



# INECC

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO

## **Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay**

---

**Informe Final 2020**



Evaluación de la situación actual de la economía  
circular para el desarrollo de una hoja de ruta  
para Brasil, Chile, México y Uruguay

**Diciembre 2020**

## Directorio Institucional

**Dra. María Amparo Martínez Arroyo**

Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

**Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana**

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

**Dra. Juana Itzchel Nieto Ruiz**

Dirección de Investigación para Estrategias de Desarrollo Bajo en Carbono

**Mtra. Guadalupe López Mérida**

Subdirectora de Economía Industrial y de la Energía

**Fis. Luz María González Osorio**

Subdirectora de Modelos y Estudios Financieros de Proyectos de Bajo Carbono

**Preparado por:**

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

## Agradecimientos

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático agradece al Climate Technology Center and Network (CTCN) por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto, así como a los expertos de FACTOR CO2 / Circular Economy Platform of the Americas por su valiosa asesoría y soporte técnico.

**Citar este documento como:**

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2020 Martínez Arroyo A., Octaviano Villasana C.A., Nieto Ruiz J., Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay. pp.59

D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Diciembre 2020. Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña, Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México C.P. 14210. <https://www.gob.mx/inecc>

## Contenido

Introducción .....	5
<b>1. Evaluación inicial del estado actual de la economía circular para desarrollar una hoja de ruta en México .....</b>	<b>7</b>
1.1 Identificación de actores clave en materia de economía circular en México.	7
1.2 Análisis del estado actual de la economía circular en México .....	15
<b>2. Análisis de los beneficios percibidos de la economía circular en México.....</b>	<b>17</b>
2.1 Beneficios percibidos de la economía circular en México .....	17
2.2 Beneficios generales de la economía circular .....	18
<b>3. Matriz de indicadores para medir los avances de economía circular en México .....</b>	<b>20</b>
5.1 Propuesta de métricas para evaluación y seguimiento de la Industria 4.0.	34
5.2. Beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 en proyectos seleccionados en México.....	37
<b>6. Plan para la elaboración de una hoja de ruta hacia una EC .....</b>	<b>42</b>
6.1 Descripción del proyecto piloto.....	42
Información financiera y cronograma de proyecto piloto.....	47
6.2 Orientaciones para la elaboración de la Hoja de Ruta Nacional hacia la Economía Circular.....	48
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>8. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>56</b>

## Introducción

La economía circular (EC) es un modelo que se orienta a mantener los materiales y energía en uso continuo como parte del ciclo de la producción de bienes y servicios de la economía. Se procura la regeneración de los ecosistemas de los que provienen los recursos naturales y que satisfacen las necesidades de la población y los mercados de consumo, por lo que la vinculación que existe entre una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático y un modelo económico circular sustentable, favorece el desacoplamiento entre el crecimiento económico y los impactos socio-ambientales causados por la emisión de agentes contaminantes hacia el aire, suelos y agua asociados al actual modelo económico lineal.

El objetivo de este estudio fue realizar un primer diagnóstico sobre el estado del arte que guardan los aspectos más relevantes hacia la instrumentación de una hoja de ruta de EC en México.

En este documento se identifica en la fase inicial del diagnóstico, a aquellos actores clave quienes tienen mayor potencial de participar activamente en el desarrollo de una hoja de ruta de EC para México. Estos participantes fueron identificados en términos de su experiencia, nivel de influencia, liderazgo sectorial y su compromiso para involucrarse en el proceso de desarrollo de la hoja de ruta. Se realizaron una serie de entrevistas y, en un primer momento, se identificó que se requiere una mayor articulación multisectorial que permita mejorar el entendimiento de las oportunidades que brinda la EC en diferentes sentidos, desde lo económicos, ambientales y sociales, incluyendo la mitigación del cambio climático, el fortalecimiento de la competitividad y la productividad industrial.

También se presentan algunas experiencias y casos de éxito de iniciativas en marcha que resultan atractivos por su potencial replicabilidad y escalabilidad, con posibilidad de contribuir a generar impactos positivos en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la reducción de los volúmenes de disposición final de residuos y otros impactos ambientales, a disminuir el consumo energético e hídrico y de recursos naturales a lo largo del ciclo de vida de los productos y servicios. Además representa oportunidades para orientarse hacia un crecimiento económico de bajas emisiones con inversiones verdes, la creación de nuevos empleos de mayor calidad, alternativas para generar bienestar social e inclusión de los grupos sociales más vulnerables.

La revisión de estudios sobre casos de éxito en la implementación de una hoja de ruta de EC, resulta un punto de partida sobre la cual transitar hacia modos de producción y consumo actual más sostenibles, que al mismo tiempo incidan en materia de mitigación del cambio climático, en consonancia con las metas nacionales de mitigación de GEI plasmada en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030,

que forman parte del marco de referencia del modelo de EC. Este primer análisis permite evidenciar la importancia del involucramiento e interacción de agentes entre el gobierno, las empresas y la población en general. En este mismo sentido, los marcos regulatorios y normativos, la existencia de leyes y las bases sólidas de una metodología, amplían el rango de posibilidades hacia la transición a una EC y reducen las barreras y limitaciones de ésta.

En este reporte, como parte del marco de referencia, también se incluye información para la construcción de indicadores de línea base por empresa u organización, que permita integrar métricas a nivel sectorial, ciudad o territorial con el fin de cuantificar y monitorear los avances e impactos a nivel nacional, así como establecer las metodologías de cálculo de resultados que orienten la toma de decisiones en la agenda de mitigación y adaptación al cambio climático, competitividad e innovación empresarial y de impacto social, para la elaboración de una hoja de ruta de EC para México.

Por otra parte, se identifican los avances en la implementación de las tecnologías 4.0 en la industria, enfocados a la automatización y al intercambio de los datos en las tecnologías de fabricación mediante tres elementos principales: el internet de las cosas, los sistemas cibernéticos físicos y la computación en la nube. En esta parte del estudio se identificaron las herramientas más utilizadas para transitar a un modelo de EC.

Un punto a destacar como parte de este trabajo, es lo que realmente significa EC en términos de lo que representa la circularidad y aprovechamiento de recursos materiales y energéticos dentro de una cadena de valor y en que se distingue de una estrategia de reciclaje de residuos. El concepto de EC es más integral e incluye aspectos para enfocar las inversiones con el fin de asegurar los insumos y recursos necesarios para la producción, a través de estrategias de simbiosis industrial, encadenamientos productivos y de circulación de recursos como energía, agua y materia prima.

Finalmente, como elemento central del trabajo se presenta un planteamiento hacia la hoja de ruta en EC para México.

## 1. Evaluación inicial del estado actual de la economía circular para desarrollar una hoja de ruta en México

### 1.1 Identificación de actores clave en materia de economía circular en México

Durante la fase inicial de análisis, se evaluó el grado de adopción de la EC y se identificaron los actores clave para participar en el desarrollo de la hoja de ruta. Se realizaron un total de 20 entrevistas en términos de su experiencia, capacidades y su interés para involucrarse en el proceso de desarrollo de la hoja de ruta. A continuación, se lista de manera resumida a algunos de los sectores más representativos de la economía mexicana actual, así como los argumentos que justifican su priorización en esta etapa de proyecto.

**Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN)**, organismo que representa a los diferentes sectores industriales y actividades económicas relevantes para el desarrollo económico de México, que contribuyen con alrededor del 35 % del Producto Interno Bruto (PIB) y se genera el 42 % del empleo formal del país organizados en 47 cámaras nacionales, 14 cámaras regionales, 3 cámaras genéricas y 59 asociaciones en sus 9 regiones (norte, noreste, noroeste, centro-norte, centro-sur, bajío oriente, occidente y sureste).

**Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ)**, organismo que reúne a cerca de 500 empresas que representa el 90 % de la actividad del sector, en segmentos como la producción de adhesivos, resinas, aditivos, pigmentos y colorantes, fertilizantes, fibras, hidrocarburos, lubricantes, minerales metálicos y no-metálicos, polímeros, productos químicos industriales, entre otros.

**Cámara Nacional de la Celulosa y el Papel**, organismo que congrega a más del 95 % de las empresas (28 actualmente) que hacen parte de una industria valorada en alrededor de los 13 mil millones de dólares anualmente, lo que equivale a cerca del 7 % del PIB manufacturero nacional.

**Cámara Nacional del Cemento (CANACEM)**, organización que representa a un sector que anualmente produce alrededor de 41 millones de toneladas de cemento desde 34 plantas productivas desplegadas en todo el territorio nacional, lo que posiciona a la industria cementera mexicana como el productor número 14 del *ranking* mundial, para este segmento de mercado.

**Cámara Nacional del Acero (CANACERO)**, organismo que desde el año 1949 funge como vocero oficial de la industria siderúrgica mexicana.

**Investigación en materia de innovación, energía, cambio climático y desarrollo sustentable:**

**Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)**, centro público de investigación perteneciente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), creado para contribuir al desarrollo del sector productivo de México a través del despliegue de proyectos tecnológicos de Investigación e Innovación, además de proveer diversos servicios tecnológicos especializados a la industria mexicana.

**Centro Mario Molina (CMM)**, organización que funge como un puente de soluciones prácticas entre la ciencia y las políticas públicas en materia de energía y medio ambiente para promover el desarrollo sustentable.

**Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM)**, centro de investigación en ingeniería con 65 años de trayectoria y líder en la generación de conocimientos aplicable a la solución de los grandes problemas de la ingeniería nacional.

Consultores independientes en materia de EC, descarbonización de la matriz energética y agenda de mitigación/adaptación al cambio climático para ciudades y territorios en México.

Algunos proyectos e iniciativas existentes o por desarrollarse, que aportan directamente a la transición hacia la EC en México, a la agenda de mitigación de (GEI) y al cumplimiento de las contribuciones nacionalmente determinadas (CND), se describen a continuación:

Por parte de sectores industriales se identifican oportunidades asociadas a la revalorización de materiales que pueden ser reincorporados al ciclo económico a través de nuevos procesos productivos, aprovechamiento energético de aquellos que han perdido sus propiedades, simbiosis industrial entre diferentes procesos productivos e incluso algunos proyectos de alto impacto urbano.

Cabe destacar dos iniciativas orientadas al desarrollo de capacidades y transferencia del conocimiento tanto a nivel industrial como a nivel de investigación e innovación, la primera se conforma por una red de aprendizaje que logre articular encadenamientos productivos a través de grandes corporaciones (empresas ancla) con sus aliados estratégicos (Pymes en su mayoría) con el objetivo de aprovechar las oportunidades que la EC representa en un escenario de competitividad; el segundo, se refiere a programa de posgrado dirigidos al diseño de productos/servicios bajo conceptos de eco-diseño, innovación sustentabilidad, lo que incide directamente en las dinámicas de mercado entre productores y consumidores.

Además, se han incluido dos proyectos que han sido planteados como hojas de ruta o desarrollos de largo plazo, el primero se refiere a la creación de un mercado de carbono, mientras que el otro representa un proceso de transformación en la industria tequilera nacional.

Respecto a la industria 4.0, aún no se identifican proyectos donde se implementen ampliamente dichas tecnologías en el desarrollo de modelos de negocio dentro de los principios de la EC, lo que es una asignatura pendiente para las siguientes fases de este proyecto.

A continuación, se presentan algunos proyectos e iniciativas identificados con diferentes niveles de impacto:

- **Nombre de la iniciativa: Plataforma para revalorización de materiales después de su primera vida útil**

**Nivel de impacto:** Nacional

**Descripción:** México es el país no. 14 en producción global de acero con unas 20 mil toneladas de acero líquido por año (2018); entre el 36 y el 41 % de la producción proviene del reciclaje de chatarra, sin embargo, la industria genera grandes emisiones GEI debidas principalmente al consumo energético de su proceso productivo, aun cuando el factor de emisiones (1.11 tCO<sub>2</sub>e/t.p.) es 39 % menor al promedio global.

La regulación actual presenta una limitante para el aprovechamiento y revalorización de materiales metálicos, ya que sólo los clasifica como materia prima (virgen) y residuo (chatarra), lo que no permite la creación de un mercado de materiales diferenciado por su tipo de aplicaciones y por los niveles de calidad para las que se podría dar cumplimiento y así ser reincorporado en otras cadenas productivas, donde el material tenga mayor valor de mercado. El propósito de esta plataforma es crear las condiciones de un mercado de materiales que se puedan recircular, evitando las emisiones de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e y optimizando el consumo energético de estas cadenas productivas.

**Iniciativa liderada por:** CANACERO y CONCAMIN

**Objetivo de la iniciativa:** Crear un mercado nacional de materiales que incremente su valor en las diferentes etapas y ciclos de uso.

**Resultados obtenidos hasta el momento:** Aún está en proceso de planeación y diseño del proyecto piloto que podría ponerse en marcha a finales de 2020.

- **Nombre de la iniciativa: EC Comunitaria**

**Nivel de impacto:** Comunidades vulnerables

**Descripción:** EC comunitaria en la Sierra Gorda de Querétaro protegiendo los ecosistemas y creando economías locales que mejoren las condiciones de vida de grupos vulnerables como migrantes y población en pobreza extrema.

**Iniciativa liderada por:** Red Queretana de Manejo de Residuos (REQMAR)

**Objetivo de la iniciativa:** Transformación social de comunidades vulnerables, aprovechando los recursos (mal llamados residuos) de los que disponen en cada territorio, creando oficios y una industria local que los reaproveche.

