEI, daños a los ecosistemas, lo que a su vez reducirá el costo económico que

tiene la ciudad por el retiro y envío de estos residuos a sitios de disposición final en los estados aledaños. Estos ahorros pueden ser invertidos en acciones que contribuyan a un mejor manejo de los residuos en la ciudad.

Finalmente, en el ámbito social este tipo de acciones fomentan el desarrollo de una concientización sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales que traen consigo los esquemas de economía circular, que brindan alternativas y soluciones para el aprovechamiento de residuos.

Encuentre en el sitio del CTCN líneas directrices vinculadas a la cuestión de género (documento traducido al español):

<https://www.ctc-n.org/technologies/ctcn-gender-mainstreaming-tool-response-plan-development>

Para más información, por favor sigue el vínculo abajo:

<https://www.ctc-n.org/technology-sectors/gender>

Principales partes interesadas:

Enumerar las partes interesadas que participarán en la ejecución de la asistencia técnica solicitada al CTCN y describir su función en la implementación (por ejemplo, organismos y ministerios estatales, instituciones académicas y universidades, el sector privado, organizaciones comunitarias, la sociedad civil, etc.).

Partes interesadas	Función de apoyo en la ejecución de la asistencia técnica
Entidad Nacional Designada	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México
Descripción de actividades por parte del INECC	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyo técnico para desarrollar la propuesta de la plataforma de mercado digital en la CDMX en el formato de CTCN para el financiamiento del proyecto; - Proporcionar una propuesta de línea base e indicadores de circularidad y ODS, para el sector de la construcción y demolición en la CDMX; - Identificar acciones potenciales de mitigación vinculadas a la industria de la construcción que inciden en el sector residencial con un enfoque para una CDMX sustentable y circular; - Realización de estimaciones y comparativas del potencial de reducción de emisiones asociados al análisis del ciclo de vida del sector de la construcción
Solicitante	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
Descripción de actividades por parte de SEDEMA	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinación del proyecto de desarrollo de la plataforma de mercado digital en la CDMX para el sector de la construcción. - Acompañamiento durante la búsqueda de información, así como intermediario y enlace con los principales actores políticos, económicos, sociales y ambientales relacionados. para el desarrollo de un mercado de revalorización de flujos de materiales y herramientas necesarias para la construcción de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción.

	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar toda la información disponible sobre el sector de la construcción y demolición en la Ciudad de México (regulatoria, legislativa, ambiental, política), - Coordinar la identificación de las principales oportunidades, fortalezas y barreras de los sectores de la construcción y demolición en materia de mitigación de GEI y para la transición hacia un modelo de economía circular. - Colaboración y revisión de los entregables relacionados con el desarrollo de la plataforma de intercambio de materiales derivados de la construcción, incluyendo el desarrollo de manuales y guías necesarias para la creación y operación de la misma.
--	--

Armonización con las prioridades nacionales (máximo 2000 caracteres, espacios incluidos):

Para alcanzar las metas del Acuerdo de París en el marco de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND), es necesario “transitar hacia una economía baja en carbono” en este contexto la economía circular tiene un rol fundamental ya que contribuye no solo a la reducción de emisiones GEI sino también al crecimiento y desarrollo sustentable de los sectores económicos del país y al cumplimiento de las metas trazadas por la Agenda 2030.

Documento de referencia (indicar la fecha del documento)	Fragmento (indicar el capítulo, la página, etc.).
Contribución Determinada a Nivel Nacional 2020	<p>“México se compromete de manera no condicionada a reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 22% y las de carbono negro en un 51% al 2030 respecto a la línea base construida en un escenario tendencial estimado para el 2013 (business-as-usual, BAU” en el caso de residuos “la NDC toma en cuenta las oportunidades relacionadas con actividades de gestión y destino final de residuos sólidos. También contempla el tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales, así como otras actividades relacionadas a su disposición final, reaprovechamiento, reciclaje, compostaje y biodigestión”.</p> <p>Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020. Pp 23-28.</p>
Evaluación de las necesidades de tecnología	México no cuenta con la evaluación de necesidades tecnológicas, pero se ha detectado la necesidad de impulsar acciones de economía circular que contribuyan al cumplimiento de las Contribución Nacionalmente Determinadas.
Planes nacionales de adaptación	
Medidas de mitigación apropiadas para cada país	1.10- “Alinear la planeación y las políticas de desarrollo urbano, suelo, edificaciones sustentables, vivienda, energía, transporte, movilidad, áreas verdes, costas, gestión integral de residuos y agua para reducir la huella de carbono de los centros de población”

	<p>3.8- “Impulsar la participación del sector privado en proyectos de separación, reutilización, reciclaje de desechos..., en la creación de centros de acopio, previo desarrollo y refuerzo de mecanismos, regulaciones y mercados. Lo anterior como fomento a la inversión en el sector y como medidas de corresponsabilidad en la generación de los residuos.”</p> <p>3.9- Impulsar nuevas tecnologías e infraestructura para el manejo integral de los residuos sólidos..., a través de esquemas de coinversión e instrumentos económicos que faciliten el autofinanciamiento de la operación y mantenimiento de la infraestructura nueva y existente</p> <p>ENCC 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40 Gobierno de la República. Pp 27,45,51</p>
<p>Añada aquí otros documentos relevantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay. INECC-CTCN,2020. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/641380/VF_version_ejecutiva_Economia_Circular_2.pdf • Meta de incremento en el reciclaje de RCD de 206 a 6,000 toneladas diarias y la reducción en 4,000 toneladas de RCD no aprovechados en sitios autorizados y no autorizados para el 2024. • SEDEMA (2019). Basura Cero. Plan de Acción de la Ciudad de México para una Economía Circular. P.5 https://basuracero.cdmx.gob.mx/ • Economía Circular y Acción Climática. Meta 1- “El 100% de los residuos urbanos se aprovechan sustentablemente, las nuevas construcciones incluyen en sus diseños todos los criterios de sustentabilidad y con al menos 50% de materiales reciclados de residuos de la construcción.” • Gobierno de la Ciudad de México. (2021). Plan General de Desarrollo de la Ciudad de México. P. 97. • Programa de Acción Climática de la Ciudad de México, Eje 2, Meta 5. En 2024, se reciclan el 60% de los residuos de la construcción y demolición. • Sedema (2020), PACCM y ELAC. P. 113 • https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/PACCM_y_ELAC.pdf • Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, 2019. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México • Sedema (2020), IRS 2019 • https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/InventarioDeResiduosSolidosDeLaCiudadDeMexico_2019.pdf • C40 Clean Construction Declaration, 1. Reducir las emisiones incorporadas en al menos un 50% para todos los edificios nuevos y remodelaciones para 2030, 2. Reducir las emisiones incorporadas en al menos el 50% de todos los proyectos de infraestructura para 2030, 3. Adquisición y, de ser posible, utilización de maquinaria de construcción exclusivamente libre de emisiones a partir de 2025. • C40 (2020), C40 Clean Construction Declaration • https://www.c40.org/clean-construction-declaration • Norma Ambiental para la Ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019, que establece la Clasificación y Especificaciones de manejo integral

para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México

- http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/gacetas/GOCDMX_21-07-20_SEDEMA.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2015. Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/Semarnat, México <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016. Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero
- <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-2016/mobile/inventario-emisiones-2016.pdf>

Desarrollo de la solicitud (máximo 2000 caracteres, espacios incluidos):

En junio de 2020 la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno de la Ciudad de México, a través de su Dirección General de Coordinación de Políticas y Cultura ambiental presentó la propuesta al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático al ser éste la END. Para el diseño inicial de la propuesta intervinieron actores nacionales e internacionales que aportaron su experiencia y conocimiento en materia de RCD en ciudades, como el proyecto SPIPA, que dio luz al alcance de mitigación de GEI a partir de las metas planteadas en el Programa Basura Cero, donde colaboraron distintas dependencias gubernamentales y alcaldías, empresas, asociaciones y la academia, robusteciendo la información del proyecto. A partir de estos insumos se desarrolló la presente propuesta de Marketplace.

Documentos de antecedentes y otra información relevante para la solicitud:

Como parte del análisis de esta solicitud se adjuntan los siguientes documentos que se consideran pertinentes y útiles al CTCN.

- i. Plan Nacional de Desarrollo y Programas Sectorial de Medio Ambiente 2019-2024, (DOF, 12 de julio 2019)
- ii. Plan de Gobierno de la Ciudad de México 2019-2024
- iii. Programa de Medio Ambiente y Cambio Climático para La Ciudad De México 2019-2024
- iv. Programa de Acción Climática de La Ciudad De México 2021-2050
- v. Programa De Gestión Integral de Residuos Para La Ciudad De México 2021-2025
- vi. Programa Basura Cero: Plan De Acción De La Ciudad De México Para Una Economía Circular
- vii. Visión Nacional Hacia Una Gestión Sustentable: Cero Residuos
- viii. Proyecto de Evaluación del estado actual de la Economía Circular para desarrollar una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay
- ix. Hoja de ruta RCD. Economía circular en construcción 2035, Edición: agosto de 2020, Santiago, Chile. http://construye2025.cl/rcd/wp-content/uploads/2020/08/HDR-PAGINA_RCD_200825.pdf
- x. Norma Ambiental para la Ciudad de México NACDMX-007-RNAT-2019. Publicada en julio 2021. http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/gacetas/GOCDMX_21-07-20_SEDEMA.pdf

OPCIONAL: Vínculos con el Programa de Apoyo a la Preparación del Fondo Verde para el Clima (FVC).

Seguimiento e impacto de la asistencia:

Al firmar esta solicitud, afirmo que el país cuenta con procesos para monitorear y evaluar la asistencia técnica proporcionada por el CTCN. Entiendo que estos procesos serán identificados explícitamente en el Plan de Respuesta del CTCN y que serán utilizados en el país para dar seguimiento a la implementación de la asistencia técnica, según los procedimientos habituales del CTCN. Entiendo que, después de haberse completado la asistencia solicitada, yo apoyaré los esfuerzos del CTCN para medir el éxito y los efectos del apoyo proporcionado, incluyendo sus impactos en el corto, mediano y largo plazo en el país.

Nombre de la Entidad Nacional Designada: Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático, INECC.

Fecha: 09 noviembre 2021

Nombre: María Amparo Martínez Arroyo

Firma: Dra. María Amparo Martínez Arroyo.



Nombre de la Institución solicitante: Secretaría del Medio Ambiente, SEDEMA

Fecha: 09 noviembre 2021

Nombre contacto: Leticia Gutiérrez Lorandi

Firma: Mtra. Leticia Gutiérrez Lorandi



UNA VEZ COMPLETADO, EL FORMULARIO DEBERÁ ENVIARSE A CTCN@UNEP.ORG.

El equipo del CTCN está a su disposición para resolver todas sus dudas y guiarle a través del proceso de solicitud.



Estimación del potencial de emisiones de GEI evitadas por el aumento de reciclaje de RCD

Entregable Parcial
Informe técnico
Noviembre 2021





Índice

Acrónimos.....	3
Glosario	4
Introducción	8
Problemática ambiental de los RCD	9
Gases de efecto invernadero en el sector de la construcción	11
Estimación de las emisiones de GEI.....	14
Descripción de la metodología	14
Metodologías de cálculo.....	14
Potencial de mitigación de emisiones de GEI	16
Resultados.....	27
Emisiones del escenario base	27
Alcance 1. Emisiones directas	28
Alcance 2. Emisiones indirectas	30
Alcance 3. Emisiones indirectas	31
Emisiones del escenario de mitigación	34
Alcance 1. Emisiones directas	35
Alcance 2. Emisiones indirectas	37
Alcance 3. Emisiones indirectas	38
Emisiones del potencial de mitigación	40
Recomendaciones.....	43
Conclusiones	44
Referencias	45
Anexos	48
Anexo 1. Potencial Reducción Emisiones GEI por el aprovechamiento de RCD	48



Acrónimos

BNE	Balance Nacional de Energía
CDMX	Ciudad de México
CIREC	Centro Integral de Reciclaje
CLF	Carbon Leadership Forum
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
DBGIR	Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos
DOF	Diario Oficial de la Federación
FE	Factor de Emisión
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	(Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) Sociedad Alemana de Cooperación Internacional
INEGyCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IRS	Inventario de Residuos Sólidos
JdG	Jefa(e) de Gobierno
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
MIA	Manifestación de impacto ambiental
MWh	Megavatio por hora
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PJ	Petajoules
RAMIR	Registro y Autorización de Establecimientos Mercantiles, de Servicios y/o Unidades de Transporte Relacionados con el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y/o de Manejo Especial.
RCD	Residuos de la Construcción y Demolición
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
t	Toneladas
UNEP	United Nations Environment Programme
USEPA	United States Environmental Protection Agency - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos



Glosario

Acopio	Acción de reunir los residuos de una o diferentes fuentes para su manejo.
Actores Clave	Actores considerados como aquellos que pueden influenciar significativamente dentro del proyecto.
Agregados reciclados	El agregado reciclado es la utilización como “agregado” de un material proveniente de los RCD (que ha sido previamente usado en otra obra que fue demolida) en la producción de materiales para la construcción como el concreto.
Almacenamiento temporal	El depósito temporal de los residuos de la construcción y demolición previos a su recolección, tratamiento o disposición final.
Alcance 1 (emisiones directas)	<p>Las emisiones directas de GEI se producen a partir de fuentes que son propiedad de la empresa o están bajo su control, por ejemplo, emisiones de combustión en propiedad o controladas como calderas, hornos, vehículos, etc., emisiones de sustancias químicas, producción en equipos de proceso propios o controlados.</p> <p>Las emisiones directas de CO₂ de la combustión de biomasa no se incluirán en el alcance 1 sino que se notificarán por separado. Entre las emisiones de GEI no cubiertas por el Protocolo de Kioto se encuentran los CFC, NO_x, entre otros, estos no se incluirán en el alcance 1, pero pueden informarse por separado.</p>
Alcance 2 (emisiones eléctricas indirectas)	<p>Se refiere a las emisiones de GEI de la generación de electricidad comprada consumida por la empresa. La electricidad comprada se define como la electricidad que se ha comprado o introducido en el límite organizacional de la empresa. Las emisiones de alcance 2 físicamente ocurren en la instalación donde se genera la electricidad.</p>
Alcance 3 (otras emisiones indirectas)	<p>El alcance 3 es una categoría de informes opcional que permite la estimación de todas las demás emisiones indirectas. Alcance 3 las emisiones son consecuencia de las actividades de la empresa, pero provienen de fuentes que no son de su propiedad o controlado por la empresa. Algunos ejemplos de alcance 3 son las actividades son la extracción y producción de productos y materiales adquiridos, transporte de combustibles comprados, así como el uso de productos y servicios vendidos.</p>
Aprovechamiento del valor o valorización	El conjunto de acciones cuyo objetivo es mantener a los materiales que los constituyen en los ciclos económicos o comerciales, mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reprocesamiento, reciclado y recuperación de materiales secundarios con lo cual se evita perder su valor económico.
Autoridad	Se refiere a los entes de gobierno, delegaciones y Secretaría, encargadas de verificar y autorizar las instalaciones destinadas al acopio, tratamiento, reciclaje, reutilización y co-procesamiento y sitios de disposición final.
Cadena de custodia de los residuos	Proceso donde los responsables, ya sea que se trate de generadores o manejadores, registran las etapas de la gestión de los residuos.
Cascajo	Conjunto de desechos mezclados de piedra, cemento, yeso, arena, etc., producidos por la demolición de una construcción.
Centro de Acopio	Instalación autorizada por la Secretaría del Medio Ambiente para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben, cuantifican, reúnen, trasvasan y acumulan temporalmente residuos de la construcción y demolición para ser enviados a instalaciones autorizadas para su tratamiento, reciclaje, reutilización, co-procesamiento o disposición final.



