




## Huella ambiental de la manufactura de parabrisas en México

### Environmental footprint of windshield manufacture in Mexico

M. G. Ramírez-Díaz <sup>a</sup>, J. A. Patiño-Pineda <sup>a</sup>, C. A. Cortés-Escobedo <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, 02250, Azcapotzalco, Ciudad de México, México.

#### Resumen

Se presentan y discuten resultados del análisis de ciclo de vida de la manufactura de un parabrisas en México. El cálculo de la huella ambiental se realizó mediante diferentes categorías de impacto, realizando un análisis de sensibilidad a partir de 3 escenarios: i) a partir de materias primas extraídas directamente de la naturaleza, ii) a partir de reciclaje de vidrio y iii) con la utilización de materias primas de origen mixto, con un 23.5% de vidrio reciclado. Los datos de inventario analizados utilizando el software Simapro arrojaron una mayor contribución a los impactos ambientales potenciales correspondientes a la etapa de transporte en todos los casos, en calentamiento global y ecotoxicidad terrestre. La materia prima con mayor contribución en impactos es el cloruro de polivinilo, principalmente en el agotamiento de ozono estratosférico y escasez de fuentes fósiles. La mayor huella ambiental fue la calculada para el transporte de materias primas extraídas de la naturaleza en la categoría de toxicidad humana con 0.12 kg 1,4-diclorobenceno equivalente por cada parabrisas producido.

#### Palabras Clave:

Análisis de ciclo de vida, huella ambiental, parabrisas, eco-eficiencia, manufactura.

#### Abstract

Results of the life cycle analysis for the calculation of the environmental footprint of the manufacture of a windshield in Mexico are presented and discussed. The calculation of the environmental footprint was carried out, considering through different impact categories, comparing by performing a sensitivity analysis based on 3 scenarios: i) obtaining it from raw materials extracted directly from nature, ii) from recycling glass and iii) with the use of raw materials of mixed origin, with 23.5% recycled glass. The inventory data analyzed using the Simapro software showed a greater contribution to the potential environmental impacts corresponding to the transportation stage in all cases, in global warming and terrestrial ecotoxicity. The raw material with the greatest impact contribution is polyvinyl chloride, mainly in the depletion of stratospheric ozone and scarcity of fossil sources.

#### Keywords:

Life cycle analysis, environmental footprint, windshield, eco-efficiency, manufacture.

#### 1. Introducción

Es considerable el impacto ambiental sobre los recursos naturales que tienen las industrias y en general las actividades humanas. Sobre todo, considerando el crecimiento incrementado en determinadas zonas geográficas sensibles a tales impactos.

La industria de autopartes, es una rama clave de la industria automotriz en México, representando en el año 2014 el 16.9% del total de las industrias manufactureras, considerándose una industria en evolución que parte de las exigencias de la demanda internacional incluyendo lo referente a mejora ambiental en el sector industrial (INEGI, 2016).

La creciente preocupación global por la disponibilidad de recursos, además de la disminución de impactos ambientales, junto con otras prioridades, ha dado lugar al establecimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y con ello, la necesidad de

medir estos impactos para poder lograr los objetivos a 2030. En particular, lo correspondiente a los objetivos 9, 11 y 12, relacionados con la industria, innovación e infraestructura; ciudades y comunidades más sostenibles y producción y consumo responsables, respectivamente. Adicionalmente, el establecimiento de estos objetivos ha dado lugar a modificaciones legislativas, como la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (DOF, 2021)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un producto o servicio es una herramienta que tiene como objetivo la evaluación de los impactos potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos o servicios, mediante la cuantificación del uso de materia y energía con el fin de llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental, a partir de la identificación de las etapas de mayor impacto (Aguayo, 2011). Estos impactos corresponden a la huella ambiental de productos y servicios (ISO, 2022).

\*Autor para la correspondencia: ccortese@ipn.mx

Correo electrónico: mramirezd1300@alumno.ipn.mx (Martiza Guadalupe Ramírez Díaz), jpatino@ipn.mx (José Arturo Patiño Pineda), ccortese@ipn.mx (Claudia Alicia Cortés Escobedo)

Por otra parte, de acuerdo con datos del compendio de estadísticas ambientales de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del año 2021 (SEMARNAT, 2021), en 2012 el 13.8% de los residuos recolectados valorizables correspondió a vidrio, mientras que se recicló el 23.5% del vidrio producido.

En este trabajo, se utiliza el ACV como una herramienta para comparar los impactos ambientales potenciales de la producción de un parabrisas automotriz, a partir del método común de extracción de materia prima con su obtención a partir del reciclaje de vidrio. Los resultados son de utilidad para las empresas automotrices manufactureras de los parabrisas, puesto que presenta una comparación entre procesos de fabricación a partir del método de extracción de materia prima útil para la toma de decisiones.