**Resultados obtenidos hasta el momento:** Se encuentra en proceso de documentación de resultados; aunque se ha contado con fondos públicos para el desarrollo de esta iniciativa, el financiamiento ha sido muy pequeño por lo que los resultados esperados son de pequeña escala.

- **Nombre de la iniciativa: Red de Aprendizaje en EC**

**Nivel de impacto:** Nacional

**Descripción:** Con base en el antecedente del Programa de Liderazgo Ambiental para la Competitividad de PROFEPA, se espera poder crear una Red de Aprendizaje en EC donde empresas anclas impulsen a que las PYMES asociadas a su encadenamiento productivo puedan aplicar los diferentes aprendizajes en materia de EC. Hoy existen algunos Comités técnicos, pero no hay una red que permita conectar los diferentes temas e industrias, por esta razón se propone crear una red más grande.

**Iniciativa liderada por:** Lourdes Aduna Barba y las Cámaras de la Industria de la Transformación

**Objetivo de la iniciativa:** Circularizar los encadenamientos productivos a través de redes de conocimiento donde grandes corporaciones impulsen a las PYMES.

**Resultados obtenidos hasta el momento:** Se encuentra en etapa de diseño la red de aprendizaje, lo que requerirá fondos y financiamiento para su implementación y desarrollo.

- **Nombre de la iniciativa: Programa de maestría en diseño e innovación de producto/servicio**

**Nivel de impacto:** Ciudad de México y Región Bajío

**Descripción:** Programa académico de posgrado que incluye el desarrollo de un proyecto de tesis aplicable a la industria mexicana.

**Iniciativa liderada por:** CIDESI

**Objetivo de la iniciativa:** Vincular a los estudiantes y/o proyectos de innovación con la industria a través de pilotos y financiamiento del CONACYT.

**Resultados obtenidos hasta el momento:** No se tiene información al momento.

- **Nombre de la iniciativa: Micro central Geotérmica**

**Nivel de impacto: Industrial**

**Descripción:** Diseño de una turbina de pequeña escala para generación de energía limpia en industrias que requieren uso de agua caliente y redes de vapor. Esta tecnología de bajo costo combina la impresión 3D de los componentes con criterios de ecodiseño de las partes a ensamblar, al tiempo que permite la generación de energía limpia asequible y la sustitución de repuestos con material recuperado. Se estima que tendrá un costo de mercado cercano a los \$ 800 dólares americanos.

**Iniciativa liderada por:** Consultora Geokeri S.A. de C.V. (PhD. Gerardo Hiriart Le Bert)

**Objetivo de la iniciativa:** Generación de electricidad aprovechando la geotermia en escala pequeña.

**Resultados obtenidos hasta el momento:** Se encuentra en fase de diseño y prototipado. Requiere fondos y financiamiento para acelerar su desarrollo.

- **Nombre de la iniciativa: Proyecto FELICITY de la Agencia Alemana GIZ (Financiamiento para la inversión energética baja en carbono en las ciudades)**

**Nivel de impacto:** Ciudad de México y Zona Metropolitana

**Descripción:** GIZ ha seleccionado 2 ciudades de México para desarrollar los pilotos; el primero de ellos se localiza en el municipio de Naucalpan, Estado de México donde se está generando energía a partir de residuos sólidos Urbanos.

Naucalpan de Juárez cuenta con una población cercana a los 834,434 habitantes (INEGI, 2020), sin embargo, los residuos sólidos urbanos (RSU) van a rellenos sanitarios, causando la contaminación de suelos, aire y cuerpos de agua, y desperdiciando así, el potencial energético que podría ser aprovechado mediante tecnologías limpias.

**Iniciativa liderada por:** Agencia Alemana GIZ

**Objetivo de la iniciativa:** Aprovechamiento energético a partir de la gestión de los RSU

**Resultados obtenidos hasta el momento:** Se estima que el proyecto tendrá una inversión de € 34 millones lo que financiará lo siguiente:

Obras de Infraestructura

Instalaciones para separación mecánica de RSU

Equipos de biodigestión anaerobia

Planta de tratamiento de lixiviados con capacidad de producción de biofertilizantes certificables

3 Unidades Combinadas de Calor y Electricidad de 7.9 MW and 6.7 MW de energía térmica

Con este proyecto se evitarán 77,000 tonCO<sub>2</sub> e/año

- **Nombre de la iniciativa: Oportunidades de Simbiosis en la Industria Tequilera**

**Nivel de impacto:** Industria Tequilera

**Tipo de hoja de ruta:** Estrategia de medición de impactos (huella de producto), evaluación de consumos y residuos generados, y definición de metas de producción y mitigación para el largo plazo.

**Hoja de ruta liderada por:** Industria tequilera

**Objetivos de la hoja de ruta:** Aprovechar los Beneficios en reducción de fertilizantes, agua, calderas de biomasa (antes necesitaban bagazo para generación) y oportunidades de simbiosis (hoy Tequila Patrón recibe bagazo de otras empresas);

**Principales actores involucrados:** Industriales, Centro Mario Molina y Autoridades.

**Resultados esperados/obtenidos hasta el momento:** No hay información pública al momento. Sin embargo, Casa Tequila SAUZA (ACV) ya reaprovecha su residuo (vinaza) para generar energía.

Otros actores que han reportado avances hacia la instrumentación de acciones de la EC se mencionan en la siguiente tabla 1.1

**Tabla 1.1 Otras iniciativas y proyectos en marcha hacia la instrumentación de acciones de la EC**

Nombre	Descripción
La planta Cero Agua de Nestlé	Reutilización del agua, innovación para extraer el agua de materias primas (como la leche) y reciclarla.
Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales en el Estado de Aguascalientes	Captura y aprovecha el biogás de rellenos sanitarios que se mitigan las emisiones de GEI y la energía generada se utiliza para la fabricación de vehículos en el complejo de Nissan.
Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales en la Ciudad de Monterrey	Captura y aprovecha el biogás de rellenos sanitarios que mitigan las emisiones de GEI y la energía generada, se utiliza para el alumbrado público y para el Metro.
Investigación sobre generación de biocombustibles para el sector del transporte, UNAM – Unidad Académica de Investigación en Juriquilla, Querétaro	Aprovechamiento de residuos agrícolas y agroindustriales, reportan resultados factibles para instalar al menos 34 biorrefinerías en 16 estados de la República.

Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay

Simbiosis en la Industria del cemento. Geocycle-Holcim	Aprovechamiento energético de los residuos mediante la tecnología del coprocesamiento donde se realiza la destrucción segura de residuos a muy altas temperaturas en paralelo a la producción del cemento.
Emprendimiento en EC. Heineken Green Challenge/ITEMS	Apoyo a proyectos que favorezcan la transición a una EC en temas como residuos, rediseño de productos.
Proyecto de manejo adecuado de residuos de compuestos orgánicos persistentes SEMARNAT/ PNUD	Proyecto cuyo objetivo es disminuir en la población los riesgos asociados a la gestión de residuos y materiales potencialmente contaminantes.
ECOLANA	Buscador de sitios que recopilan y realizan reciclamiento de residuos o materiales de segundo uso.
Recicla electronics México REMSA	Sitio de recepción y acopio de materiales electrónicos, para su aprovechamiento.
Biosolutions México y PENKA Simbiosis en el sector del agave	Aprovechamiento de subproductos de la industria del agave tequila para la producción de otros materiales.
Desarrollo Innovadora de bioembalajes "biocel"	Proyectos de emprendimientos circulares (Proyectos de diseño y arquitectura, con responsabilidad social, ambiental y económica) crean alternativa biodegradable de unicel a partir de residuos agroindustriales y micelio de hongos para aplicaciones de embalaje.
ECOCE Empresa con programas de acopio y reciclaje de envases y embalajes con beneficio social.	Proyectos de reciclamiento y aprovechamiento de materiales plásticos, envases de vidrio, latas de aluminio en colaboración con otras industrias.
Asociación de Parques Industriales Privados AMPIP	Impulsa la simbiosis industrial mediante el aprovechamiento compartido de materiales y subproductos entre las empresas que se instalen en los parques industriales de la asociación
IKEA	Los productos de IKEA se vuelvan materia prima para nuevos diseños, tienen materiales más duraderos, con base en productos reciclables

<p>Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI )</p>	<p>La CANIETI ha manifestado su interés en incorporar acciones de EC en el manejo de residuos electrónicos</p>
<p>Gobiernos locales con iniciativas de EC en marcha y en planeación</p>	<p><b>-Ciudad de México:</b>  Programa Basura Cero.  Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES);  Lineamientos para la adquisición de bienes y servicios de menor impacto ambiental;  Análisis sobre el potencial de reducción de emisiones GEI derivados de los residuos de la construcción y demolición, RCD.  “Estudio y Acción Piloto en Simbiosis Industrial para el parque industrial Vallejo-i;  Construcción de una planta de biodiesel con capacidad de 3,000 l/día, para uso en camiones de transporte de pasajeros y carga;  · C40 Clean construction.  <b>.-Cancún, Qroo.:</b> creación de ciudad forestal inteligente, plenamente circular y autosuficiente en alimentos y energía.  <b>-Guadalajara:</b> Declaración de Guadalajara para impulsar una EC en México (sociedad civil, gobierno, iniciativa privada y Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG). Basado en un enfoque de reciclaje.  <b>-Bahía de Banderas, Nayarit:</b> Programa de EC inclusiva, innovación específica y creación de un prototipo de agroplásticos reciclables desarrollado por el Centro de Investigación en Química Aplicada de la región.  <b>-Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua:</b> Plan general de residuos sólidos municipales. Basado en un enfoque de reciclaje.</p>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## 1.2 Análisis del estado actual de la economía circular en México

La determinación del grado de adopción de la EC para un país como México es compleja, sin embargo, haciendo un análisis por sector y región se puede identificar áreas de oportunidad para impulsar la transición hacia un modelo de desarrollo sustentable.

Al evaluar el estado de avance de la implementación de la EC en la industria, se identifica que México es un país con oportunidades para avanzar en la revalorización de flujos de materiales y energía, así como el reaprovechamiento de recursos como instrumento de competitividad y productividad, en gran parte por la falta de inversión en transferencia o conversión tecnológica que permita estas dinámicas, pero también por la falta de mecanismos que permitan el intercambio de insumos entre sectores.

El marco regulatorio tiene algunas barreras para la simbiosis industrial, así como para el cierre de ciclo de producto y revalorización en los diferentes ciclos económicos en los que un recurso puede ser reincorporado. El concepto de reciclaje sólo se materializa para ciertas cadenas de materiales (plásticos, papel, metal, etc.), lo que representa un índice de aprovechamiento muy bajo. De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos (SEMARNAT, 2020) de México, los residuos sólidos urbanos representan una generación total en el país de 120,128 t/día, mientras que a nivel nacional se estiman 38,351 t/día de residuos serían aprovechables mediante el reciclaje o la recuperación de energía, es decir el 31.92%. En este sentido, la cantidad de residuos que se recibe en los centros de acopio es 38.4 (t/día) y los materiales reciclables recuperados en plantas de separación son 277.8 t/día, lo que en total representa el 0.8% del potencial reaprovechable, cabe hacer notar que estos datos no incluyen la pepena informal.

En general, el grado de adopción de la EC en México es todavía bajo salvo casos muy particulares en sectores que, por su propia dinámica, han avanzado con los conforme a los estándares internacionales, como la industria automotriz o la del papel, además de algunos ramos industriales que han avanzado con el objetivo de aumentar la competitividad y rentabilidad de sus empresas.

En este sentido, se requiere elaborar una hoja de ruta que permita crear las condiciones de mercado, el conocimiento técnico, el despliegue de innovación e investigación, así como el rediseño de modelos de negocio, producto o servicio que incida en las oportunidades de instrumentación de acciones por parte del sector privado y del el consumidor, bajo las directrices que se planteen desde los tres niveles de gobierno.

## 2. Análisis de los beneficios percibidos de la economía circular en México

En esta sección se describen los beneficios percibidos por los actores clave que participaron durante esta etapa de diagnóstico hacia la hoja de ruta en EC para el país, para lo cual se establece una base conceptual que parte de la definición de EC considerada para este documento:

**“La Economía Circular** se define como un sistema económico en el que se reemplaza el concepto de fin de la vida útil de un producto o recurso, a través de mecanismos que, por un lado, reducen la generación de desechos, y por otro lado facilitan la recuperación, reutilización, reciclaje y reacondicionamiento de flujos de materiales, energía y agua para incorporarlos en nuevos ciclos y procesos de producción, distribución y consumo. Este modelo económico opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), a nivel meso (parques eco-industriales) y a nivel macro (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de enfocarse a un Desarrollo Sustentable que crea simultáneamente valor ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras” (Kirchherr, 2017).