Centros de Reciclaje	Instalación cuyo objetivo es transformar los residuos de la construcción y demolición en agregados reciclados para reincorporarlos a un nuevo ciclo de vida, a fin de evitar que se desperdicien estos residuos potencialmente útiles, reducir el consumo de materiales naturales y reducir el uso de energía.
Concreto hidráulico	Mezcla de agregados pétreos, cemento y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos y adiciones.
Constructor	Persona física o moral que ejecuta una obra pública o privada y que potencialmente se constituye en un generador de residuos de la construcción y demolición.
COVID-19	Enfermedad infecciosa causada por el SARS-CoV-2, coronavirus del 2019.
Declaratoria de Cumplimiento Ambiental	Documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.
Disposición final	La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
Dióxido de carbono equivalente	Unidad para comparar el forzamiento radiactivo de un GEI con el del dióxido de carbono. Se calcula utilizando la masa de un GEI determinado, multiplicada por su potencial de calentamiento global.
Fresados de concreto asfáltico	Material granular resultante del corte realizado por una perfiladora o fresadora de pavimentos en una carpeta asfáltica.
Gases de Efecto Invernadero	Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H ₂ O), dióxido de carbono (CO ₂), óxido nitroso (N ₂ O), metano (CH ₄), y ozono (O ₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre.
Generador de residuos de construcción y demolición	Dependencia, órgano desconcentrado, entidad de la administración pública, persona física o moral, pública o privada, propietarios de obra o contratistas, responsables de cualquier etapa de la obra de demolición, construcción o remodelación que genere residuos.
Impacto Ambiental	Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.
Manejo	El conjunto de actividades que comprenden el almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, reúso, tratamiento, reciclaje y disposición final de los residuos de la construcción y demolición.
Manejo Integral	Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.
Materia prima secundaria	Materiales producidos mediante el tratamiento de residuos de materias primas o de materiales derivados de la recuperación y reciclado de residuos.
Material pétreo	Aquel proveniente de la roca, piedra o peñasco; regularmente se encuentran en forma de bloques, losetas o fragmentos de distintos tamaños, tanto en la naturaleza como industrializados o procesados por el hombre.



Materiales reciclados

Aquellos materiales producto de los residuos de la construcción y demolición, que han tenido un proceso, selección, molienda, cribado, almacenamiento y que por sus características pueden ser reincorporados en la construcción o de los residuos de la construcción y demolición, que han tenido un proceso, selección, molienda, cribado, almacenamiento y que por sus características pueden ser reincorporados en la construcción.

Minimización

El conjunto de medidas tendientes a evitar la generación de los residuos sólidos y aprovechar, tanto sea posible, el valor de aquellos cuya generación no sea posible evitar.

Pasivo Ambiental

Aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación.

Plan de Manejo

El Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno.

Potencial de calentamiento global

Índice, basado en las propiedades de radiación de los GEI, que mide la fuerza de radiación tras la emisión de un pulso de una unidad de masa de un GEI dado en la atmósfera actual integrado en un período determinado, con relación a la unidad del dióxido de carbono (CO₂).

Prestadores de servicios

Persona física o moral, pública o privada, que realice una o varias de las actividades de: separación; recolección; almacenamiento; transporte; transferencia; disposición final; tratamiento o reciclaje de residuos de la construcción y demolición.

Procuraduría

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal.

Reciclado

Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.

Recicladores

Persona física o moral cuya actividad económica es transformar los subproductos provenientes de los residuos de la construcción y demolición, para reincorporarlos a un ciclo de vida como productos terminales de uso directo o como materia prima de procesos de elaboración.

Residuo sólido

El material, producto o subproducto que sin ser considerado como peligroso, se descarte o deseché y que sea susceptible de ser aprovechado o requiera sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final;

Residuos de la Construcción y Demolición (RCD)

Residuos constituidos por un conjunto de fragmentos o restos de materiales producto de la construcción, demolición, desmantelamiento y/o excavación, tales como **tabiques, materiales pétreos, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, entre otros**, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, la obra y etapa de construcción.

Residuos Peligrosos

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la norma NOM-052-SEMARNAT- 2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.



Residuos Sólidos Urbanos

Los generados en casa habitación, unidad habitacional o similares que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques, los provenientes de cualquier otra actividad que genere residuos sólidos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de las vías públicas y áreas comunes, siempre que no estén considerados por esta Ley como residuos de manejo especial.

Secretaría de Obras

Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México (CDMX).

Secretaría de Seguridad

Secretaría de Seguridad Ciudadana de la Ciudad de México (CDMX).

Secretaría

Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)

Simbiosis Industrial

La simbiosis industrial es el uso que hace una empresa o sector de los subproductos (entre los que se incluyen la energía, el agua, la logística y los materiales) de otros.

Sitios de Disposición Final Autorizados

Instalación autorizada por la Secretaría o autoridad correspondiente para la prestación de servicios a terceros en donde se reciben y acumulan en forma definitiva los residuos de la construcción y demolición.

Suelos de Conservación

Zonas que, por sus características ecológicas, proveen servicios ambientales, necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de México, de conformidad con lo establecido en la Ley Ambiental del Distrito Federal.

Suelos impactados por residuos de la construcción y demolición

Material o cuerpo natural compuesto por partículas sueltas no consolidadas de diferentes tamaños y de un espesor que varía de unos cuantos centímetros a unos cuantos metros, con una composición variable en el tiempo y en el espacio alterado por residuos producto de actividades de la construcción y demolición.

Tiraderos Clandestinos

Sitio de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en la norma 083-SEMARNAT-2003 (especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial).



Introducción

El presente informe técnico representa la cuarta etapa del proyecto “Análisis del potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de los residuos de la construcción y demolición, así como la efectividad de medidas para aumentar su aprovechamiento en la Ciudad de México (CDMX)”. El objetivo principal de este informe es **estimar el potencial de las emisiones de GEI por el aumento de reciclaje de RCD para lo cual se diseñó una metodología simplificada para cuantificar la emisión de GEI por tipo de material (concreto, cemento, aluminio, acero y cerámicos) y tipo de construcción (por ejemplo, residencial/habitacional, infraestructura y obras de pavimentación). Así como considerar el balance de materiales que indique la cantidad de materias primas/productos y/o materiales vírgenes (concreto, acero, cemento, aluminio y cerámicos) que se evitarían al aumentar el aprovechamiento de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD).**



Problemática ambiental de los RCD

Toda obra de construcción desde una casa, un conjunto habitacional, un hospital, un centro recreativo, un centro comercial, una vía de comunicación, entre muchas otras, generan un daño al medio ambiente, en ocasiones poco perceptible, más sin embargo con un alto impacto, iniciando por la huella ecológica que está directamente ligada al impacto ambiental resultante por el proceso constructivo en sí ya que se requiere de diversos materiales vírgenes para su elaboración. A nivel mundial se estima que el 50% de los recursos explotados son usados en la fabricación de materiales para la construcción. Dado que la extracción de estos materiales implica el incrementar el agotamiento de recursos naturales a causa de la extracción ilimitada de materias primas, así como el consumo de combustibles fósiles o alternos que generan a la atmósfera emisiones de contaminantes como partículas, gases de combustión, gases tóxicos y gases de efecto invernadero.

Otro de los problemas durante cualquier proceso de construcción, es que se generan una gran cantidad de residuos denominados RCD, independientemente del tamaño de la obra. Se estima que a nivel mundial el 50% de los residuos que se generan provienen de la construcción. Estos residuos acaban en el suelo, en los cuerpos de agua, provocando con ello contaminación, desequilibrio ecológico, alteración en el ciclo del agua, afectación del hábitat de distintas especies tanto flora como fauna.

La arena es el recurso más utilizado en el planeta después del aire y el agua. 50,000 millones de toneladas de arena y grava se utilizan en el mundo cada año. La mayor parte se destina a la producción de cemento para concreto (que está hecho de cemento, agua, arena y grava) (UNEP, 2021). En este sentido, es de suma importancia plantear como minimizar y prevenir el impacto ambiental dentro de este sector, para ello debe contemplarse los siguientes puntos:

- Disminuir el consumo de recursos
- Reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera
- Minimizar y gestionar de forma adecuada los RCD

En cuanto al manejo y disposición inadecuado de los residuos de construcción y demolición, genera problemas ambientales, de imagen urbana y salud, principalmente alterando los ecosistemas afectando el medio físico y biótico tanto flora como fauna; así como obstruyendo arroyos, cañadas, barrancas, afectando el drenaje natural del agua, contaminación del suelo, además del impacto visual del entorno, proliferación de fauna nociva y de emisiones de partículas a la atmósfera que afectan a la salud de la población.

Pensando en el ciclo de vida de una obra de construcción (Figura 1), es necesario mantener a los RCD en la economía y no en el medio ambiente, a través de una gestión adecuada de estos desde la separación in situ, su manejo adecuado, su envío a plantas de reciclaje para que estos residuos vuelvan a ser parte de la materia prima; aunque siempre hay un desgaste de los materiales y se tiene que agregar un porcentaje de materia prima virgen, pero en la medida en que se agregue lo menos posible se tendrán procesos más circulares, más eficientes y con menor impacto al medio ambiente, por lo que lo ideal es tener una economía circular de bajas emisiones de carbono y de bajos insumos, es decir menor consumo de agua, menor consumo de materias primas vírgenes, que nos permita que el ciclo de vida completo del producto sea

lo menos dañino al medio ambiente, ofrezca el mayor beneficio posible tanto económico, social y beneficio hacia el usuario de este material o producto, pensando en el uso eficiente de los



recursos en beneficio del cliente y del medio ambiente.

Figura 1. Análisis del ciclo de vida de una obra de construcción.

Para llegar a una buena gestión de los residuos deben buscarse acciones como la minimización, reutilización, reciclaje y/o valorización de estos. De acuerdo a la LGPGIR, el aprovechamiento de los Residuos es un conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía (DOF, 2015).



Gases de efecto invernadero en el sector de la construcción

Aproximadamente el 30% de todas las emisiones globales de carbono se atribuyen al sector de la construcción. De acuerdo al PNUD en 2019, las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) por el consumo de energía en el sector de la construcción de edificios a nivel mundial fue de 10% (PNUD, 2020).

Además, en la industria de la construcción el concreto es el material más utilizado, siendo este también, después del agua, el recurso más consumido en el planeta. Siendo el cemento el ingrediente clave en el concreto u hormigón; y es la fuente de emisión de aproximadamente el 8% del CO₂e en el mundo ascendiendo a 2.200 millones de toneladas de CO₂e, donde más de la mitad proviene del proceso de calcinación. (Chathan-House, 2018).

En México de acuerdo a la última actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI), en el 2015 México emitió 700 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e), de estas emisiones derivado del consumo de energía en la industria de la construcción un total de 874.42 miles de toneladas de CO₂e que corresponde al 0.13% del total de las emisiones a nivel nacional. Mientras que la producción del cemento emitió 19,159.98 miles de toneladas de CO₂e lo cual equivale a 2.74% de las emisiones a nivel nacional (INECC-SEMARNAT, 2018). Otras fuentes que también contribuyen a las emisiones de CO₂e atribuibles a la industria de la construcción son la producción de hierro y acero, la producción del vidrio, la producción de aluminio, la producción de cal, la producción de papel, entre otras.

La emisión de GEI de la Ciudad de México (CDMX) respecto al INEGyCEI representa el 3.2% de la emisión nacional. De acuerdo a su último inventario de emisiones a la atmósfera año base 2016, las emisiones de GEI por las actividades de construcción (que en el inventario se clasifica como Maquinaria agrícola y de construcción, correspondiente al consumo de combustibles por la maquinaria en esta actividad) ascendió a 53 mil toneladas de CO₂e (SEDEMA-CDMX, 2018).

Un concepto reciente en la industria de la construcción es el llamado "*carbono incorporado*" el cual se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero que surgen de la fabricación, transporte, instalación, mantenimiento y eliminación de materiales de construcción (CLF, 2020).

La Comunicación de 2015 de la Comisión Europea contempla el plan '*Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*', en lo que se refiere al volumen, la construcción y la demolición se encuentran entre las mayores fuentes de residuos en Europa, así como que muchos de estos materiales son reciclables o pueden volver a utilizarse. Resultado de la extracción, la fabricación de productos de construcción y la construcción misma, se generan cantidades sustanciales de emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, las evaluaciones nacionales iniciales muestran que el carbono incorporado a la construcción representa del 5-12% de las emisiones nacionales totales, por lo que las mejoras en la eficiencia de los materiales tienen un potencial significativo para reducir drásticamente estas emisiones (Marcó, 2020).



Dentro de la industria de la construcción las mayores emisiones del carbono incorporado provienen de (1) la producción de cemento y (2) la producción de hierro y acero. La reducción de las emisiones de cemento y acero requiere un enfoque único porque la producción de ambos materiales incluye: reacciones químicas que directamente emitir dióxido de carbono; y procesos intensivos en energía que requieren calor muy alto y (a menudo) combustión in situ de combustibles fósiles. Para transitar a una industria limpia se requieren estrategias que vayan más allá de las reducciones de energía para considerar una gama de estrategias de reducción y eliminación de emisiones de carbono.

Los RCD son altamente valorizables, ya que entre el 60 y 70% de su composición pertenece a materiales minerales, no peligrosos, con alto potencial de aprovechamiento, que podría contribuir a la disminución del consumo de recursos.

En la CDMX con el propósito de lograr la reducción de emisiones de GEI a fin de no sobrepasar las 24.8 MtCO_{2e} en 2024 -como una meta intermedia hacia la descarbonización para el 2050 - ha establecido una serie de políticas como lo es el *Plan de Acción Basura Cero, hacia una Economía Circular*, relacionado directamente con la valorización de los RCD, al estar encaminado a “fortalecer la prevención, reducción, el reúso, reciclaje y aprovechamiento de los residuos en el marco transversal de la economía circular” (SEDEMA, 2019).