Los impactos se evaluaron considerando diferentes categorías como cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación terrestre, eutrofización, eutrofización marina, toxicidad humana, formación de oxidantes fotoquímicos, formación de materiales particulados, ecotoxicidad terrestre, acuática y marina, radiación ionizante, ocupación de suelo para agricultura, ocupación de suelo urbano, agotamiento de agua, metales y minerales fósiles.

## 2. Metodología

### 2.1. Análisis de ciclo de vida

El objetivo del presente análisis es comparar los impactos ambientales de la fabricación de un parabrisas cuando se obtiene su principal componente, el vidrio: i) a partir de la naturaleza, ii) cuando se obtiene de vidrio reciclado y iii) cuando se utilizan 23.5% de vidrio reciclado y el resto virgen.

Se consideran las siguientes etapas acorde al método de obtención de materia prima.

#### Obtención convencional de materia prima

- Extracción de materia prima convencional.
- Transporte de materia prima.
- Preparación de materia prima (Molino).

#### Obtención de materia prima a partir del reciclaje

- Transporte de materia prima a partir del reciclaje.
- Preparación de materia prima (Corte de parabrisas, separación y alimentación del molino, molino, banda de distribución, cribado de material, disposición de plástico PVC y disposición de vidrio recuperado, González, 2021).

Unidad funcional: Proteger la visión del conductor y los pasajeros de un automóvil durante la conducción durante aproximadamente 14 años.

Flujo de referencia: Un parabrisas (10 kg).

Criterio de corte: Másico (kg). Únicamente se tomarán en cuenta lo referente al vidrio de seguridad (vidrio laminado) el cual se encuentra únicamente constituido por dos o más hojas de vidrio entre una o varias películas de PVC, despreciando cualquier otro material ajeno al vidrio y PVC. En este análisis de ciclo de vida no fue considerado material cuyo porcentaje fuera menor al 1% de la composición total del parabrisas, por su contribución significativa mínima.

Límites del sistema: De la cuna a la puerta.

### 2.2. Inventario de ciclo de vida

El vidrio está compuesto de numerosos óxidos que se fusionan y reaccionan juntos al calentarlos para formar un vidrio (Figura 1). Estos incluyen sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de sodio

( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ). Las materias primas de las que derivan estos materiales son arena, carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ). La ceniza de sosa actúa como un fundente; en otras palabras, disminuye el punto de fusión de la composición del lote. Se agrega cal al lote para mejorar la dureza y la durabilidad química del vidrio. El vidrio utilizado para los parabrisas también suele contener otros óxidos como: óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$  derivado de la potasa), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  derivado del feldespato, González, 2002).

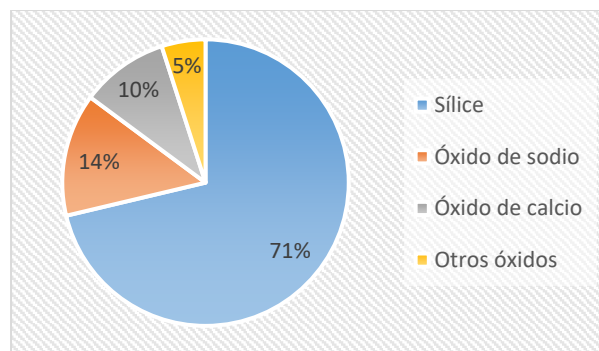


Figura 1: Composición del vidrio flotado (López, 2002).

#### 2.2.1. Procedimiento de recopilación de datos y cálculos realizados

Para el presente ACV se emplearon elementos propios de la composición del vidrio flotado como entradas (López, 2002), así como una adaptación de los valores obtenidos in situ de la tabla inventario de las entradas, salidas y recursos utilizados en el proceso de des-laminado considerando la jornada laboral de 8 horas (González, 2021).

Para las emisiones que genera cada motor, se calcularon a partir del factor de emisión del sistema eléctrico mexicano por cada MWh se generan 0.423 ton de  $\text{CO}_2$  e (RENE, 2021).

Para la cuestión de transporte se realizó una estimación de la distancia desde Google maps tomando en cuenta la ubicación de una fábrica mexicana de parabrisas ubicada en la Ciudad de México y su distancia al estado de Coahuila en el cual se encuentran minas de extracción de las materias primas utilizadas, otorgando una distancia de 1074.1 km

Así mismo, se estimó la distancia de la planta de reciclaje ubicada en el estado de Morelos con la misma fábrica, otorgando una distancia de 102.5 Km.