Así mismo, se aceptan como principios se EC los siguientes:

**Principio 1** Diseñar sin residuos y sin contaminación

**Principio 2** - Mantener productos y materiales en uso

**Principio 3** - Regenerar los sistemas naturales

(ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

### 2.1 Beneficios percibidos de la economía circular en México

Como resultado de las diferentes etapas de entrevistas y los dos talleres que se tuvieron con los empresarios y líderes de México participantes en el estudio, se identificaron los beneficios potenciales percibidos respecto a un modelo de a un modelo de la EC para México, los que se mencionan a continuación:

- Incremento de la **eficiencia y productividad** ante la adopción de mejores prácticas y de tecnología para la producción sustentable.
- Reducción **de riesgos** operativos y el aseguramiento en el cumplimiento regulatorio en materia ambiental y de responsabilidad social.
- Incremento en la **competitividad** (desarrollo de ventaja competitiva) al capitalizar oportunidades de circularidad y del liderazgo sectorial.
- **Mejora de la imagen empresarial** y una mayor valorización de marca en un mercado cada vez más exigente de materia de sustentabilidad y responsabilidad social.
- Creación de nuevos y mejores **empleos** demandados por el crecimiento económico y ante el desarrollo de nuevos negocios para la EC.
- **Cierre de la brecha de desigualdad en las comunidades y territorios vulnerables**, donde hay influencia de las industrias, a través de una mayor inclusión social dentro de las organizaciones y en el desarrollo de talento local en materia de innovación y para la continuidad del negocio.
- Fortalecimiento de las **alianzas estratégicas** con otros actores clave de los encadenamientos productivos o grupos de interés.
- Creación de mayor confianza ante inversionistas y **un mayor acceso a inversión responsable y sustentable**

## 2.2 Beneficios generales de la economía circular

Se muestra la vinculación que existe entre una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático con un modelo económico circular sustentable, a través del desarrollo de las siguientes actividades:

### Generación energética con fuentes renovables

- Eficiencia energética en los sectores de mayor impacto como son: el transporte, el uso residencial y la industria. La energía ahorrada usando materiales reciclados en lugar de material virgen se estima en 92% en aluminio, 90% en cobre, 87% en plástico, 68% en papel, 56 % en acero y 34% en vidrio (Eco Cycle Solutions,2020).
- Reducción de la huella ecológica del producto mediante la implementación del ecodiseño desde la concepción del producto, que facilite la recuperación de empaques, componentes y materiales de los productos que resultan de su primer uso y a lo largo de todo su ciclo de vida.
- Reducción de la huella de carbono corporativa a través de la implementación de tecnologías limpias, mejores prácticas de producción, eficiencia energética y de una gestión sustentable del agua y recursos descartados.

- Reducción de huella de carbono del transporte de materias primas, de componentes y productos terminados, al reducir las distancias entre proveedores de materias vírgenes y los productores, por la sustitución de materiales recuperados en sitios cercanos.

### Beneficios percibidos en sectores industriales específicos

En la **producción de papel**, en el año 2018 se utilizaban 5.9 millones de toneladas de material reciclado, que representa el 88.4% del total, cuya utilización tiene diversos beneficios: cada tonelada ahorra 2.5 m<sup>3</sup> en rellenos sanitarios (Cámara del Papel, 2019) y evita la generación de 3.7 toneladas de (GEI) por descomposición en rellenos sanitarios o tiraderos<sup>1</sup>.

En la **industria del acero**, una tonelada de acero producida con materia prima en un alto horno básico de oxígeno genera 1.46 tCO<sub>2</sub> mientras que utilizando chatarra en un horno de arco eléctrico genera -0.08 tCO<sub>2</sub> con lo que se tendría un ahorro de 1.38 tCO<sub>2</sub>e por proceso de tonelada de acero (IPCC, 2006). En México 41% de la producción de acero está basada en chatarra (CANACERO, 2021).

El aprovechamiento de biogás en **rellenos sanitario** para la generación de electricidad se permite un ahorro de 0.796 tCO<sub>2</sub>/t residuo orgánico<sup>2</sup>.

### Oportunidades percibidas en el sector industrial

Como resultado de una revisión de las fortalezas, oportunidades, debilidades y barreras de los sectores prioritarios para transitar hacia la adopción de una hoja de ruta de EC, se identificaron algunas oportunidades para atender las barreras que actualmente limitan la instrumentación de acciones en la industria mexicana. A continuación se enlistan los aspectos más relevantes por ramo industrial:

#### Industria Metalúrgica-Siderúrgica

- Re-Valorización de flujos de materiales, potencial de aprovechamiento de 6 Millones de ton/año en recursos minerales y metales (CONIMER, 2020).
- Simbiosis Industrial, transferencias de flujos de agua tratada, energía residual y flujos de productos, partes y materiales descartados.
- Reducción en la dependencia en las importaciones de materias primas, en particular para minerales ferrosos y no-ferrosos.

---

<sup>1</sup> ESTIMACIÓN PROPIA BASADA (IPCC, 2006)

<sup>2</sup> CALCULO PROPIO BASADO EN LA CALCULADORA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIONES DE RELLENOS SANITARIOS

### **Industria Cementera**

- Descarbonización del proceso productivo a través del incremento en la proporción de combustibles alternativos con menores emisiones de GEI ;
- Simbiosis Industrial con otros sectores industriales.
- Nuevos mercados de materiales de construcción.
- Impulso a la investigación, desarrollo e innovación circular y al emprendimiento.

### **Industria Química**

- Innovación circular y desarrollo de nuevos productos.

### **Industria del Papel y Cartón**

- Orientación del negocio hacia la sustentabilidad.
- Encadenamiento productivo sustentable.
- Cultura de consumo consciente y responsable.

### **Academia, investigación, innovación circular y emprendimiento**

- Estrategia de desarrollo científico/tecnológico.
- Análisis del marco regulatorio para favorecer la transición hacia la EC.
- Desarrollo de proyectos piloto.
- Creación de nuevos mercados, empresas y empleo de calidad.

## **3. Matriz de indicadores para medir los avances de economía circular en México**

En esta sección se define el marco de referencia para la medición y monitoreo de resultados para cuantificar y dar seguimiento hacia la transición e implementación de la EC (EC). Con el objetivo de identificar los criterios para seleccionar los indicadores más relevantes, es necesario establecer un marco conceptual en el cual se destaquen los elementos fundamentales basados en la definición de una EC sustentable, en este sentido se propone el siguiente conjunto de elementos:

**Figura 3.1: Elementos clave de una EC sustentable**



Fuente: Elaboración propia

### Marco Conceptual de Referencia y Sistema de Medición y Monitoreo

A nivel global, los indicadores para medir los avances hacia la instrumentación en EC están en desarrollo y algunos podrían no reflejar todos los aspectos considerados para este modelo. Por esta razón, se recomienda considerar como punto de partida **Indicadores de Transición** asociados con los elementos fundamentales de la EC.

Se proponen dos conjuntos de Indicadores de Transición:

- (1) una matriz con indicadores para los cuales es posible establecer una línea base como punto de partida para las acciones circulares, pues se cuenta con disponibilidad de información confiable y transparente
- (2) una matriz con indicadores para desarrollar en el corto y mediano plazo hacia el desarrollo de una hoja de ruta de EC, para los cuales habrá que generar información confiable y transparente para establecer su línea base.

### Niveles

De acuerdo con la naturaleza de los distintos niveles de aplicación de acciones y políticas circulares, así como la estructura geo-política del país, se plantea un marco de referencia en tres niveles, mismos que han sido ampliamente usados en las experiencias internacionales donde la EC ha sido implementada:

**Nivel Micro:** Conformado por todos los productos y servicios que permitan definir la muestra representativa de los patrones de producción y consumo.

La información para la estimación de los indicadores de este nivel es proporcionada por las empresas y organizaciones públicas y privadas específicas, por ejemplo industria del plástico a nivel de empresa o cámaras a nivel nacional, regional o local.

**Nivel Meso:** Este nivel se compone por indicadores que agrupan los resultados e impactos generados por los sectores económicos, los encadenamientos productivos y los parques industriales geo-localizados en sus áreas de influencia, por ejemplo en el sector metalúrgico, regiones, municipios o Estados.

**Nivel Macro:** En este nivel se compilan resultados de indicadores clave para el desarrollo de país, razón por la que el foco es la medición de los flujos de los materiales, energía y agua, así como los impactos asociados al cumplimiento de compromisos y metas pre establecidos en las estrategias de desarrollo socio-económico, mitigación y adaptación al cambio climático.

#### Criterios

Basado en la revisión de los marcos de referencia desarrollados para el monitoreo de la EC en diferentes países y que se alinean con las prioridades de México, se han definido los siguientes criterios a tomar en cuenta para la selección y definición de indicadores:

- Cantidades de productos, materiales, energía y agua consumida.
- Emisiones de GEI y carbono negro.
- Impactos asociados a la producción.
- Tasa de cambio requerida para la transición hacia la EC.
- Parte del ciclo que tiene lugar dentro de las fronteras del país.
- Importancia de los sectores económicos definidos para el país.
- Vinculación con las estrategias nacionales y el potencial para generar un impacto positivo, en términos de mitigación de impactos socio-ambientales, de competitividad y desarrollo.
- Importancia socio-cultural.
- Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sustentable.
- Disponibilidad de datos.
- Inversión a la innovación, emprendimiento y al desarrollo de investigación.
- Perspectiva de género.
- Impactos negativos y/o externalidades.

Con base en niveles y criterios antes mencionados, a continuación se incluye en la tabla 3.1 una matriz de indicadores que plantea un primer grupo de indicadores para generar la información de línea base, estos podrían ser un punto de partida para cuantificar los avances en la instrumentación del modelo circular en México.

**Tabla 3.1: Matriz de indicadores propuestos para la línea base.**

Área	Indicador	Unidades
Materiales	11. Generación de Residuos Sólidos Municipales [RSU]	Kg/día/per cápita
	12. Porcentaje de Residuos Orgánicos (alimentos)	%
	13. Porcentaje de Reciclaje de RSU	%
Agua	14. Porcentaje aguas residuales antropogénicas tratadas	%
Energía y cambio climático	15. Porcentaje de Energía renovable en la matriz de generación energética nacional	%
	16. Huella de carbono relacionada al consumo energético	tCO <sub>2e</sub> /per cápita
	17. Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático	Rango 0.0 – 1.0
Perspectiva de Género	18. Porcentaje de puestos directivos ocupados por mujeres en la industria	%

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, específicamente en la categoría de indicadores relacionados con la gestión de materiales se han propuesto tres indicadores que son los siguientes:

**11. Generación de residuos sólidos municipales:** propuesto como una medida para monitorear los patrones de producción y consumo. La EC propone eliminar la generación de residuos, por tanto, a través de prácticas de eco-eficiencia es posible optimizar el uso de materiales y se espera una reducción.

**12. Porcentaje de residuos orgánicos (alimentos):** este indicador sentaría la línea base de materiales provenientes de la fracción orgánica de los residuos, que son factibles de ser biodegradados y que podrían potencialmente aprovecharse en la producción de biocombustibles, energía o compostaje.

**13. Tasa de reciclaje de residuos sólidos municipales:** su objetivo es monitorear los esfuerzos por evitar que materiales valiosos para la economía y aprovechables, terminen en rellenos sanitarios o sitios no-controlados.

**14. Porcentaje de aguas residuales tratadas:** actualmente no existe un indicador que mida la circularidad del agua, por lo que este indicador se considera un requerimiento para contar con información sobre el aprovechamiento de agua de segundo, tercer y más veces de uso.

En la categoría de indicadores relacionados con la energía y el cambio climático se han propuesto dos indicadores:

**15. Porcentaje de energía renovable en la matriz energética:** como elemento para monitorear el nivel de transición energética hacia fuentes de energías renovables.

**16. Huella de carbono relacionada al consumo energético:** indicador específico que permita estimar la huella de carbono asociada al consumo energético en toda la cadena productiva, en el mercado de consumo y en el post-consumo de productos y servicios. Él cual está estrechamente relacionado con la matriz de generación energética.

**17. Índice de Vulnerabilidad de Cambio Climático:** Muestra el valor respecto de los tres mayores impactos del cambio climático: relación clima – desastres, aumento del nivel de agua y pérdida de productividad agrícola.

Finalmente, en la categoría de indicadores relacionados con aspectos sociales se ha propuesto un indicador:

**18. Porcentaje de puestos directivos ocupados por mujeres en la industria:** Se propone este indicador como primera medida para estimar los avances en materia de inclusión del género en posiciones de liderazgo.

Teniendo en cuenta las brechas de información actual, en la tabla que se muestra a continuación, se proponen una serie de indicadores que reflejan con mayor profundidad aspectos claves de la EC, para los cuales habría que generar mayor disponibilidad de información:

**Tabla 3.2: Indicadores de transición propuestos para considerar en el desarrollo de una hoja de ruta detallada de EC.**

Aspecto	Indicador	Unidad
Materiales	IP1. Porcentaje de uso de materiales circulares (CMU).	%
	IP2: Porcentaje de recuperación de materiales técnicos y biológicos.	%
Agua	IP3. Porcentaje de circularidad del agua.	%
Energía y Cambio Climático	IP4. Porcentaje de reutilización de materiales utilizados en la provisión de energías renovables.	%
	IP5. Huella de carbono evitada por iniciativas de EC.	tCO <sub>2e</sub> / per cápita
Perspectiva de Género	IP6. Porcentaje femenino de titularidad de empresas/ cooperativas destinadas a la EC.	%
	IP7. Empleos creados por empresas dedicadas a prácticas de EC.	número y, %Mujeres- %Hombres
Condiciones habilitadoras	IP8. Contratación pública y licitaciones para sistemas de EC (del total).	%
	IP9. Políticas, regulaciones y mecanismos financieros que soporten el desarrollo de	#
	IP10. Número de profesionales (H-M) capacitados para actividades relacionadas con la EC.	número, %de mujeres y % de hombres

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se desarrolló la estructura de una matriz amplia de indicadores específicos de medición y monitoreo en diversos temas y niveles relativos a EC, basada en experiencias internacionales, que podrían utilizarse a lo largo del periodo de transición e instrumentación y que se pueden consultar en el siguiente enlace: [Enlace a matriz ampliada de indicadores: EC-Monitoreo KPIs\\_Dashboard.xlsx](#)

## 4.-Informe de evaluación comparativa Benchmarking de historias de éxito internacional (matriz de experiencia comparativa)

Esta sección presenta una revisión de proyectos seleccionados sobre iniciativas de EC en otros países del mundo. Estos proporcionan ejemplos de acciones en marcha que apoyan directamente la transición a una EC sostenible y que pueden proporcionar ejemplos de acciones para países como México.