Actualmente en CDMX se tiene un Centro Integral de Reciclaje (CIREC) el cual es la primera planta de tratamiento y aprovechamiento de residuos de la construcción, con una capacidad para procesar al día mil 200 toneladas de residuos mezclados de la construcción y 2 mil 200 toneladas de residuos limpios, con lo que se tiene el potencial de producir 640 m³ de concreto hidráulico con agregado reciclado para el programa de banquetas de la Ciudad de México, evitando la explotación de más de 300 mil toneladas anuales de canteras y minas para la extracción de agregados naturales (CDMX, 2021).

De acuerdo con la SEDEMA habrá 6 plantas de aprovechamiento de RCD, cuyo objetivo es contribuir al eje “Basura Cero” del Programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024. Actualmente se han identificado tres plantas recicladoras (Concretos Reciclados, Concretos Sustentables Mexicanos, Accubo), además de una Planta de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD en la Alcaldía Xochimilco¹ (instalada en los Ejidos de San Gregorio Atlapuxco). Adicionalmente se construirán dos plantas en Bordo Poniente y se cuenta con la planta móvil de la SOBSE. Las plantas recicladoras se entienden como la infraestructura autorizada por la SEDEMA que se establece para llevar a cabo el reciclaje de RCD (estas pueden integrar las áreas de recepción, pesaje, separación y aplicación de tecnologías para la recuperación de materiales de construcción en la CDMX, independientemente de las líneas de producción).

Además, con estos CIREC se reducirá el costo de la logística de acarrear los RCD, ya que estos centros se ubicarán en distintas delegaciones en la CDMX disminuyendo el recorrido que

¹ No se logró obtener información adicional de la Planta de Tratamiento y Aprovechamiento de Residuos ubicada en la alcaldía Xochimilco referida a partir de las declaraciones de la Jefa de Gobierno de la CDMX recuperadas del siguiente enlace:

<https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/anuncia-jefa-de-gobierno-seis-plantas-de-tratamiento-y-aprovechamiento-de-residuos-de-la-construccion-en-la-ciudad-de-mexico>



hacían de 25 o 30 kilómetros a 5 o 10 km de distancia; ahorrando en logística y en disminución de emisiones de CO₂e de la industria del transporte de la construcción.

Normalmente, el concreto reciclado se reduce a pequeños fragmentos que se utilizan para realizar reformas en carreteras o apuntalar infraestructuras. Según los expertos técnicos, aproximadamente un 20% del concreto utilizado actualmente se podría reemplazar por concreto reciclado.



Estimación de las emisiones de GEI

Existen distintas metodologías internacionales reconocidas para el cálculo de emisiones de GEI, dependiendo el objetivo de la estimación se define la más adecuada, cuando el objetivo es una empresa, organización o la huella de carbono de un producto las metodologías más utilizadas son la norma ISO 14064:2018 o el GHG Protocol. Por otro lado, si se trata de emisiones de CO₂e a nivel país o ciudad se utilizan las metodologías establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), así como las del GHG Protocol.

Descripción de la metodología.

Metodologías de cálculo

ISO 14064

Es una norma internacional que proporciona a las organizaciones un conjunto de herramientas para desarrollar programas destinados a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (ISO, 2018). Dicha norma consta de tres partes:

Parte 1: Se encuentran los principios y requisitos. Incluye los requisitos para la determinación de los límites, cuantificación de las emisiones y se identifican las acciones de remoción de los GEI para la mejora de la gestión.

Parte 2: Establece los principios y requisitos para determinar las líneas base, y hacer seguimiento, cuantificar e informar emisiones del proyecto. Se centra en los proyectos de GEI o en actividades basadas en proyectos diseñados específicamente para reducir las emisiones de GEI o aumentar las remociones de GEI. Proporciona una base para los proyectos de GEI a verificar y validar.

Parte 3: Establece los requisitos para la verificación de las declaraciones de GEI relacionadas con los inventarios de GEI, los proyectos de GEI, y las huellas de carbono de los productos. Describe el proceso para la verificación o validación, incluyendo la planificación de la verificación o validación, los procedimientos de evaluación, y la valoración de declaraciones de GEI de organizaciones, proyectos y productos.

Protocolo GHG

Estándares internacionales diseñados para proporcionar un marco para que las empresas, los gobiernos y otras entidades midan e informen sus emisiones de gases de efecto invernadero de manera que respalden sus misiones y objetivos. (GHG-Protocol, 2021).

Esta herramienta permite preparar inventarios de los GEI, simplificar y reducir costos de inventariar los GEI, ofrece información para planear estrategias de gestión y reducción de

emisiones, facilita la transparencia en el sistema de contabilización; además permite obtener las emisiones directas e indirectas de GEI de la organización de estudio.

Directrices de IPCC-2006

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) es el órgano de las Naciones Unidas para evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático.

El IPCC prepara metodologías y directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Esas metodologías y directrices ayudan a las Partes en la CMNUCC y su Protocolo de Kyoto a confeccionar los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero, por fuentes, y de remociones, en sumideros. La última versión son las Directrices del IPCC de 2006, mismas que se revisaron y se publicó el Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de GEI (IPCC, 2021).

Las directrices agrupan las emisiones de GEI en 4 categorías: Energía, Procesos industriales y uso de productos (IPPU), Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) y Desechos.

Huella de carbono

La huella de carbono es el cálculo de emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) asociados a organizaciones, eventos o actividades, o al ciclo de vida de un producto expresada en toneladas de CO₂ equivalente. La huella de carbono de un edificio maneja el concepto de carbono incorporado y operacional del mismo; como se muestra en la Figura 2, este tiene distintas etapas en su ciclo de vida donde se generan emisiones de CO₂e a la atmósfera (CLF, 2020).



Figura 2. Carbono incorporado (amarillo) y carbono operativo (azul) en las etapas clave del ciclo de vida de un edificio. (CLF, 2020)

Al conjuntar los lineamientos de las metodologías ISO 14064-1:2018, GHG Protocol y las directrices del IPCC en una estrategia de cálculo de huella de carbono se puede definir en los pasos presentados en la Figura 3.

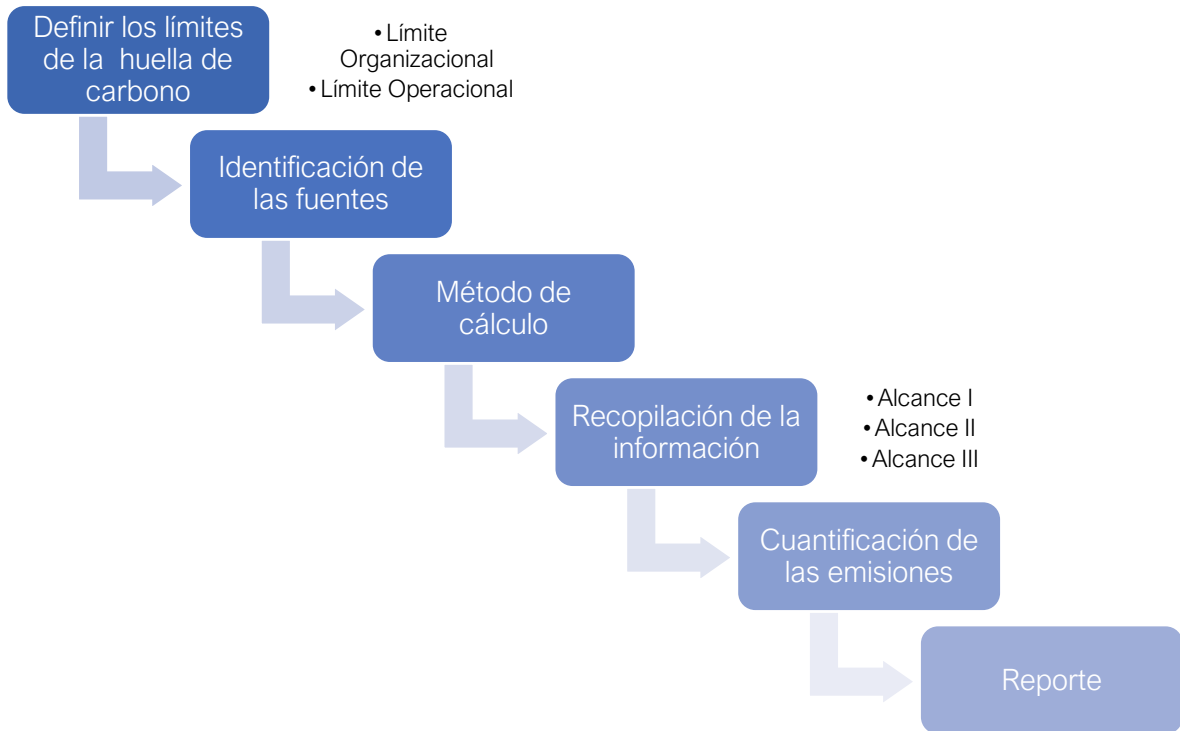


Figura 3. Pasos para la estrategia de cálculo de la huella de carbono

Potencial de mitigación de emisiones de GEI

Basado en la metodología de GHG Protocol del Estándar de objetivos de mitigación, los pasos para la contabilización del objetivo de mitigación de un proyecto son:

1. Definición de objetivo / métodos	<ul style="list-style-type: none">• Diseño de un objetivo de mitigación• Estimación de las emisiones del año base del escenario de referencia• Contabilización para el sector
2. Cálculo de las emisiones permisibles	<ul style="list-style-type: none">• Cálculo de las emisiones permisibles en los años objetivo
3. Evaluación del avance / logro: Monitoreo	<ul style="list-style-type: none">• Evaluación del avance durante el período del objetivo• Evaluación del logro el objetivo al final del periodo del objetivo
4. Verificar	<ul style="list-style-type: none">• Verificar resultados (opcional)
5. Reporte	<ul style="list-style-type: none">• Reportar resultados y metodologías utilizados



En el presente proyecto se consideran los dos primeros pasos.

Dentro de las metodologías GHG Protocol e ISO 14064-1:2018 existen 5 principios de contabilización de emisiones y generación de reportes: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión.

1. **Relevancia:** Asegurar que la información de GEI proporcionada en la evaluación del objetivo refleja apropiadamente las necesidades de los usuarios del proceso de toma de decisiones, tanto internas como externas a la entidad que genera el reporte.
2. **Integridad:** Contabilizar y reportar todas las emisiones y eliminaciones de GEI incluidas en los límites del objetivo.
3. **Consistencia:** El uso de métodos, datos, supuestos y cálculos consistentes durante todo el periodo del objetivo para estimar emisiones y eliminaciones de GEI para asegurar la generación de datos de emisiones de GEI comparables con el tiempo y la medición precisa del avance hacia el logro del objetivo.
4. **Transparencia:** Proporcionar información clara y suficiente para que los revisores evalúen la credibilidad y confiabilidad del avance reportado hacia un objetivo de mitigación.
5. **Precisión:** Asegurar que las mediciones, estimaciones o cálculos y datos que no pertenezcan a los GEI, especialmente datos socioeconómicos que se utilicen para desarrollar escenarios de referencia no estén sistemáticamente por debajo o por encima del valor real, hasta donde se pueda apreciar.

1. Definición de objetivo / métodos

1.1. Objetivo de mitigación

Cuantificar el potencial de mitigación de emisiones de GEI por el aprovechamiento de los RCD de la CDMX, al alcanzar un reciclaje del 51-55% con respecto a los niveles del año 2019 para el año 2025. El objetivo cubre el CO₂e derivado del dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (N₂O) y metano (CH₄), para el alcance 1, 2 y 3 de la actividad.

Es fundamental establecer los límites o el objetivo el proyecto, ya que estos permiten definir el propósito de contabilidad y reporte del inventario de emisiones. Definiendo los GEI de las operaciones sobre las que se realizará la estimación del potencial de mitigación.

En los lineamientos del GHG Protocol y la norma ISO 14064, se establece que se deben identificar emisiones asociadas a las operaciones, clasificándolas como *emisiones directas o indirectas*, se definen 3 Alcances para propósitos de reporte y cuantificación. En el caso del aprovechamiento de los RCD se presentan este tipo de emisiones:



Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones directas de GEI generadas por la organización: • Consumo de combustible (diésel) por transporte de RCD a disposición. • Consumo de combustible (equipos de proceso, camiones) en el proceso de aprovechamiento de los RCD. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones indirectas de GEI generadas por la organización: • Iluminación de la planta de aprovechamiento de RCD, equipos eléctricos de proceso. • Emisiones generadas por la disposición de los RCD en rellenos sanitarios o sitios de disposición final. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son las emisiones de GEI vinculadas a la cadena de valor sobre las que una organización puede influir, pero no controla: • Emisiones generadas por el consumo de energía (combustibles y electricidad) en la obtención de las materias primas vírgenes .

Los alcances 1 y 2 son los más fáciles de controlar por la organización. Sin embargo, gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero y también muchas oportunidades de reducción de emisiones y costos se encuentran fuera de las propias operaciones de la organización. Las emisiones de alcance 3 son las que provienen de la cadena de valor y por lo tanto no se tiene control directo de estas emisiones, en este caso se están considerando las actividades aguas arriba derivadas de la extracción de las materias primas y la producción de los materiales de construcción por lo cual no se limita a un alcance geográfico si no que se enfoca al consumo y generación de estos materiales para la construcción en la CDMX.

1.2. Estimación de las emisiones del año base o del escenario de referencia

Es importante definir el “*Año base*” del inventario de emisiones con el fin de establecer metas de reducción de los GEI, así como para monitorear el progreso para alcanzar estas metas. Para definir dicho año base hay que tener en cuenta que sea representativo de la operación normal de la actividad a evaluar, que exista disponibilidad de datos, que sea un año concluido; en el caso del potencial de mitigación de emisiones es el que se establecerá como línea base.

Para establecer el año base del presente proyecto se revisó la representación de los últimos años en cuanto eventos relacionados con la generación de RCD, analizando la actividad de la industria de la construcción en CDMX, para lo cual se revisó la información de la Encuesta Nacional de Empresas Constructoras respecto al Valor total de construcción en miles de pesos (Figura 4) (BIE-INEGI, 2021); donde se observa una disminución en la actividad de la construcción en CDMX, misma que se tuvo un mayor impacto negativo en los últimos dos años (2020 y 2021) probablemente ligado al efecto de la pandemia por COVID-19.