### 2.3. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

#### 2.3.1. Software empleado para el cálculo de impactos

El software empleado para el análisis de impactos del ciclo de vida fue Simapro versión 9.2.0.2. Se utilizó el método ReCiPe Midpoint (H) V1.11/World ReCiPe H, debido a que considera las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización requeridos de acuerdo con la NMX-SAA-14044-IMNC-2008 y el estándar ISO 14040 (ISO, 2022), además de que se considera que es el más actualizado. El análisis de punto medio se escogió debido a que no se tienen regionalizados algunos datos para el análisis de impactos. Los resultados presentados son comparativos porcentualmente, dada su finalidad en el ecodiseño.

2.3.2. Modelos utilizados

Los modelos utilizados se presentan en la Tabla 1. La energía incluye la energía eléctrica utilizada para el corte de parabrisas, la separación y alimentación de molino, la banda de distribución, el cribado de material, la disposición de PVC y la disposición de vidrio recuperado. Mientras que el agua contabilizada es aquella utilizada para corte de parabrisas, molino y cribado de material.

Tabla 1: Modelos utilizados para la estimación de impactos.

Extracción de la naturaleza		
Entrada	Modelo	Magnitud (Kg)
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	Producción resto del mundo, corte unitario	5.59125
Óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	Mercado resto del mundo, corte unitario	1.0899
Óxido de calcio (CaO)	Mercado de cal resto del mundo, corte unitario	0.7885
Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	Mercado resto del mundo, corte unitario	0.126
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Mercado de óxido de aluminio metalúrgico en el resto del mundo, corte unitario	0.126
Óxido de magnesio (MgO)	Mercado resto del mundo, corte unitario	0.126
PVC	Producción de cloruro de polivinilo polimerizado en volumen resto del mundo, corte unitario	2.125
Transporte de insumos extracción de la naturaleza		
Planta de CDMX	Mercado de camión de transporte de carga >32 ton euro 6, resto del mundo, corte unitario	1077441 kmkg
Manufactura		
Energía	Mercado de electricidad, alto voltaje de México, corte unitario.	0.03163 kWh
Agua	Mercado de agua de la llave, resto del mundo, corte unitario.	0.12 L
Reciclaje		
Transporte de insumos reciclaje		
Planta de CDMX	Mercado de camión de transporte de carga >32 ton euro 6, resto del mundo, corte unitario	1025 kmkg
Manufactura reciclaje		
Energía	Mercado de electricidad, alto voltaje de México, corte unitario	0.077585 kWh
Agua	Mercado de agua de la llave, resto del mundo, corte unitario.	0.18803 L

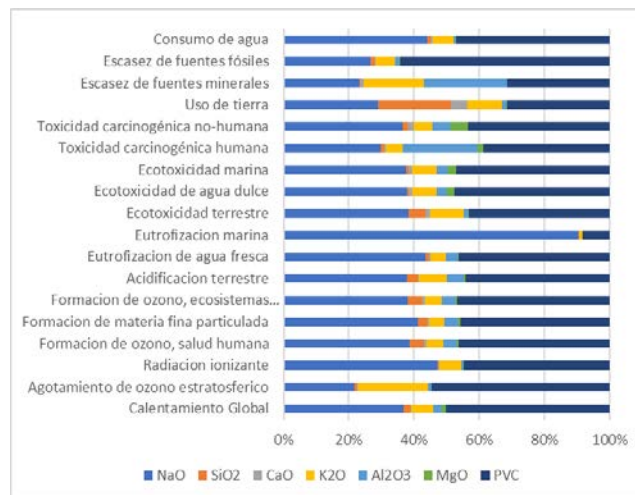


Figura 2: Extracción de materia prima de la naturaleza. U. F. 10 kg; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.05.

En la Figura 3, se pueden observar los impactos potenciales de todo el ciclo de vida de la obtención de un parabrisas cuando se extraen los materiales de la naturaleza. Se observa claramente un impacto mayor de la etapa de transporte en la mayoría de las categorías de impacto, excepto en la eutrofización marina, donde el mayor impacto lo causa la extracción de materias primas de la naturaleza.