Para ello se seleccionaron países considerados por contar con hojas de ruta de EC u otras iniciativas en la materia de las cuales se pueden aprender lecciones sobre sus estrategias y regulaciones, en las que se abarcan los sectores económicos, ambientales y sociales, así como medios de coordinación entre los diversos actores.

La mayoría de las iniciativas europeas plantean la "creación de empleo" y "crecimiento económico" como oportunidades sociales y económicas, centradas en el uso y reutilización de materiales. Con base en estas experiencias cada país debe diseñen sus propias iniciativas de EC enfocadas en mejorar su situación social específica, en paralelo a una EC sostenible. Cabe mencionar que la gran diferencia para la transición hacia un modelo de EC de otros países con los de la unión europea depende de las condiciones sociales, la financiación disponible y la infraestructura.

Como parte de este análisis se identificaron dos estrategias principales, puestas en práctica como parte de una transición hacia una EC sostenible.

- I. Acciones que reducen los impactos negativos de la economía lineal actual.
- II. Acciones que ayudan a crear resultados positivos y que utilizan uno o más de los cinco modelos de negocio circulares primarios.

Hasta ahora, las acciones predominantes que se llevan a cabo tienen como objetivo reducir el impacto negativo de la economía lineal, y pocas iniciativas crean una nueva EC. A continuación se presenta una breve descripción de los resultados exitosos alcanzados por diferentes países, que pueden ser una referencia para plantear las directrices de México hacia la transición de una EC.

En la tabla 4.1 y 4.2 se muestra una matriz comparativa de las principales acciones que se consideraron en la Hoja de Ruta hacia una EC para Finlandia y los Países Bajos; así mismo en las tablas 4.3 y 4.4 se incluyen las iniciativas por sector prioritario asociadas al desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile Uruguay y México.

**Tabla 4.1. Matriz comparativa de la Hoja de Ruta hacia la EC de Finlandia**

País	Desafío (¿Por qué?)	Objetivos (¿Cómo?)	Roles (¿Quién?)	Acciones
Finlandia (2016 actualizado 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Mejorar su competitividad económica</li> <li>*disminuir la dependencia de los recursos naturales</li> <li>*Cambio climático</li> <li>*Crisis de biodiversidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Por medio de una transición de energía baja en carbono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*El gobierno central trabaja a través de cooperación entre ministerios</li> <li>*contratación pública municipal de enseñanza sobre un uso inteligente de la tierra.</li> <li>* cooperación entre empresas y con el sector público</li> <li>*mayores contribuciones de los ciudadanos a elecciones sostenibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Compromisos con una forma de vida sostenible. El programa” Bio and Circular Finland” que financia soluciones de EC competitivas internacionalmente.</li> <li>*ayudan a las empresas a pasar a la EC. Soportan los desafíos ambientales mediante la inversión de impacto.</li> <li>*Establecer Criterios EC para el sector de la construcción.</li> </ul>
Beneficios e Impactos	<p>Posicionarse como pioneros en la implementación de EC. Sus principales beneficios se reflejan en sus servicios, en el reciclaje de productos y soluciones digitales basadas en tecnología y la industria 4.0. Cambiaron el enfoque de competitividad a una EC en bajas emisiones de carbono</p>			

**Tabla 4.2. Matriz comparativa de la Hoja de Ruta hacia la EC de los Países Bajos**

País	Desafío (¿Por qué?)	Objetivos (¿Cómo?)	Roles (¿Quién?)	Acciones
<p><b>Los Países Bajos</b></p> <p>Una EC en los Países Bajos para 2050</p> <p>Programa gubernamental para una EC</p> <p>Contribuir al cumplimiento de los ODS de la ONU.</p>	<p>Para 2050, las materias primas se utilizarán y reutilizarán de manera eficiente</p> <p>Los productos y materiales serán diseñados para que puedan reutilizarse con una pérdida mínima de valor y sin emisiones nocivas.</p>	<p>Para 2030. Reducción del 50% en el uso de materias primas primarias</p> <p>Para 2020, el volumen anual de residuos domésticos será como máximo de 100 kg per cápita por año</p> <p>• Para 2025, el máximo será de 30 kg per cápita por año.</p> <p>• Para 2022, el volumen de residuos domésticos se reducirá en un 50% respecto a 2012</p> <p>• Para 2025, los bienes de consumo se utilizarán de manera que les permita permanecer en el ciclo; “no tirar basura” se habrá convertido en el estándar.</p>	<p><b>El Gobierno</b> creará un acuerdo de EC en <b>5 sectores industriales prioritarios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomasa y alimentos</li> <li>• Plásticos</li> <li>• Industria manufacturera</li> <li>• Sector de construcción</li> <li>• Bienes de consumo</li> </ul> <p>Usando cinco instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fomento de la legislación y su reglamentación</li> <li>b) Incentivos a mercados inteligentes</li> <li>c) Financiamiento</li> <li>d) Conocimiento e innovación.</li> <li>e) Cooperación internacional.</li> </ul> <p>Para 2020, el 50% de las empresas deben avanzar hacia la circularidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre internacional de la cadena de valor de los plásticos.</li> <li>• Impulso de la Iniciativa de materias primas (RMI-UE)•</li> </ul> <p><b>Piloto sobre el aprovechamiento de desechos electrónicos considerados como una mina urbana</b></p> <p>Piloto sobre <b>nuevas minas urbanas sostenibles en colaboración con el sector marítimo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque de costos del ciclo de vida, por el gobierno central</li> <li>• Sistemas de clasificación y procesamiento mejorados.</li> <li>• Creación de fondo para residuos</li> </ul>
Beneficios:	<p>Menor dependencia de las materias primas de otros países .</p> <p>Conexión al cambio climático por el uso y transporte de materias primas (RM)</p> <p>Oportunidad económica para el empleo, la innovación y la ciencia.</p> <p>Mejorar de la salud pública al reducir la exposición a sustancias que dañan la salud de las personas y los ecosistemas.</p>			

**Tabla 4.3. Matriz comparativa de iniciativas por sector prioritario en el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile y Uruguay**

Iniciativa/ Sector	Brasil	Chile	Uruguay
Comida y Agricultura	Plan sectorial para una economía baja en carbono en la agricultura; Plan ABC, para adopción de tecnologías sostenibles; Recuperación de pastos degradados; Integración Agropecuaria-Forestal y Sistemas agroforestales; Sistema de plantación directa; Fijación biológica; Bosques plantados; tratamiento de desechos; y adaptación al cambio climático.	Producción de alimentos ricos en aminoácidos a partir de plumas de aves de corral mediante un proceso enzimático de alto rendimiento.	Investigación alimentaria funcional para revalorizar subproductos de la industria alimentaria; Uso alternativo del orujo de uva para la elaboración de alimentos para ganado; Tecnologías en sistemas de ordeño aplicadas en áreas como fertilizantes-riego.
Silvicultura, tecnologías de biomasa y bioeconomía	Proyecto para hacer la cadena de producción del sururu (malacocultura); Plan de acción gubernamental de bioeconomía para apoyar la tecnología y la innovación en biomateriales y biotecnologías; Programa de cadenas de valor de bioeconomía:	Pintura resistente al fuego a base de residuos agroindustriales; Reutilización de levadura de cerveza para obtener un extracto natural y nutritivo; Unidad mínima que transforme desechos de la industria hortofrutícola; Extracción de pigmentos naturales para uso en cosméticos; Recolección de GEI de la producción de vino.	Producción de ingredientes con contenido antioxidante y fenólico, para el cuidado íntimo femenino; Producción de cuero con proceso industrial libre de metales; Recuperación de percloroetileno de pieles de cordero; Estrategia Nacional de Bosques Nativos para preservación de los servicios ecosistémicos de los bosques.

Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay

Energía renovable y biológica	Uso de residuos de biomasa agrícola en la producción industrial y agrícola como la cogeneración de energía; Investigación sobre la producción de energía bio-renovable a través de la caña de azúcar para biomateriales y bioquímicos; Conversión de residuos orgánicos en energía eléctrica, térmica o combustible de fuentes rurales y agroindustriales; Apoyo de mecanismos para crear un mercado de créditos de carbono.	Valorización de residuos agroindustriales para el cultivo de setas; Proceso de extracción de pectina, hidroxitirosol y energía a partir de la digestión anaeróbica de manzanas y orujos y residuos de producción de aceite de oliva; Recuperación de bioazufre residual de la digestión anaeróbica de lodos del tratamiento de aguas.	Cambio del tratamiento extensivo de reservorios anaeróbicos por un sistema compacto y más eficiente para la obtención de biogás como fuente de energía.
-------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Tabla 4.4. Matriz comparativa de iniciativas comunes por sector prioritario en el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile y México**

Iniciativa/ Sector	Brasil	Chile	México
Digitalización e Industria 4.0	Un plan de acción tecnológico desarrollado para Industria 4.0 que tiene como objetivo crear una red de EC para superar barreras específicas para su implementación en el país.	Plataforma digital para un sistema logístico de reciclaje para determinar rutas desde el origen hasta la disposición. Desarrollo de plataforma web para sistema de monitoreo de empaques.	Uso de tecnologías Internet de las cosas (IoT), para predecir posibles fallas y optimizar procesos en la industria CEMEX.

Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay

Producción e industria manufacturera	Coordinar iniciativas públicas y privadas en EC para la integración productiva entre diferentes actividades; Elaboración de propuestas para resolver cuellos de botella y creación de una visión estratégica para la EC en la industria brasileña.	Desarrollo de laboratorio para la fabricación de pinturas al agua utilizando residuos; Prototipos de líneas de maquinaria enfocadas al reciclaje de parabrisas; Prototipo de aire acondicionado utilizando la energía térmica desperdiciada por el motor del vehículo para alimentar el proceso de evaporación del absorbedor.	Crear un mercado de revalorización de materiales metálicos; n prototipo de turbina de bajo costo para la generación de electricidad; desarrollo de la línea base para un sistema nacional de comercio de emisiones; investigación en Industria 4.0; estrategia para medir impactos a largo plazo para la producción y mitigación en la industria; utilización de chatarra de acero en la industria metalúrgica y papelera.
Infraestructura y Construcción	Evaluación del ciclo de vida de los materiales de construcción para recopilar datos de impacto ambiental.	Evaluación del uso de escoria de acero negro como agregado artificial en hormigón	Hormigón reciclado para producir grava como insumo para la industria de la construcción.
Gestión de residuos	Procesos de laboratorio enfocado a la reducción y reciclaje de productos electrónicos; modelos de negocio que apoyan a las organizaciones de recicladores en el reciclaje de envases postconsumo.	Recuperación de aceites lubricantes usados, logrando su reutilización en equipos industriales, mediante un proceso de eliminación de elementos contaminantes sólidos y líquidos.	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; Ley de EC; Generación de energía a partir de RSU para uso en municipios; Nuevo modelo de negocio de logística.

En la revisión de casos exitosos en EC de otros países que han sido pioneros y que han desarrollado ventajas competitivas y beneficios en sus localidades, que podrían ser relevantes a considerar por México

En adición a las lecciones aprendidas de los países que ya han implementado hojas de ruta y estrategias en materia de EC, cabe considerar las siguientes recomendaciones para México:

- **Integrar mesas de diálogo desde el sector de gobierno** para construir la cooperación necesaria entre los **actores participantes** para que una EC sostenible funcione en la práctica. Además de buscar y formular **soluciones sostenibles de EC, incluida la eliminación de subsidios de productos lineales hacia alternativas circulares más sostenibles.**
- La contratación pública puede comenzar a dirigirse preferentemente a soluciones más circulares.

En algunos casos, se han promulgado nuevas reglamentaciones para implementar, por ejemplo, la responsabilidad extendida del productor (EPR) y la recolección de materiales de desecho de envases y residuos electrónicos

- **Desarrollar una infraestructura de logística inversa rentable para materiales clave.** Esto requiere la recolección y la concentración de los productos y materiales de los clientes al final de su vida útil (uso), y luego reprocesarlos en materiales reutilizables para su remanufactura.
- En definitiva, se requieren ejemplos con sostenibilidad local, que fomenten ideas innovadoras que se ajusten a las necesidades de su ciudad y su situación social local. Los materiales son un foco principal de la EC. Encontrar formas de reducir el desperdicio de los productos y servicios lineales actuales es una estrategia y el objetivo final es diseñar activamente con nuevos modelos de negocio circulares.
- **Rediseñar bienes y servicios existentes para permitir flujos seguros de material en modelos de negocio circulares** en el que se incluyen opciones de materiales circulares y sostenibles con un diseño para desmontar y reutilizar.
- **Seleccionar métricas que vayan más allá de reducir los impactos negativos de la economía lineal** y comenzar a identificar cambios en los modelos de negocios circulares.
- **Finalmente, resalta la importancia de priorizar la enseñanza sobre la EC sostenible en todos los niveles como una actividad prioritaria** a fin de generar una sociedad más sensibilizada para que participen activamente en la búsqueda de nuevas e innovadoras soluciones circulares.

## 5. Diagnóstico general y beneficios: nivel de desarrollo de la

### Industria 4.0

Los recientes avances tecnológicos están impulsando una nueva etapa denominada Industria 4.0, que apoya un incremento de la convergencia de diversas tecnologías (digitalización, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales) en la producción, convirtiéndola en una “producción inteligente”.