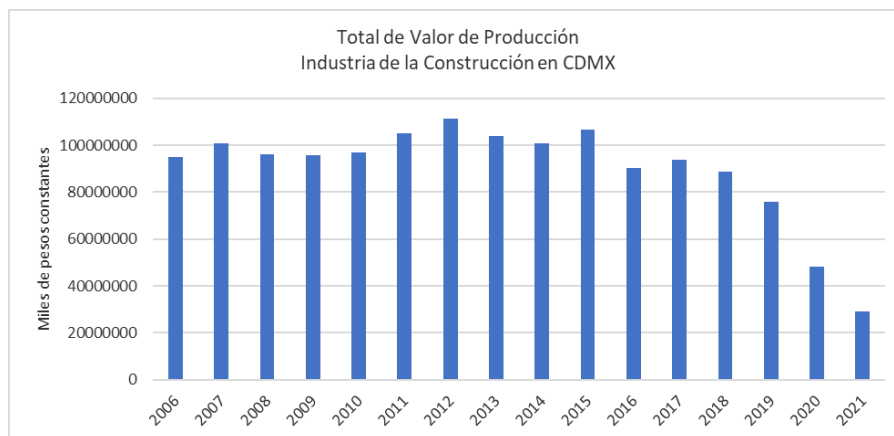


Figura 4. Comportamiento anual de la producción en la industria de la construcción en CDMX



Además, se revisó eventos extraordinarios que pudieran haber existido que afectarían la generación de RCD en la CDMX como fue el caso del sismo en septiembre de 2017 que generó importantes volúmenes de estos residuos. El manejo y disposición de estos residuos se dieron durante los últimos meses de 2017 y durante 2018.

Por lo anterior, se definió el año 2019 como año base por tratarse de un año donde no hubo eventos importantes de sismos o afectaciones en la CDMX que impactaran en la generación de RCD, así como la actividad productiva de la ciudad se mantuvo regular durante ese año.

De acuerdo a las directrices IPCC 2006, para determinar las *emisiones de GEI* se estiman con la fórmula general (Ecuación 1), que consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana (denominado datos de la actividad o DA) con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria, denominados factores de emisión (FE) (IPCC, 2006).

$$Emisiones = DA \times FE \quad \text{Ecuación 1}$$

Se definieron los datos de actividad y los factores de emisión a utilizar en el proyecto, de acuerdo a información recabada durante el mismo.

Datos de actividad, en el “Informe de caracterización y cuantificación de RCD generados y reciclados en la CDMX” se definieron algunos datos de actividad para cada uno de los alcances a estimar.

De igual forma, como parte del proyecto se realizó un cuestionario a las empresas constructoras a través de la representación y colaboración de la CMIC para complementar la información obtenida en la primera parte del proyecto, tanto de caracterización de los residuos, los tipos de obra y de operación de estos, sin embargo, los resultados obtenidos fueron muy escasos, solo obteniendo información de dos empresas, por lo que solo se consideró como información puntual de referencia.

De acuerdo al “Informe de caracterización y cuantificación de RCD generados y reciclados en la CDMX” del presente estudio se presentan los resultados relevantes para la Cuantificación de emisiones de GEI.

La caracterización de los RCD a utilizar se presenta en la Tabla 1, mientras que en la

Tabla 2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la primera etapa del presente proyecto sobre la cuantificación de los RCD.

Tabla 1. Caracterización de los RCD identificada por gestores de residuos

Residuo	Proporción (%)	Residuo	Proporción (%)
Cascajo	60	Metales	<1
Concreto	10	PET	<1
Cerámicos	5	Tablaroca	<1
Agregados pétreos	14	Vidrio	<1
Carpetas asfálticas	1	Sanitarios	<1
Madera	<1	Otros	~4



Tabla 2. Datos relevantes de los RCD definidos en la primera fase del proyecto

Cantidad RCD recolectados diariamente por vehículo	Vehículos registraos en RAMIR	Factor de generación de RCD	Generación RCD 2019	Reciclado de RCD	Densidad de los RCD
38.76 t/d	952 vehículos	1.5 t/hab/año	37,115 t/día	4.7%	1.5 t/m ³

Se reviso información nacional para la desagregación por alcance y para la CDMX para la cuantificación del potencial de emisiones de GEI evitadas.

Para proyectar el escenario base, se utilizó la cantidad de RCD considerando el 2019 como el primer año de evaluación, así como el crecimiento poblacional de la CDMX publicado en las Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030 (CONAPO, 2018). Por lo tanto, el factor de generación de RCD (de la tabla 2) por habitante al año para la CDMX es una variable constante para el escenario base. Se recomienda realizar un diagnóstico de generación de RCD al menos cada 5 años para ajustar el factor y por lo tanto el escenario base.

Se reviso el Balance Nacional de Energía (BNE) reportado por la Secretaría de Energía (SENER) para el año base 2019, en el cual se reporta el consumo de energía a nivel nacional por el sector de la construcción el cual fue de 13.44 PJ, mismo que se consumió en un 84.7% por el uso de diésel (11.38PJ) y un 15.3% por el consumo de electricidad (2.06PJ) (SENER, 2020). Para desagregarlo a nivel de CDMX se consideró los resultados de la Censo Económico 2019 respecto al sector 23 Construcción, considerando la Producción bruta total donde CDMX contribuye con el 22% a nivel nacional (INEGI, 2019). Por lo anterior se supuso que el consumo de energía por el sector de la construcción en CDMX fue de 2.96 PJ.

También se consideró el consumo de energía reportado en el sector de Minería ya que ahí se reporta la energía consumida para la explotación de materiales de las canteras (materiales vírgenes). El consumo energético por este sector a nivel nacional en 2019 fue de 74.99 PJ (SENER, 2020). Para la actividad de la explotación de materiales de las canteras se consideró que solo se utiliza diésel, combustóleo y electricidad. Para desagregar que cantidad de estos energéticos se utiliza en la actividad de explotación de materiales de las canteras, se revisó el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana del año 2019 donde reportan la producción minera por productos metálicos y no metálicos tanto en volumen como en valor monetario. Enfocándose a la producción de agregados pétreos este es el mineral no metálico más producido a nivel nacional, se consideró que de acuerdo al valor monetario que representa cada producto se distribuya el consumo energético nacional. Por lo anterior los agregados pétreos representaron el 40.4% del valor monitorio de la producción minera a nivel nacional (SGM, 2020), por lo que se consideró que fue el mismo porcentaje de energía necesaria para su producción para diésel, combustóleo y electricidad.

Las principales emisiones de CO₂e dentro de la industria de la construcción provienen de (1) la producción de cemento y (2) la producción de hierro y acero. Por lo que se revisó la producción de estos sectores a nivel nacional y las emisiones reportadas en el INEGyCEI. Aunque el reciclaje que se plantea en este proyecto es de los RCD en agregados pétreos reciclados en específico.



Para la selección de *Factores de emisión (FE)*, la práctica común consiste en utilizar de preferencia los factores de emisión locales, no obstante, cuando no se tiene la disponibilidad de estos datos se recomienda el uso de los FE nacionales. Para este proyecto se utilizan los FE de los inventarios de emisiones de GEI nacionales (INEGyCEI) (INECC-SEMARNAT, 2018).

Se definió del sector energía, por combustión, los FE utilizados para la estimación de GEI por combustión de diésel y combustóleo. así mismo, para CO₂ se consideraron los FE de México (INECC-IMP, 2014), en el caso de los FE de CH₄ y N₂O por el uso de combustibles fósiles en vehículos fueron utilizados los establecidos por defecto del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006) (Tabla 3).

Tabla 3. Factores de emisión utilizados en el cálculo del Inventario (Kg/Tj)

Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Poder calorífico (MJ/bl) ²
Diésel	72,881	3.9	3.9	5,990
Combustóleo	79,450	4.15	28.6	6477

Para determinar las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) se realizó mediante la cuantificación de CO₂, CH₄, y N₂O emitidos tomando en consideración los potenciales de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero para 100 años reportados en el 5to Informe del IPCC (IPCC, 2013) (Tabla 4).

Tabla 4. Potenciales de Calentamiento Global de los Gases de Efecto Invernadero

Gas	Potencial de calentamiento global a 100 años
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

En el caso del consumo de energía eléctrica se utiliza el Factor de Emisión eléctrico del Sector Eléctrico Nacional, el cual publica la Comisión Reguladora de Energía a través de la SEMARNAT, para el cálculo de las emisiones indirectas de GEI por consumo de electricidad, mismo que es un valor representativo del año inmediato anterior a nivel nacional y considera la generación de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional. En 2019 este valor fue de 0.505 toneladas de CO₂e/MWh (SEMARNAT, 2020), y en 2021 el valor fue de 0.494 tCO₂e / MWh.

Por otro lado, la no disposición de los RCD en sitios de disposición final evita la generación de emisiones de CO₂e, de acuerdo a la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados

² Se sugiere considerar que, el poder calorífico de los combustibles podrá presentar variaciones mínimas con cada año, no obstante, para este escenario base se considera no relevante.



Unidos) por cada tonelada de RCD que se recicla en vez de que se lleve a un sitio de disposición final, se evita que se genere 0.03 toneladas de emisiones de CO₂e (USEPA, 2021).

Los FE de emisión utilizados en el INEGyCEI para la producción de cemento y hierro y acero, son los establecidos por el IPCC, con los datos de actividad de México, se calculó un FE de CO₂e promedio por tonelada de producción (Tabla 5) (INECC-SEMARNAT, 2018).

Tabla 5. Factores de emisión CO₂e por producción

Producto	CO ₂ e (t/t)	Emisiones nacionales Gg CO ₂ e	Producción nacional 2015 (ton)
Cemento	0.432	19,159.98	44,381,125
Hierro y acero	0.208	12,922.69	61,990,145

Al reciclar existen ahorros de energía significantes asociados a la obtención y procesamiento de materiales vírgenes, la cantidad de energía ahorrada varía según el material. Por lo tanto, al consumir menos energía por reciclar se generan menores emisiones de GEI. Los principales materiales para considerar en esta estimación son el concreto y el hierro.

2. Método para la estimación de las emisiones permisibles o emisiones del escenario de mitigación

Las **Emisiones permisibles** son la cantidad máxima de emisiones que se pueden liberar durante el año o periodo objetivo, durante los últimos años del periodo del objetivo establecido, consistente con lograr el objetivo de mitigación. Con el fin de calcular las emisiones del escenario de mitigación, es decir las emisiones asociadas a la implementación de esta acción.

De acuerdo con la información obtenida durante la primera parte del proyecto que consistió en la caracterización y cuantificación de RCD generados y reciclados en la CDMX para 2019 se reciclaron un 4.7% de los RCD por las plantas de Concretos Reciclados S.A. de C.V. y la planta de reciclaje de Bordo Poniente operada por la SOBSE.

Así mismo, de acuerdo al plan de Basura Cero se espera que hacia el 2024 se cuente con la instalación total de 6 plantas de reciclaje de RCD (SEDEMA, 2019), en donde como se mencionó anteriormente, solo se han identificado cuatro plantas recicladoras. En el caso de que estas plantas funcionen a su máxima capacidad, así como mejorando la eficiencia actual de las que ya operan, se estima que se lograría el reciclaje de aproximadamente 19,000 t/d, lo cual representaría el reciclaje de aproximadamente el 51-55% de los residuos de la construcción generados en el periodo 2020 a 2025.

El **reciclar** es la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, favoreciendo un ahorro de energía y materias primas vírgenes. En el caso de los RCD los productos que se generan por el aprovechamiento de estos son **agregados reciclados**.

Calcular las emisiones permisibles en los años objetivo (2019, 2024, 2026, 2028 y 2030), a fin de entender los niveles de emisiones futuras asociados para cumplir el objetivo. Se establece un porcentaje meta de reciclaje de los RCD, adicional al ya inicial (4.7%); es decir, es el

incremento de la tasa de reciclaje producido al implementar la acción el cual a 2024 se pretende sea de (55%). Se definió un incremento del porcentaje de reciclaje de 60% al 2026, 65% al 2028 y 70% al 2030.

Para determinar la cantidad de RCD a reciclar, se acoto a los residuos que pueden ser reciclados en agregados pétreos reciclados como son cascajo, concreto, cerámicos, carpeta asfáltica, los mismos agregados pétreos que pueden reutilizarse en materiales para la construcción; todos ellos juntos corresponden a un 90% de los RCD. Otros residuos que pueden ser considerados en el reciclaje son el acero (~1%), el PET (~1%), el vidrio (~1%), la madera (~1%); sin embargo, estos últimos no se consideran en el presente calculo. Y se considera la Ecuación 2 para esta estimación:

$$CRCD_{i,j} = CTRCD_j \times F_{i,j} \times PM_{i,j} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$CRCD_{i,j}$: Cantidad de material reciclado i en el año j (en toneladas material reciclado).

$CTRCD_j$: Cantidad total de RCD generados en CDMX en el año j (en toneladas RCD).

$F_{i,j}$: Fracción del material i en los RCD generados en CDMX (en toneladas material generados RCD).

$PM_{i,j}$: Porcentaje meta de reciclaje del material i en el año j , adicional a la inicial.

De acuerdo a la información proporcionada por la Planta de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD de la CDMX Concretos Reciclados a través del cuestionario realizado en esta etapa del proyecto, se presenta el diagrama de operación para el reciclaje de los RCD que se lleva a cabo en sus instalaciones (Figura 5), la cual reporta que durante el tratamiento de una tonelada de RCD por el consumo de combustible fósil se producirá 1.56 kg de CO₂e. Así como el consumo de energía eléctrica por tonelada de RCD aprovechada es de 0.03829 MJ.

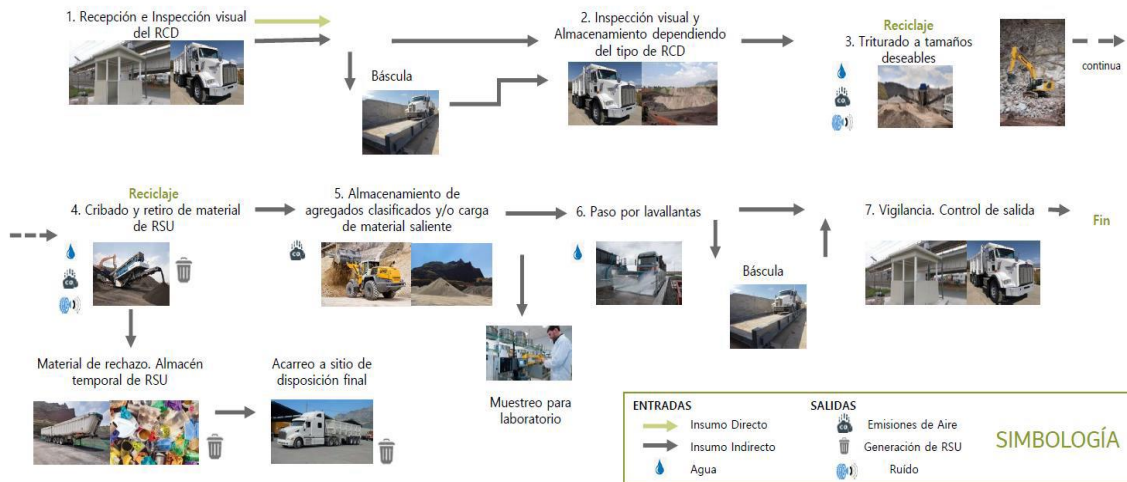


Figura 5. Diagrama de proceso de la Planta de Tratamiento y Aprovechamiento de RCD de la CDMX
Fuente: Concretos Reciclados, 2021

Para la estimación de emisiones de los distintos alcances del proyecto se utiliza las siguientes ecuaciones, partiendo de la Ecuación 1.