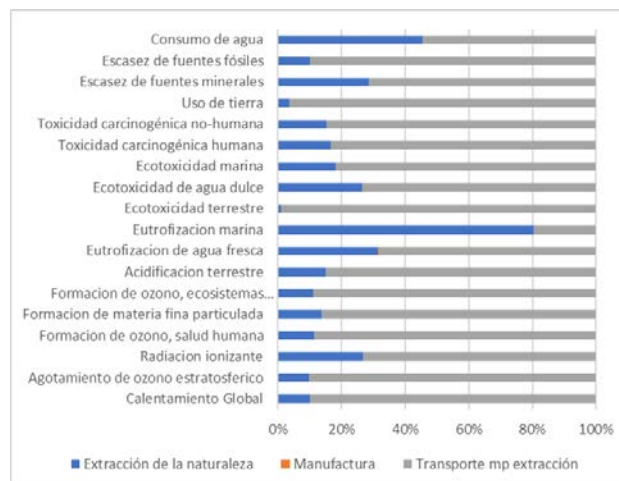
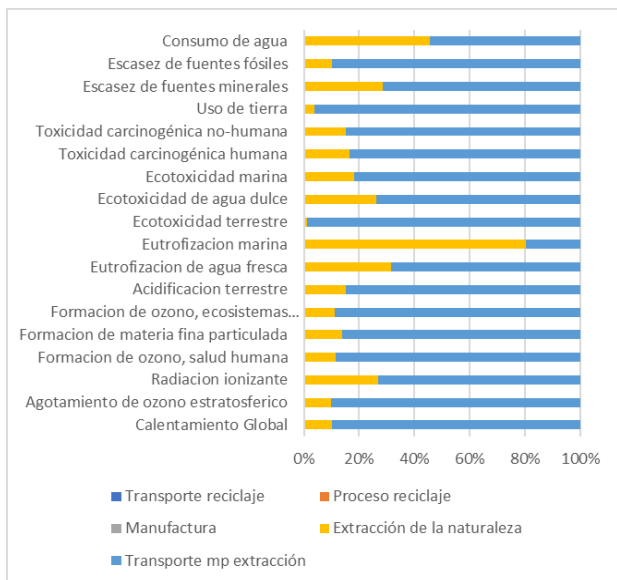


Figura 3: Análisis de ciclo de vida del proceso con extracción de la naturaleza. Analizando 10 kg; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.05

3. Resultados y discusión

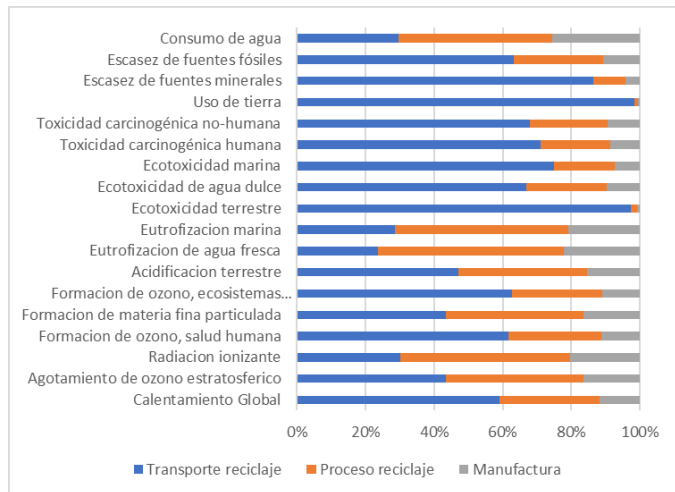
En la Figura 2, se presentan los impactos potenciales del proceso de elaboración de parabrisas cuando se extraen las materias primas de la naturaleza, es decir, el proceso convencional. Aquí se observa que la mayor contribución en casi todas las categorías de impacto es debida a la producción de PVC. La siguiente entrada que más contribuye es el óxido de aluminio, especialmente con impactos en la toxicidad carcinogénica humana y la escasez de minerales.

Por otra parte, en la Figura 4, se observan los impactos potenciales del proceso de obtención de parabrisas considerando el uso del 23.5% de vidrio reciclado y el resto por extracción de la naturaleza. También, se puede observar una mayor contribución del transporte de materias primas en la mayoría de las categorías, excepto en eutrofización marina como impacto de extracción de la naturaleza.



**Figura 4:** Análisis de ciclo de vida considerando 23.5% de vidrio reciclado; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.05.

Finalmente, en la Figura 5, se presenta el análisis del ciclo de vida de la obtención de un parabrisas si se utilizara la totalidad del vidrio reciclado. Aquí se percibe una mayor aportación en los impactos debidos al transporte del material a reciclar en la mayoría de las categorías de impacto, seguida del proceso de reciclaje y finalmente el proceso de manufactura. Cabe añadir que la etapa de manufactura se consideró el mismo inventario para ambos métodos.