En donde los sensores, las máquinas, los componentes y los sistemas informáticos estarían conectados a lo largo de la cadena de valor, más allá de los límites de las empresas individuales, favoreciendo el análisis de datos para prever errores, configurarse a ellos mismos y adaptarse a posibles cambios requeridos por un proceso productivo cada vez más flexible. Las tecnologías de la Industria 4.0 son las siguientes, listado elaborado a partir de “Informe sobre el Desarrollo Industrial “ (ONU DI, 2019):

**Big Data analytics y blockchain:** se trata de la gestión y desglose de un gran volumen de datos complejos y con una velocidad de crecimiento alta, cada acción realizada por los usuarios, como una consulta a un buscador digital o una transacción con tarjetas, queda registrada, creando un rastro de información que refleja las preferencias de los usuarios y con lo que es posible estimar futuras tendencias.

**Robótica colaborativa/avanzada:** Los robots colaborativos (cobots) fueron creados para ayudar a las personas para realizar tareas de automatización e impulsar la productividad. Los cobots están diseñados para garantizar la seguridad de los trabajadores cuando entran en contacto directo con el robot mientras cumplen con su tarea.

**Internet de las cosas (IoT):** se trata de la evolución del internet. Permite la conexión de dispositivos y la interacción entre ellos o bien con dispositivos centralizados.

**Computación en la nube:** Permiten el acceso colaborativo y la recuperación de grandes cantidades de datos desde cualquier lugar o dispositivo, permitiendo el flujo masivo de datos. Estas plataformas utilizar software en la red sin disponer físicamente de las infraestructuras.

**Fabricación aditiva (impresión 3D):** la impresión 3D permite producir objetos tridimensionales a partir de modelos virtuales facilitando la creación de prototipos, la fabricación de productos personalizados y una producción descentralizada.

**Ciberseguridad:** Es la protección de la información digital que asegura la protección, privacidad y seguridad de las empresas.

**Realidad aumentada:** Utiliza el entorno físico para proporcionar datos e información en tiempo real.

**Integración horizontal y vertical de sistemas:** Conectan máquinas con máquinas, máquinas con productos, impactando sobre la gestión interna de la empresa, permite la conexión entre la empresa, proveedores, actores del sistema de logística y transporte, llegando hasta el cliente.

**Inteligencia artificial y aprendizaje automático:** Dirigido al desarrollo de técnicas para que las máquinas puedan aprender y tomar decisiones por sí mismas.

Este aprendizaje es posible gracias a la detección de patrones dentro de un conjunto de datos de manera que es el propio programa el que predice qué situaciones podrían darse.

**Sensores:** Aportan conectividad de los elementos del hardware y constituyen un elenco de accionadores eléctricos y sensoriales en los elementos físicos. Se complementa con la aplicación de internet en las empresas para la transmisión de datos y abrir así la puerta a la “producción descentralizada”.

## 5.1 Propuesta de métricas para evaluación y seguimiento de la Industria 4.0

Como base para la evaluación y seguimiento de la Industria 4.0 de México, se han seleccionado un grupo de indicadores que se incluyen en la tabla 5.1., los cuales evalúan la capacidad de cambio de las estructuras productivas y el dinamismo de la transformación tecnológica del país, basado principalmente en la propuesta del “Informe sobre la preparación para el futuro de la producción 2018” del World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), que analiza la posición actual de los países para dar forma y aprovechar la cuarta revolución industrial y transformar los sistemas de producción. En conjunto se han complementado con indicadores del Índice Global de Innovación (Cornell University, 2019) y el Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Sachs, 2019).

**Tabla 5.1. Indicadores Industria 4.0**

Tema	Indicador	Valor para México
Capacidad de cambio de las estructuras productivas	1. Complejidad económica (puntuación, 1-10) (calculado con base a la diversidad de exportaciones de productos sofisticados, al peso y ámbito de su presencia internacional)	7.2
	2. Peso de la manufactura: MVA/PIB (%)(valor total neto de toda la actividad manufacturera regional interna/PIB)	16.6
Palancas de cambio susceptibles a catalizar la Industria 4.0	3. Desarrollo de clústeres (1 a 7 la mejor), existencia de clústeres en diferentes ámbitos.	4.2
	4. Inversión en innovación (Gastos %PIB)	0.6
	5. Porcentaje acceso a internet (% de la población que usa internet)	59.5
	6. Impacto de la investigación, ciencia y tecnología (ICT) en creación de modelos de negocio (1 a 7 la mejor)	5.0
	7. Aplicación de patentes (aplicaciones por cada millón de habitantes)	1.33
	8. Artículos científicos publicados (número por billón PIB PPP\$)	5.8
	9. Grado de innovación disruptiva (1-7 la mejor)	3.3
	10. Índice global de innovación (puntos sobre 100)	36.06
Calidad del capital humano	11. Personas capacitadas sectores 4.0 (% capacitados/trabajadores)	20
	12. Porcentaje de mujeres graduadas en ciencia e ingeniería	29.2
	13. Disponibilidad de científicos e ingenieros en el país (de 1 a 7)	4.2
	14. Calidad Universidades: Número de universidades que incluidas en QS University Ranking por millón de habitantes)	0.11
Calidad de gobernanza del país	15. Eficiencia y eficacia regulatoria (0-100 la mejor)	69
	16. Visión futura de la Administración (1 – 7 la mejor)	3.3
	17. Percepción del grado de Seguridad Jurídica (2.5 a -2.5) la mejor	-0.5

**Nota:** Todos los indicadores proceden del World Economic Forum (World Economic Forum, 2018), a excepción de los indicadores número 10 y 12 (que proceden del Índice Global de Innovación (Cornell University, 2019) y del Informe sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Sachs, 2019) y del indicador número 14, que ha sido elaborado a partir de información disponible en el mencionado informe del World Economic Forum.

El World Economic Forum constata esta situación, ya que luego de un estudio de 100 países sitúa a México en el puesto número 22 en términos de estructura de producción y el lugar 46 en términos de los drivers de producción (tecnología, innovación, capital humano, sustentabilidad de recursos, comercio internacional, inversiones, emisiones y requerimientos de los recursos. El mismo estudio concluye que en México existe un margen de mejora en temas de tecnología, innovación, formación de capital humano y el marco institucional. Específicamente una plataforma tecnológica más sólida para impulsar la conectividad. Además, las inversiones en la infraestructura de México, el apoyo a las PYME para promover su integración en las cadenas de valor global y los esquemas de colaboración multisectorial. México es un destino de primer orden para las inversiones de nueva creación (World Economic Forum, 2018).

### **Actores principales en la adopción del paradigma 4.0**

En la revisión de actores institucionales e instrumentos de política que son centrales para avanzar hacia la adopción de la industria 4.0 en México se identifican los siguientes:

- Programas Nacionales Estratégicos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 2018-2024, incluyen el Proyecto de Desarrollo Industrial y Toxicidad, así como el de Transición Energética (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2019).
- Programa Sectorial de Economía 2020-2024 estableció como objetivo prioritario el fomento a la innovación, mediante el desarrollo tecnológico en los sectores industriales, con acciones tales como el fortalecimiento de centros de innovación industrial de los ecosistemas de innovación, favoreciendo un uso eficiente en materias primas, la minimización de impactos ambientales asociados a los procesos de producción; el fomento a las industrias estratégicas con miras a transitar hacia las industrias 4.0.; la implementación de esquemas de encadenamiento productivo sustentable para la proveeduría de insumos a los sectores estratégicos, así como su vinculación en cadenas globales de valor (Secretaría de Economía, 2019).

Además, dentro de la Secretaría de Economía existe el Consejo Consultivo de Industria 4.0, un órgano de análisis de la política pública en este rubro en el que participan el sector industrial, académico y el gobierno, con el fin de definir objetivos responsables y la toma de decisiones para acciones y estrategias que apoyen al despliegue de la Industria 4.0 en México.

- Colaboración de estrategias de tecnología de Producción Digital Avanzada (PDA) en el que participa el gobierno de Nuevo León con el País Vasco (suscrito en 2018) y mediante el cual se estableció el programa MIND4.0 Monterrey 2019, que funciona como un acelerador de empresas emergentes para reunir a las empresas productoras locales con innovadores y emprendedores (ONUDI, 2019).

## **5.2. Beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 en proyectos seleccionados en México**

En esta sección se presentan los beneficios de aplicar modelos y tecnologías disruptivas a las iniciativas de EC identificadas en México. Se han considerado todas las iniciativas, con independencia de su grado de maduración alineadas con los principios de la EC, es decir la inclusión de la cadena de valor global, la evaluación de sus beneficios de eficiencia e impacto ambiental, la innovación, la evidencia de la perspectiva sostenible en su diseño, así como su potencial de escalado en la región o sector de referencia.

A continuación, se detallan los beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 a los proyectos seleccionados en México:

- Plataforma para Revalorización de Materiales, tiene por objetivo crear un mercado de materiales en la industria del hierro y el acero que incremente su valor en las diferentes etapas y ciclos de uso. El empleo de tecnologías 4.0 incluye la utilización de la Bigdata, computación en la nube, inteligencia artificial y ciberseguridad. El proceso consiste en compartir información de varios agentes, valorarla, conocer las razones de la variabilidad de su cotización y la compraventa del producto. El beneficio que generará es la posibilidad de reutilizar la materia prima manteniendo su valor constantemente.
- Red de Aprendizaje de EC, descrita en el capítulo 1, donde empresas anclas motiven a que las PYMEs asociadas a su encadenamiento productivo puedan aplicar los diferentes aprendizajes en esta materia. Las tecnologías 4.0 aplicables son la combinación de Bigdata, internet, ciberseguridad e inteligencia artificial, se está planteando crear un entorno colaborativo de triple hélice; administración, empresa y conocimiento. Esto significa que se han de intercambiar las mejores experiencias y lanzar proyectos piloto colaborativos.
- En el proyecto Felicity de Valorización Energética de residuos sólidos urbanos, descrito en el capítulo 1, las tecnologías 4.0 aplicables al proyecto están orientadas a ayudar a las empresas de residuos a gestionar mejor la recolección y el reciclaje de todo tipo de desechos. Con la ayuda de las tendencias digitales como Bigdata, los sensores inteligentes y las aplicaciones móviles, podrían revolucionar el campo de la gestión de la basura y fomentar su participación en los procesos de reciclaje.

- Sistema de Comercio de Emisiones (SEMARNAT), tiene por objetivo promover reducciones de emisiones entre los sectores participantes, las tecnologías 4.0 potencialmente aplicables al proyecto base de mercado de emisiones consistirán en la combinación de Bigdata, internet, inteligencia artificial, computación en la nube y Blockchain con el objeto de crear un mercado transparente y eficiente.
- Oportunidades de Simbiosis en la Industria Tequilera, el proyecto se basa en la realización de un estudio de ciclo de vida en donde se identificaron usos alternativos de bagazo del agave, los cuales se comercializaron con otras empresas del gremio. Las aplicaciones de tecnologías 4.0 al proyecto Simbiosis Industrial en la Industria Tequilera se centran en internet y Bigdata que harán posible compartir información entre diferentes agentes sobre la disponibilidad y el precio de las materias primas.
- Reciclaje de botellas PET, liderada por la empresa mexicana PetStar, recicla 84 mil toneladas de botellas de PET al año para producir 52 mil toneladas de resina reciclada de PET grado alimenticio y evitar la generación de 108 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e por la producción de resina virgen (PetStar, 2019). El empleo de tecnologías 4.0 para la obtención de resinas de PET puede suponer la utilización de la Bigdata, computación en la nube, inteligencia artificial, sensorización y robotización implicadas en los procesos de recolección, almacenaje y procesado.
- Proyecto de la empresa cementera, recopilación de datos provenientes de sus plantas alrededor del mundo y convertirlos en conocimientos con beneficios tangibles, mediante la implementación de tecnologías de IoT, El sistema tiene la capacidad de recolectar, analizar, visualizar y compartir grandes cantidades de datos históricos, provenientes de varias fuentes, hacia las personas y los sistemas de operaciones. La empresa logró tener el control de sus operaciones, predecir posibles fallos y optimizar procesos, desde cualquier lugar y en tiempo real Las aplicaciones de tecnologías 4.0 para recopilar los datos provenientes de sus plantas alrededor del mundo y convertirlos en conocimientos con beneficios tangibles consisten básicamente en la implementación de tecnologías de IoT, Bigdata, Inteligencia artificial, computación en la nube y ciberseguridad. El beneficio del proyecto está relacionado con la mejora de la eficiencia del proceso, tanto en la operación como en el mantenimiento del mismo.
- Proyectos desarrollados por las empresas del sector automotriz, la empresa Ford está incorporando la Tecnología 4.0 en la construcción de sus productos, como la impresión de prototipos en impresoras 3D en el Laboratorio de la Planta de Motores en Chihuahua, México y la utilización de un Exoesqueleto para el ensamblaje de unidades en la Planta de Cuautitlán. Así mismo, en 2018, las plantas de Hermosillo y Cuautitlán se equiparon con exoesqueletos para reducir el desgaste físico, lesiones o malestar de sus empleados durante el proceso de ensamble de vehículos (Ford, 2018) (Ford, 2018). Estas tecnologías 4.0 aplicables en la construcción de sus productos, van incrementar la capacidad de desarrollar productos

eco-diseñados, para incorporarlos en el proceso productivo, así como el incremento de eficiencia debida a la robotización. Las tecnologías implicadas consistirán en la combinación de Bigdata, internet, inteligencia artificial, computación en la nube, impresión 3D y robotización, con el objeto de crear un proceso productivo más eficiente y con menor impacto ambiental.