Emissiones de GEI por el consumo de combustible por el transporte de RCD en la CDMX, tanto para la planta de reciclaje como para los sitios de disposición final de los RCD al año.

$$ET_c = \frac{RCD}{CT} \times DR_{i,j} \times UC \times FE_{GEI} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ET_c = Emissiones por contaminante por el consumo de combustible para el transporte de RCD a las plantas de tratamiento o a los sitios de disposición final en toneladas al año

$RCD_{i,j}$ = Cantidad de RCD a reciclaje (i) o a disposición final (j) en toneladas al año

CT = Cantidad de RCD transportados en toneladas por vehículo-viaje, el cual es de 21 toneladas considerando la capacidad del vehículo de 14 m³ y la densidad de los RCD de 1.5 toneladas por m³

$DR_{i,j}$ = Distancia recorrida por viaje para el reciclaje o disposición de los RCD, ida y vuelta en kilómetros, considerando para la planta de reciclaje (i) 15 Km y para los sitios de disposición final (j) 55 Km

UC = Uso del combustible (diésel) 35 litros/100 km recorridos

FE_{GEI} = Factor de emisión del GEI en Kg/Tj

Emissiones de CO₂e generadas por la disposición de los RCD en rellenos sanitarios o sitios de disposición final al año.

$$E_{SDF} = C_{RCD} \times FE_{DF} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

E_{SDF} = Emissiones de CO₂e por la disposición final de RCD en t al año

C_{RCD} = Cantidad de RCD enterrados en t al año

FE_{DF} = Factor de emisión de 0.03 t de emisiones de CO₂e por t de RCD enterrados

Emissiones de CO₂e por el consumo de energía eléctrica por la planta de aprovechamiento de RCD en CDMX al año.

$$E_{PA} = RCD \times CEE \times EE \times FE \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

E_{PA} = Emissiones de GEI por el consumo de energía por la planta de aprovechamiento de lo RCD en t

RCD = Cantidad de RCD que se reciclan en t al año

CEE = Consumo de energía eléctrica 0.03829 MJ por t de RCD aprovechado

EE = Equivalente de electricidad de 3,600 MJ/MWh

FE^3 = Factor de emisión por el uso de energía eléctrica de acuerdo al Sistema Eléctrico Nacional en tCO₂e/MWh

Emissiones de CO₂e por el consumo de combustibles fósiles por la planta de aprovechamiento de RCD en CDMX al año.

³ El Factor de emisión por el uso de energía eléctrica se actualiza anualmente de acuerdo la diversificación de la matriz eléctrica nacional, para la estimación del potencial con el escenario base se considera constante. La herramienta de estimación (anexo 1) se puede actualizar anualmente una vez que se publique el factor de emisión mencionado.



$$E_{PA} = RCD \times FE \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

E_{PA} = Emisiones de CO₂e por el consumo de energía por la planta de aprovechamiento de lo RCD en t

RCD = Cantidad de RCD que se reciclan en t al año

FE = Factor de emisión 1.56 Kg CO₂e por tonelada de RCD aprovechado

Emisiones de GEI generadas por el consumo de energía en la obtención de las materias primas vírgenes (agregados pétreos) para la construcción en CDMX.

Consumo de combustibles fósiles:

$$E_{MPV} = RCD_{NA} \times CC_i \times FE_{i,j} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

E_{MPV} = Emisiones de CO₂e por el consumo de combustibles fósiles en la obtención de materias primas vírgenes en t

RCD_{NA} = Cantidad de RCD no aprovechados en t al año

CC_i = Consumo de combustible *i* para la generación de materias primas vírgenes en TJ

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión de GEI por combustible *i* en t/TJ del contaminante *j*.

Consumo de Energía eléctrica:

$$E_{MPV} = RCD_{NA} \times CE_{MPV} \times EE \times FE \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

E_{MPV} = Emisiones de CO₂e por el consumo de electricidad en la obtención de materias primas vírgenes en t

RCD_{NA} = Cantidad de RCD no aprovechados en t al año

CE_{MPV} = Consumo de electricidad para la explotación de materias vírgenes al año igual a 6.56E-06 TJ/t

EE = Equivalente de electricidad de 3,600 MJ/MWh

FE = Factor de emisión por el uso de energía eléctrica de acuerdo al Sistema Eléctrico Nacional en tCO₂e/MWh

3. Método para la estimación del potencial de mitigación

Una vez calculadas las emisiones de la línea base y las emisiones del escenario de mitigación en el año de interés, es posible obtener el potencial de mitigación, entendiendo este como la magnitud de emisiones reducidas, expresadas en toneladas de CO₂e, por alguna acción o actividad de mitigación, en este caso el aprovechamiento de los RCD en CDMX.

El potencial de mitigación se calcula de acuerdo a la Ecuación 9:



$$PM_a = EB_a - EM_a \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

PM_a = Potencial de mitigación en el año “a” en t de CO₂e

EB_a = Emisiones del año base en el año “a” en t de CO₂e

EM_a = Emisiones permisibles en el año objetivo o del escenario de mitigación en el año “a” en t de CO₂e



Resultados

Emisiones del escenario base

Es la representación hipotética de lo que pasaría con las emisiones de GEI en el tiempo en ausencia de alguna medida de mitigación. Las emisiones de GEI se basan en el comportamiento de los RCD de acuerdo al crecimiento poblacional. Los supuestos que se consideran para estimar la línea base es que los RCD en CDMX siguen depositándose en sitios de disposición final sin un aprovechamiento, así como que se sigue utilizando materiales vírgenes en lugar de reciclados. El desarrollo de este apartado podrá ser consultado mediante el “Anexo 1. Potencial Reducción Emisiones GEI por el aprovechamiento de RCD” incluido en el presente informe.

Las emisiones consideradas en el escenario base son:

- a) Transporte de los RCD: emisiones asociadas con el transporte de los RCD a los sitios de disposición final.
- b) Consumo de combustible en la planta de aprovechamiento de RCD en CDMX considerando que solo se recicla el 4.7% de los RCD.
- c) Disposición de RCD: emisiones asociadas a la descomposición en rellenos sanitarios o sitios de disposición final.
- d) Consumo de energía eléctrica en la planta de aprovechamiento de RCD en CDMX considerando que solo se recicla el 4.7% de los RCD.
- e) RCD: emisiones asociadas con el consumo de energía (combustibles y energía eléctrica) para la producción (manufactura y consumo) de materiales vírgenes.

El resultado del por alcance del cálculo de emisiones de CO₂e se presentan en la Tabla 6 y en la Figura 6, donde las emisiones a través de los años en el escenario base cada uno de los alcances tiende a disminuir ligeramente por estar ligadas directamente al crecimiento poblacional en CDMX.

Tabla 6. Emisiones de CO₂e por alcance en el escenario base, t/año

Año base	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
2019	3,448.65	387,303.57	1,117,286
2024	33,133.73	383,657.10	1,106,766
2026	32,951.75	381,549.95	1,100,688
2028	32,738.48	379,080.50	1,093,564
2030	32,493.87	376,248.12	1,085,393

Se observa también que el alcance 1 representa el 2 %, el alcance 2 representa el 25% y finalmente el alcance 3 es de 73% de las emisiones. Este resultado se debe a que hay mayor generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) provenientes de la generación de materias primas vírgenes en comparación a las otras fuentes de emisión, por ello el alcance 3 tiene mayores emisiones que el alcance 1 y 2.

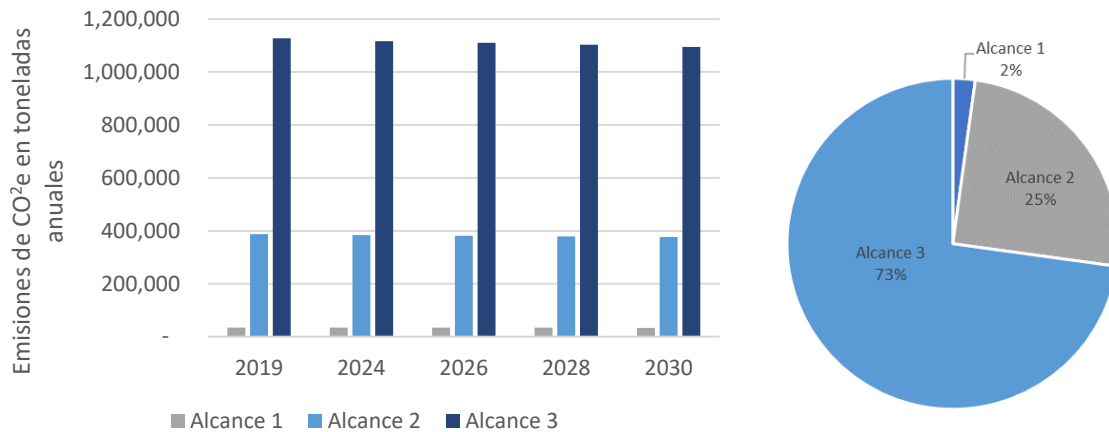


Figura 6. Emisiones de CO₂e por alcance en el escenario base

Alcance 1. Emisiones directas

Donde el Alcance 1 de las emisiones directas de GEI en CDMX están totalmente ligadas con el uso de combustible (diésel) en el transporte de los RCD a los sitios de disposición final y a las plantas de aprovechamiento.

Se estimó el consumo de energía en el sector de la construcción en CDMX, de acuerdo a la desagregación con información del BNE en conjunto con información de INEGI, dando como resultado un consumo por el uso de petrolíferos, en específico diésel como combustible, de 2.5 PJ en 2019.

Como medio de transporte de los residuos se consideró el camión de volteo, el cual sirve para mover cualquier tipo de carga que requiera ser trasladada de un punto a otro a granel, como la arena, la piedra, la tierra o los RCD. Tiene múltiples usos en las industrias de construcción y minería. Las medidas más comunes que se manejan en este tipo de camiones son de 7 y 14 m³, aunque también se pueden fabricar en otras medidas (Tauro, 2021).

El rendimiento de un camión de volteo depende de la cantidad de volumen máximo de material que puede acarrear y esto depende de las dimensiones interiores del recipiente y a la distancia que hay que acarrear el material, es muy importante determinar el peso de una carga completa; conocer la densidad, además del abudamiento esperado y el volumen copeteado (Vazquez-Ramirez, 2014).

Supuestos para el escenario base:

- Consumo de combustible promedio de los camiones de volteo de 35 litros (promedio entre 30 y 40 L) cada 100 km (WebfleetSolutions, 2019).
- Cantidad de RCD transportados por vehículo 20.1 t/vehículo-viaje.
- Los vehículos utilizados para el transporte de RCD en CDMX son de 14 m³.
- La densidad de los RCD considerada fue de 1.5 toneladas por metro cubico.
- En el escenario base se considera que a través de los años el reciclaje e RCD se mantiene constante en 4.7%.



- La generación de RCD se estima en base a la población y la generación per cápita de 1.5 toneladas de RCD al año.
- Se determinó el número de viajes por día para transportar los RCD a reciclaje y a disposición final.
- Distancia recorrida por viaje para el reciclaje de los RCD, ida y vuelta 15 Km.
- Distancia recorrida por viaje para la disposición de los RCD, ida y vuelta 55 Km.

En la Tabla 7 se presentan los resultados de los RCD reciclados (4.7%) y a disposición final durante los años objetivo considerados en el escenario base en la CDMX.

Tabla 7. RCD reciclados y a disposición final en CDMX

Año base	Población CDMX 2019	RCD generados (t/día)	RCD a reciclaje (t/día)	RCD a disposición final (t/día)
2019	9031213	37,115	1,744.38	35,370.19
2024	8946184	36,765	1,727.96	35,037.18
2026	8897049	36,563	1,718.47	34,844.74
2028	8839466	36,327	1,707.35	34,619.22
2030	8773420	36,055	1,694.59	34,360.56

En la Tabla 8 se presentan los resultados de las emisiones de CO₂e en el escenario base de mitigación para las emisiones del Alcance 1 la cual contempla las emisiones por consumo de combustible (diésel) por el desplazamiento anual de los vehículos (camiones de volteo) para el transporte de RCD en CDMX hacia los sitios de disposición final o a la planta de aprovechamiento. Así como las emisiones de CO₂e por el consumo de combustible en la planta de aprovechamiento de RCD en CDMX.

Tabla 8. Emisiones de CO₂e por el Alcance 1 en el escenario base

Año base	Emisiones CO ₂ e por transporte de RCD (t/año)	Emisiones CO ₂ e por aprovechamiento de RCD (t/año)
2019	33,448.65	993.25
2024	33,133.73	983.90
2026	32,951.75	978.50
2028	32,738.48	972.16
2030	32,493.87	964.90

En la Figura 7 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario base para el Alcance 1 donde la tendencia es a disminuir hacia el 2030, dado que la generación de RCD está totalmente relacionada con la población. Aun sin ninguna acción de mitigación dado la tendencia de crecimiento poblacional en la CDMX.

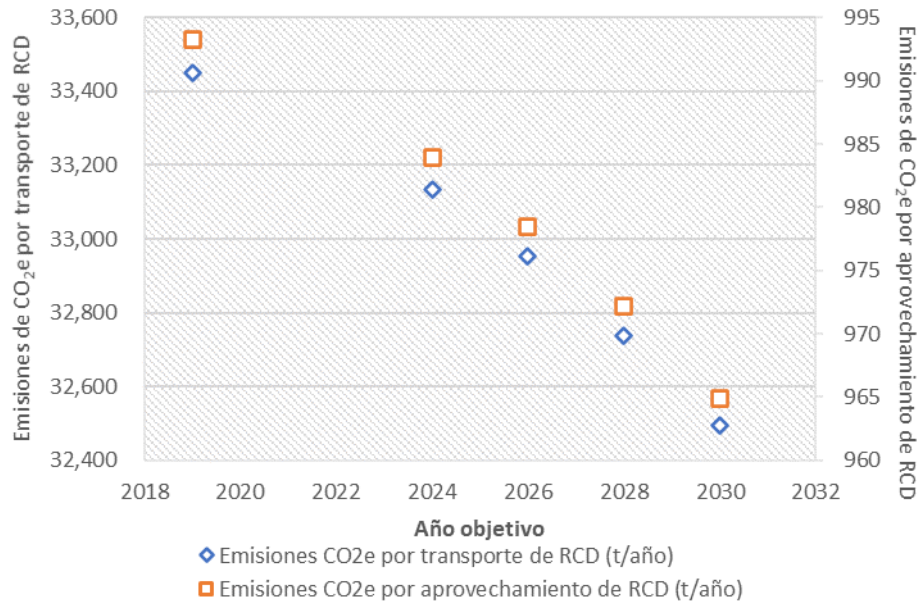


Figura 7. Emisiones de CO₂e para la línea base por el Alcance 1 de los RCD en CDMX

Alcance 2. Emisiones indirectas

En el Alcance 2 como parte de las emisiones indirectas que se generan en el escenario base se consideró la descomposición de los RCD en rellenos sanitarios o sitios de disposición final, dado que estos sitios se encuentran fuera de la CDMX, por lo que para su estimación se ocupó la cantidad de RCD dispuestos en estos sitios y el factor de emisión de 0.03 toneladas de emisiones de CO₂e por tonelada de RCD enterrados, emisiones derivadas de la generación de metano (CH₄) por la presencia en los RCD de materiales que pueden descomponerse a condiciones anaeróbicas por su contenido de materia orgánica, como son papel, cartón, madera.