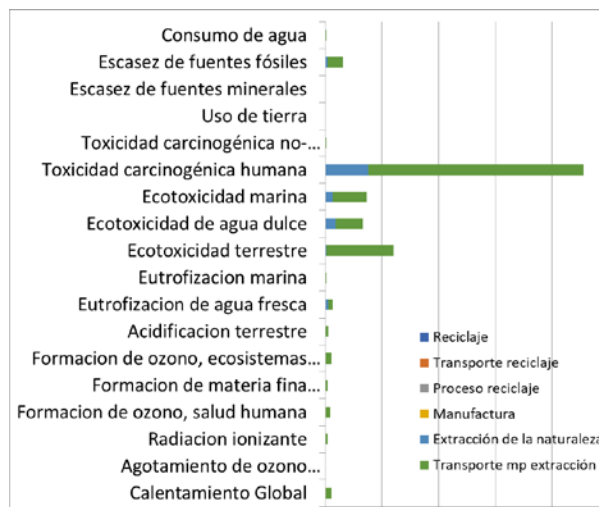


**Figura 5:** Análisis de ciclo de vida considerando 100% de vidrio reciclado; Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.05.

De acuerdo con los análisis presentados, se encuentra que la mayor contribución en impactos ambientales corresponde a la etapa de transporte, tanto en materias primas de la naturaleza, como provenientes del reciclaje. Estas contribuciones son importantes en la huella de carbono o calentamiento global y ecotoxicidad terrestre.

Finalmente, en la Figura 6 se presentan los resultados de huella ambiental en las diferentes categorías de impacto comparando las etapas del ciclo de vida. Los procesos que más contribuyen a la huella ambiental son el transporte de las materias primas de la extracción de la naturaleza y la

extracción propiamente. La huella ambiental de mayor impacto es el transporte de materias primas con una toxicidad humana de 0.38 y terrestre de 0.12, Kg de 1,4- diclorobenceno equivalente generado por cada parabrisas producido.



#### 4. Conclusiones

En todos los casos estudiados, tanto utilizando materias primas extraídas de la naturaleza, como utilizando un porcentaje de vidrio reciclado de 23.5% y completamente vidrio reciclado, la mayor contribución potencial se encuentra en la etapa de transporte. Sin embargo, el transporte de materias primas extraídas de la naturaleza presentó la mayor carga, encontrándose una huella ambiental en la categoría de toxicidad humana de 0.12 Kg de 1,4-diclorobenceno equivalente.

Dentro de las materias primas utilizadas en el proceso con extracción de la naturaleza se encontró que la mayor contribución a los impactos ambientales corresponde al PVC.

El proceso de obtención de materia prima a partir del reciclaje es ambientalmente más viable, sin embargo, se encuentra limitado por el poco índice de reciclaje del vidrio existente en México.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (Proyecto SIP 20221168) y del CONACYT (Proyecto CB 320750) por el apoyo en la realización de este trabajo.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### Referencias

Aguayo González, F., Peralta Álvarez, M. E., Lama Ruiz, J. M., Soltero Sánchez, V. M. (2011). Ecodiseño. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna. (C2C). RC Libros, México.  
 Diario Oficial de la Federación (DOF, 2021). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_180121.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf)  
 Gonzalez Mendoza, D. A. (2021). Análisis del proceso de reciclado de vidrio de una empresa recicladora del Estado de Morelos, bajo los principios de

- la economía circular, tesis, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, México.
- Gonzalez Rodríguez, J. A. (2002). Análisis de rotura de parabrisas en el empaque y transporte, tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC, 2008) Norma Mexicana NMX-SAA-14044-IMNC-2008. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices. <https://imnctienda.myshopify.com/products/nmx-saa-14044-imnc-2008>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadísticas a propósito de la industria automotriz, p. 8, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A.C. (2016). [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/esp\\_anol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825079963.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/esp_anol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825079963.pdf)
- López Gómez, F. (2002). Estudio del proceso de curvado y de diseño geométrico del vidrio automotriz empleando herramientas CAD-CAE, tesis, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Estado de México, México.
- Organización Internacional de Normalización (ISO, 2022). Environmental Management – Life Cycle Assessment- Principles and Framework. <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- Registro Nacional de Emisiones 2021 (RENE, 2022). Subsecretaría e Planeación y Política Ambiental, Dirección General de Políticas para el Cambio Climático. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/706809/aviso\\_fesen\\_2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/706809/aviso_fesen_2021.pdf).
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2021). Compendio de estadísticas ambientales 2021. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServletf5cc.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletf5cc.html)
- Senado de la República (SR, 2021). Ley general de Economía Circular. [http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5431/1/25.NL\\_Economia\\_circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5431/1/25.NL_Economia_circular.pdf?sequence=1&isAllowed=y)