- Proyecto del cálculo de la huella ambiental en el sector del papel y celulosa, basado en el análisis de ciclo de vida, permite determinar la contribución del sector a la reducción de emisiones de GEI, al mismo tiempo que brinda una herramienta para la evaluación resultados y escenarios en las políticas empresariales como la mejora de eficiencia energética, la transición hacia fuentes de energía con menor impacto ambiental, tratamiento y recirculación del agua, la implementación de plantaciones forestales comerciales y el incremento de materias primas derivadas del reciclado. Las tecnologías 4.0 aplicables son principalmente Bigdata, inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT), computación en la nube y ciberseguridad, es el punto inicial para el diseño de proyectos de innovación que involucren tecnología 4.0 en el desarrollo de modelos de negocio circular. (Cámara del Papel, 2020) La instrumentación de las tecnologías 4.0 en los modelos de negocio circulares dependerá fundamentalmente de la intensidad tecnológica de cada sector, del tamaño de las empresas existentes en el país y del contexto competitivo de cada una de las empresas.

Las tecnologías de Industria 4.0 en los modelos de negocio circulares buscan ganar capacidad competitiva de las empresas, en un sector y mercado específicos, a través de tres líneas de trabajo: automatización, conectividad y la administración inteligente de información en tiempo real. En este sentido, la industria 4.0 aplica a los sectores más representativos en México, algunos de los que se consideraron son la agricultura, ganadería, energía, minería, gestión de residuos y se describen a continuación:

- **Sector Agroalimentario:** se prevé concepto de granjas inteligentes. La tendencia es generar procesos productivos sostenibles. En esta industria se están utilizando servicios GPS, la tecnología de intercambio de información máquina a máquina (M2M), IoT alineada con sensores y *Bigdata* para optimizar rendimientos de cultivos, reduciendo los insumos del peso productivo, agua, energía, fertilizantes y pesticidas, así como el desperdicio. Se requiere incorporar datos del suelo, telemetría, software inteligente *Bigdata*/IoT y servicios en la nube.
- **Sector de la Minería:** la utilización de la tecnología 4.0 es significativa para mejorar la seguridad de las personas, el mantenimiento de la maquinaria pesada, la operación remota de la producción, el consumo de energía en los activos de acuerdo con las condiciones de funcionamiento, consolidar en este sector la combinación de sensores, IoT, *Bigdata* y nube posibilitarán la implantación de algoritmos de inteligencia artificial que

previenen situaciones de riesgo, optimizaran la gestión del mantenimiento y energía utilizada, costos muy representativos de este sector.

- **Sector de la Energía**, respecto de la distribución y comercialización, el reto es generar la red inteligente con la sensorización; a través de los medidores y software inteligente se reducirán las pérdidas en red y la óptima gestión de la demanda potenciará la eficiencia en el consumo. Todo ello conectado e integrado y monitorizado a través de *Bigdata*, nube, IoT y drones. La digitalización del servicio con el consumidor juega un papel principal ya que servitizará los kW/h producido y proporcionará la posibilidad de adecuar el proceso de generación a la demanda online.
- **Gestión de Residuos.** : en este sector la potencial integración de la tecnología es para todos sus procesos, desde la recolección, el transporte y su logística, y el tratamiento final en las plantas. Contenedores inteligentes, *Bigdata*, IoT e inteligencia artificial para la transmisión de los datos y gestión en el tratamiento de los residuos y mantenimiento, así como la posibilidad de utilización de drones para la supervisión de vertederos.
- **Sector Manufacturero**, este sector es el que se considera la principal palanca de desarrollo de la Industria 4.0, donde se pueden aplicar todas las tecnologías y modelos de negocio circular planteados.

### Finalmente se enlistan algunos aspectos claves a considerar en la implementación de la industria 4.0

Para mejorar los indicadores de transformación tecnológica presentados, se requiere plantear soluciones basadas en institucionalizar enfoques participativos en los que intervengan los distintos agentes interesados para la definición de políticas industriales, en particular la colaboración público-privada y el esencial liderazgo compartido y coordinación entre entidades gubernamentales.

De acuerdo con las iniciativas presentadas, se puede afirmar que México es consciente de que la Industria 4.0 es una vía para que sus empresas sigan creciendo, generando una mayor productividad y competitividad. En este sentido, se reconoce que para poder avanzar hacia la **cuarta revolución industrial** es necesario trabajar en cinco pilares fundamentales: desarrollo de capital humano con formación tecnológica, innovación, clústeres, adopción de tecnología y la calidad de la estructura institucional (Secretaría de Economía, 2018).

**Desarrollar estrategias sectoriales de EC e Industria 4.0 canalizadas a través de las organizaciones de colaboración público-privada** cuyo papel pueda consistir en conjugar los intereses regionales y los de los sectores específicos para dar impulso a la innovación.

Estas estrategias están dirigidas a impulsar el desarrollo de iniciativas de innovación soportadas en las directrices de la EC y las tecnologías de la Industria 4.0.

**La creación de fondos públicos de ayuda a la inversión en innovación para este tipo de iniciativas.** Todos los proyectos de innovación, entendidos desde la perspectiva de la EC, deberán responder a la mejora de la eficiencia y reducción del impacto ambiental de la cadena de valor en su conjunto y deberán ser fuente de beneficio social explícito.

**Creación de espacios de inteligencia compartida entre los ámbitos de sector público, empresas y universidades y centros de investigación** que lideren los procesos de investigación y creación de directrices de desarrollo circular y tecnológico.

Otros aspectos a considerar en el impulso de la industria 4.0, son:

- La **cooperación** nacional e internacional necesaria para el diseño de proyectos de innovación rentables;
- La alineación con los compromisos internacionales en materia de **cambio climático** y con los **objetivos de desarrollo sostenible**;
- la promoción efectiva de la **cultura de la innovación y transparencia** de las estrategias para los actores clave.
- Ni la EC ni la industria 4.0 están a favor de “puestos automatizables”, más bien apoyan proyectos de innovación de diferente naturaleza bajo un contexto de transformación eficaz y eficiente para la creación de empleos de calidad.

## 6. Plan para la elaboración de una hoja de ruta hacia una EC

### 6.1 Descripción del proyecto piloto

En este reporte se presenta el planteamiento de un proyecto piloto con base en los principios de circularidad para el encadenamiento de la construcción en México. El cual se seleccionó por su **importancia en materia de desarrollo económico**; la **madurez del modelo de mercado digital en contextos similares** y la **distribución geográfica de las plantas productivas asociadas a este sector**.

El proyecto propuesto es una “Plataforma digital que facilita la conexión de oferta y demanda con base en un modelo de intercambio de bienes y servicios, inicialmente dentro del encadenamiento de la construcción, y con base en un sistema de revalorización de productos/subproductos aprovechables

Este **mercado de intercambios y revalorización de materiales**, es una plataforma digital con una base de datos en línea que conecta a los proveedores o empresas que cuentan con modelos de negocio basados en la reutilización o el intercambio de estos flujos de materiales no deseados y con alto potencial de aprovechamiento, con aquellas empresas o usuarios que demandan dichos productos o servicios, que van desde desechos textiles hasta ácido clorhídrico y materiales de la construcción fuera de especificación o [Residuos de la construcción y demolición \(RCD\)](#)

Los sectores productivos considerados dentro de este circuito económico son: cemento (**CANACEM**), Siderúrgico/Metalúrgico, (**CANACERO**), de la Construcción (**CMIC**) y el sector público, representado por la **SEMARNAT** y el **INECC**.

El proyecto considera aspectos clave como la perspectiva de género, la reducción de la vulnerabilidad socio-económica de los grupos que participan en la recuperación de materiales (recicladores), los impactos socio-ambientales a lo largo de todo el circuito económico y un sistema de revalorización que no sólo maximice el ingreso del oferente del producto/servicio, sino que evalúe las externalidades evitadas por este nuevo proceso de recomercialización y el aprovechamiento de beneficios económicos, fiscales, etc., que incentive la expansión de este mercado.

Las empresas que demandan estos materiales no solo generan ahorros significativos al adquirir materias primas a menores costos, sino que se evita que volúmenes importantes de residuos de la industria lleguen al relleno sanitario o a disposición final.

Estas empresas, además, reducen su consumo energético tanto en el transporte de materias primas/residuos como en etapas del proceso de transformación, mitigando en gran proporción sus niveles de emisiones de GyCEI.

Existen iniciativas similares en el mundo, la U.S. Materials Marketplace, liderado por el Consejo Empresarial de Estados Unidos para el Desarrollo Sostenible (US BCSD), el Foro Eco-Corporativo (CEF) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) que en su conjunto representan a cientos de compañías a nivel global. Es un modelo que permite que grandes y pequeños mercados compartan sus flujos y resultados de triple impacto (económico, social y ambiental).

La plataforma ha sido replicada y escalada con ayuda de los programas regionales, lo que ha dado origen a los mercados de materiales de los Estados de Tennessee, Ohio y Michigan en EEUU y a la provincia de Ontario, en Canadá. Este proceso de expansión indica que en los próximos años se sumarán más regiones, las cuales compartirán indicadores, información y datos de gran valor.



## Ficha de Proyecto Piloto

A continuación, se presenta la ficha técnica del proyecto piloto bajo un modelo de nota conceptual para presentarse ante programas de financiamiento verde, climático o circular.

**Tabla 2: Resumen de Proyecto Piloto**

1. Título del Proyecto Piloto	Mercado Digital Circular Mexicano Este proyecto consta de una plataforma digital para la revalorización de productos, que facilita la conexión de oferta y demanda con base en un modelo de intercambio de bienes y servicios, inicialmente dentro del encadenamiento de la construcción.
2. Ubicación del proyecto piloto	Región Centro: Ciudad de México y seis Estados aledaños (Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala).

3. Duración estimada del Proyecto Piloto	18 meses (ver cronograma de implementación adjunto) Fase I: 12 meses Fase II: 6 meses
4. Contraparte gubernamental	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SEMARNAT (y entidades estatales)</li> <li>▪ INECC</li> <li>▪ Secretaria de economía (y entidades estatales)</li> <li>▪ Secretaría de Bienestar (y entidades estatales)</li> <li>▪ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)</li> </ul>
5. Presupuesto de piloto	\$250,000 USD total (ver plan maestro con estimación gruesa de costos para la Fase I)
6. Justificación del piloto	<p>Se estima que sólo se revaloriza el 4% de los RCD<sup>3</sup> que se generan en México (SEMARNAT, 2020), lo que equivale a un volumen grueso de 10.15M toneladas/año<sup>4</sup>).</p> <p>Con respecto al flujo de materiales aprovechables del sector siderúrgico/metalúrgico, el potencial de recuperación es de 6 millones de toneladas anuales (CANACERO, 2019).</p> <p>En términos de mitigación de GyCEI, el potencial está en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las emisiones evitadas por los volúmenes de RCDs, RME y RSU que se reincorporen a nuevos ciclos económicos y que no llegarán a rellenos sanitarios o de disposición final;</li> <li>▪ Las emisiones asociadas al procesamiento evitado de materiales, partes y productos al ser reincorporados a nuevos ciclos productivos;</li> <li>▪ Las emisiones evitadas en la reducción, distribución, comercialización y disposición final de productos que puedan ser servitizados a través del Mercado Digital Circular;</li> <li>▪ Las emisiones asociadas a la importación evitada de materias primas vírgenes que serán sustituidas por flujos de materias recuperadas en el mercado nacional y;</li> <li>▪ En un futuro, a las emisiones evitadas a través del ecodiseño de productos que puedan ser reparados, desensamblados, remanufacturados, reacondicionados y recomercializados en las actividades del encadenamiento de la construcción u otros sectores de expansión.</li> </ul>
7. Objetivos del piloto	Durante esta primera fase, implementar un modelo de revalorización de productos, partes y materias primas para nuevos ciclos productivos entre actores de la cadena de valor del sector de la construcción y de otras industrias, como son el sector cemento, siderúrgico, manufactura, entre otros.

<sup>3</sup> RCD, Residuos de la construcción y demolición

<sup>4</sup> Dato de generación del año 2018 (SEMARNAT, 2019)

	En fases posteriores a la implementación de este proyecto piloto, extender la oferta de intercambios al uso compartido de bienes como maquinaria, equipos, herramientas o para la comercialización de servicios digitales, como diseño arquitectónico, ingenierías, gestión de proyectos y administración de activos.
8. Enfoque del Piloto	<p>Desarrollar el Marketplace con la ayuda de una plataforma digital (e-commerce) que permita conectar la oferta y demanda para el intercambio de bienes desaprovechados en el sector de la construcción para su reincorporación en nuevos ciclos productivos de industrias, como la cementera, manufacturera, siderúrgica, entre otras.</p> <p>Además, deberá contar con un componente dedicado a estimular la creación de nuevos empleos, al desarrollo de nuevos servicios y a la formalización o profesionalización de los empleos existentes.</p> <p>Adicionalmente, se podrán incorporar tecnologías de la industria 4.0.</p> <p>La plataforma digital incorporará un sistema de medición de indicadores asociados al marco de referencia de la EC que puedan ser evaluados regularmente.</p>

### Descripción de proyecto piloto

El proyecto consta de una **plataforma digital** que permite conectar oferta y demanda, comercializando así:

- a) Materiales para la construcción y otros sectores compatibles (de primera, de segunda, desperdicios, saldos e incluso materiales recuperados de construcción/demolición para su reprocesamiento);
- b) Comercialización de productos y partes para la reparación, remanufactura y reacondicionamiento;
- c) Servicios de transporte logístico, venta de servicios digitales, diseño, arquitectura, ingeniería y servicio de laboratorios para la construcción (geotecnia, pruebas de resistencia y propiedades de los materiales, etc.);
- d) Alquiler de mobiliario, maquinaria, herramienta y activos en forma de servicio (logística de carga, movilidad, mudanza, gestión de residuos, etc.);
- e) Venta de equipos, indumentaria de seguridad, insumos, equipamiento de bioseguridad y salud en el trabajo, entre otros.