Otra de las emisiones que se generan como emisiones indirectas en el alcance 2 son por el consumo de energía eléctrica por la planta de aprovechamiento de los RCD en CDMX, la electricidad adquirida se define como la electricidad que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la planta; para su estimación se consideró la cantidad de residuos reciclados en toneladas al año siendo para el escenario base de 4.7% de los RCD generados en la CDMX, el consumo de energía eléctrica por tonelada de RCD aprovechado que se consideró fue de 0.03829 MJ, por el equivalente de electricidad reportado por SENER que es de 3,600 MJ/MWh y el factor de emisión por el consumo de energía eléctrica de acuerdo al Sistema Eléctrico Nacional en tCO₂e/MWh.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de las emisiones de CO₂e en el escenario base de mitigación para las emisiones del Alcance 2, en los distintos años objetivo.



Tabla 9. Emisiones de CO₂e por el Alcance 2 del escenario base

Año base	Emisiones CO ₂ e por disposición final de RCD (t/año)	Emisiones CO ₂ e por uso de electricidad en la planta de aprovechamiento de RCD (t/año)
2019	387,303.57	3.42
2024	383,657.10	3.11
2026	381,549.95	3.04
2028	379,080.50	2.96
2030	376,248.12	2.85

En la Figura 8 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario base para el Alcance 2 donde la tendencia hacia el 2030 es a disminuir, dado que la generación de RCD está totalmente relacionada con el crecimiento poblacional proyectado para CDMX.

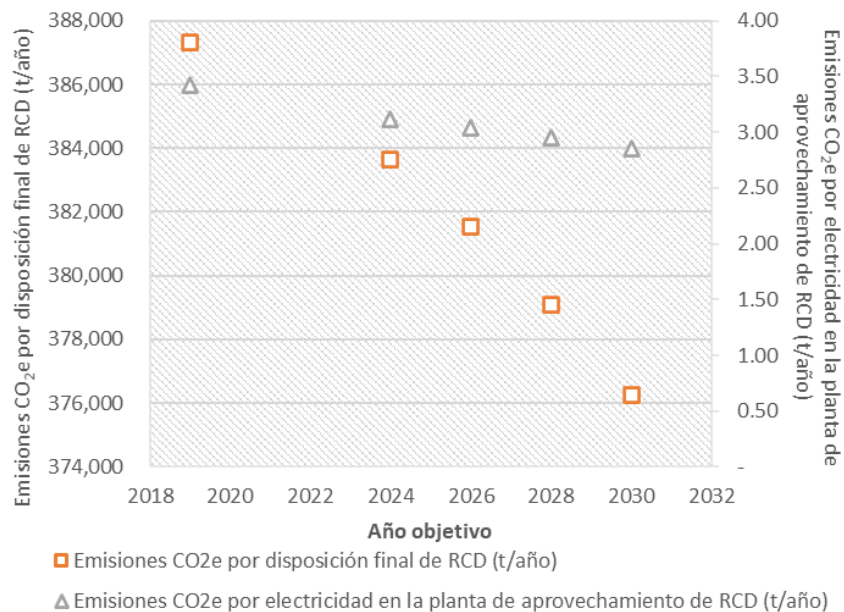


Figura 8. Emisiones de CO₂e para la línea base por el Alcance 2 de los RCD en CDMX

Alcance 3. Emisiones indirectas

Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades del proyecto, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por éste. Algunos ejemplos de actividades del alcance 3 son la extracción de materiales y la producción de materiales adquiridos, además del transporte de combustibles adquiridos, y el uso de productos y servicios vendidos.



El dato de actividad para este cálculo se enfoca a la caracterización de los RCD y las materias primas vírgenes que puedan sustituirse por el aprovechamiento de estos residuos. Y las emisiones asociadas con el consumo de energía (por consumo de combustibles y electricidad) para la producción de estos materiales vírgenes.

Para comprender el impacto de cualquier producto o estructura, en la industria de la construcción debemos considerar las emisiones de todo el ciclo de vida, las cuales abarcan todo el dióxido de carbono emitido y la energía gastada durante el abastecimiento, la fabricación, el transporte, la construcción, el uso, la reutilización, el reciclaje y la eliminación de materiales de construcción. Donde aproximadamente el 10% de las emisiones de CO₂e de este ciclo de vida corresponden a la extracción de las materias primas vírgenes (PCA, 2019).

La cantidad de energía ahorrada varía según el material, pero casi todos los procesos de reciclaje logran unos ahorros significativos de energía en comparación con la producción utilizando materias vírgenes.

Los supuestos que se consideraron para el escenario base en las emisiones indirectas de CO₂e generadas en el Alcance 3 son:

- Se consideró la caracterización de los RCD donde el 90% de ellos pueden ser considerados para el reciclaje, cascajo (60%), concreto (10%), cerámicos (5%), agregados pétreos (14%) y carpetas asfálticas (1%).
- Se consideró el consumo de combustibles (diésel y combustóleo) para generación de materias primas vírgenes de agregados pétreos para el consumo en la industria de la construcción, considerando lo reportado por SENER del consumo de energía por la industria minera y de esta en específico para la explotación de materiales de las canteras.
- De acuerdo al Anuario Estadístico de la Minería Mexicana del año 2019, la producción de agregados pétreos es el mineral no metálico más producido a nivel nacional, y representan el 40.4% del valor monitorio de la producción minera a nivel nacional, por lo que se consideró que fue el mismo porcentaje de energía necesaria para su producción para diésel, combustóleo y electricidad.
- Se determinó el consumo de energía por tonelada de agregados pétreos (materias primas vírgenes) producidos, lo que resultó en 9.77×10^{-7} TJ de diésel, 2.74×10^{-7} TJ de combustóleo y 6.56×10^{-6} TJ de electricidad.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los RCD transformados en agregados pétreos reciclados para los años objetivo considerados en el escenario base en la CDMX.

Tabla 10. RCD reciclados en agregados pétreos en CDMX

Año base	% de RCD reciclados en CDMX	Población CDMX 2019	RCD generados (t/día)	RCD aprovechados de acuerdo a las metas (t/día)
2019	4.7%	9031213	37,115	1,570
2024	4.7%	8946184	36,765	1,555
2026	4.7%	8897049	36,563	1,547



2028	4.7%	8839466	36,327	1,537
2030	4.7%	8773420	36,055	1,525

En la Tabla 11 se presentan los resultados de las emisiones indirectas de CO₂e en el escenario base de mitigación para el Alcance 3 la cual contempla las emisiones por consumo de combustible (diésel y combustóleo) y por electricidad por la generación de materiales vírgenes (agregados pétreos) que se utilizarían en CDMX en sustitución de agregados pétreos reciclados de los RCD.

Tabla 11. Emisiones de CO₂e por el Alcance 3 del escenario base, en toneladas

Año base	Emisiones de CO ₂ e por el consumo de combustible para la producción de materias primas vírgenes	Emisiones de CO ₂ e por el consumo de electricidad para la producción de materias primas vírgenes
2019	1,117,286	10,690.5
2024	1,106,766	9,730.1
2026	1,100,688	9,509.8
2028	1,093,564	9,241.0
2030	1,085,393	8,904.6

En la Figura 9 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario base para el Alcance 3 donde las emisiones indirectas por el uso de materias primas vírgenes en la construcción en CDMX son debidas al consumo de combustibles fósiles (diésel y combustóleo) así como las emisiones por el consumo de electricidad para el mismo fin. Se observa que la tendencia es a disminuir con el paso de los años objetivo dado su relación con la proyección del crecimiento poblacional en la CDMX que tiende a disminuir.

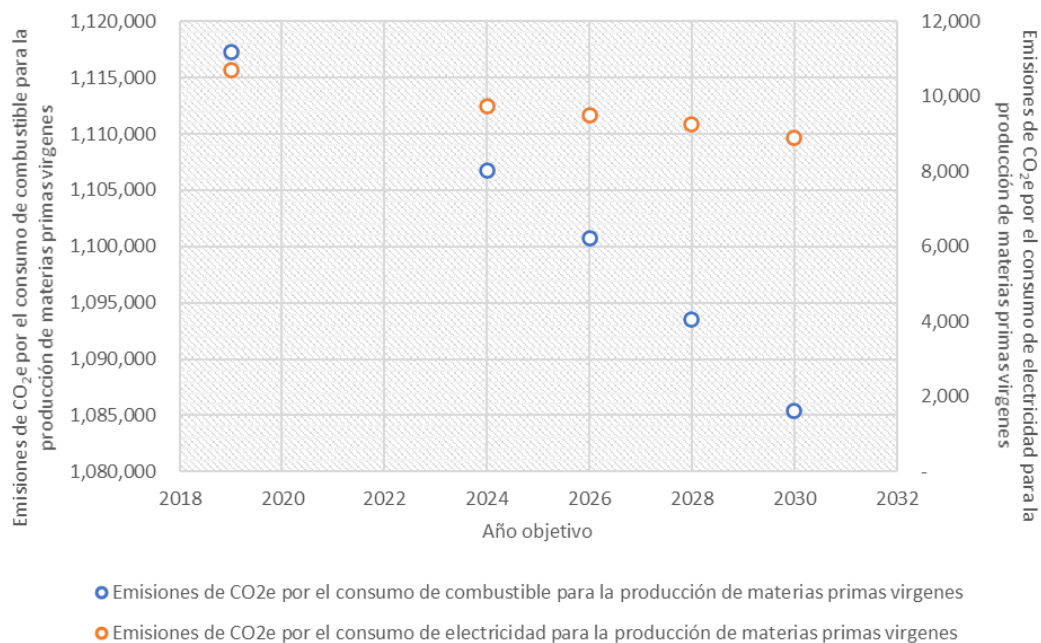


Figura 9. Emisiones indirectas de CO₂e para la línea base por el Alcance 3 de los RCD en CDMX



Emisiones del escenario de mitigación

La implementación de tecnologías que buscan aprovechar residuos, incorporándolos de nuevo en la cadena productiva son necesarias para empezar a cerrar ciclos de materiales y a su vez, disminuir la emisión de CO₂ a la atmósfera.

El IPCC, define la mitigación como “una intervención humana para reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (GEI)” (IPCC, 2021).

Por lo tanto, la mitigación implica modificar las actividades económicas y cotidianas de los individuos u empresas para lograr una disminución en las emisiones de gases efecto invernadero, con el fin de reducir o hacer menos intensos los efectos del cambio climático.

El escenario de mitigación es una descripción plausible del futuro que describe cómo el sistema (estudiado) responde a la implementación de políticas y medidas de mitigación.

En el presente estudio el escenario de mitigación es el incremento del aprovechamiento de los RCD en CDMX para su reciclaje en agregados pétreos reciclados que se utilicen en las actividades de construcción.

El resultado del escenario de mitigación por alcance del cálculo de emisiones de CO₂e se presentan en la *Tabla 12* y en la *Figura 10*, donde las emisiones a través de los años objetivo tiene una disminución importante por el aprovechamiento de los RCD en el reciclaje, mitigando emisiones por consumo de combustibles, por uso de electricidad, por disposición final de RCD y mayormente por la disminución del uso de materiales vírgenes para la construcción en CDMX.

Tabla 12. Emisiones de CO₂e en toneladas/año del escenario de mitigación, ton/año

Año base	Objetivo % de RCD reciclados en CDMX	Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3
2019	4.7%	34,442	387,307	1,127,976
2024	55%	32,098	181,197	527,202
2026	60%	31,722	160,186	465,980
2028	65%	31,318	139,262	405,018
2030	70%	30,887	118,484	344,480

En el escenario de mitigación hay una disminución drástica de las emisiones de CO₂e en el alcance 3 por el incremento en el aprovechamiento de los RCD, disminuyendo con ello el consumo de materiales vírgenes (agregados pétreos) y aumentando el reciclaje.

Las emisiones del alcance 2 en el escenario de mitigación también disminuyen de manera importante dado que se evita la disposición de RCD en sitios de disposición final, aprovechando los mismos para el reciclaje.

Las emisiones del alcance 1 tienden a disminuir, aunque su disminución no es tan drástica ya que, así como disminuye el uso de combustible para el traslado a mayor distancia de los RCD, aumenta su uso para el traslado a las plantas de aprovechamiento, así como aumenta el consumo de energía en las plantas para el reciclaje de los RCD en CDMX.

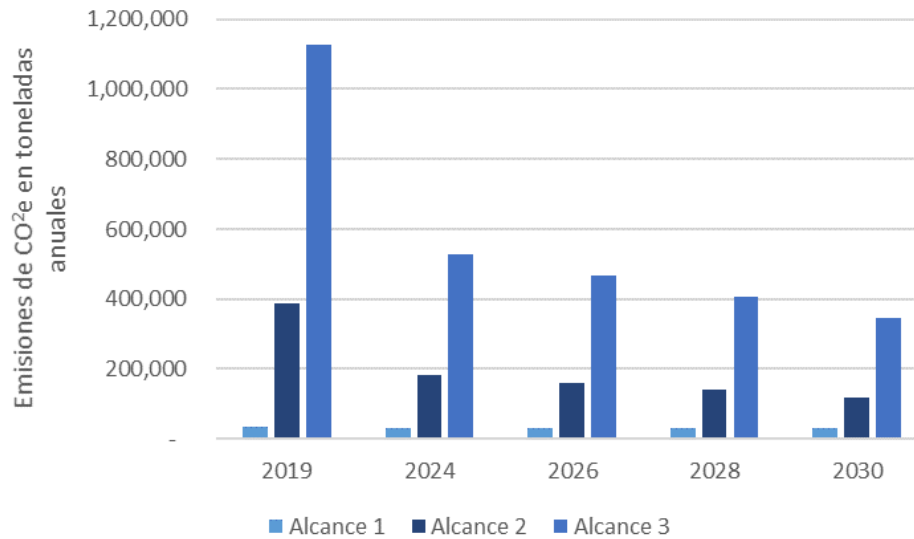


Figura 10. Emisiones de CO₂e por alcance para el escenario de mitigación

Alcance 1. Emisiones directas

Donde el Alcance 1 de las emisiones directas de GEI en el escenario de mitigación en CDMX están ligado a dos actividades, el consumo de combustible (diésel) para el transporte de los RCD a los sitios de disposición de residuos y a las plantas de aprovechamiento. Donde al paso de los años se plantea el incremento del aprovechamiento de RCD, por lo que el recorrido de los camiones de volteo disminuye ya que las plantas se encuentran ubicadas en instalaciones dentro de la CDMX donde los recorridos son entre 5 a 10 km para ser desplazados, ida y vuelta, quedando cada recorrido en 15 km promedio.

Los recorridos a los sitios de disposición final de RCD disminuyen, siendo estos más largos por estar afuera de la CDMX teniendo que recorrer entre 25 y 30 Km, ida y vuelta quedando estos en 35 km promedio.

Siendo los años y los objetivos de reciclaje para obtener los presentes en la Tabla 13, así como la cantidad de RCD a reciclar y a disposición final durante los años objetivo considerados en el escenario de mitigación en la CDMX.

Tabla 13. RCD reciclados y a disposición final en CDMX en el escenario de mitigación, Alcance 1

Año base	Objetivo % de RCD reciclados	Población CDMX 2019	RCD generados (t/día)	RCD a reciclaje (t/día)	RCD a disposición (t/día)
2019	4.7%	9031213	37,115	1,744.38	35,370.19
2024	55%	8946184	36,765	20,220.83	16,544.31
2026	60%	8897049	36,563	21,937.93	14,625.29
2028	65%	8839466	36,327	23,612.27	12,714.30
2030	70%	8773420	36,055	25,238.61	10,816.55

En la Tabla 14 se presentan los resultados de las emisiones de CO₂e en el escenario de mitigación para las emisiones del Alcance 1 la cual contempla las emisiones por consumo de combustible (diésel) por el desplazamiento anual de los vehículos (camiones de volteo) para el transporte de RCD en CDMX hacia los sitios de disposición final o a las plantas de aprovechamiento. Así como las emisiones de CO₂e por el consumo de combustible en las plantas de aprovechamiento de RCD en CDMX.

Tabla 14. Emisiones de CO₂e por el Alcance 1 en el escenario de mitigación

Año base	Objetivo % de RCD reciclados	Emisiones CO ₂ e por transporte de RCD (t/año)	Emisiones CO ₂ e por aprovechamiento de RCD (t/año)
2019	4.7%	33,448.65	993.25
2024	55%	20,583.83	11,513.74
2026	60%	19,230.13	12,491.46
2028	65%	17,873.04	13,444.83
2030	70%	16,516.09	14,370.86

En la Figura 11 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario de mitigación para el Alcance 1 donde la tendencia es a disminuir hacia el 2030, las emisiones por el transporte de RCD dado que el consumo de combustible por esta actividad disminuye de manera importante por el aprovechamiento de los RCD. Además, se observa que las emisiones por el consumo de combustible en las plantas de aprovechamiento de los RCD aumentan por la medida de mitigación objetivo a través de los años.

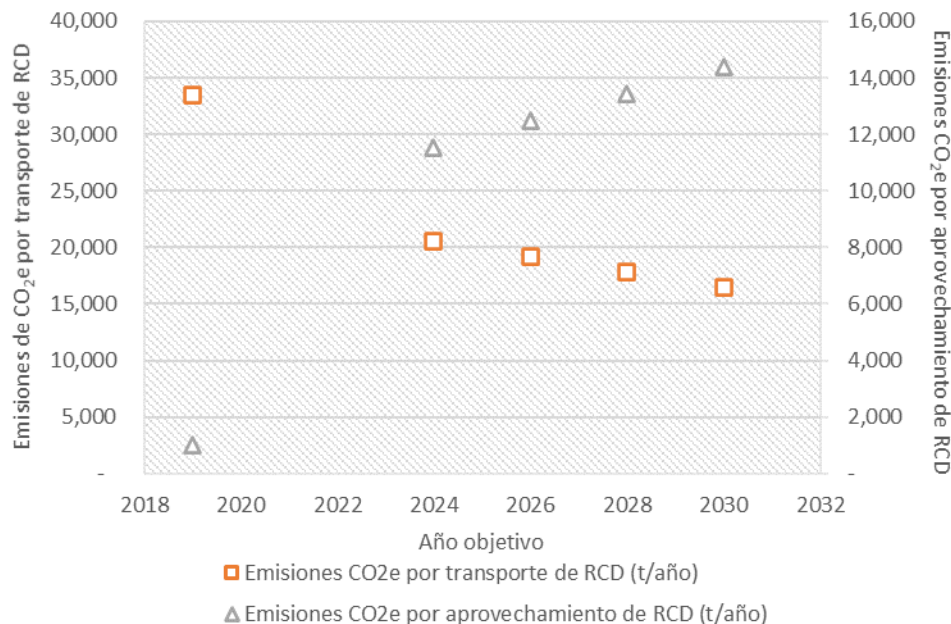


Figura 11. Emisiones de CO₂e del escenario de mitigación por el Alcance 1 de los RCD en CDMX



Alcance 2. Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas que se generan en el escenario de mitigación en el Alcance 2 por la descomposición de los RCD en rellenos sanitarios o sitios de disposición final disminuye a través de los años objetivo, pues una menor cantidad de los RCD se entierran por su aprovechamiento o reciclaje. Mientras las emisiones que se generan como emisiones indirectas por el consumo de energía eléctrica en las plantas de aprovechamiento de los RCD en CDMX incrementa a través de los años objetivo.

En la Tabla 15 se presentan los resultados de las emisiones de CO₂e en el escenario de mitigación para las emisiones del Alcance 2, en los distintos años objetivo.

Tabla 15. Emisiones de CO₂e por el Alcance 2 del escenario de mitigación

Año base	Emisiones CO ₂ e por disposición final de RCD (t/año)	Emisiones CO ₂ e por uso de electricidad en la planta de aprovechamiento de RCD (t/año)
2019	387,304	3.42
2024	181,160	36.42
2026	160,147	38.84
2028	139,222	40.88
2030	118,441	42.43

En la Figura 12 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario de mitigación para el Alcance 2, donde la tendencia hacia el 2030 en el caso de la disposición final de los RCD es a disminuir, porque los RCD son aprovechados. Mientras que las emisiones por el consumo de electricidad en las plantas de aprovechamiento en CDMX incrementarán por el incremento en el reciclaje de los residuos.

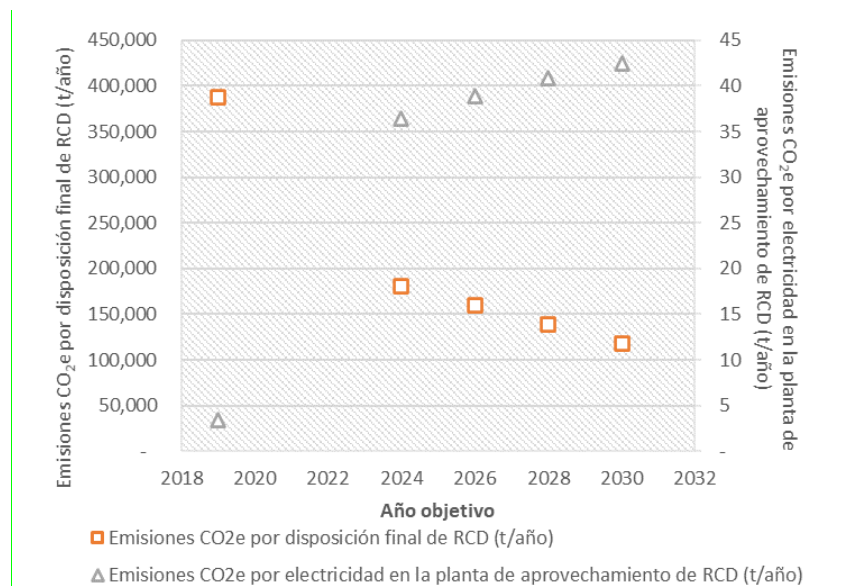


Figura 12. Emisiones de CO₂e para el escenario de mitigación por el Alcance 2 de los RCD en CDMX



Alcance 3. Emisiones indirectas

Las emisiones indirectas del alcance 3 en el escenario de mitigación provienen del consumo de energía por uso de combustibles y electricidad para la producción de materiales vírgenes (agregados pétreos). En el escenario de mitigación dichas emisiones disminuyen por la reducción del uso de materiales vírgenes al aumentar el aprovechamiento de los RCD a través de los años objetivo.

En la Tabla 16 se presentan los resultados de los RCD reciclados a través de los años objetivo considerando el escenario de mitigación en la CDMX.

Tabla 16. RCD aprovechados y no aprovechados en el escenario de mitigación

Año base	% de RCD reciclados en CDMX	Población CDMX 2019	RCD no aprovechados de acuerdo a las metas (t/día)	RCD aprovechados de acuerdo a las metas (t/día)
2019	4.7%	9,031,213	31,833	1,570
2024	55%	8,946,184	14,890	18,199
2026	60%	8,897,049	13,163	19,744
2028	65%	8,839,466	11,443	21,251
2030	70%	8,773,420	9,735	22,715

En la Tabla 17 se presentan los resultados de las emisiones de CO₂e en el escenario de mitigación para el Alcance 3 las cuales son resultado de la disminución del uso de combustibles y electricidad para la producción de materiales vírgenes por el aumento del reciclaje de RCD a través de los años objetivo.

Tabla 17. Emisiones de CO₂e por el Alcance 3 en el escenario de mitigación

Año base	Emisiones de CO ₂ e por el consumo de combustible para la producción de materias primas vírgenes	Emisiones de CO ₂ e por el consumo de electricidad para la producción de materias primas vírgenes
2019	1,117,286	10,690.5
2024	522,607	4,594.5
2026	461,989	3,991.5
2028	401,624	3,393.9
2030	341,677	2,803.1

En la Figura 13 se observa el comportamiento de las emisiones de CO₂e del escenario de mitigación para el Alcance 3 donde las emisiones indirectas por el uso de materias primas vírgenes en la construcción en CDMX disminuyen de manera importante por el aumento en el aprovechamiento de RCD y la generación de agregados pétreos reciclados.

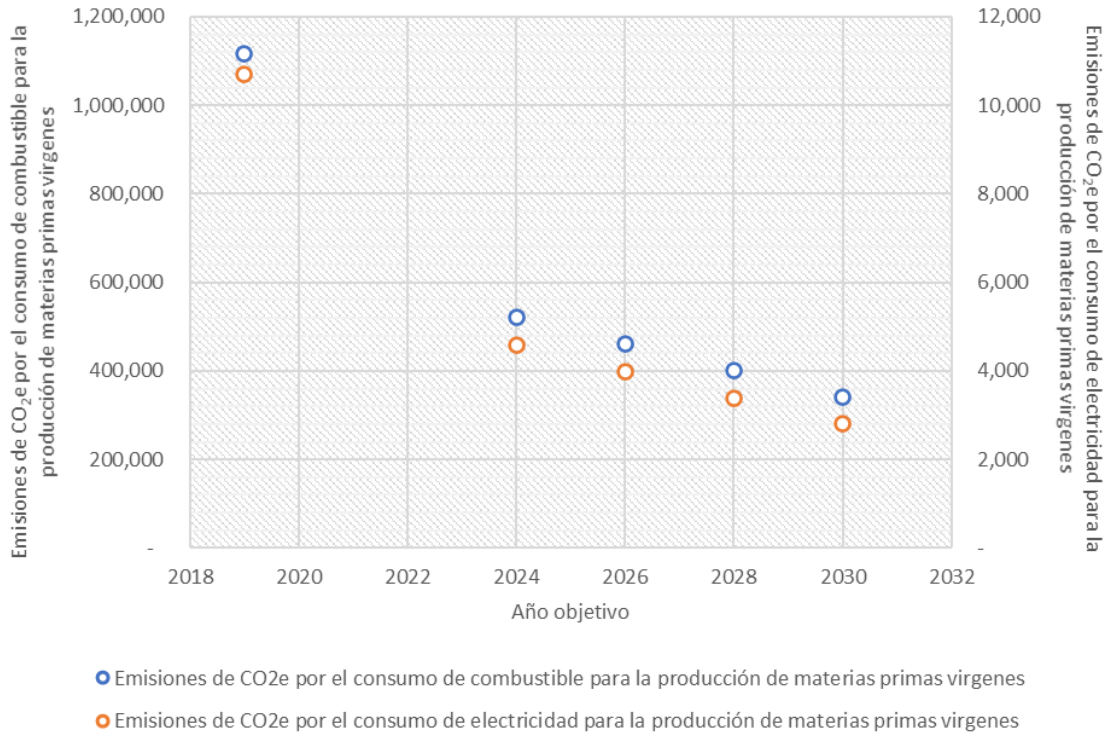


Figura 13. Emisiones indirectas de CO₂e para el escenario de mitigación por el Alcance 3 en CDMX



Emisiones del potencial de mitigación

En la Tabla 18 se presentan las emisiones del potencial de mitigación de CO₂e en toneladas por el aumento en el aprovechamiento de RCD en CDMX, donde se observa que el potencial de mitigación de emisión neta por alcance incrementa a través de los años, dado el cumplimiento del objetivo de aprovechamiento de los residuos. En el alcance 1 y 2 se cuenta con potenciales de mitigación negativos en las actividades que se llevan a cabo en las plantas de aprovechamiento, esto quiere decir que no hay una disminución de las emisiones por estas actividades, sino al contrario dado que hay un incremento en el aprovechamiento de los RCD en las plantas de reciclaje aumenta el consumo de combustibles y de electricidad para cumplir con los objetivos.

Tabla 18. Resultados del potencial de mitigación de CO₂e en toneladas por el aumento en el aprovechamiento de RCD en CDMX

Alcance	Tipo de actividad	Años / Meta de aprovechamiento de RCD				
		2019 (4.7%)	2024 (55%)	2026 (60%)	2028 (65%)	2030 (70%)
Alcance 1	Uso combustible Transporte de RCD	-	12,550	13,722	14,865	15,978
	Uso combustible por aprovechamiento de lo RCD	-	-10,530	-11,513	-12,473	-13,406
	Alcance 1 Total	-	2,020	2,209	2,393	2,572
Alcance 2	Disposición final de los RCD	-	202,497	221,403	239,859	257,807
	Consumo de energía eléctrica por aprovechamiento de lo RCD en CDMX	-	-33.31	-35.79	-37.93	-39.58
	Alcance 2 Total	-	202,464	221,367	239,821	257,767
Alcance 3	Consumo de combustible en la obtención de las materias primas vírgenes	-	584,159	638,699	691,940	743,716
	Consumo de energía eléctrica en la obtención de las materias primas vírgenes	-	5,136	5,518	5,847	6,101
	Alcance 3 Total	-	589,295	644,217	697,787	749,818
Potencial de mitigación global				793,778	867,793	940,001



En la Figura 14 se presenta el potencial de mitigación global del aprovechamiento de los RCD en CDMX para los distintos años considerando año base el 2019 con un 4.7% de aprovechamiento de los RCD, 2024 con el 55% de acuerdo con la capacidad que tendrán de aprovechamiento las 6 plantas que tiene programadas tener en operación el gobierno de la CDMX, 2026 con un 60% de aprovechamiento, 2028 con un 65% y 2030 con un 70%.