Además, servirá para amplificar las **dinámicas de intercambio** para las plantas de recuperación, procesamiento y revalorización de residuos de la construcción/demolición existentes.

De acuerdo con las propiedades de los materiales disponibles en la región, se desarrollará un **portafolio de productos** que cumpla con la normatividad y estándares de calidad para su empleabilidad para los usos que se definan durante la etapa de evaluación técnica.

El proyecto se divide en dos fases: la **Fase I: Diseño del Mercado**, que dará los elementos para el desarrollo de la **Fase II: Implementación**. Las siguientes cuatro etapas de la fase I, se presentan con mayor detalle en el documento completo:

Etapa 1: Definición de requisitos iniciales del Mercado Digital Circular Mexicano

Etapa 2: Definición del modelo y prueba piloto

Etapa 3: Diseño del prototipo

Etapa 4: Validación y evaluación del proyecto piloto

### Entregables del proyecto piloto

Los productos de salida descritos en cada etapa, y los entregables del proyecto piloto se definen a continuación:

- **E1-Caso de negocio:** Este entregable contiene el **modelo financiero** para los escenarios de proyecto piloto, proyecciones de replicabilidad y de escalamiento.
- **E2-Informe técnico** del modelo de recuperación/ reprocesamiento/ revalorización de RSU y RME en las industrias pioneras.
- **E3-Plan de Implementación** del proyecto piloto con cronograma ejecutivo de los hitos y actividades estratégicas del Plan Maestro.
- **E4-Plataforma digital** para el Mercado Digital Circular Mexicano (*Marketplace*, versión 1.0). Este desarrollo tecnológico incluye, el sistema de métricas e indicadores de circularidad con la estructura de datos para la publicación continua de resultados e impactos.
- **E5-Mapa de fondos e instrumentos de financiamiento verde/ climático/ circular:** Todas las recomendaciones a la estrategia de financiamiento y coinversión.
- **E6-Modelo de Expansión:** Estructuración del modelo de negocio circular para su replicabilidad y su expansión a otras ciudades o regiones del país.

## Información financiera y cronograma de proyecto piloto

A continuación, se presenta una estimación gruesa de los costos asociados a cada hito del plan maestro presentado, el cual corresponde a un cronograma de dos fases:

- **Fase I: Diseño del Mercado** de revalorización de materiales e intercambio de servicios (mes 1 al 12), tiene un presupuesto estimado: \$250,000 USD.
- **Fase II: Implementación** y puesta en marcha (mes 13 al 18): Presupuesto no definido

Cabe enfatizar que tanto la duración de las actividades propuestas, como los costos proyectados, responden a estimaciones basadas en la experiencia previa del equipo consultor en la implementación de modelos de negocio circulares de base tecnológica con alcance similar.

## Conclusiones y Recomendaciones

La plataforma digital habilitará el cruce de la demanda de los sectores industriales y el de la construcción con la oferta de los materiales disponibles.

Para ese modelo, surge la necesidad de crear empresas especializadas en:

- certificar la calidad y dar manejo apropiado a los materiales para sus diferentes usos, un mecanismo de revalorización que tase los precios del mercado,
- operadores logísticos que muevan los flujos de materiales entre generadores y compradores,
- entidades encargadas de capacitar y transferir las competencias necesarias a los empleados y operadores participantes en toda la cadena de valor.

Las interacciones entre los actores (oferta y demanda) dentro de estos nuevos mercados permitirá la generación de datos que serán utilizados para la toma de decisiones, como es el desarrollo territorial, comercialización de nuevos productos o servicios y para de investigación e innovación de eco-materiales.

Se requiere de una colaboración intersectorial a lo largo de toda la cadena de valor que permita crear una simbiosis industrial que aumente la recuperación del valor de los materiales, eficiencia del uso de los recursos y la reducción del transporte de productos y materiales. Con lo que los parques industriales podrán encontrar en este Mercado Digital una vía de acceso para la adopción de modelos de producción limpia y circularización de flujos de materiales.

Se espera que este primer proyecto sea un catalizador para que las industrias implementen nuevas tecnologías al interior de sus procesos productivos, que contribuyan al mejor reaprovechamiento y revalorización de los flujos de materiales, agua y energía, contribuyendo así en la mitigación del cambio climático.

## **6.2 Orientaciones para la elaboración de la Hoja de Ruta Nacional hacia la Economía Circular**

En el contexto de la elaboración de una hoja de ruta en EC para México, se ha desarrollado una propuesta metodológica que considera líneas estratégicas y periodos de tiempo con base en una evaluación de dos etapas:

**1ª. Etapa** “Transición hacia la EC” basada en un cambio paulatino de los modelos de producción actuales comprende los siguientes pasos:

1. La adopción de acciones de mitigación de impactos socio-ambientales negativos (como las emisiones de GyCEI, la contaminación de los recursos naturales y los problemas de salud pública derivados de la contaminación ambiental).
2. Re-aprovechamiento energético de ciertos materiales que aún no son aprovechables bajo modelos económicamente viables, para la re-utilización de aguas tratadas y lodos resultantes de procesos.
3. La transferencia de tecnologías que contribuyan con la reducción de externalidades y de las emisiones contaminantes actuales, esto bajo estándares de eco-eficiencia (economía lineal).

**2ª. Etapa.** “Adopción de la EC” para un mediano y largo plazo y que se basa en:

1. El cumplimiento a los compromisos adquiridos por el país en materia de sustentabilidad, acción climática y bienestar social.
2. La implementación de modelos de producción y consumo sustentable regidos por los principios de eco-efectividad (EC).
3. La inclusión de modelos de negocio circulares necesarios en la relación entre productor y consumidor, que facilitará mediante nuevos mecanismos, la co-responsabilidad en el uso y re-incorporación de los bienes a nuevos ciclos económicos.

Considerando estas etapas, se proponen tres periodos en los que se desarrollarán las agendas estratégicas sectoriales para acelerar la transición hacia la EC. Como año base se propone el 2021, a partir de éste, se definen los siguientes periodos, de seguimiento, evaluación y toma de decisiones:

Primer periodo (2021-2024): trabajar en la modificación de las reformas estratégicas para una acelerada transición (re-aprovechamiento de recursos por las industrias priorizadas). Además de desarrollar las siguientes acciones:

- a. Conformación del aparato de Gobernanza para la EC;
- b. Desarrollo de políticas públicas complementarias;
- c. Diseño e implementación de programas de competitividad basados en producción y consumo sustentable;
- d. Diseño de incentivos fiscales y beneficios económicos para la transición hacia la EC,
- e. Diseño e implementación de los programas de investigación científica tecnológica, innovación circular y emprendimiento;
- f. Incluir en el Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC), el tema de economía circular
- g. Diseño e implementación de la estrategia de comunicación para la transición hacia la EC;
- h. Diseño de programas educativos y de formación para los nuevos empleos;

Segundo periodo (2025-2027): evaluar los resultados de las acciones implementadas en el primer período, y se requiere contar con:

- a. Los primeros Reportes Anuales con el progreso en la transición hacia la EC, las principales barreras y desafíos en su proceso de implementación y los hallazgos clave para la re-formulación de estrategias, programas y planes de acción;
- b. Consolidación del SINACC como mecanismo de transparencia, rendición de cuentas y monitoreo de impactos, a través de la publicación de datos abiertos a la sociedad;
- c. Las mesas técnicas sectoriales y las redes de aprendizaje que faciliten los procesos de intercambio de experiencia y conformación de alianzas estratégicas sectoriales y regionales para la EC;
- d. Consolidará la cultura sustentable determinada por estilos de vida de consumo consciente denominada como ciudadanos circulares.

Tercer periodo (2028-2030). Fundamental en materia de evaluación de impactos y resultados para la re-formulación de aquellas que no hayan alcanzado los indicadores esperados. Se requiere:

- a. Un análisis detallado de las estrategias y políticas en materia de desarrollo sustentable, innovación y EC tanto a nivel regional, como en el contexto de los principales países aliados comercialmente
- b. desarrollo de la hoja de ruta de EC sustentable, con escenarios de carbono neutralidad a nivel nacional al año 2050.
- c. establecer los indicadores clave en los niveles macro, meso y micro, para facilitar su seguimiento y la toma de decisiones que aseguren su consecución en tiempo y forma.

Por otra parte, las líneas estratégicas que se requieren como parte de la hoja de ruta, incluyen:

- 1.** Sistema de Gobernanza de la EC: para la definición de objetivos, metas y políticas para la transición hacia la EC, a fin de establecer competencias y responsabilidades de las comisiones, comités y mesas técnicas, encargadas de liderar el diseño e instrumentación de todas las políticas, mecanismos e instrumentos de implementación y monitoreo.
- 2.** Gestión sustentable del agua, la energía y los recursos biológicos y técnicos: partiendo de los principios de circularidad aplicados al metabolismo económico, inicialmente a través de los sectores priorizados, pero no limitante son flujos de energía, agua y materiales, estos deben ser concebidos como recursos re-aprovechables una y otra vez en circuitos económicos cerrados. La disposición final sólo debe ser considerada para los residuos peligrosos y para un pequeño porcentaje de materiales no-aprovechables y que a través del tiempo serán sustituidos por otros materiales recuperados con alto grado de reciclabilidad o por materiales nuevos de base biológica.

En este ámbito, se considera importante incluir las estrategias de diseño circular de partes y productos, así como la implementación de nuevos modelos de negocio circulares, el desarrollo de nuevas actividades económicas como servicios, los modelos de responsabilidad compartida por todos los actores de la cadena de valor (incluido al consumidor final), instrumentos de comunicación que transformen el comportamiento o las decisiones de consumo (tales como el eco-etiquetado, los programas de recompensa al prosumidor, entre otros) y la implementación de tecnologías de la industria 4.0 que habiliten estas nuevas dinámicas de mercado.

- 3.** Política Fiscal: Una de las líneas importantes para el desarrollo de un marco fiscal para la EC requiere se considere el desarrollo de un mapa de programas de financiamiento verde, innovación circular y fondos climáticos mediante los que se podría financiar en sus etapas de implementación, operación y monitoreo de resultados.

**4.** Valorar la re-orientación de los actuales subsidios relacionados con la extracción de materias primas vírgenes y recursos naturales no-renovables, a la operación de modelos de negocio y de producción alineados con las prácticas de la economía lineal y al uso de los combustibles fósiles en todas sus aplicaciones, deberán orientarse hacia la creación de los incentivos fiscales que estimulen la adopción de tecnologías limpias y la creación de empresas circulares más competitivas tanto en el mercado nacional, como en mercados internacionales altamente regulados, generando oportunidades de empleos de mayor calidad.

**5.** Política de Investigación, innovación y emprendimiento: está enfocada en el diseño y despliegue de los programas para el desarrollo tecnológico y la implementación de las actividades económicas bajo parámetros de circularidad, que incluye el planteamiento de

- a. Programas de investigación para la competitividad
- b. Programas de emprendimiento, enfocados en:
  - La generación, distribución y consumo de energía limpia (residencial e industrial);
  - El desarrollo y comercialización de tecnología de alta eficiencia energética e hídrica;
  - La re-valorización de productos, partes y materiales recuperados;
  - El eco-diseño de nuevos productos y servicios;
  - El despliegue de negocios en la economía digital aplicada a modelos de negocio circulares;
  - El desarrollo de nuevos mercados de intercambio de productos y servicios
  - El desarrollo de nuevos materiales de base biológica.
  - Proyectos de I+D+iC: Para desarrollar un modelo de investigación e innovación circular en temas como:
    - La transferencia de tecnología limpia para proceso y simbiosis industrial;
    - La servitización de productos bajo criterios de eco-diseño, durabilidad y procesos de des-ensamble/re-manufactura/re-ensamble;
    - El cierre de ciclo de flujos de aguas tratadas, energía residual y de materiales recuperados y;
    - El desarrollo de sustancias químicas, bio-plásticos, bio-materiales y bio-energía, entre otros;
- c. Programas de innovación circular y simbiosis industrial: Ene un contexto de aprovechamiento de los parques industriales, donde se identifican las líneas temáticas, siguientes:
  - La creación de acuerdos privados y convenios interinstitucionales para facilitar la adopción de tecnologías para simbiosis industrial;
  - El desarrollo de modelos de re-valorización de aguas industriales tratadas basados en la conexión de oferta y demanda entre usuarios de estos hubs;

- La creación de laboratorios o instalaciones piloto para realizar ensayos y procesos de validación técnica;
- La implementación de mecanismos de co-inversión público-privada en tecnología limpia y;

**6.** Sistema Nacional para la innovación circular y el cambio climático (SINACC): se propone que este sistema cuente como plataforma de datos abiertos que se enfoque en:

- La publicación de métricas e indicadores del marco de referencia y monitoreo de la EC incluida la batería de metas y compromisos país ante los acuerdos y agendas internacionales (COP21 y ODS, entre otros);
- La difusión de contenidos educativos en materia de EC para los diferentes grupos de interés y para los ciudadanos circulares;
- La trazabilidad y transparencia en la asignación y gestión de todos los recursos y proyectos desarrollados;
- Acelerar la transición de las regiones, identificando oportunidades para investigadores, innovadores y emprendedores en conexión con los fondos para desarrollo;
- La publicación de políticas públicas en materia de EC, innovación, desarrollo tecnológico, perspectiva de género, equidad social, entre otros;
- La creación de redes de aprendizaje y las mesas técnicas para el diseño de la normatividad para la EC en sectores específicos.