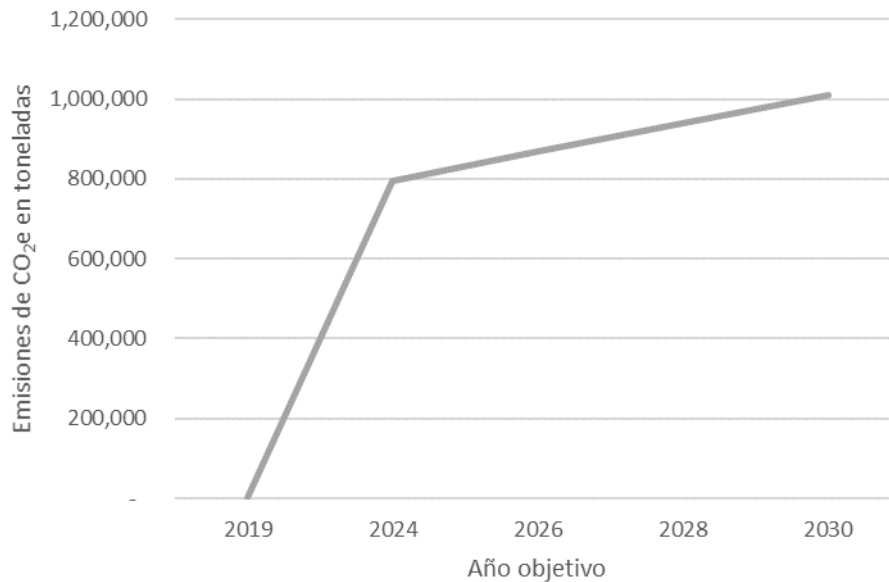


Figura 14. Potencial global de mitigación de emisiones de CO₂e por el aprovechamiento de los RCD en CDMX

El alcance 1 el cual está relacionado con las emisiones directas de la organización es el que menores emisiones totales mitiga al pasar de los años con el cumplimiento de los objetivos de mitigación debido a que si bien hay una disminución en el consumo de combustible por el transporte de los RCD a menores distancias, también hay un incremento en el consumo de combustible en las plantas de aprovechamiento de los residuos para el cumplimiento de los objetivos.

Las emisiones indirectas del alcance 2 tiene un potencial de mitigación mayor que el alcance 1; estas emisiones están relacionado con el consumo de energía eléctrica en las plantas de aprovechamiento de los RCD, el cual incrementa por un mayor aprovechamiento, sin embargo también están relacionadas con las emisiones por disposición final de los RCD y esta disposición disminuye al reciclar los residuos por lo que la emisión neta de este alcance disminuye con el cumplimiento de los objetivos de aprovechamiento a través de los años.

El alcance 3 es el que más emisiones de CO₂e logra mitigar por evitar el uso de materias primas vírgenes (agregados pétreos) disminuyendo con ello el uso de combustibles fósiles y electricidad para su extracción y transporte, y aprovechar los RCD generando agregados pétreos reciclados dentro de la ciudad que serán usados en la industria de la construcción en la misma CDMX (Figura 15).

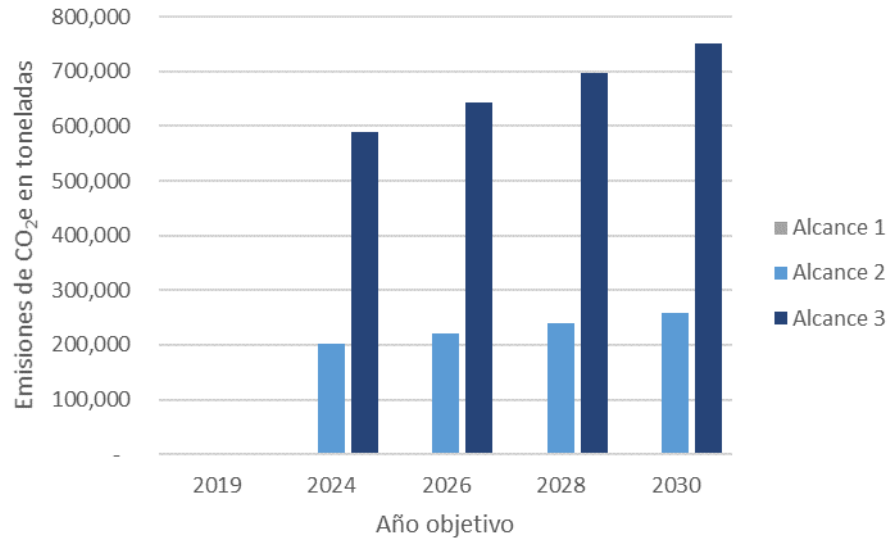


Figura 15. Potencial de mitigación de emisiones de CO₂e por alcance y año objetivo por el aprovechamiento de los RCD en CDMX



Recomendaciones

Durante el desarrollo del presente proyecto se buscó la obtención de información local a través del levantamiento de encuestas a los involucrados sin embargo la información obtenida fue mínima o nula; por lo que se recomienda realizar un estudio específico para la caracterización de los RCD de la CDMX con la participación de las empresas constructoras, cementeras, concreteras, etc. Así como revisar las metodologías de cuantificación de generación de RCD en CDMX ya que varía de manera importante entre una fuente de información y otra.

Si bien se generaron y utilizaron valores correspondientes al contexto mexicano y enfocándolo a la CDMX partiendo de la información nacional, se recomienda generar información local y específica de energía y producción de materiales de construcción vírgenes evitados (por ejemplo, agregados pétreos), y de procesos de reciclaje de RCD locales (solo se obtuvo la información de una instalación).

Se recomienda determinar la huella de carbono de los agregados pétreos. Siendo la huella de carbono la suma total de gases de efecto invernadero emitidos de forma directa e indirecta asociadas al ciclo de vida de un producto, desde las materias primas necesarias hasta su destrucción o reciclaje.

Es recomendable que una vez que se implemente el proyecto se cuente con un sistema MRV (Medición-Reporte-Verificación) con el fin de hacer el seguimiento y saber cuáles son las reducciones de emisiones reales versus las previstas originalmente. Dichos sistemas sirven para asegurar de una manera transparente que los resultados de la implementación de la acción de mitigación de emisiones de GEI están ocurriendo y que su impacto está siendo cuantificado y reportado adecuadamente.

Se recomienda hacer estudios de caracterización fisicoquímica de los agregados reciclados para su consideración en distintas aplicaciones como pueden ser: firmes de carreteras, rellenos /explanadas, firmes cementosos, prefabricados, concreto hidráulico, entre otros.

Se recomienda realizar estudios de valorización energética de los RCD para su posible uso como combustible en otras industrias como la cementera. Así como para poder ser usado como materia prima para la producción de cemento.

Impulsar la venta de los agregados producto del reciclaje de RCD mediante las empresas y las áreas comerciales de las mismas, la información estimada en este capítulo puede ser utilizada con este fin.

Las alcaldías en CDMX y otras entidades federativas deben enfocar esfuerzos en concientizar a los generadores de RCD para darle una correcta disposición a estos, permitiendo de esta manera su aprovechamiento, formando incluso recolectores consientes de estos beneficios.

Además de que es de suma importancia que otras entidades federativas en el país impulsen legislación local en el tema de la gestión de los RCD y su aprovechamiento.



Conclusiones

En el presente capítulo se cuantificó el potencial de emisiones CO₂e evitadas debidas del aumento en el aprovechamiento de RCD a lo largo del tiempo.

Dicha estimación se realizó en base a las directrices internacionales del IPCC-2006 para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, y las metodologías del protocolo GHG e ISO 14064.

Se estimaron las emisiones de CO₂e del escenario base y el escenario de mitigación para el cálculo del potencial de mitigación de emisiones considerando los diferentes alcances de la metodología, Alcance 1 (emisiones directas), Alcance 2 (emisiones indirectas) y Alcance 3 (emisiones indirectas).

El alcance 1 el cual está relacionado con el consumo de combustible por el transporte de los RCD y el consumo de combustible en las plantas de aprovechamiento de los residuos. Se estimó para 2024 con las 6 plantas en operación y un reciclaje del 55% de los RCD en CDMX con un potencial de mitigación de 2,020 toneladas de CO₂e.

Las emisiones indirectas del alcance 2 tiene un potencial de mitigación mayor que el alcance 1; estas emisiones están relacionado con el consumo de energía eléctrica en las plantas de aprovechamiento de los RCD y las emisiones por disposición final de los RCD. En 2024 con el aprovechamiento de 55% de los RCD en CDMX se estimó un potencial de mitigación de 202,464 toneladas de CO₂e.

El alcance 3 es el que más emisiones de CO₂e logra mitigar por evitar el uso de materias primas vírgenes (agregados pétreos) disminuyendo con ello el uso de combustibles fósiles y electricidad para su extracción y transporte, y aprovechar los RCD generando agregados reciclados dentro de la ciudad que serán usados en la industria de la construcción; para 2024 considerando el aprovechamiento del 55% de los RCD se estimó un potencial de mitigación de 589,295 toneladas de CO₂e.

El potencial de mitigación global por aumento del aprovechamiento de los RCD en la CDMX al 2024 es de 793.78 miles de toneladas de CO₂e.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que en términos de las emisiones de CO₂e generadas, el reciclaje de RCD presentan un impacto ambiental menor que la extracción clásica del material vírgenes.

Basados en la cuantificación de CO₂e en el presente capítulo, se infiere que la tecnología de reciclaje de residuos de construcción y demolición en agregados reciclados además de realizar el aprovechamiento de un residuo, que son importantes en volumen en la totalidad de los residuos que se generan en CDMX, su impacto ambiental es menor en comparación con la materia prima virgen (agregados pétreos) obtenidos de la minería a cielo abierto.

Basados en los datos de consumo de electricidad y combustible para la obtención de agregados pétreos vírgenes versus reciclados, se estima que el proceso de manufactura de estos últimos es significativamente más económico.



Referencias

BIE-INEGI, 2021. *Encuesta Nacional de Empresas Constructoras. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.* [En línea]
Available at: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
[Último acceso: 15 08 2021].

CDMX, G. d. I., 2021. *Anuncia Jefa de Gobierno seis Plantas de Tratamiento y Aprovechamiento de Residuos de la Construcción en la Ciudad de México.* [En línea]
Available at: <https://jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/anuncia-jefa-de-gobierno-seis-plantas-de-tratamiento-y-aprovechamiento-de-residuos-de-la-construccion-en-la-ciudad-de-mexico>
[Último acceso: 30 08 2021].

Chathan-House, 2018. *Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete.* [En línea]
Available at: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
[Último acceso: 26 07 2021].

CLF, C. L. F., 2020. *Embodied Carbon 101.* [En línea]
Available at: carbonleadershipforum.org
[Último acceso: 25 mayo 2021].

CONAPO, 2018. *Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030*, s.l.: s.n.

DOF, D. O. d. I. F., 2015. *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS (LGPGIR).* [En línea]
Available at: <https://dof.gob.mx/>
[Último acceso: 20 07 2021].

GHG-Protocol, 2021. *GREENHOUSE GAS PROTOCOL.* [En línea]
Available at: <https://ghgprotocol.org/>
[Último acceso: 01 06 2021].

INECC-IMP, 2014. *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México.*, Ciudad de México, México: s.n.

INECC-SEMARNAT, 2018. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 INEGYCEI*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

INEGI, 2019. *Censos Económicos 2019. Resultados definitivos.* [En línea]
Available at: <https://www.inegi.org.mx/app/saic/?cue=construccion>
[Último acceso: 09 09 2021].



IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse*, Japan: IGES, Japan.

IPCC, 2013. *Quinto Informe de Evaluación. Cambio Climático*, s.l.: s.n.

IPCC, 2021. *Glosario, IPCC*. [En línea]
Available at: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/glossary/>
[Último acceso: 10 09 2021].

IPCC, 2021. *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. [En línea]
Available at: <https://www.ipcc.ch/>
[Último acceso: 20 06 2021].

ISO, O. I. d. N., 2018. *ISO 14064-1:2018, Gases de efecto invernadero*. [En línea]
Available at: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
[Último acceso: 20 05 2021].

Marcó, R. P., 2020. *Hacia la circularidad en los residuos de construcción y demolición*. [En línea]
Available at: <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/266307-Hacia-la-circularidad-en-los-residuos-de-construccion-y-demolicion.html>
[Último acceso: 28 mayo 2021].

PCA, A. d. C. P., 2019. *Sostenibilidad del cemento y el hormigón: Emisiones del ciclo de vida*. [En línea]
Available at: <https://readymag.com/apcoworldwide/cementandconcretelifecycle/>
[Último acceso: 23 09 2021].

PNUD, 2020. *Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción en 2020: Hacia un sector de los edificios y la construcción con cero emisiones, eficiente y resistente.*, Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

SEDEMA, 2015. *NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-007-RNAT-2013, QUE ESTABLECE LA CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO PARA RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, EN EL DISTRITO FEDERAL*, Ciudad de México: s.n.

SEDEMA, 2019. *Programa Basura Cero Ciudad de México*. [En línea]
Available at: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/basura-cero>
[Último acceso: 22 08 2021].

SEDEMA-CDMX, 2018. *Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016*, Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.

SEMARNAT, 2020. *Aviso sobre el factor de emisión eléctrico para el reporte 2019*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>
[Último acceso: 02 09 2021].

SENER, 2020. *BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2019*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019>
[Último acceso: 09 09 2021].



SGM, S. G. M., 2020. *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2019.* [En línea]
Available at: http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2019_Edicion_2020.pdf
[Último acceso: 20 09 2021].

Tauro, 2021. *Los camiones de volteo y sus características.* [En línea]
Available at: <https://www.tauro.mx/camiones-de-volteo/>
[Último acceso: 10 09 2021].

UNEP, O. P. p. e. m. a., 2021. *En busca de la extracción sostenible de arena.* [En línea]
Available at: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/en-busca-de-la-extraccion-sostenible-de-arena>
[Último acceso: 20 08 2021].

USEPA, 2021. *Documentation for the Waste Reduction Model (WARM).* [En línea]
Available at: <https://www.epa.gov/warm/documentation-waste-reduction-model-warm>
[Último acceso: 19 09 2021].

Vazquez-Ramirez, L., 2014. *Curso: Construcciones Hidraulicas I.* [En línea]
Available at: <https://es.slideshare.net/juanjovasanty/rendimeinto-maquinaria>
[Último acceso: 09 09 2021].

WebfleetSolutions, 2019. *¿Conoces el consumo de diésel de un camión por km?.* [En línea]
Available at: https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/conoces-el-consumo-de-diesel-de-un-camion-por-km/
[Último acceso: 18 09 2021].



Anexos

Anexo 1. Potencial Reducción Emisiones GEI por el aprovechamiento de RCD

El Anexo podrá ser encontrado en un archivo externo provisto junto con este informe