**7.** Comunicación y Educación para la EC: Esta línea estratégica deberá cubrir cuatro áreas de desarrollo principalmente, las cuales son:

- La transformación de la cultura ciudadana hacia modelos de consumo consciente y responsabilidad compartida;
- La creación de planes de estudios bajo un modelo educativo para la sustentabilidad en los niveles básico y medio superior, con conceptos metodológicos de innovación abierta, tecnologías de la cuarta revolución industrial, EC y emprendimiento;
- El diseño de programas formativos de nivel técnico y profesional para la formalización de los empleos verdes o vinculados a los nuevos mercados o modelos de negocio de la transición hacia la EC;
- Diseño de programas de formación de jóvenes investigadores/innovadores circulares tanto para nivel superior, como para posgrados.

Finalmente, se presenta de manera esquemática, la hoja de ruta para la transición y adopción de la EC en México, para sectores prioritarios, la cual podrá extenderse a otros sectores interesados en transitar hacia un modelo económico circular.

## Conclusiones

El presente estudio ha tenido por objeto presentar los hallazgos más relevantes, así como los avances del marco conceptual hacia la construcción de una hoja de ruta de EC para el desarrollo sustentable y bajo en carbono de México.

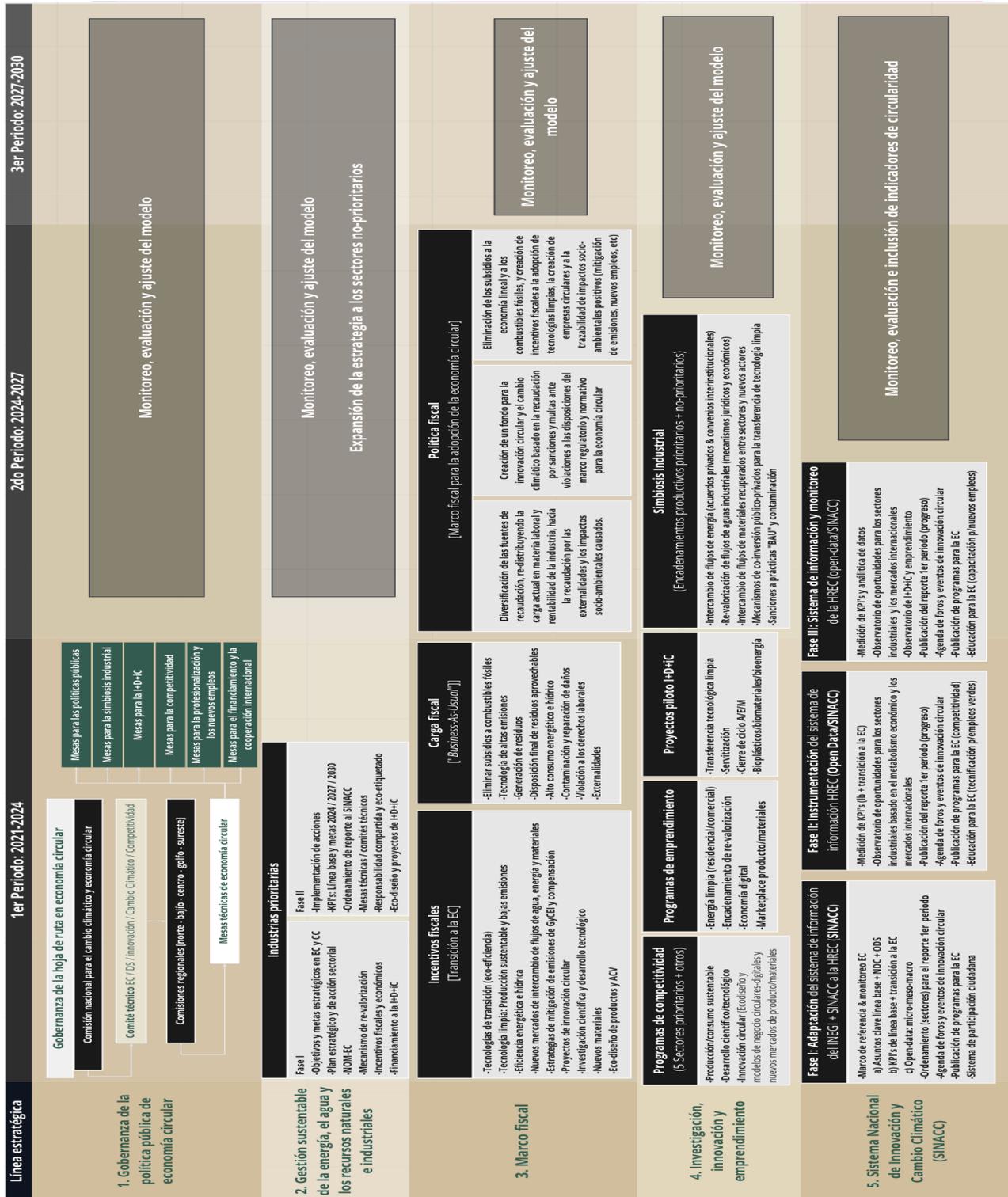
La hoja de ruta pretende ser una herramienta de gestión que facilite la implementación de las diversas acciones determinadas en los diferentes sectores económicos (priorizados y no-priorizados), a fin de transitar hacia un modelo económico circular, contribuyendo directamente con la mitigación y adaptación al cambio climático a través del cumplimiento de los compromisos adquiridos en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) a nivel nacional y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

La creación de un modelo económico sustentable basado en una EC que evite la generación de residuos, mantenga los recursos en uso continuo mediante circuitos económicos de revalorización constante, y que permita regenerar todos los recursos naturales de los que depende la subsistencia humana.

La circularidad no se traduce automáticamente en sustentabilidad, para ello se debe desarrollar soluciones tecnológicas, científicas y modelos de innovación aplicada al ecodiseño de productos/servicios, a los procesos productivos y articulados mediante modelos de negocio circulares que prioricen el cierre de ciclo de flujos de materiales, agua y energía, la simbiosis industrial y el retorno de los recursos a nuevos ciclos económicos.

Para avanzar hacia la transición de un modelo de EC de los principales sectores económicos en cada región y para el desarrollo territorial sustentable, se requiere que los representantes de sectores clave en todos los niveles participen en la integración de sus estrategias y planes de acción con la Estrategia Nacional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y con la Hoja de Ruta de Economía Circular Nacional.

**Figura 6.2. Hoja de Ruta para la transición y adopción de la Economía Circular en México**



Fuente: Elaboración propia

## 7. Conclusiones

Como se planteó al inicio de este trabajo, se realizó un Diagnóstico de Economía Circular para México.

Dentro de los sectores clave en México por su avance en acciones en marcha de EC o alto potencial de incorporarlas en sus procesos, así como para generar beneficios en materia de mitigación de GyCEI se encuentra la industria siderúrgica, cementera, química, de la construcción, de bebidas, tequilera y del papel y cartón. Destaca también, el sector académico por su importancia en la investigación e innovación circular desarrollo de proyectos piloto y estrategia para la creación de nuevos mercados, empresas y empleo de calidad. Se identificaron diversas iniciativas de EC en marcha y proyectos potenciales, que requieren el involucramiento conjunto de los diversos actores del sector público, privado, academia y sociedad civil. Se identificaron los avances en el desarrollo de soluciones sustentables enmarcadas dentro de un modelo de EC, enfocando en:

Aprovechamiento energético de algunos materiales que han degradado sus propiedades para los usos de su primer ciclo de vida;

Revalorización de materiales con potencial para ser reincorporados en nuevos ciclos económicos;

Oportunidades de simbiosis industrial entre diferentes procesos productivos, proyectos de alto impacto urbano y de desarrollo comunitario.

Integración de propuesta de EC en el sector de la construcción.

Se revisaron los casos de éxito de acciones de EC mismos que también han sido presentados por los mismos actores clave en las múltiples iniciativas, foros, plataformas y propuestas regulatorias que se han suscitado en los últimos meses en México y en el mundo. También se identificaron indicadores específicos para dar seguimiento a las acciones de EC, así como barreras y limitantes por atender para avanzar en la transición hacia la EC.

Con los insumos obtenidos del estudio realizado para México, se avanzó en la construcción de una hoja de ruta que nos permita identificar acciones concretas y con incidencia en el territorio, hacia la transición económica necesaria para hacer frente a la amenaza del cambio climático y al mismo tiempo mejorar el aprovechamiento de nuestros recursos, reducir los impactos como sociedad sobre el entorno, generar oportunidades de innovación y de negocios e involucrar a todos los grupos y sectores de la economía.

## 8. Referencias Bibliográficas

1. Accenture. (2014). "Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World Without Limits to Growth". Revisado en línea: [[https://www.accenture.com/t20150523T053139\\_\\_w\\_/usen/\\_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy\\_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf](https://www.accenture.com/t20150523T053139__w_/usen/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf)]
2. Cámara del Papel. (2020). "Huella de Carbono de la Industria de la Celulosa y del Papel en México". Revisada en <http://camaradelpapel.com.mx/pdf/EHC-sumario5.pdf>. Fecha de consulta: julio 2020
3. Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel. (2020). "Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel". Cámara del Papel, México. En línea, disponible en: [<http://camaradelpapel.mx/>]
4. CONIMER (2020). "Confederación Nacional de Industriales de Metales y Recicladores". CONIMER. 2018. En línea, disponible en: [<https://www.ambienteplastico.com/residuos-expo-2020-el-potencial-negocio-del-reciclaje-enmexico/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20informaci%C3%B3n%20de, sin%20contar%20la%20basura%20org%C3%A1nica.>]
5. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2019). "Programas Nacionales Estratégicos". México. En línea, disponible en: [<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/que-son-los-pronaces>]
6. Cornell University, I. t. (n.d.). (2019). "The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives—The Future of Medical Innovation". Ithaca, Fontainebleau, and Geneva.
7. Eco Cycle Solutions (s.f.). Resource Conservation. Eco cycle Solutions. Disponible en: <https://www.ecocyclesolutionshub.org/about-zero-waste/resource-depletion/>. Fecha de consulta en la red noviembre 2020
8. Ellen MacArthur Foundation. (2013). "Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition". Revisado en línea: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>. Fecha de consulta: mayo 2020
9. Eurostat. (2020). "Estadísticas europeas". Base de datos. En línea, disponible en: [<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>]
10. Ford. (2018). "Exoesqueleto: tecnología que integramos para reducir la fatiga y lesiones en los trabajadores de Ford de México". México. En línea, disponible en: [<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/mx/es/news/2018/08/07/exoesqueleto--tecnologia-que-integramos-para-reducir-la-fatiga-y.html>]

11. Ford. (2018). “Ford 4.0: la Nueva Revolución Industrial”. En línea, disponible en: [https://www.ford.mx/blog/legado/nueva-revolucion-industrial-201809/]
12. INEGI, (2020). “Censo de Población y Vivienda”. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Tabulados. Fecha de consulta: junio 2020
13. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información. INEGI (2020). “Sistema de información sobre cambio climático”. México. En Línea, disponible en: [http://gaia.inegi.org.mx/sicc/]
14. IPCC (2006). “Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 3. Procesos Industriales y Uso de Productos”. Revisado en línea: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html. Fecha de consulta: mayo 2020
15. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). “Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions”. Resources Conservation & Recycling Journal 127, pp 221-232
16. ONUDI. (2019). “Informe sobre el Desarrollo Industrial 2020. La industrialización en la era digital”. Resumen. Viena: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. En Línea, disponible en: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO\_IDR2020-Spanish\_overview\_0.pdf]
17. PetStar (2019). “Informe de Sustentabilidad 2019”. Revisado en línea: https://www.petstar.mx/media/2066/informe-de-sustentabilidad-2019-petstar.pdf. Fecha de consulta: junio 2020
18. Reporte Industrial. (2019). “Cemex lleva la inteligencia operacional a la industria del cemento”. Reporte Industrial, México. En línea, disponible en: [https://www.reporteroindustrial.com/temas/Cemex-lleva-la-inteligencia-operacional-a-la-industria-del-cemento+131359]
19. Sachs, J. S.-T. (2019). “Sustainable Development Report”. New York. En línea, disponible en: [https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2019/2019\_sustainable\_development\_report.pdf]
20. Secretaría de Economía (2018). “El desarrollo de la Industria 4.0 en México”. Revisado en línea: https://www.gob.mx/se/articulos/el-desarrollo-de-la-industria-4-0-en-mexico?idiom=es. Fecha de consulta junio 2020.
21. Secretaría de Economía. (2019). “Programa Sectorial de Economía 2020-2024”. Gobierno de México. En línea, disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559457/Programa\_SectorialECONOM\_A\_final\_validada.pdf]
22. SEMARNAT, (2020a). “Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos” Primera edición. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf
23. SEMARNAT. (2020b) “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2018”. INEGYCEI. 2020. México

24. WBCSD (2020). "Circular Transition Indicators". Geneva. En línea, disponible en: [<https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators>]
25. World Economic Forum. (2018). "Readiness for the Future of Production Report 2018". Ginebra. En línea, disponible en: [[http://www3.weforum.org/docs/FOP\\_Readiness\\_Report\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf)]



# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## INECC

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO