

Diagnóstico del beneficio potencial de la aplicación de la Industria 4.0 a los modelos de economía circular en Brasil, Chile, México y Uruguay

Proyecto: Evaluación de la situación actual de la Economía Circular para el desarrollo de una Hoja de Ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay

RFP/UNIDO/7000003530

Noviembre 2020

Factor
Ideas for change



ASDF

Americas Sustainable Development Foundation

 **CTCN**
CLIMATE TECHNOLOGY CENTRE & NETWORK



TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	7
2. Modelos de negocio circulares y su relación con las tecnologías de la Industria 4.0.....	8
2.1 Modelos de negocio circulares.....	8
2.2 Modelos de negocio circulares y tecnologías 4.0 en distintos sectores	10
2.2.1 Agricultura.....	11
2.2.2 Ganadería	13
2.2.3 Sector Lácteo	15
2.2.4 Minería.....	15
2.2.5 Energía.....	17
2.2.6 Gestión de residuos	20
3. Beneficios de aplicar modelos y tecnologías disruptivas a las iniciativas de economía circular.....	22
3.1 Brasil.....	23
3.1.1 Iniciativas consideradas.....	23
3.1.2 Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales	26
3.2 Chile	30
3.2.1 Iniciativas consideradas.....	30
3.2.2 Modelo de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales	32
3.3 México	37
3.3.1 Iniciativas consideradas.....	37
3.4 Uruguay.....	44
3.4.1 Iniciativas consideradas.....	44
3.4.2 Enfoques modelo de negocio circular, tecnologías 4.0 aplicables y beneficios potenciales.....	46
4. Conclusiones	49
4.1 Consideraciones previas	49
4.2 Tecnologías 4.0 aplicables por sector.....	50
4.3 Beneficios sociales	52
Anexo 1 – Tecnologías de la Industria 4.0.....	54
Referencias	58



ASDF
Americas Sustainable Development Foundation

Evaluación de la situación actual de la Economía Circular
para el desarrollo de una Hoja de Ruta para Brasil, Chile,
México y Uruguay

RFP/UNIDO/7000003530



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos de negocio circular.....	9
Tabla 2. Penetración en el mercado de los modelos de negocio circular	10
Tabla 3. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Brasil.....	26
Tabla 4. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Chile	33
Tabla 5. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en México	40
Tabla 6. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Uruguay.....	46

ANEXOS:

Anexo 1. Tecnologías de la Industria 4.0.....	48
---	----



ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AI	Inteligencia Artificial
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química
AR	Realidad Aumentada
CAMIPER	Cámara Minera del Perú
CNI	Confederación Nacional de la Industria
EC	Economía Circular
ESE	Empresa de Servicios Energéticos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FINEP	Financiadora de Estudios y Proyectos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IoT	Internet de las cosas
IIoT	Internet Industrial de las cosas
ISPA	International Society of Precision Agriculture
MCTI	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
ML	Machine Learning
MRO	Maintenance, Repair and Operations
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ONU DI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PACTI	Planes de Acción de Ciencia, Tecnología e Innovación
PBS	Polibutileno succinato
PC	Personal Computer
PCM	Producto Como Servicio
PET	Polietileno Tereftalato
PHA	Polihidroxialcanoatos
PLA	Ácido poliláctico
PROFEFA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PTIC	Parque Tecnológico Industrial del Cerro
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
RFID	Radio-frequency identification



ASDF

Americas Sustainable Development Foundation

Evaluación de la situación actual de la Economía Circular
para el desarrollo de una Hoja de Ruta para Brasil, Chile,
México y Uruguay

RFP/UNIDO/7000003530

RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
VR	Realidad Virtual
WEF	World Economic Forum



1. Introducción

Este informe presenta los resultados del entregable 5.2 **Diagnóstico del beneficio potencial de la aplicación de la Industria 4.0 a los modelos de Economía Circular en cada país participante como parte del Producto 5 del proyecto Evaluación del Estado Actual de la Economía Circular para desarrollar una hoja de ruta para el Brasil, Chile, México y Uruguay RFP/UNIDO/7000003530.**

Mediante un análisis de los avances actuales en las principales tecnologías de la cuarta revolución industrial que son compatibles con la Economía Circular (EC), se presentarán los beneficios para las diferentes iniciativas identificadas en cada país.

En este entregable se parte de la definición de los modelos de negocio circular de acuerdo con las metodologías presentadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), Fundación Ellen MacArthur, y la empresa de consultoría Accenture. **El objetivo de ello es alinear las iniciativas identificadas de los países con estos modelos y soportarlos de cara a su implantación con las tecnologías de la Industria 4.0,** permitiéndoles de esta manera hacer más eficientes sus procesos productivos y servicios, optimizar el uso de recursos y energía, y desarrollar nuevos modelos de negocio.



2. Modelos de negocio circulares y su relación con las tecnologías de la Industria 4.0

2.1 Modelos de negocio circulares

Existen varias maneras de clasificar los modelos de negocio circulares. La Fundación Ellen MacArthur, por ejemplo, propone el denominado “**ReSOLVE framework**” (Ellen MacArthur Foundation, 2015) que incluye modelos de negocio que hacen referencia a la regeneración (“regenerate”), a compartir activos (“share”), a la optimización (“optimise”), a la recuperación de activos y residuos (“loop”), o a la virtualización (“virtualise”).

Por su parte, tanto Accenture (Accenture, 2014) como la OCDE (OECD, 2019) identifican cinco negocios circulares:

- **Suministros circulares** (“circular supplies”): potenciar la sustitución de materias primas tradicionales por el insumo de materias renovables o recuperadas.
- **Recuperación de recursos** (“resource recovery”): producir materia prima secundaria a partir de los residuos.
- **Extensión del ciclo de vida** (“product life extension”): que incluyen tanto el reacondicionamiento (“refurbishment”) como la remanufactura (“remanufacturing”). Su objetivo es ampliar la vida útil del producto.
- **Plataformas compartidas** (“sharing platforms”): compartir productos y activos.
- **Producto-como-servicio o PCM** (“product as a service”): convertir productos en servicios, ya que la propiedad del producto se mantiene en el proveedor.

La **Tabla 1** presenta la principal característica de cada modelo circular, el vector de eficiencia en el uso de los recursos naturales, los subtipos de cada modelo de negocio circular, y los principales sectores que predominan en la actualidad.



Tabla 1. Modelos de negocio circular

Fuente: Modelos de negocio para la economía circular (OECD, 2019)

	Suministros circulares	Recuperación de recursos	Extensión del ciclo de vida	Plataformas compartidas	Sistema de producto/servicio
Principal característica	Sustituir materiales tradicionales por renovables	Generación de materias primas secundarias	Mayor vida útil	Incremento de la utilización de activos y productos.	Cambiar productos por servicios
Vector de eficiencia en el uso de recursos materiales	Cierre de bucles materiales	Cierre de bucles materiales	Reducir inputs materiales	Activos compartidos	Eficiencia en operación y mantenimiento
Subtipos Modelo	Cradle to Cradle (de cuna a cuna)	Simbiosis Industrial Reciclaje, upcycling, downcycling	Reparar, reuso, remanufactura y reacondicionamiento.	Co-acceso Co-propiedad	Orientado al producto, al cliente, a resultados
Principales sectores	Diversos sectores de consumo productos	Metal Papel Plástico	Automóvil Maquinaria pesada Electrónica	Transporte vivienda Maquinaria Productos de consumo	Transporte Químico Energía

Los modelos de negocio se diferencian a nivel teórico, pero en la práctica están interconectados. Así, una iniciativa que parta de uno de ellos puede generar otro modelo circular. Por ejemplo, un negocio de producto como servicio puede dar lugar posteriormente a iniciativas de extensión del ciclo de vida del producto.

El grado de penetración de los modelos de negocio circulares es limitado, y hasta la fecha, únicamente se ha producido en determinados sectores productivos, tal y como se observa en la **Tabla 2**. Esta implantación depende básicamente de la calidad de la estructura institucional, del comportamiento del cliente y del grado de desarrollo de las tecnologías digitales.



Tabla 2. Penetración en el mercado de los modelos de negocio circular

Fuente: Modelos de negocio para la Economía Circular (OECD, 2019)

Negocio circular	Sector	Grado de Penetración	Observaciones
Recuperación: Reciclaje	Pasta y papel	38%	Del output total
	Metal	2-30%	
	Plástico	13%	
Extensión: Reacondicionamiento	Smartphone	4-8%	Del total de manufacturas anuales
Extensión: Remanufactura	Aeroespacial	2-12%	Del total manufacturado
	Maquinaria	3-4%	
	Automóvil	1%	
Plataformas: Co-acceso	Vivienda	1-6%	Del total de reservas a corto plazo.
PCM: productos químicos, orientado a resultado	Automóvil	50-80%	Del total manufacturado
	Aeroespacial	5-15%	
PCM: contenido digital orientado a resultado.	Música	50%	Del total de facturación
	Libros	25-35%	
PCM: iluminación y calor, orientado a resultado	Diverso	4-7.5%	Del potencial de las Empresas de Servicios Energéticos (ESE)
PCM: transporte compartido, orientado a cliente	Transporte	Inferior al 1%	Del total de la flota.

Es importante remarcar que los modelos de negocio circular no están extendidos de forma generalizada, por lo que existe un gran recorrido por delante para su futuro desarrollo. La clave de la velocidad y profundidad de este recorrido estará fundamentada en la capacidad del país para incorporar la Industria 4.0 en el diseño de los modelos de negocio. Se puede afirmar que, si el diseño del modelo de negocio está inspirado por el concepto de la economía circular, su implementación real dependerá de la capacidad para asumir el reto tecnológico de la Industria 4.0.

2.2 Modelos de negocio circulares y tecnologías 4.0 en distintos sectores

Todas las tecnologías de la Industria 4.0 identificadas en el entregable 5.1 y reproducidas en el **Anexo 1** son aplicables en un mayor o menor grado de complejidad, integración y flexibilidad a todos los modelos de negocio circulares. Además, se ha de tener en cuenta que la aplicación de una tecnología puede comenzar con un modelo determinado y posteriormente afectar a varios modelos de negocio a la vez.

La implantación 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 mucha información en tiempo real. El objetivo de ello es desarrollar una estrategia y operativa predictiva. Ello quiere decir que la competitividad de las empresas se basa en la capacidad de anticiparse a las expectativas del cliente. En este sentido, se ha de tener en cuenta que en la economía circular se parte del abandono del concepto de la producción en masa, que posee el foco de su estrategia en conseguir la excelencia operativa del propio proceso de producción, para desarrollar una producción personalizada con el foco en el cliente. Y ello significa que el diseño del proceso productivo se ajusta a las expectativas cambiantes del cliente.

El reto, en este contexto, es diseñar un modelo de gestión capaz de responder anticipadamente a las expectativas del cliente de forma eficiente a través de una estrategia de reducción del impacto ambiental. Este reto, más que de forma conceptual, se representa de forma real en los diferentes sectores económicos.

Por ello, a continuación, se van a analizar los retos de la industria 4.0 en los sectores más representativos de los cuatro países del estudio en relación a los objetivos de los modelos de negocio circular. La selección de estos sectores se ha realizado en función de las iniciativas analizadas y de la importancia de los mismos en el desarrollo económico y social del marco internacional. Los sectores analizados son: agricultura, ganadería, energía, minería, gestión de residuos y sector lácteo.

2.2.1 Agricultura

Según la FAO, los **dos grandes retos** del sector agrícola son hacer frente al cambio climático (ya que puede provocar potenciales pérdidas de eficiencia en los cultivos) y hacer frente al crecimiento demográfico constante (FAO, 2017). Este crecimiento implica, simultáneamente, la necesidad de una mayor productividad y calidad para el consumo de los cultivos. La agricultura mundial necesitará producir aproximadamente un 70% más de alimentos que en 2006. Por otro lado, la presión de los precios en el mercado mundial obliga a los agricultores a centrarse en la eficiencia y la producción a gran escala de calidad.

Estos retos requieren un modelo productivo flexible y eficaz. Ello significa que se ha de poseer un alto conocimiento en tiempo real de todas las variables que inciden en su eficiencia, como son: el entorno de los cultivos, suelos, incidencia de enfermedades, óptima administración de insumos y características genéticas de las semillas con el objetivo de ser más competitivos. Solo un diseño de las explotaciones basado en una tecnología avanzada proporcionará el conocimiento requerido de las circunstancias físicas inherentes en la producción. Esta tecnología también ha de posibilitar la realización de una



gestión específica para cada explotación e incluso con grados de variabilidad importante en la misma parcela. El objetivo es producir más eficientemente en circunstancias ambientales más complejas.

La respuesta a este reto se ha denominado **“agricultura de precisión”**, cuya clave es mejorar la resiliencia de las explotaciones a través de la incorporación de la nueva tecnología ya disponible. La *International Society of Precision Agriculture* – ISPA la define como: “la estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información, para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola” (Universitat de Lleida, s.f.).

En esta agricultura están potencialmente involucrados todos los modelos de negocio circular identificados anteriormente en este informe, así como el objetivo inherente de soportarlos con la tecnología 4.0, que es incrementar la capacidad competitiva de las empresas a través de tres ejes:

- **Social:** Incremento de la valoración de los servicios ecosistémicos en la comunidad y región de la explotación.
- **Medioambiental:** reducción del impacto vinculado a la actividad agrícola (limitaciones de la dispersión del nitrógeno).
- **Eficiencia:** aumento de la competitividad a través de una mayor eficacia de las prácticas y en la mejora de la gestión, considerando reducciones de consumos de agua, insumos, energía y menor incidencia de enfermedades en los cultivos con el uso de tipos cada vez más resistentes y adecuados el entorno.

Respecto al objetivo de las tecnologías aplicadas a los modelos de economía circular implicados en la agricultura de precisión, se puede resaltar las siguientes etapas básicas (Universitat de Lleida, s.f.):

- **Conocimiento de las circunstancias específicas de los cultivos de la información:** lo que permitirá superponer diferentes tipos de informaciones tales como; rendimientos históricos, análisis del suelo, mapas y posicionamiento satelital, situación de la cosecha, pudiéndose llegar incluso a nivel de planta y otras circunstancias de ambiente que afectan a la producción, lo que permitirá diseñar una gestión de los insumos de los cultivos, momento, cantidad y aplicación, más eficiente.
- **Análisis y aplicación:** una vez extraídos y analizados los datos que determinan la flexibilidad del proceso productivo de las parcelas ajustado a sus circunstancias específicas, se procederá a la aplicación tanto del tipo y cantidad de semillas y fertilizantes, en el momento y cantidad precisa. Así, dentro de una misma parcela se posibilitará una mayor nivel de precisión y eficiencia gracias a los sensores implantados



en la misma, en los tractores y el resto de activos de la explotación, posibilitándose la realización de siembras con densidad variable e incluso aplicación automática de nitrógeno y de productos fitosanitarios de forma específica.

Así pues, las tecnologías potenciales de aplicación combinada a los activos en este tipo de gestión se pueden resumir de la siguiente manera: robots, vehículos autónomos sensorizados, drones, imágenes satelitales, internet de las cosas (*IoT - Internet of Things*), aplicaciones móviles, *bigdata* e inteligencia artificial (*Machine Learning*).

2.2.2 Ganadería

A nivel global, la ganadería a futuro posee **tres grandes retos** que definirán su desarrollo y su contexto competitivo (FAO, 2009):

- la gran presión que ejerce sobre los ecosistemas y la conciencia de que afecta de forma importante al cambio climático,
- el potencial incremento de la propagación de las enfermedades animales con riesgo para los humanos, debido al incremento de los flujos comerciales internacionales y la concentración de las explotaciones cerca de las poblaciones humanas,
- y el papel que ha de jugar el sector para mitigar la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria.

Hay que resaltar que estos retos son de carácter genérico y necesitan ser matizados cuando se contrastan con las especificidades de producción ganadera de cada país. En Uruguay, por ejemplo, la ganadería se realiza, fundamentalmente, en pastos naturales y su NDC tiene metas a los efectos de mejorar la eficiencia de producción de carne versus emisión de gases de efecto invernadero (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020).

De todas formas, es aceptable considerar que, frente a estos retos genéricos, un nuevo modelo de explotación ganadera, conocido como **“ganadería de precisión”**, puede jugar un papel determinante para la solución de éstos. No existe una definición formal de la misma, pero en los ámbitos académicos y de empresa, se conoce a la ganadería de precisión como “el uso coordinado de sensores para la medición de fenotipos animales, parámetros ambientales, fisiológicos y sistemas para intercambiar, almacenar, transformar y proporcionar información al ganadero que le ayude en su toma de decisiones diarias, ayudado por la tecnología” (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020).

Su impulso es posterior a la agricultura de precisión, pero básicamente participan de las mismas directrices de actuación. Se puede afirmar que esta nueva manera de entender la producción ganadera se alinea perfectamente con los modelos circulares presentados. El sentido final de esta práctica se basa



en la gestión individualizada de la explotación y del ganado para conseguir niveles de eficiencia mayores.

De acuerdo con las fuentes de información del sector (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020), la **incorporación de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs)** en la gestión diaria de la explotación para recopilar información sobre parámetros va a hacer que mejoren los radios de rentabilidad obtenida por el ganadero, simultáneamente reducirán el impacto ambiental de los procesos productivos y proporcionaran mayor bienestar y salud de los animales y consecuente, mayor calidad del producto final. El potencial de gestión de información específica e incluso individualizada en tiempo real hará evolucionar la ganadería a un modelo predictivo, posibilitando así al gestor anticiparse a las circunstancias para ganar eficiencia y calidad. La aplicación de la tecnología 4.0 al sector va a ser decisiva para incrementar la capacidad competitiva de las mismas, siendo cada vez más estándar la utilización de técnicas de inteligencia artificial y tecnologías como internet de las cosas (IoT) y *bigdata* para la mejora de la ganadería intensiva, a través de la optimización en el cuidado de los animales.

Según Díaz Rodríguez, y otros, (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020), con los elementos de sensorización, tales como collares inteligentes, cercados virtuales, sensores en los comederos, drones, sensores de movimiento y robótica de ordeño y limpieza será posible monitorizar los parámetros físicos y biológicos del animal, se obtendrán y procesarán datos de precisión en tiempo real en un entorno de cloud computing.

De esta forma, se podrá conocer qué variables influyen en el bienestar animal, detectar precozmente cualquier anomalía y reaccionar rápidamente ante cualquier factor que indique un problema de alimentación o salud. Estas tecnologías maximizan el potencial individual del animal, permiten la detección precoz de patologías y ayudan a minimizar el uso de medicamentos mediante medidas de prevención sanitaria.

La última tecnología que ha llegado al sector y que con toda probabilidad gobernará la trazabilidad y las transacciones comerciales futuras en el mercado mundial de la carne de vacuno es la denominada cadena de bloques o "*Blockchain*", que será capaz de registrar de forma rápida y a un coste mínimo un sinnúmero de operaciones en infinidad de ordenadores, con la total seguridad de que posteriormente nadie podrá eliminar o modificar nada de lo anotado.

También será decisiva la tecnología, sensores, robots, e inteligencia artificial, en la explotación de plantas para la conversión de residuos en energía y fertilizantes.



2.2.3 Sector Lácteo

Las innovaciones tecnológicas del sector están muy relacionadas con las del punto anterior y, por lo tanto, en lo que respecta a la gestión de la ganadería le corresponden también los mencionados arriba.

Los **retos** fundamentales de innovación para el sector lácteo corresponden con las tecnologías de automatización de procesos asociadas a controles de calidad y seguridad de los productos, con sensores y plataformas en la nube (Erbes, Gutman, Pablo, & Robert, 2019). Estos retos se estructuran en torno a cuatro ejes:

- **Automatización total de procesos productivos**, combinando software, hardware, sensores y equipamiento industrial en empresas con sistemas integrados de automatización. Estos sistemas posibilitan el control integrado de todo el proceso desde el preprocesamiento de la leche, el procesamiento y el control de lotes finales, compartiendo y centralizando la información para garantizar la seguridad y calidad de materia prima y productos.
- **Robotización** de procesos parciales o aislados (robots de selección y colocación), tal como se observa en algunas empresas elaboradoras de quesos, y en las etapas de empaquetamiento y “paletizado”. Todavía no se ha alcanzado la robotización de todo el proceso productivo.
- **Tecnologías basadas en el dominio digital**, tanto para las tareas de gestión comercial de las firmas como para asegurar la trazabilidad de los productos en las diversas etapas productivas de la empresa, incluyendo almacenamiento y logísticas. Dentro de ellas comienza a difundirse la tecnología de bloques (*Blockchain technology*) para asegurar la trazabilidad, el control, y la comunicación a lo largo de todas las etapas de las cadenas de valor del complejo lácteo. Estas tecnologías garantizan la calidad y seguridad de los alimentos, aseguran el control del origen de cada insumo y facilitan estrategias de justo a tiempo y la “customización” de la producción, impulsando la coevolución entre las innovaciones tecnológicas y las organizacionales.
- **Sistemas, sensores, y software de control de efluentes, fertilizantes y calidad del suelo.**

Lo que de ello se demuestra es el gran impacto y la relevancia de la industria 4.0 en el desarrollo de nuevos modelos de negocio de economía circular con menor impacto ambiental y eficiencia económica simultáneos.

2.2.4 Minería

La industria minera posee tres características que determinan el contexto competitivo de la misma: (i) es intensiva en la utilización de activos, por lo que sus costes de mantenimiento y operación son muy elevados, (ii) tiene un



impacto ambiental considerable que dificulta la defensa de su reputación social y (iii) el riesgo para la seguridad de su personal es crucial en el diseño de sus operaciones, afectando así sobre su coste.

En este contexto, el empuje de la **fuerte inclusión de las nuevas tecnologías digitales** en todo el proceso minero y la automatización que paulatinamente ha ido implantándose en las empresas desde la exploración hasta la distribución y logística tiene una lógica importante desde el punto de vista de la mejora de su competitividad, ya que hacen posible el monitoreo del proceso integral, lo cual lleva a la posibilidad de realizar una proyección predictiva del mismo, que permite elevar estándares de seguridad laboral y medioambiental, así como ahorrar costes de mantenimiento y operación.

El World Economic Forum (WEF) ha identificado las áreas que tendrán un rol muy importante en la transformación automática y digital de la minería (World Economic Forum, 2017). Las grandes empresas mineras se enfocan, en un primer momento, en controlar y automatizar de manera aislada algunas actividades y sistemas. Posteriormente comienzan a colocar infraestructura y servicios de telecomunicaciones en todos los espacios de la mina, para finalmente automatizar, controlar y digitalizar todas las actividades.

El desarrollo de una mina totalmente automatizada y controlada implica una serie de etapas y tecnologías, partiendo de una primera fase de automatización aislada, se inicia la instalación de la infraestructura de telecomunicaciones en todos los espacios de las minas subterráneas y a cielo abierto como son: el cableado estructurado, la fibra óptica, los cuartos de control, los enlaces inalámbricos, las redes wifi, los equipos de telefonía, los servidores, los dispositivos para la expansión de la señal de celular, los nodos de comunicación móvil, el circuito cerrado de televisión, el control de acceso, la detección y supresión de incendios y la radiocomunicación. El objetivo de la instalación de esta infraestructura es ofrecer servicios de telecomunicaciones, como radiocomunicación digital, telefonía a través de internet, video, sistemas de RFID, señal de celular y conectividad inalámbrica *wifi* (World Economic Forum, 2017).

Posteriormente, se continúa con la digitalización del proceso y la integración de todos los sistemas que lo conforman, es decir, la creación de copias virtuales en tiempo real de cada una de las actividades mineras, a través de la información proporcionada por sensores o dispositivos electrónicos ubicados en equipos, máquinas, vehículos, personas, etcétera. Entre los sistemas que se pretende digitalizar e integrar se encuentran los sistemas de localización y rastreo, los sistemas de evacuación, los sistemas anticolidión, las geocercas, el monitoreo de energía, el monitoreo de gases, la telemetría de equipos, el video en movimiento. La idea es gestionar la información de todos los sistemas del proceso minero en una sola base de datos centralizada, para luego tele operarlos y controlarlos, así como para planificar acciones futuras en la mina (World Economic Forum, 2017).



Corroborando lo anteriormente expuesto en opinión Kurt Goldman, Director de Capacitación de CAMIPER, Escuela de Altos Estudios, Cámara minera de Perú, **la industria minera tiene varios desafíos que debe superar**, entre los que se encuentran: la necesidad de aumentar la productividad de sus operaciones, reducir los costos, utilizar fuentes renovables de energía, controlar el impacto que tiene en el medio ambiente y, sobre todo, identificar y controlar los peligros inherentes y emergentes a los que miles de trabajadores están expuestos. Es evidente que todos estos desafíos se pueden superar implementando tecnología de última generación, para alcanzar procesos automatizados, e incluso, aplicando inteligencia artificial (IA) dadas las amplias ventajas que esto implicaría, comparándola por supuesto con una operación menos tecnológica o donde, aparentemente, es el factor humano el elemento que resta eficiencia al sistema (Tiempo Minero, 2020).

En este mismo sentido, Dan Miklovic, investigador de LNS research, opina que **la gestión del rendimiento de los activos 4.0 constituye un cambio radical en la forma en que una empresa lleva a cabo el mantenimiento**. El modelo utilizando la Industria 4.0 confía en los sistemas ciber físicos para cambiar fundamentalmente la forma en que funciona una empresa. Se confía en un conjunto de tecnologías críticas (Miklovic, 2020):

- Internet Industrial de las Cosas (IIoT), conectividad integrada que permite la ampliación del ciclo de vida y servitización de los productos.
- *Bigdata* analytics. Análisis predictivo, que aprovecha la inteligencia artificial (AI) y el aprendizaje automático (ML) combinado con el modelado y la simulación.
- Sensores de movilidad y posición para proporcionar información en cualquier lugar sobre cualquier dispositivo.
- Realidad aumentada/realidad virtual (AR/VR) para presentar la información en una experiencia de usuario mejorada y la utilización de los gemelos digitales.

En lo que se refiere a la seguridad de las operaciones, la escuela de gestión de la Minera Gerens (Gerens Escuela de Posgrado, 2017), define con claridad un entorno automatizado donde **las máquinas a control remoto y la ventilación inteligente** son los dos casos de aplicación de tecnología que han resultado más críticos para la mejora de la seguridad y la eficiencia en las minas. Estas aplicaciones de control remoto con múltiples fuentes de retroalimentación ayudan a disminuir el personal en las zonas y momentos más peligrosos. A su vez, esto mejora la productividad, ya que acorta el lapso entre un incidente y el ingreso de los mineros en el área.

2.2.5 Energía

La energía quizás sea el sector con mayor empuje y dinamismo en el proceso de incorporación de nuevos modelos de economía circular y digitalización. Esto



se puede deducir de las estrategias publicadas por todas las grandes empresas del sector y además también puede ser refrendado por las opiniones públicas de sus ejecutivos, como se mostrará más abajo.

Del análisis de estas estrategias actuales, se puede deducir que **las líneas de trabajo definidas por las empresas del sector de la energía se asientan principalmente sobre tres pilares:**

- la descarbonización con la aplicación de modelos de negocio circular basada en un mix renovable;
- la tendencia a la descentralización de la producción; y
- la necesidad de una digitalización aplicable a los procesos de operación/mantenimiento y relaciones con los clientes.

Son tres ejes que definen el contexto competitivo del sector en todo el mundo. Es decir, energías renovables, menor producción en grandes centros y clientes activos e informados llevarán a cabo cambios en la estructura de distribución soportados en una red más inteligente, que hará posible la reducción de pérdidas en la misma y la aplicación de estrategias de mejora en la eficiencia energética basadas en la colaboración productor/cliente. Estos cambios implican la implantación de nuevos modelos de negocio circular soportados en digitalización e inexcusablemente en tecnología 4.0.

Una de las grandes conclusiones del Foro enerTIC con relación al impacto de las tecnologías 4.0 en el sector es que **el cliente va a ser el foco central del nuevo negocio de las energéticas**, y las empresas del sector entienden que la transformación digital es el medio para conseguir los objetivos que exige el cliente, es decir, energía más barata, de calidad y sostenible (Mujer Emprendedora, 2018).

Por otro lado, la tendencia a generar en centros de pequeña escala implica el autoconsumo y este nuevo rol necesita automatizar algunos procesos complejos debido a la posibilidad que tiene el cliente de intercambiar energía en la red. Ante esta demanda de autoconsumo que se prevé, las empresas del sector eléctrico tienen una necesidad de digitalizarse para soportar su gestión. La industria 4.0 posibilitará la implantación de nuevos modelos de negocio en la energía orientados a la demanda, y servicios proporcionados al consumidor que permitan su participación en tiempo real.

Este aspecto también se puede corroborar en las opiniones de los managers de las grandes empresas del sector energético presentadas en la XIV Encuesta Mundial del Sector Eléctrico y de Energía, elaborada por PwC (PwC España, 2015), en la que directivos de 70 compañías de 52 países de todo el mundo dejaban constancia de su optimismo frente a la evolución del mercado energético digitalizado.

De la respuesta de los líderes de las empresas del sector se puede deducir las áreas del sector energético que cobrarán importancia en los próximos años.



El diseño colaborativo de modelos de eficiencia energética en las ciudades, empresas y la gestión de la generación distribuida propia y el soporte de la generación distribuida de terceros serán variables clave a gestionar de cara a responder a las expectativas del mercado. En este contexto, se potenciará una nueva línea de negocio basada en la definición de la infraestructura y modelo de relación óptimo productor/cliente, convirtiéndose el asesoramiento y la prestación de servicios para conseguir la eficiencia en el consumo en una clave de competitividad del sector.

Según estas opiniones, publicadas de líderes y a las estrategias de las grandes empresas, se puede deducir que el nuevo paradigma de modelo de negocio del sector eléctrico está soportado por la colaboración cliente productor y el lugar de encuentro de esta colaboración se dará en la red inteligente. **Una red automatizada y digitalizada en todos sus activos, tales como medidores, subestaciones y transformadores**, que permitirá tanto una mejora en la toma de decisiones del consumidor sobre su consumo de energía como una gestión más eficaz de la operación y mantenimiento de la misma red. Esta red inteligente soportará gestionar una relación dinámica entre productor y cliente con el objetivo de casar en tiempo real la oferta y demanda de forma eficiente. El resultado final será un incremento de la seguridad, calidad del suministro y reducción de pérdidas de energía.

Otro aspecto donde afectará esta colaboración entre productor y cliente será en los costes de inversión en la infraestructura de la red, puesto que picos estimados de la energía proporcionada bajaran gracias a una gestión excelente de la demanda. La monitorización remota y el control de la producción y consumo de energía permiten un ajuste continuo entre oferta y demanda y un aplanamiento de la curva de demanda, el cual incide directamente en una reducción de los costes de mantenimiento y mejora de eficiencia (reducción de las pérdidas en red), lo que incidirá en la consiguiente reducción de costes de electricidad por un consumo más preciso y sensible.

Un consumidor activo, mucho más informado, el aplanamiento de la curva de la demanda y la producción descentralizada soportada en la tecnología renovable va a hacer más compleja la gestión de los sistemas energéticos. Las tecnologías de la información, el *Bigdata*, el Internet de las Cosas, la robótica, drones y la Inteligencia Artificial son esenciales para soportar la modificación de los modelos operativos y de relación, que son la causa del nuevo paradigma.

La conclusión es que los nuevos modelos de negocio circulares esbozados más arriba son críticos para mantener la capacidad competitiva de las empresas del sector en el nuevo mercado, y que estos solo podrán ser soportados con importantes inversiones en digitalización y tecnología 4.0.

Otro aspecto clave a considerar en la gestión de la energía es la seguridad del suministro y en un contexto digitalizado, la **ciberseguridad** ha de formar parte del desarrollo de la estrategia de cualquier empresa.



Además, y quizás **la clave del sector es que éste es crítico en las economías nacionales por su naturaleza transversal**, implicando que su gestión eficiente se constituye en un elemento de competitividad para el resto, así como un factor decisivo de lucha contra el cambio climático.

2.2.6 Gestión de residuos

Según el Banco Mundial (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018), **si no se adoptan medidas urgentes para 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70% con respecto a los niveles actuales**. Ello vendrá dado por el rápido crecimiento combinado de las ciudades y la población. De ello se deduce la importancia clave de este sector y de la urgencia de la aplicación de modelos de negocio circular. Existe un problema medioambiental importante que afecta directamente a la calidad de vida de los ciudadanos. La digitalización integral de toda la cadena de valor y la participación de los ciudadanos en todo el proceso de reciclaje es uno de los grandes retos en el sector.

El modelo de digitalización del servicio es similar al del resto de sectores. Se parte de una **sensorización de los activos**: camiones y contenedores para posteriormente a través de su conexión por internet analizar y conectar todo el proceso para desarrollar una gestión más eficiente a través de *Bigdata* e inteligencia artificial. Para ello se utilizan sensores que se colocan en los camiones de recolección de residuos, con los que es posible recopilar datos reales, del depósito, la recolección y la gestión de los desechos urbanos. También se implantan sensores para supervisar los contenedores de basura y optimizar la recolección de residuos. Se trata de sensores inalámbricos que se colocan en los contenedores para medir cuándo están llenos y ayudar a generar horarios de vaciado flexibles y optimizar las rutas de recolección. Este recurso permite a la compañía de recolección de residuos planificar mejor la utilización de su mano de obra y de sus camiones, lo que redundará en una mayor eficiencia y en un aumento de la productividad, reduciendo los costos logísticos y las emisiones de carbono de los vehículos.

También existen experiencias donde los contenedores conocen la identificación personal del usuario y por lo tanto su utilización del servicio. Ello determinará las tasas de recogida de basuras concretas de cada ciudadano.

Según la opinión de empresas líderes del sector como Ferrovial, **las tecnologías de la Industria 4.0 están cambiando el diseño de la planta de tratamiento de residuos** del futuro. Su nombre debería pasar a llamarse planta de producción de materiales, y estar basado en tres ejes de actuación (Ferrovial, 2019):

- Flexibilidad: capacidad de adaptación a los cambios de composición y de cantidad de los materiales a tratar.
- Seguridad: para ello será necesario controlar la operación en remoto y evitar el contacto humano con los residuos.



- Integral: capacidad de recuperar el 100% de los materiales presentes en el flujo de residuos.

Para cumplir los tres aspectos anteriores es imprescindible que sea, sin duda, una planta completamente conectada. Internamente, la planta deberá tener control en tiempo real del proceso. Aguas arriba, la planta deberá conocer de antemano los residuos que le van a llegar; y, aguas abajo, la planta deberá conocer en todo momento la demanda de materiales del mercado y su precio.

Para soportar los retos descritos se necesita automatizar (robótica), sensorizar todos los activos tanto los del proceso de recogida como los del proceso de tratamiento en planta, y se requerirá digitalizar a través de la computación en nube la infinidad de datos de toda la cadena de valor, *Bigdata* e inteligencia artificial. La reducción de costes de operación y del impacto ambiental justificará las inversiones necesarias.



3. Beneficios de aplicar modelos y tecnologías disruptivas a las iniciativas de economía circular

En esta sección se presentan los beneficios de aplicar modelos y tecnologías disruptivas a las iniciativas de Economía Circular identificadas en cada país: Brasil, Chile, México y Uruguay.

El punto de partida han sido las iniciativas identificadas previamente en el entregable 2.4 del presente proyecto. Se han considerado todas las iniciativas, con independencia de su grado de maduración. Para la tipificación circular de las iniciativas más interesantes de los países, se ha tenido en cuenta su alineamiento con los principios de la economía circular ya definidos en el entregable anterior, es decir, que posean simultáneamente las siguientes características: la consideración integrada de la cadena de valor global para la evaluación de sus beneficios de eficiencia e impacto ambiental, la consideración innovadora de la misma y la evidencia de la perspectiva sostenible en su diseño. Otro aspecto clave que se ha tenido en cuenta es su potencial de escalado en la región o sector de referencia. Este aspecto será una variable determinante para su apoyo desde una perspectiva social y nacional.

En cuanto a los modelos de negocio y tecnologías disruptivas, se han considerado los modelos de negocio circulares presentados en el apartado anterior, y las tecnologías aplicables en la Industria 4.0 identificadas en el entregable 5.1 (ver **Anexo 1**).

En cuanto a los beneficios considerados, se han considerado los siguientes beneficios económicos, sociales y ambientales derivados de la aplicación de modelos de negocio circulares y tecnologías disruptivas:

- **Económicos,** tales como el aumento de la competitividad, o de una mayor seguridad en relación con el uso de los recursos naturales.
- **Sociales,** tales como la creación de empleo, y del aumento del capital humano del país.
- **Ambientales,** como la reducción de emisiones y la mitigación del cambio climático asociada al uso de energías limpias (suministros circulares), el incremento en la eficiencia en el uso de recursos materiales, y la minimización de residuos orgánicos que contribuyen a la emisión de gases con efecto invernadero.

A continuación, se presentan las iniciativas identificadas para cada país. Se comienza con la descripción de estas y posteriormente se presenta una tabla donde se describe su alineamiento con los modelos circulares y su potencial soporte tecnológico 4.0.



3.1 Brasil

En el caso de Brasil, las iniciativas se han seleccionado partiendo del análisis del entregable 2.4 y en función de los criterios arriba mencionados. Así mismo, se han tenido en cuenta los retos de desarrollo tecnológico e industrial de Brasil. Además, se han introducido comentarios de detalle correspondientes a los sectores industriales subyacentes a los que se refieren algunas iniciativas de carácter general, tratando de identificar las tecnologías 4.0 aplicables.

3.1.1 Iniciativas consideradas

1. Bioeconomía – Plan de Acción de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2018 (Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia)

Se trata de una iniciativa dirigida por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI).

El Plan de Acción de Ciencia, Tecnología e Innovación (PACTI) de Bioeconomía tiene como objetivo el desarrollo científico, tecnológico e innovador para remover las barreras aprovechar las oportunidades de negocio que ofrece la bio-economía nacional. Se soporta sobre el desarrollo sostenible para así enfocarse en la obtención de beneficios sociales, económicos y ambientales de forma integrada.

El PACTI se desarrolla sobre las siguientes líneas principales:

- Uso sostenible de procesos, utilización de recursos biológicos renovables, conservación de la biodiversidad por medio de la sustitución de los recursos de origen fósil.
- Integrar iniciativas relativas al agua, la seguridad alimentaria y la energía.
- Integrar iniciativas para el desarrollo de bio-negocios y de bio-productos.
- Excelencia científica y de negocio.
- Desarrollo sostenible y economía circular.

A su vez, el PACTI tiene en consideración las siguientes tecnologías:

- Tecnologías para la conversión de residuos de biomasa en bioenergía.
- Química verde.
- Mejora genética.
- Biomímesis.
- Convergencia entre biotecnología, TIC y tecnologías cognitivas.
- Automatización y robotización de procesos de biomasa industrial.



2. FINEP y FINEP startup

FINEP (Financiadora de Estudios y Proyectos) forma parte del MCTI y es la agencia pública dedicada a impulsar proyectos de innovación. Esta institución ha tenido un rol pionero en Brasil en la financiación de proyectos innovadores de economía circular. Algunos de los ejemplos incluyen los siguientes:

- Braskem: polietileno de fuentes naturales.
- Sabesp: fertilizante a partir de lodos de depuradora.
- MPC: Sílice a partir de la cáscara de arroz.
- Mahle: diseño de piezas para la eficiencia de aceite y combustible.
- B&A: fertilizante de fuentes alternativas.
- Carbonífera Criciúma: productos de azufre de residuo de mineral.
- Natura: desarrollo de ingredientes aromáticos naturales.
- CTC: Etanol de segunda generación y nuevos productos a partir de la caña de azúcar.
- Geoenergética: biogás a partir de biomasa.

Dentro de FINEP, cabe destacar el programa *FINEP startup*, cuyo objetivo es apoyar la innovación en empresas incipientes, cubriendo la brecha de apoyo y financiamiento que existe entre las fases iniciales de la innovación (programas de aceleración, inversores ángel y crowdfunding) y las fases finales de la innovación (Fondos *Seed Money* y *Venture Capital* y eventual salida a los mercados de capitales).

3. FINEP – ERA-MIN 2

El objetivo del consorcio es prestar apoyo financiero mediante subvenciones a proyectos transnacionales de investigación, desarrollo e innovación desarrollados conjuntamente por las empresas y las TIC (tecnologías de la información y las comunicaciones) en los sectores de:

- **Materias primas no energéticas y no agrícolas**, incluidos los subsectores de los metales.
- **Construcción y los minerales industriales.**

Estos temas se centran en el abastecimiento, la producción, el consumo, la reutilización y el reciclado sostenibles de materias primas en una Economía Circular.

4. CNI - Estudios de Economía Circular

La Confederación Nacional de la Industria (CNI) reúne a las federaciones estatales de la industria, las asociaciones industriales y los representantes de las empresas para evaluar el grado de desarrollo nacional en relación con la Economía Circular y pensar en estrategias para acelerar la transición a este



nuevo modelo económico para redactar propuestas basadas en las prácticas y tendencias de todo el mundo sobre el tema.

5. Ministerio de Integración Nacional – Rutas de Integración Nacional

Así mismo, el Ministerio de Integración Nacional estableció las Rutas de Integración Nacional como estrategia de desarrollo regional e inclusión productiva. Las 'Rutas de la Economía Circular' son una iniciativa dentro de este programa que busca promover la innovación, la diferenciación, la competitividad y la rentabilidad de las empresas asociadas en lo que respecta a los productos, servicios y modelos de negocio de la Economía Circular. Específicamente se han tratado perspectivas de transformación digital, política nacional de saneamiento y residuos sólidos; desafíos en los servicios de saneamiento urbano; reducción de los residuos de alimentos; Economía Circular en la industria brasileña; y construcción sin residuos.

6. RenovaBio

RenovaBio es una política de Estado que reconoce el papel estratégico de todos los biocombustibles (etanol, biodiesel, biometano, bioqueroseno, segunda generación, entre otros) en la matriz energética brasileña en cuanto a su contribución a la seguridad energética, previsibilidad del mercado y mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de los combustibles. Con esto, los biocombustibles permiten un suministro de energía cada vez más sostenible, competitivo y seguro. RenovaBio consta de tres ejes estratégicos: 1) Objetivos de descarbonización; 2) Certificación de la Producción de Biocombustibles; y 3) Créditos de descarbonización (CBIO).

El objetivo de la iniciativa es contribuir de manera importante al cumplimiento su contribución determinada a nivel nacional (NDC) bajo el Acuerdo de París, promover la expansión de la adopción de biocombustibles en la matriz energética para mejorar el suministro de combustible y la estabilidad del mercado, así como el aumento de la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción y la comercialización.

7. Proyecto Cetem (Urban Mining)

El objetivo de esta iniciativa es potenciar asociaciones estratégicas entre el gobierno, universidad, centros tecnológicos y cooperativas, para incrementar las inversiones a través de la diseminación de conocimiento, avances científicos y tecnología que generen bienestar social.

8. CTI Renato Archer. Proyecto REMATRONIC.

El objetivo de la iniciativa es recuperar materiales estratégicos procedentes del residuo electrónico para aumentar la eficiencia en costes y reducción de impacto ambiental. Las líneas de trabajo son: (1) recuperación de materiales estratégicos de placas electrónicas procedentes de residuos de aparatos



eléctricos y electrónicos; (2) procesos de bio-metalurgia e hidro-metalurgia para reaprovechar metales como oro, plata, cobre o paladio; y (3) tecnología para separar metales pesados y la gestión correcta de los residuos.

9. Proyecto LICOBAT.

Desarrollo de procesos para recuperar de forma económicamente viable materiales estratégicos de las baterías de litio-ion agotadas (es decir, litio y cobalto).

3.1.2 Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales

A continuación, se alinean las iniciativas de Brasil con los modelos circulares conceptuales definidos y el potencial tecnológico de la Industria 4.0.

Tabla 3. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Brasil

Fuente: elaboración propia

Nombre y objetivos de la iniciativa	Enfoque y modelo de negocio circular	Tecnologías potenciales 4.0	Beneficios potenciales
Bioeconomía Agricultura sostenible; innovación en agricultura avanzada; Agricultura de precisión. Química verde, mejora genética, bioenergía y biomasa.	Reducción del impacto ambiental vía eficiencia en recursos, agua energía. Eficiencia en coste. Modelo de negocio: aprovisionamiento circular y recuperación de recursos.	Sensores, internet de las cosas, drones, interconexión integral vía servicios en la nube, <i>Bigdata</i> , Inteligencia artificial. Convergencia de las tecnologías descritas	Adaptabilidad proceso productivo, optimización de rotación de cultivos. Eficiencia en el uso de agua, energía fertilizantes y fitosanitarios.
FINEP- startup Proyectos de innovación en economía circular	Reducción de impacto ambiental y eficiencia en costes. Cabén todos los modelos de negocio dependiendo piloto.	Potencial para la aplicación de Todas las metodologías de la industria 4.0	Eficiencia en costes y reducción del impacto ambiental simultáneamente.
FINEPERAMIN 2 Desarrollo TIC en empresas de minería, materias primas.	Eficiencia en el proceso productivo a través de la mejora del programa de mantenimiento y materiales utilizados. Modelo de negocio: aprovisionamiento circular	Internet de las cosas, <i>Bigdata</i> , inteligencia artificial, aprendizaje automático combinado con modelos de simulación, virtualidad digital de los activos. <i>Blockchain</i> , robótica colaborativa.	Optimización de los costes de mantenimiento, incremento de la seguridad en las actividades, excelencia comercial.
Estudios de Economía circular (CNI) Desarrollo de iniciativas de innovación de economía circular e Industria 4.0.	Todos los modelos circulares.	Todas las presentadas dependiendo del sector e industria concreta. Conexión de las bases de datos para	Desarrollo de iniciativas de economía circular e Industria 4.0 conjuntas.



		compartir información; ciberseguridad e internet de las cosas	
Rutas de Economía Circular (Ministerio de integración nacional):	Todos los modelos circulares.	Todas las presentadas dependiendo del sector e industria concreta.	Desarrollo de iniciativas de economía circular e Industria 4.0 conjuntas.
RenovaBIO Contribuir al NDC de Brasil bajo el Acuerdo de París; promover la expansión de biocombustibles en la matriz energética	Compensación de las emisiones generadas por los distribuidores de petróleo.	<i>Bigdata, Blockchain, servicios en la nube e internet de las cosas.</i>	Impulso de los biocombustibles en la matriz energética del país.
Proyecto Cetem (Urban Mining)	potenciar asociaciones estratégicas entre el gobierno, universidad y centros tecnológicos para incrementar las inversiones y mitigar el riesgo de las mismas Todos los modelos de negocio circular	<i>Bigdata, IoT; ciberseguridad</i>	Impulso de las inversiones colaborativas en economía circular.
CTI Renato Archer. Proyecto REMATRONIC	Recuperar materiales estratégicos procedentes del residuo electrónico Modelo de negocio: aprovisionamiento circular	<i>Bigdata, sensores, robótica, IoT</i>	Eficiencia en costes y reducción del impacto ambiental
Proyecto LICOBAT	Recuperar de forma viable materiales estratégicos de las baterías de litio-ion Modelo de negocio: aprovisionamiento circular	<i>Bigdata, sensores, robótica, IoT</i>	Eficiencia en costes y reducción del impacto ambiental

A continuación, se detallan los beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 a los proyectos descritos en la tabla anterior.

- La aplicación de tecnologías 4.0 a proyectos de **agricultura sostenible**, como los impulsados por el **Plan de Acción de Ciencia, Tecnología e Innovación de Bioeconomía**, generan una eficiencia productiva importante, una reducción del impacto ambiental y una mejora de la calidad de los productos obtenidos. Ello se debe al incremento de la flexibilidad/adaptabilidad del proceso productivo respecto de las circunstancias de los cultivos y las características ambientales y de las parcelas. Así mismo, la aplicación de sensores a la producción reducirá el uso de agua, fertilizantes y fitosanitarios, y mejorará la eficiencia



energética de las instalaciones. Es significativo también considerar la reducción del impacto ambiental inherente a la agricultura de precisión.

- Los beneficios de implantar iniciativas como la denominada **FINEP-startup** son un elemento clave para el desarrollo de los modelos de economía circular e industria 4.0. Implican motivación imprescindible para los emprendedores y van a constituirse en el caldo de cultivo del cambio cultural y de paradigma que la economía circular y la industria 4.0.
- Los beneficios de aplicar tecnologías 4.0 a proyectos de minería como **FINEP-ERAMIN** incluyen el empleo de las TIC para integrar activos, procesos y personas que redunden en reducciones de costes de mantenimiento y mejoras en la seguridad, así como la posibilidad de asegurar el origen de las mercancías con la aplicación de la tecnología *Blockchain*. Los efectos de la inclusión de estas tecnologías en el proceso productivo también poseen un alto grado de mejora en el impacto ambiental inherente a esta actividad. Todos estos efectos positivos unidos se convierten en una oportunidad reputacional para las compañías. Es decir, todo ello es susceptible de ser comunicado a la comunidad de referencia con efectos positivos en la percepción de las personas. La transparencia y la integración de las expectativas de los grupos de interés son dos principios de referencia de la economía circular.
- Las tecnologías 4.0 aplicables a **los estudios de Economía Circular (CNI) y las rutas de Economía Circular (Ministerio de Integración Nacional)** están relacionadas con internet de las cosas, la ciberseguridad y el *Bigdata*. Estas tecnologías permiten analizar y compartir los beneficios y resultados de las iniciativas y posibilitar el análisis coherente por todos los agentes con criterios e indicadores homogéneos. Los efectos positivos en mejora de eficiencia y reducción de impactos ambiental habrán de ser considerados en cada iniciativa en particular. Además, es importante considerar que esta iniciativa puede dar lugar a la colaboración entre diferentes agentes en nuevos proyectos de innovación, con el consiguiente efecto de escalado de la economía circular.
- Las tecnologías 4.0 aplicables a **Renovabio** incluyen: el *Bigdata*, para el análisis de los datos relacionados con la configuración del mercado; internet de las cosas con el objetivo de conectar los diferentes agentes; la ciberseguridad; e incluso el *Blockchain*, con el objetivo de posibilitar interacciones en el mercado con exactitud.
- Por su parte, el **Proyecto Cetem -Urban Mining** suponen la materialización de la colaboración público-privada básica para el desarrollo de las tecnologías 4.0 y modelos de negocio circular. El liderazgo de la administración en lo referente a su ejemplaridad en la gestión de sus servicios y la coordinación de las estrategias nacionales de



competitividad en los sectores y regiones es un elemento que ha de materializarse en estrategias flexibles y progresivas.

- Finalmente, los **proyectos CTI Renato Archer, REMATRONIC y LICOBAT** son de naturaleza similar y el beneficio esencial de ambos se puede expresar en reducir coste e impacto ambiental simultáneamente.



3.2 Chile

Las iniciativas se han seleccionado partiendo del análisis del entregable 2.4 y en función de los criterios anteriormente mencionados. En el caso de Chile, se ha optado por analizar los proyectos de innovación más interesantes desde la perspectiva de integración de la Economía Circular y la Industria 4.0 y al mismo tiempo relacionados con los sectores industriales clave de la economía chilena.

3.2.1 Iniciativas consideradas

1. Desarrollo del sistema logístico de reciclado: "Smart Recycling Logistic System"

Smart Recycling Logistic System es una plataforma para la optimización logística del reciclaje compuesta por una aplicación que determina la ruta óptima para su recolección y trazabilidad del residuo de origen a disposición final y un sistema modular móvil que reduce el volumen del residuo in "situ". Con esto agregamos valor a las industrias sujetas a metas de recolección, aprovechando al máximo la capacidad de carga de los vehículos y disminuyendo los costos logísticos y la huella de carbono.

2. Fabricación de elementos de desgaste para la industria minera

En el procesamiento del mineral de cobre, se produce un enorme desgaste en los equipos, por ello resulta imprescindible la búsqueda continua de aleaciones metálicas que tengan un mejor comportamiento y resistencia a la abrasión. Esto, con el fin de reducir la frecuencia de tiempos empleados en las paradas de planta para el recambio de los elementos deteriorados y además reducir la gran generación de chatarra circulante que se acumula constantemente en los reductos mineros.

3. Valorización de residuos electrónicos: el potencial de Chile en la minería urbana

El proyecto busca evaluar, elaborar y determinar un proceso de recuperación de metales preciosos a partir de circuitos impresos, mediante un proceso específico de pirolisis. Los materiales necesarios serán facilitados por el beneficiario, entregando además la información y resultados obtenidos internacionalmente con la finalidad de comparar las concentraciones obtenidas en el proceso específico que se utilizará con el proceso tradicional no específico utilizado en el resto del mundo.

4. Reducción de envases y control de inventario en productos químicos automotrices basado en IOT

Crear un sistema de distribución a granel de los principales productos químicos utilizados en el mercado automotriz. Para ello se construirá: (i) una estructura que permita el transporte seguro de los productos; (ii) un sistema de impulsión y control de flujo de los productos despachados, (iii) un sistema de



almacenamiento modular para recepcionar los líquidos, y (iv) un sistema IoT de monitoreo de stock, disponible tanto para el proveedor como para los usuarios a través de una plataforma web.

5. Smart Yeast: Reutilización de levaduras desechadas

Las levaduras fermentadoras, que producen la cerveza, son uno de los desechos más importantes de esta industria, generando en Chile 42 mil toneladas de desecho por año, las cuales no son recicladas. Este proyecto consta de un método para producir extracto de levadura a partir de desechos sin la adición de sal u otro compuesto químico. Esto se logra aplicando levaduras predadoras y/o enzimas puras capaces de hidrolizar las levaduras de desecho, obteniendo extractos nutritivos y naturales.

6. Valorización de residuos agroindustriales

El proyecto consiste en la aplicación de un modelo de Economía Circular que pretende remanufacturar y reutilizar los residuos orgánicos producidos por Biofresco a través del vermicompostaje. La separación en el origen de los residuos que realiza la empresa permitirá desarrollar un vermicompost con características fisicoquímicas particulares para la obtención de un sustrato específico para el cultivo sostenible del champiñón, disminuyendo su costo de producción.

7. AgroWaste2Energy

Se busca prototipar un proceso que permita en forma continua y encadenada la extracción de pectina e hidroxitirosol y la generación de energía por medio de la digestión anaerobia de manzana de descarte y pomasa proveniente de la industria de la manzana y el alperujo, que se obtiene de la producción de aceite de oliva. Dando así una solución atractiva desde el punto de vista económico para estos residuos.

8. Carbon black de pirólisis de neumáticos

El proceso de pirólisis de neumático genera tres subproductos: gas, metal y negro de humo. El gas producido es nuevamente tratado bajo un enfoque de Economía Circular por un proceso de destilación para producir combustible, el metal (acero) es recuperado y vendido. Por otra parte, el negro de humo no tiene un mercado en Chile que permita comercializarlo directamente. Además, debido a la complejidad de la operación, este no tiene una calidad constante debido a la diferente calidad de los neumáticos que ingresan al horno de pirólisis. Esta iniciativa busca generar un análisis de las alternativas con mayor potencial para el negro de humo, lo que generaría en la revalorización de 5.700 kg de negro de humo a la semana y 68.400 kg al año de negro de humo que no tiene una alternativa de comercialización actualmente.



9. Recicladora de bioplásticos.

La problemática principal es de tipo ambiental, en este sentido todas las personas, ya sean hombres, mujeres, niños, adultos, incluso la flora y fauna se ven afectados por la contaminación del plástico. La solución radica en el correcto uso de bioplásticos, que no tienen las nocivas consecuencias del plástico en el medio ambiente y en la salud humana. La tendencia mundial de estos productos crece año a año (según europeanbioplastic.org, el mercado mundial de bioplásticos aumentará en un 20 % para 2022 en comparación con 2017).

Dentro de los principales bioplásticos podemos encontrar los bio-basados (no biodegradables) y los biodegradables (PHA, PBS, PLA). Este último biopolímero, PLA, es el que la Compobottle comercializa en sus botellas, bolsas, vasos, films, cubertería, entre otros. Ahora bien, todos estos productos deben estar acompañados por un correcto "fin de vida" para su biodegradabilidad (reciclar, compostar o biodigestar). Es por ello por lo que Compobottle decide hacerse cargo de los fines de vida y potenciar la Economía Circular que tienen los bioplásticos. Se pensó en profundizar la opción más barata, fácil y escalable industrialmente: el reciclaje. Es ahí donde nace la idea de reutilizar los bioplásticos con una máquina recicladora que cree filamento para impresión 3D.

3.2.2 Modelo de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales

A continuación, se presentan las iniciativas de Economía Circular de Chile en un cuadro donde se describe cada una de ellas en función de sus objetivos principales, el modelo de negocio circular implícito, las tecnologías 4.0 potencialmente aplicables y los beneficios esperados de esta aplicación.



Tabla 4. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Chile

Fuente: elaboración propia

Nombre y objetivos de la iniciativa	Enfoque y modelo de negocio circular	Tecnologías potenciales 4.0	Beneficios potenciales
<p>Sistema logístico de reciclado</p> <p>Optimización de la logística para la recogida de residuos.</p>	<p>Optimar la logística y tratamiento de residuos.</p> <p>Incrementando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental.</p> <p>Modelo de negocio: recuperación de recursos.</p>	<p><i>Bigdata</i>, sensores, internet de las cosas, software de optimización de ruta de servicios en la nube y robótica.</p>	<p>Reducción del impacto ambiental y mejora de eficiencia conectada en toda la cadena de valor. Posibilitar la creación de plantas de "producción de materiales" completamente conectadas, en remoto y flexibles dependiendo del tipo de residuo.</p>
<p>Fabricación de elementos de desgaste para la industria minera</p> <p>Proceso productivo minero</p>	<p>Eficiencia en costes y mejora ambiental del proceso productivo.</p> <p>Modelo de negocio: aprovisionamiento circular.</p>	<p>Internet de las cosas, <i>Bigdata</i>, inteligencia artificial, aprendizaje automático combinado con modelos de simulación, virtualidad digital de los activos. <i>Blockchain</i>, robótica colaborativa y sensores.</p>	<p>Dada la intensidad en activos de la industria minera, una variable clave para la eficiencia del proceso productivo es la optimización del mantenimiento, generando reducción de costes e impacto ambiental.</p>
<p>Valorización de residuos electrónicos</p> <p>Recuperación de metales preciosos por proceso de pirólisis.</p>	<p>Cerrar el círculo: materiales a residuos, residuos a materia prima.</p> <p>Modelo de negocio: recuperación de recursos.</p>	<p>Los sistemas duales de inteligencia artificial y robótica avanzada para mejorar la capacidad de selección de residuos, obteniendo un mayor número de materiales, de mejor calidad. <i>Bigdata</i>, internet de las cosas, servicios en nube y <i>Blockchain</i>, combinados.</p>	<p>Eficiencia y reducción impacto ambiental procesos.</p>
<p>Reducción de envases en productos químicos automotrices</p> <p>Reducción de envases y optimización control inventario.</p>	<p>Eficiencia del proceso de producción y distribución, reducción del impacto ambiental.</p> <p>Modelo de negocio: aprovisionamiento circular.</p>	<p>Internet de las cosas, robótica, el procesamiento de datos, los softwares inteligentes y los sensores, desde proveedores hasta clientes, para poder predecir, controlar, planear y distribuir, de forma inteligente, generando mayor valor a toda la cadena</p>	<p>Integración de la cadena de valor completa generando eficiencia y reducción del impacto ambiental simultáneamente.</p>



Tabla 4. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Chile

Fuente: elaboración propia (continuado)

Nombre y objetivos de la iniciativa	Enfoque y modelo de negocio circular	Tecnologías 4.0 potenciales	Beneficios potenciales
<p>Recicladora de Bioplásticos</p> <p>Reciclaje del plástico biodegradable.</p>	<p>Reciclaje: bioplásticos biodegradables para obtener materia prima para impresoras 3D</p> <p>Modelo de negocio: recuperación de recursos.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios de la nube, <i>Bigdata</i>, sensores y robots</p>	<p>Integración de la cadena de valor completa generando eficiencia y reducción del impacto ambiental simultáneamente.</p>
<p>Smart Yeast</p> <p>Creación de un nuevo producto utilizando desecho de la industria de la cerveza.</p>	<p>Upcycling: partiendo de los residuos de la industria de la cerveza generar extracto de levadura, que es un nuevo producto utilizado como saborizante.</p> <p>Modelo de negocio: recuperación de recursos.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios de la nube, <i>Bigdata</i>, sensores y robots</p>	<p>Reducción del impacto ambiental y mejora de eficiencia conectada en toda la cadena de valor. Mantenimiento del valor de los recursos, reduciendo inputs de materias primas.</p>
<p>Valorización residuos agroindustriales</p> <p>Utilización del vermicompostaje para generar sustrato para el cultivo del champiñón.</p>	<p>Reciclaje: Utilización de la lombriz para procesamiento de los desechos orgánicos de fruta y verdura.</p> <p>Modelo de Negocio: Recuperación del valor de los recursos.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios de la nube, <i>Bigdata</i>, sensores y robots</p>	<p>Reducción impacto ambiental y mejora de eficiencia conectada en toda la cadena de valor. Mantenimiento del valor de los recursos, reduciendo inputs de materias primas.</p>
<p>Agrowaste2Energy</p> <p>Aprovechamiento energético de los residuos de la manzana y aceite de oliva.</p>	<p>Upcycling: partiendo de los residuos de la industria de la manzana y aceite de oliva, generar materia prima para la generación de energía.</p> <p>Modelo de negocio: Recuperación del valor de los recursos.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios de la nube, <i>Bigdata</i>, sensores y robots</p>	<p>Reducción del impacto ambiental y mejora de eficiencia conectada en toda la cadena de valor. Mantenimiento del valor de los recursos, reduciendo inputs de materias primas.</p>
<p>Carbonblack de pirólisis de neumáticos</p> <p>Revalorización de la materia de los neumáticos.</p>	<p>Reciclaje: Utilización del líquido y gases del resultado del pirólisis.</p> <p>Modelo circular: recuperación de recursos.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios de la nube, <i>Bigdata</i>, sensores y robots</p>	<p>Reducción del impacto ambiental y mejora de eficiencia conectada en toda la cadena de valor. Mantenimiento del valor de los recursos, reduciendo inputs de materias primas.</p>



A continuación, se detallan los beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 a los proyectos descritos en la tabla anterior.

- El empleo de tecnologías 4.0 en el **sistema logístico de reciclado** consiste en la sensorización de los elementos de recogida, contenedores, vehículos para su conexión integrada, lo cual redundará en una gestión excelente del proceso integral que simultáneamente proporcionará reducciones en el impacto ambiental y de los costes asociados. Las tecnologías aplicadas son sensores en los activos de recogida, integración de los datos a través de internet y su gestión a través de *Bigdata* e inteligencia artificial.
- La iniciativa de **Fabricación de Elementos de desgaste para la Industria Minera** ha de ir acompañada de la aplicación de tecnologías 4.0 presentadas en el capítulo anterior. La posibilidad de integrar activos, procesos y personas en la minería produce reducciones de costes en el mantenimiento y mejoras en la seguridad, y permite asegurar con precisión el origen de las mercancías.
- Las principales tecnologías 4.0 aplicables a la **iniciativa de Valorización de Residuos Electrónicos** (recuperación de metales preciosos a través de pirólisis) incluyen sistemas duales de inteligencia artificial y robótica avanzada para mejorar la capacidad de selección de residuos. También tienen un alto potencial las tecnologías *Bigdata*, internet de las cosas, servicios en nube y *Blockchain* combinados. Su aplicación proveerá de precisión a la información facilitada de cara a comparar las concentraciones obtenidas en el proceso específico con el proceso tradicional no específico utilizado en el resto del mundo. Los beneficios de eficiencia en costes y reducción de impacto ambiental son evidentes.
- Las tecnologías 4.0 aplicables al proyecto **Reducción de envases en productos químicos automotrices** están relacionadas con la robótica en el manejo de los elementos en los almacenes, sensorización de los activos: contenedores y stocks, integración de la información a través de internet y la utilización combinada de *Bigdata* e inteligencia artificial con el objetivo de optimizar las rutas de distribución y la gestión de stocks simultáneamente. Ello producirá un beneficio en los costes de la gestión y la reducción del impacto ambiental por la eficiencia de las rutas y la reducción de la materia prima utilizada.
- Las tecnologías 4.0 aplicables a la recicladora de bioplásticos, al proyecto **Smart Yeast** y al **proyecto de Valorización de Residuos Agroindustriales** (vermicompostaje) implican la sensorización de los contenedores y los stocks, la integración de esta información a través de internet y su análisis conjunto de *Bigdata* e inteligencia artificial. Los beneficios están relacionados con la eficiencia en coste y la reducción del impacto ambiental simultaneo.



- Las tecnologías 4.0 de aplicación al proyecto **Agrowaste2energy** son las mismas que las mencionadas para el Sistema Logístico de Reciclado y los beneficios se refieren a las ganancias en eficiencia y reducción de impacto ambiental que se consiguen simultáneamente.
- Las tecnologías 4.0 aplicables al proyecto **Carbonblack de Pirólisis de Neumáticos** incluyen la sensorización de los activos utilizados, almacenes, contenedores, etc. la gestión comercial de los clientes a través de *Bigdata* y la gestión integrada de todo el proceso vía inteligencia artificial. Ello produciría reducciones de coste e impacto ambiental simultáneamente.



3.3 México

Las iniciativas se han seleccionado partiendo del análisis del entregable 2.4 y en función de los criterios anteriormente mencionados. Así mismo, se han tenido en cuenta los retos de desarrollo tecnológico e industrial de México. Además, se han introducido comentarios de detalle correspondientes a los sectores industriales subyacentes a los que se refieren algunas iniciativas de carácter general tratando de alinear las indicaciones de Industria 4.0 a los mismos.

3.3.1 Iniciativas consideradas

1. Plataforma para revalorización de materiales

El objetivo de la iniciativa es 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.

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.

2. Red de Aprendizaje en EC

Con base en el antecedente sentado por la PROFEPA, en el Programa para el Liderazgo Ambiental y Competitividad, se espera poder crear una Red de Aprendizaje en Economía Circular donde empresas anclas motiven a que las PYMEs asociadas a su encadenamiento productivo puedan aplicar los diferentes aprendizajes en esta materia.

El objetivo de la iniciativa es circularizar los encadenamientos productivos a través de redes de conocimiento donde grandes corporaciones sean la guía de las PYMES.

3. Proyecto FELICITY de la Agencia Alemana GIZ (financiamiento para la inversión energética baja en carbono en las ciudades)

El objetivo de la iniciativa es el aprovechamiento energético a partir de la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU). En México se generan 103 mil toneladas de RSU diarios, de los cuales el 9.63% se reciclan. El depósito de estos residuos en sitios de disposición final y su manejo contribuyen con el 4.6% de las emisiones GEI del país.

El proyecto piloto se localiza en el municipio de Naucalpan, Estado de México, con una población cercana a los 872 mil habitantes, donde se está generando energía a partir de RSU. Cabe mencionar que existe aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales, tanto en la ciudad de Aguascalientes donde se generan 2.7 mega watts para la fabricación de vehículos en el complejo de Nissan, como en la Ciudad de Monterrey, donde la



energía generada cubre el 45% del alumbrado público y el sistema de transporte Metro (BENLESA, 2003).

4. Bases del Mercado de Carbono

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establecerá de forma progresiva y gradual un Sistema de Comercio de Emisiones con el objetivo de promover reducciones de emisiones entre los sectores participantes. Así también, se identifica en los artículos transitorios de la Ley General de Cambio Climático que México se compromete de manera No Condicionada a reducir en 22% sus emisiones de GEI al año 2030 con respecto a la línea base.

En octubre de 2019, se publicaron las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones, con la participación de diversos actores del sector industrial, incluyendo a la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) y cuya fase de prueba inició 1 de enero de 2020 y finalizará el 31 de diciembre de 2021.

5. 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. Entre las acciones tomadas destacan el rediseño de envases y empaques, captura de CO₂ de la fermentación para utilización en otros sectores, se aprovecharon las hojas de agave como energético y productos de valor agregado (bioplásticos, muebles, alimenticio y farmacia).

6. Reciclaje de botellas PET

Esta iniciativa, 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 CO₂e por la producción de resina virgen. Dada su magnitud, esta iniciativa representa un importante paso en la transición hacia la economía circular (Petstar, 2019).

7. Industria del Cemento

La empresa Cemex, productora de cemento, concreto, agregados y otros materiales de construcción, inició un proyecto para recopilar los 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 (Reportero Industrial, 2019).



8. Industria 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).

La armadora Volkswagen México se encuentra en la implementación de una transformación tecnológica 4.0, que inició con el desarrollo de habilidades del personal, para continuar con el establecimiento de estándares de eficiencia para facilitar la adopción acelerada de nuevas tecnologías. A febrero de 2020, ya se habían incorporado alrededor de 800 robots en la producción de carrocerías, así como un mecanismo en el que un operador y un brazo robótico se complementan en la ejecución del proceso que inició con tareas de pintura (Paralelo19.mx, 2020).

9. Estudio de huella de carbono en la industria del papel y la celulosa

El estudio, basado en el análisis de ciclo de vida, permite determinar la contribución del sector a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, 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, ya que en México se acopia el 54% del papel y cartón al final de su vida útil (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, 2020).



3.3.2 Enfoques de modelo de negocio circular, tecnologías 4.0 aplicables y beneficios potenciales

A continuación, se presentan las iniciativas de Economía Circular de México en un cuadro donde se describe cada una de ellas en función de sus objetivos principales, el modelo de negocio circular implícito, las tecnologías 4.0 potencialmente aplicables y los beneficios esperados de esta aplicación.

Tabla 5. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en México
Fuente: elaboración propia

Nombre y Objetivos	Enfoque modelo de negocio circular	Tecnologías 4.0 potenciales	Beneficios potenciales
<p>Plataforma para revalorización de materiales metálicos</p> <p>Crear un mercado de materiales que incremente su valor y ciclos de uso en relación con sus aplicaciones y niveles de calidad.</p>	<p>Reciclaje: Utilización de materias primas y chatarra en función de uso y calidad requeridas.</p> <p>Modelo de negocio: recuperación de recursos en el mercado de materiales metálicos de materia prima y chatarra.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios en nube, sensores, <i>Bigdata</i>, <i>Blockchain</i> y ciberseguridad.</p>	<p>Integración de las cadenas de valor para incrementar su eficiencia, reducción de emisiones GEI y preservar el valor de los recursos.</p>
<p>Red de aprendizaje de Economía circular</p> <p>Promover y guiar a las pymes a través de la experiencia de las grandes empresas.</p>	<p>Varios modelos de negocio: simbiosis industrial, reciclaje, remanufactura, reuso, compartir activos y también la compra innovadora, donde las especificaciones funcionales de las empresas líder dan paso a la definición de necesidades a los proveedores y estos se asocian para dar una respuesta excelente.</p>	<p>Internet de las cosas, servicios en nube, <i>Bigdata</i>, <i>Blockchain</i> y ciberseguridad.</p>	<p>Expansión de la digitalización y los modelos de EC en las regiones.</p>
<p>Proyecto Felicity</p> <p>Aprovechamiento energético de RSU.</p>	<p>Modelo de negocio: recuperación de recursos</p>	<p><i>Bigdata</i>, internet de las cosas, sensores, servicios en la nube y robótica.</p>	<p>Reducción de impacto ambiental y reducción de emisiones GEI.</p>
<p>Bases de mercado de emisiones</p> <p>Creación de un mercado de emisiones.</p>	<p>Impulso a todos los modelos de negocio circulares</p>	<p><i>Bigdata</i>, internet de las cosas, sensores, servicios en la nube.</p>	<p>Reducción de las emisiones GEI y cumplimiento de acuerdos internacionales.</p>
<p>Simbiosis en la industria Tequilera</p> <p>Reducción de fertilizantes, agua y energía, así como desarrollo de nuevos mercados para el bagazo.</p>	<p>Modelo de negocio: recuperación de valor de los recursos y aprovisionamiento circular.</p>	<p><i>Bigdata</i>, <i>Blockchain</i>, servicios en la nube, sensores, software inteligente y robótica.</p>	<p>Integración de las cadenas de valor, eficiencia del proceso y reducción del impacto ambiental.</p>

Reciclaje de botellas PET Reciclaje de botellas PET con el objetivo de generar resina reciclada.	Modelo de negocio: recuperación de valor de los recursos	<i>Bigdata</i> , internet de las cosas, sensores, servicios en la nube y robótica.	Reducción de consumo de materia prima y reducción de emisiones de GEI.
Excelencia operativa en la industria del cemento. Análisis de los datos de operación optimizando el proceso productivo de forma remota	Modelo de negocio: recuperación del valor de los recursos y suministros circulares.	<i>Bigdata</i> , internet de las cosas, sensores, servicios en la nube y robótica.	Reducción de consumo de materia prima, reducción de emisiones de GEI.
Industria Automotriz Impresión 3D, formación y robotización.	Modelo de negocio: recuperación valor de los recursos y suministros circulares con potencial de extender la vida útil a lo largo de su ciclo	<i>Bigdata</i> , internet de las cosas, sensores, servicios en la nube y robótica.	Reducción de consumo de materia prima utilizada, eficiencia energética y reducción de emisiones de GEI.
Estudio huella de carbono en la industria del papel y celulosa. Conocimiento de la huella ambiental del ciclo de vida.	Modelo de negocio: el potencial de esta medida puede estar dirigido para el desarrollo de todos los modelos de negocio circular descritos previamente.	<i>Bigdata</i> , internet de las cosas, inteligencia artificial	Supone el punto de partida para el desarrollo de cualquier tipo de modelo de negocio circular con los beneficios potenciales de eficiencia y reducción de impacto ambiental de los mismos.

A continuación, se detallan los beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 a los proyectos descritos en la tabla anterior.

- El empleo de tecnologías 4.0 a la **Plataforma para Revalorización de Materiales** 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. Los beneficios de eficiencia en costes y reducción de impacto ambiental son inherentes a la iniciativa.
- Las tecnologías 4.0 aplicables a la **Red de Aprendizaje de Economía Circular** son la combinación de *Bigdata*, internet, ciberseguridad e inteligencia artificial. Su objetivo consiste en guiar y promover a las pymes a través de la experiencia de las grandes empresas. En definitiva, 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. Los datos a controlar, básicamente, son los indicadores de



la evolución de los proyectos y los resultados obtenidos con su aplicación. Además, estos datos deben ser compartidos por todos los agentes, lo cual proporcionará un contexto homogéneo de conocimiento donde se podrá plantear la innovación como una herramienta integrada en la estrategia de las empresas.

- Las tecnologías 4.0 aplicables al proyecto **Felicity de Valorización Energética de RSU** 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, ya explicadas en el apartado anterior, como *Bigdata*, los sensores inteligentes y las aplicaciones móviles, se han creado muchas soluciones que podrían revolucionar el campo de la gestión de la basura con el objetivo principal de optimizar la gestión local de residuos, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y fomentar su participación en los procesos de reciclaje. Estas iniciativas impactarán directamente en la mejora de la eficiencia y en la reducción del impacto ambiental de las actividades de forma simultánea.
- Las tecnologías 4.0 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. Sus beneficios se reflejarán en la posibilidad de reducir las emisiones industriales al ritmo que establecen los compromisos internacionales aceptados por México.
- 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. En lo que se refiere a los precios de recolección y almacenamiento de la materia prima se aplican las tecnologías expresadas en las iniciativas de reciclaje, básicamente centradas en la sensorización de los activos utilizados, almacenes y la robotización en su manejo. La mejora de la eficiencia y la reducción del impacto ambiental simultaneo son inherentes a esta iniciativa.
- El empleo de tecnologías 4.0 al **reciclaje de botellas PET** 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. En este sentido, es de resaltar el ahorro de materias primas subsiguiente y la reducción de emisiones de GEI.
- Las aplicaciones de tecnologías 4.0 al **proyecto de la empresa cementera** 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 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. El beneficio del proyecto está relacionado con la mejora de la eficiencia del proceso, tanto en la operación como en el mantenimiento del mismo. Se ha de destacar que en este proyecto, se identifica el incremento en la flexibilidad del proceso productivo y la posibilidad de utilizar la operación remota en tiempo real.

- Las tecnologías 4.0 aplicables a los **proyectos desarrollados por las empresas del sector automotriz** en la construcción de sus productos, la impresión de prototipos en impresoras 3D y en la robotización del proceso 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.
- Las tecnologías 4.0 aplicables al **proyecto del cálculo de la huella ambiental en el sector del papel y celulosa** son principalmente *Bigdata*, inteligencia artificial, Internet de las cosas (IoT), computación en la nube y ciberseguridad. El objetivo de esta iniciativa es identificar oportunidades de reaprovechamiento de materias primas y reducir los impactos ambientales de su operación. Esta iniciativa es el punto inicial para el diseño de proyectos de innovación que involucren tecnología 4.0 en el desarrollo de modelos de negocio circular. Su implantación con una metodología homogénea en las diferentes empresas del sector tiene el potencial de desarrollar proyectos colaborativos para la mejora de la eficiencia y la reducción del impacto ambiental, así como la posibilidad de compartir las mejores experiencias entre ellas.



3.4 Uruguay

Las iniciativas se han seleccionado partiendo del análisis del entregable 2.4 y en función de los criterios anteriormente mencionados. Así mismo, se han tenido en cuenta los retos de desarrollo tecnológico e industrial de Uruguay. Además, se han introducido comentarios de detalle correspondientes a los sectores industriales subyacentes a los que se refieren algunas iniciativas tratando de alinear las indicaciones de Industria 4.0 a los mismos.

3.4.1 Iniciativas consideradas

1. Biovalor / 2017

Proyecto que busca impulsar tecnologías de valorización de residuos, reduciendo emisiones de gases efecto invernadero.

El Gobierno uruguayo, junto con la ONUDI, lleva a cabo este proyecto con el objetivo de apoyar la transición de un modelo lineal a uno circular, entendiendo que ese proceso es necesario para lograr un cambio efectivo hacia formas de producción y consumo sostenibles.

2. Plan junta de lámparas

El plan se responsabiliza de la recolección de lámparas agotadas que la población deposite en los contenedores ubicados en locales adheridos. Posteriormente, las mismas serán trasladadas a una planta de tratamiento, en donde serán tratadas siguiendo un sistema avalado por la autoridad ambiental.

3. Valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Antel Integra):

Se utilizan equipos informáticos en desuso, que sean donados por empresas y particulares.

Antel cuenta con un centro de reciclado encargado de clasificar, desarmar, limpiar y reciclar los equipos recibidos. En este centro se arman computadoras completas que cuenten con los requerimientos mínimos de hardware y con una imagen liviana de software libre.

El objetivo del proyecto es colaborar principalmente con los hogares de menor poder adquisitivo proporcionándoles un PC reciclado, con software libre y acceso a Internet.

4. Plan Nacional de Eficiencia Energética

El Plan incluye instrumentos de alcance general, transversales a todos los sectores, e instrumentos de carácter sectorial, dirigidos a un público segmentado en función de sus características de consumo.

Reciclaje de residuos dentro de la industria de la construcción para producir o reutilizar materiales necesarios en la construcción de estructuras. El Plan presenta



diversos instrumentos a través de los cuales se alcanzará una meta de energía evitada de 1.690 ktep en el período 2015 – 2024.

5. Circularidad de nutrientes en lechería

Profundizar en el potencial de la circularidad de nutrientes dentro de los establecimientos lecheros.

Mejora, monitoreo y evaluación de los sistemas de gestión de residuos y efluentes en 5 unidades demostrativas del sistema educativo terciario nacional.

6. Parque Tecnológico Industrial del Cerro: Proyecto valorizando sus residuos

El Parque Tecnológico Industrial del Cerro (PTIC) se encuentra implementando su gestión de residuos progresivamente.

Actualmente la gestión incluye la recolección de los residuos no valorizables, servicio contratado con la Intendencia de Montevideo, y el acopio de los residuos valorizables tales como chatarra, cartón y papel. Los mismos son entregados a empresas encargadas de su reciclaje. Tanto en la gestión de residuos como en los demás aspectos ambientales se afirma el concepto de mejora continua.

El objetivo del proyecto es disponer de la planta de clasificación de residuos del PTIC.

7. Proyecto MOVÉS

Acciones concretas para la promoción del transporte público, los modos no motorizados y el uso de vehículos eléctricos.

El objetivo del proyecto es impulsar la transición efectiva hacia una movilidad urbana inclusiva, eficiente y de bajas emisiones de carbono en Uruguay.

8. Puestos de recarga de transporte eléctrico

En 2017 comenzó el proyecto que une con distintos puestos de carga eléctricos las rutas uruguayas en todos los departamentos.

El objetivo del proyecto es dotar a Uruguay de una infraestructura para la expansión de la movilidad eléctrica.



3.4.2 Enfoques modelo de negocio circular, tecnologías 4.0 aplicables y beneficios potenciales

A continuación, se presentan las iniciativas de Economía Circular de Uruguay en un cuadro donde se describe cada una de ellas en función de sus objetivos principales, el modelo de negocio circular implícito, las tecnologías 4.0 potencialmente aplicables y los beneficios esperados de esta aplicación.

Tabla 6. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Uruguay
Fuente: elaboración propia

Nombre y Objetivos	Enfoque modelo de negocio circular	Tecnologías 4.0 potenciales	Beneficios potenciales
<p>Biovalor</p> <p>Optimizar bajo la perspectiva circular la valorización de residuos</p>	<p>Modelos de negocio: recuperación de recursos; aprovisionamiento circular; extensión de vida útil.</p>	<p>IoT, servicios en nube, software inteligente y sensores, <i>Bigdata</i>, robótica e inteligencia artificial. Contenedores inteligentes, digestión anaeróbica para generación de biogás y biofertilizante, tratamiento de residuos para uso como mejoradores de suelo, despolimerización catalítica para generación de Diesel sintético, tratamiento de agua para fertirriego, combustión para vapor o energía, gasificación para generación de gas. Tratamiento residuos en la industria láctea y cárnica para su uso como como mejoradores de suelo</p>	<p>Potencial para crear plantas de recuperación de materiales:</p> <p>Flexibles en sus procesos de tratamiento, segura, y con capacidad de recuperar el 100% de los residuos.</p> <p>Reducción del impacto ambiental, integración de la cadena de valor y generación de eficiencia.</p>
<p>Plan junta de lámparas</p> <p>Gestión del fin de vida de lámparas fluorescentes compactas.</p>	<p>Modelo de negocio: Recuperación del valor de los recursos; extensión de vida útil</p>	<p><i>Bigdata</i>, internet de las cosas, robótica, contenedores inteligentes, servicios en la nube, vehículos de recogida de bajo impacto ambiental.</p>	<p>Integración cadena de valor, eficiencia y reducción impacto ambiental.</p>
<p>Valorización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Antel integra)</p> <p>Ampliar las posibilidades de acceso a la informática e internet.</p>	<p>Todos los modelos de negocio circulares.</p>	<p><i>Bigdata</i>, internet de las cosas, robótica, contenedores inteligentes, servicios en la nube, vehículos de recogida de bajo impacto ambiental.</p>	<p>Impulso de internet, reducción impacto ambiental.</p>



Tabla 6. Modelos de negocio circular, tecnologías 4.0 y beneficios potenciales en Uruguay (continuado)

Fuente: elaboración propia

Nombre y Objetivos	Enfoque modelo de negocio circular	Tecnologías 4.0 potenciales	Beneficios potenciales
<p>Plan Nacional de eficiencia energética</p> <p>Impulsar la eficiencia energética en todos los sectores.</p>	Todos los modelos de negocio circulares.	Bigdata, internet de las cosas, Software inteligente, inteligencia artificial y conexión sensores.	Eficiencia energética en el consumo.
<p>Circularidad de nutrientes en lechería</p> <p>Profundizar en el potencial de la circularidad de nutrientes dentro de los establecimientos lecheros.</p>	Modelo de negocio: aprovisionamiento circular; recuperación de recursos	Robótica, sensores ligados a software inteligente e internet de las cosas.	Reducción del impacto ambiental.
<p>Parque industrial del cerro: valorización de residuos.</p> <p>Crear una planta de clasificación de residuos.</p>	Modelo de negocio: aprovisionamiento circular; recuperación de recursos	Robótica, Bigdata, internet de las cosas, sensores, inteligencia artificial.	Integración de la cadena de valor y reducción de impacto ambiental.
<p>Proyecto MOVES</p> <p>Movilidad sostenible</p>	Modelo de negocio: aprovisionamiento circular	Bigdata, software inteligente conectado a sensores e internet de las cosas.	Generación de sistemas de informatización automatizada del transporte público en las ciudades.
<p>Puntos de recarga transporte eléctrico</p> <p>Movilidad sostenible.</p>	Modelo de negocio: aprovisionamiento circular. Este proyecto, dada su naturaleza circular, tiene un gran potencial para utilizar el ecodiseño en la estructura física del punto de recarga.	Bigdata, sensores, software inteligente.	Impulso del coche eléctrico.

A continuación, se detallan los beneficios derivados de la aplicación de tecnologías 4.0 a los proyectos descritos en la tabla anterior.

- Como ya se ha explicado para otros proyectos de gestión de residuos como **Biovalor, Plan Junta de Lámparas, Antel Intregra o Parque Industrial de El Cerro**, el potencial de integración de la tecnología 4.0 es plena en todos sus procesos, desde la recogida, el transporte y su logística, y el tratamiento final en las plantas. Contenedores inteligentes, *Bigdata*, IoT e inteligencia artificial (IA), para la transmisión y gestión de datos, robótica de planta en el tratamiento de los residuos y mantenimiento, y posibilidad de utilización de drones para la supervisión de vertederos. El objetivo es crear plantas de producción de

materiales con procesos flexibles, en función de la composición de los materiales tratados, seguras, para los trabajadores en el tratamiento y mantenimiento e integrales, en cuanto a su capacidad de recuperación de todos los materiales. Los beneficios de eficiencia en costes y reducción de impacto ambiental son evidentes.

- La confección del **Plan Nacional de Eficiencia Energética** requiere de un conocimiento detallado de los activos y consumos de los diferentes sectores, poseer criterios homogéneos para la identificación de los activos a considerar, definir indicadores homogéneos de cálculo, diseñar proyectos para la implantación de las directrices de trabajo en cada sector, conocimiento y coordinación general de la implantación de los proyectos piloto y compartir experiencias de trabajo entre los diferentes sectores. El potencial de aplicar tecnologías 4.0 a la elaboración del plan incluye la combinación de la *Bigdata*, computación en la nube, inteligencia artificial, ciberseguridad e internet. El objetivo último será crear una dinámica de mejora continua de colaboración público privada. Sus beneficios en eficiencia en coste y reducción del impacto ambiental son evidentes.
- Las tecnologías de aplicación potencial en la **iniciativa Circularidad de Nutrientes en Lechería** se basan en la automatización a los procesos de calidad y seguridad de los productos, la robotización en las etapas de paletización y empaquetamiento y la digitalización tanto para las tareas de gestión comercial de las firmas como para asegurar la trazabilidad de los productos en las diversas etapas productivas de la empresa, incluyendo almacenamiento y logísticas. Dentro de ellas comienza a difundirse la tecnología *Blockchain*, sensores, y software de control de efluentes, fertilizantes y calidad del suelo. El objetivo de todo ellos es generar eficiencia, seguridad e higiene del producto, mayor calidad y reducción del impacto ambiental.
- El **Proyecto Moves**, que parte del concepto de smartcity, requiere en el fondo un proceso de digitalización masiva de la movilidad. Las tecnologías que se ha de combinar son: sensores de la vía pública y en los medios de transporte que ofrezcan información en tiempo real sobre la situación, circunstancias y disponibilidad del servicio, internet, *Bigdata* e inteligencia artificial gestionadas en plataformas integrales con capacidad para analizar de forma global el proceso integrado de disposición del servicio de movilidad ciudadana de cara a ofrecer servicios eficientes y prácticos a la ciudadanía. Todo este nuevo concepto de movilidad va a suponer grandes ahorros en costes de energía, y reducción del impacto ambiental.
- El aspecto con mayor potencial para el proyecto **Puntos de Recarga Transporte Eléctrico** sería la incorporación de las técnicas de eco-diseño en el proceso de fabricación de los activos a instalar. El eco-diseño como metodología incorpora la variable ambiental en el diseño de los productos con el objetivo de generar proceso de fabricación más competitivos porque integran dicha variable en los requerimientos de calidad del producto

conectándolos de esta manera con las expectativas del cliente y los requerimientos de rentabilidad de inversiones de la empresa.

4. Conclusiones

4.1 Consideraciones previas

De cara a presentar las conclusiones respecto de los beneficios concretos de las iniciativas analizadas, se considera relevante resaltar una serie de aspectos previos que enlazan este documento con el 5.1 enmarcándolos dentro de la misma línea argumental de análisis.

Si se tiene en cuenta a las iniciativas existentes en los diferentes países, se puede concluir que **existe en todos ellos un compromiso con la Economía Circular y la Industria 4.0**, puesto que estas iniciativas poseen alto potencial de beneficio económico y ambiental simultáneo y también poseen el potencial de convertirse en la base del escalado de la economía circular e industria 4.0 en cada país.

Un aspecto previo e importante a destacar de cara a la implantación efectiva de estas iniciativas es la necesidad de considerar la **resistencia al cambio** implícita en toda transformación cultural en el desarrollo de proyectos de tecnología avanzada integrados en modelos de economía circular. La implantación de los modelos de economía circular soportados en tecnología 4.0 implican cambios importantes en las formas de entender las relaciones con los grupos de interés y la organización interna del trabajo en los procesos. Uno de estos cambios importantes a considerar es la evidencia de que **la implantación de la tecnología avanzada implica diseñar procesos colaborativos eficientes** entre diferentes departamentos internos de las empresas, diferentes empresas (en principio competidoras) y con la administración y el mundo del conocimiento. Ello se da, porque el riesgo de innovar, debido a las altas inversiones a aplicar, ha de ser mitigado cooperando con el resto de agentes de la cadena de valor, con la administración y el mundo del conocimiento simultáneamente.

Además, **existen también barreras de tipo regulatorio, organizativas y de mercado** que han de ser identificadas previamente y analizadas para definir una estrategia de cara a mitigar el riesgo de implementación que existe. Las principales barreras potenciales existentes para la implantación de este tipo de iniciativas analizadas y que han sido deducidas de las fuentes de información utilizadas en el desarrollo de este documento se pueden resumir en las siguientes (muchas de ellas además tienen un soporte expreso en los indicadores utilizados en el entregable 5.1):

- Los costes de inversión necesarios.
- Posibilidad de acceder a trabajadores formados en estas tecnologías.



- Estructura y cultura organizativa de las organizaciones.
- Infraestructura de telecomunicaciones del país.
- Insuficiencia de financiación y/o líneas de crédito.
- Modelos de gestión que no son capaces de reflejar el valor del retorno de las inversiones.
- Dificultades de integración de los nuevos softwares en los sistemas propios de las empresas.
- Eficacia de la regulación existente.

Otro aspecto previo a resaltar, de cara a facilitar y potenciar la implementación de estas medidas en cada país y que potenciaría la sinergia de las mismas en la obtención de beneficios globales, hace referencia a la conveniencia de definir una **estrategia global de economía circular e Industria 4.0 para cada país**. Estrategia con objetivos compartidos e iniciativas públicas, sectoriales industriales y regionales alineadas con dichos objetivos. Esto generará la captación de sinergias de iniciativas diferentes y un incremento de la imagen de todo el esfuerzo colectivo desarrollado, basado en la transparencia del proyecto integral que engloba a todas las iniciativas. El desarrollo de esta estrategia global ha de estar **soportada en una estructura organizacional pública** que coordine a nivel nacional la definición e implantación de las iniciativas prioritarias y que sea el punto de encuentro entre los requerimientos del estado en cuanto a compromisos internacionales y estrategia competitiva nacional y el impulso de los sectores industriales y regiones basado en la innovación circular y en la Industria 4.0.

Uno de los principales retos tecnológicos presente en todos los países es la necesidad básica y previa al desarrollo de todas las iniciativas específicas de consolidar el **desarrollo de estructuras de tecnologías de telecomunicación**, extenderlas e incrementar su capacidad de conexión, ya que son el soporte del avance en la implantación de la Industria 4.0. Esta medida está en la base para el desarrollo del resto de iniciativas presentadas, y su deficiencia generaría dificultades para el desarrollo de estas.

4.2 Tecnologías 4.0 aplicables por sector

A continuación, se mencionan los principales retos tecnológicos de los sectores considerados:

- **Sector Agroalimentario:** en este sector se visualiza el concepto de granjas inteligentes. La tendencia general es generar procesos productivos sostenibles. En esta industria se están utilizando servicios GPS, la tecnología 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. Ello requiere monitorizar la producción desde la predicción del rendimiento,



el monitoreo de la salud del cultivo, sus necesidades y la recuperación de los suelos para optimizar la rotación de cultivos. Se requiere incorporar datos del suelo, telemetría, software inteligente *Bigdata*/IoT y servicios en la nube.

- **Sector Lácteo:** se aplicarían tecnologías de automatización parcial de procesos asociadas a controles de calidad y seguridad de los productos, con sensores y plataformas en la nube:
 - Automatización total de procesos productivos.
 - Robotización de procesos parciales o aislados.
 - Tecnologías basadas en el dominio digital, tanto para las tareas de gestión comercial de las firmas como para asegurar la trazabilidad de los productos en las diversas etapas productivas de la empresa, incluyendo almacenamiento y logísticas.
 - Sistemas, sensores, y software de control de efluentes, fertilizantes y calidad del suelo.
- **Sector de la Minería:** en este sector, especialmente importante en Chile y México, la utilización de la tecnología 4.0 es crucial 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 y a la reducción de costes de suministro hasta el comprador final con *Blockchain*. 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, así como también la robótica y los sensores optimizarán la gestión del mantenimiento y energía utilizada, costos muy representativos de este sector. La ciberseguridad también tiene cada vez mayor importancia de cara a mantener los procesos activos.
- **Sector de la Energía:** este sector es otro de los grandes soportes de la aplicación de la tecnología 4.0 y es crucial en los cuatro países. La energía posee dos puntos de desarrollo tecnológico clave: la transmisión y distribución de energía renovable y la potencial mejora de eficiencia energética en el consumo. Respecto de la distribución y comercialización, el reto es generar la red inteligente con la sensorización; a través de los medidores y software inteligentes 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 el kWh producido y proporcionará la posibilidad de adecuar el proceso de generación a la demanda online.



- **Gestión de Residuos:** en este sector, la integración de la tecnología es plena en 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 (IA) para la transmisión de los datos y gestión de los mismos, robótica de planta en el tratamiento de los residuos y mantenimiento, y posibilidad de utilización de drones para la supervisión de vertederos. El objetivo es crear plantas de producción de materiales con procesos flexibles, en función de la composición de los materiales tratados, seguras, para los trabajadores en el tratamiento y mantenimiento e integrales, en cuanto a su capacidad de recuperación de todos los materiales.
- **Sector Manufacturero:** este sector es la principal palanca de desarrollo de la Industria 4.0, luego todos los esfuerzos para su impulso y consolidación reportarán directamente en la extensión de la Industria 4.0 en el desarrollo de la economía de los países. La manufactura está presente en las cuatro economías de forma importante y cabe la aplicación de todas las tecnologías y modelos de negocio circular planteados. La decisión de la aplicación de una u otra tecnología estará en función del mix de negocios circulares planteados en la estrategia de cada empresa y de su capacidad de incorporar los cambios de estructura y operativa implícitos.

4.3 Beneficios sociales

La unión de modelos circulares y tecnología 4.0 va a tener en el incremento del valor económico creado por los países. Este incremento de valor económico vendrá soportado precisamente por el desarrollo de los siguientes pilares necesarios para implantar el nuevo paradigma circular y tecnológico:

- **incremento de la formación tecnológica** necesaria de los profesionales;
- la **calidad de las universidades** y su participación en el desarrollo de directrices de trabajo en conjunto con las empresas;
- la **cooperación** nacional e internacional necesaria para el diseño de proyectos de innovación rentables;
- la participación de los profesionales con criterios de **igualdad en género**;
- el alineamiento con los compromisos internacionales en materia de **cambio climático** y con el resto de los **objetivos de desarrollo sostenible**;
- y la implantación efectiva de la **cultura de la innovación y la transparencia** de las estrategias para los agentes implicados.

Todos estos elementos integrados de manera coordinada soportan la mejora de las condiciones de vida de las personas. Y para ello los mismos, integralmente considerados, han de traccionar eficazmente del resto de sectores económicos soportándose en un alto grado de capilaridad del tejido socioeconómico del país, y ello depende de tres cuestiones clave:



- el **grado de liderazgo** que sea capaz de jugar la administración creando un entorno de colaboración público-privada eficaz;
- la **calidad institucional** existente basada en alta seguridad jurídica y la baja complejidad de condiciones exigidas para la creación de nuevos negocios;
- y la existencia de una **hoja de ruta consensuada** con los agentes principales que plasme la progresividad y la jerarquización de las iniciativas de acuerdo con la posición competitiva del país.

Desde la lógica utilizada en los documentos 5.1 y 5.2, se considera que el riesgo, que desde otras posiciones mediáticas se está manteniendo, consistente en la pérdida de puestos de trabajo en función de la utilización de un indicador basado en "potencial de puestos automatizables" puede ser perfectamente mitigado con la definición de una estrategia integral, progresiva, flexible y consensuada con todos los agentes sociales. Ello producirá proyectos de innovación de diferente naturaleza que crearán un contexto de transformación eficaz y eficiente para la creación de empleo de calidad.

En definitiva, lo que se está planteando con el desarrollo de estas iniciativas conjuntas basadas en modelos de economía circular y tecnología 4.0 es una **revolución ética sobre la que se soportará la competitividad del país y de las empresas**. El soporte ético a la tecnología se lo dará la economía circular, cuya filosofía está basada en los principios de sostenibilidad.



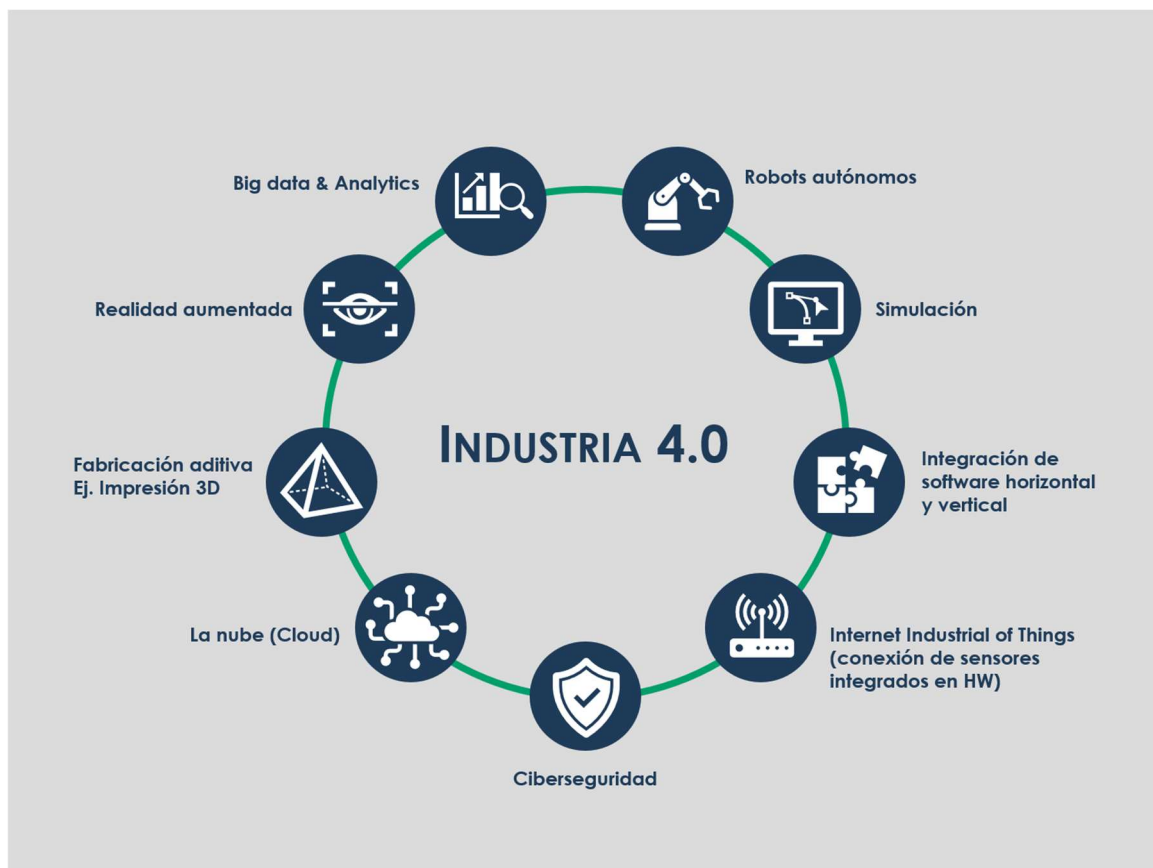
Anexo 1 – Tecnologías de la Industria 4.0

Las tecnologías de la industria 4.0 están dirigidas a implantar una fabricación avanzada, posibilitar la integración de las cadenas de valor y conectar al consumidor con el proceso productivo y modelo de negocio. En este contexto se han desarrollado una serie de tecnologías cuya implantación dependerá de la posición competitiva de cada empresa en el mercado, y de las características del sector en cuestión. Si bien es cierto que el sector manufacturero es el principal tractor de las tecnologías de la industria 4.0, ello no es óbice para no considerarlas adecuadamente en el resto de los sectores productivos, puesto que su capacidad competitiva a futuro también dependerá de su implantación.

El siguiente gráfico muestra las tecnologías de la Industria 4.0:

Figura 1. Tecnologías de la Industria 4.0.

Fuente: Kaizen mejora continua (Can, s.f.)





Las tecnologías de la Industria 4.0 son las siguientes (listado elaborado a partir de (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, de tal magnitud que son imposibles de procesar mediante herramientas convencionales, en el tiempo necesario para que sean útiles.

Cada acción realizada por los usuarios, como la pulsación en el teclado, una consulta a un buscador digital o una transacción con tarjetas, queda registrada, creando un rastro de valiosa información. Esta información es clave ya que refleja las preferencias de los usuarios, los gustos actuales y futuras tendencias que se pueden llegar a predecir a través de patrones de predicción. Ello presenta a modo de ejemplo el potencial de utilización de Big Data.

Esta tecnología ha puesto el manejo inteligente de datos al servicio de las organizaciones para permitir que estas puedan ofrecer mejores productos a sus clientes. **Sin embargo, esta tecnología sigue involucrando algunos desafíos relacionados sobre todo con la seguridad de los datos y existen aún cuestiones pendientes de resolver, como son la propiedad de los datos, el uso de la información de los usuarios y la autorización por parte de estos.** Por este motivo, se plantea el aprovechamiento de esta tecnología en conjunto con el Blockchain (tecnología de base de datos distribuida y asegurada por criptografía), ya que de su combinación el sistema de información ganará en seguridad, recopilación y clasificación precisa de datos y transparencia. Así, dentro de la Industria 4.0, la correcta gestión y análisis de estos datos ha de jugar un papel clave, sin olvidar que son los profesionales los que en última instancia serán los responsables de aportar valor en la integración y proyección de los datos, permitiendo dar un salto cualitativo a la empresa.

- **Robótica colaborativa/avanzada:** la automatización es vital para las fábricas, ya que permite optimizar los procesos, ahorrando energía, costes y tiempo. Los robots colaborativos (cobots) fueron creados para ayudar a las personas realizando 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:** se trata de la evolución de internet. Esta evolución supone un cambio radical en la calidad de vida de las personas y en cómo se relacionan, ya que ofrece una gran cantidad de nuevas oportunidades permitiendo la conexión de dispositivos y la interacción entre ellos o bien con dispositivos centralizados.
- **Computación en la nube:** se trata de plataformas que 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 no solo permiten el almacenamiento de datos, sino que también permiten utilizar softwares 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. Así, mediante impresoras 3D se fabrican piezas complejas en un tiempo reducido a un coste competitivo ya que se reducen los costes logísticos.
- **Ciberseguridad:** se trata de la protección de la información digital. Debido a la gran evolución que han supuesto las nuevas tecnologías, la protección de los sistemas de información y comunicación gana importancia, especialmente en un momento en el que la interconexión entre dispositivos y sistemas está presente. Así, la ciberseguridad asegura la protección, privacidad y seguridad de las empresas, asegurando toda la información disponible sobre las mismas.
- **Realidad aumentada:** la realidad aumentada utiliza el entorno físico para proporcionar datos e información en tiempo real. Esta tecnología es una herramienta que puede ser usada para dar soporte a los procesos productivos y que mejora la toma de decisiones a partir de la información que proporciona.
- **Integración horizontal y vertical de sistemas:** los sistemas permiten integrar las tecnologías operacionales con las tecnologías de la información y la comunicación. Conectan máquinas con máquinas, máquinas con productos, e integran las distintas áreas de la unidad productiva, impactando sobre la gestión interna de la empresa. Pero, además, permiten a través de plataformas digitales, la conexión entre la empresa y otros actores de su cadena de valor como 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 o no. Estos cálculos son los que les permiten aprender para, finalmente, generar decisiones y resultados fiables. **La denominada inteligencia artificial y los sensores**, combinados con la computación de la nube, ofrecen un abanico cada vez mayor de soluciones que permiten un salto cualitativo en cuanto a la flexibilidad, uno de los factores clave de la Industria 4.0.



- **Sensores:** lo que aportan los sensores al sistema es la conectividad de los elementos del hardware y constituyen un elenco de accionadores eléctricos y sensoriales en los elementos físicos. Todo ello se complementa con la aplicación de internet en las empresas para la transmisión de datos y abrir así la puerta a un concepto revolucionario como es la “producción descentralizada”.



Referencias

- Accenture. (2014).** *Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World Without Limits to Growth*. Retrieved from https://www.accenture.com/t20150523T053139__w__/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_6/Accenture-Circular-Advantage-Innovative-Business-Models-Technologies-Value-Growth.pdf
- Automotive Supply News. (n.d.).** *Automotive Supply News*. Retrieved from <https://www.automotivesupplynews.com.mx/2018/11/21/industria-4-0-futuro-en-el-sector-automotriz-e-industrial/>
- BENLESA. (2003, 09 23).** *Monterrey III: Proyecto de ampliación*. Retrieved from http://www.cca.org.mx/ps/funcionarios/muniapp/descargas/Documentos_de_apoyo/otros/Benlesa-Simeprode_Proyecto_Mty_III.pdf
- Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel. (2020).** *Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel*. Retrieved from <http://camaradelpapel.mx/>
- Can, M. G. (s.f.).** *Kaizen, Mejora Continua*. Recuperado el 31 de 8 de 2020, de <https://manuelguerrerocano.com/cuarta-revolucion-industrial-transformacion-digital-la-industria-4-0/>
- Cornell University, I. t. (n.d.).** *The Global Innovation Index 2019: Creating Healthy Lives—The Future of Medical Innovation, Ithaca, Fontainebleau, and Geneva*.
- Díaz Rodríguez, B., Rodríguez, D. B., Montañés Foz, M., Bodas Rodríguez, R., & García García, J. J. (2020).** Retos tecnológicos en ganadería de vacuno de carne. *Ganadería. Revista Técnica Ganadera*. Retrieved from http://www.revistaganaderia.com/manejo/vacuno-de-carne/retos-tecnologicos-en-ganaderia-de-vacuno-de-carne_12110_160_15172_0_1_in.html
- Ellen MacArthur Foundation. (2015).** *Delivering the circular economy – a toolkit for policymakers*. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/delivering-the-circular-economy-a-toolkit-for-policymakers>
- Erbes, A., Gutman, G., Pablo, L., & Robert, V. (2019).** *Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44954/1/S1901011_es.pdf



- FAO. (2009).** *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. La Ganadería, a Examen.* Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i0680s/i0680s00.pdf>
- FAO. (2017).** *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.* Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-l7658s.pdf>
- Ferrovial. (2019, 07 10).** *Ferrovial blog.* Retrieved from La Industria 4.0, hacia el futuro del tratamiento de residuos: <https://blog.ferrovial.com/es/2019/07/el-futuro-del-tratamiento-de-residuos/>
- Ford. (2018).** Exoesqueleto: tecnología que integramos para reducir la fatiga y lesiones en los trabajadores de Ford de México. Retrieved from <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/mx/es/news/2018/08/07/exoesqueleto--tecnologia-que-integramos-para-reducir-la-fatiga-y.html>
- Ford. (2018).** *Ford 4.0: la Nueva Revolución Industrial.* Retrieved from <https://www.ford.mx/blog/legado/nueva-revolucion-industrial-201809/>
- Gerens Escuela de Posgrado. (2017, 10 27).** Retrieved 10 14, 2020, from La innovación minera y la tecnología: <https://gerens.pe/blog/innovacion-minera-y-la-tecnologia/>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018).** *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.* World Bank, Urban Development, Washington, DC. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Miclovic, D. (2020, 03 30).** En la Minería, Industria 4.0 se Traduce en APM 4.0. Retrieved 10 14, 2010, from En la Minería, Industria 4.0 se Traduce en APM 4.0: <https://www.aveva.com/es-ES/Resources/Blog/Industry-mining-translates-to-apm>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2020, 10 20).** *¿Qué son los inventarios de Gases de Efecto invernadero?* Retrieved from <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/son-inventarios-gases-efecto-invernadero>
- Mujer Emprendedora. (2018, 10 11).** *enerTIC organiza el Foro de Industria 4.0.* Retrieved 10 14, 2020, from <https://www.mujeremprendedora.net/enerTIC-organiza-foro-de-industria-4-0/>
- Nissan Motors Corporation. (2012, 03 22).** *Nissan Motors Corporation. Sala Oficial de Prensa.* Retrieved from <https://mexico.nissannews.com/es-MX/releases/el-ayuntamiento-de-aguascalientes-ener-g-y-nissan-inauguran-la-generaci-n-de-energ-a-el-ctrica-limpia-a-partir-de-biog-s-en-el-relleno-sanitario-san-nicol-s>



- NTX. (2010, 1 1).** *Informador.MX*. Retrieved from NTX:
<https://www.informador.mx/Mexico/Relleno-sanitario-genera-alumbrado-publico-en-Monterrey-20100101-0116.html>
- OECD. (2019).** *Business Models for the Circular Economy. Opportunities and Challenges for Policy*. Paris: OECD Publishing.
doi:<https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>
- 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. Retrieved from
https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-Spanish_overview_0.pdf
- paralelo19.mx. (2020, 02 20).** Apuesta Volkswagen de México por industria 4.0.
paralelo19.mx.
- Petstar. (2019).** *Informe de Sustentabilidad 2019*.
- PwC España. (2015).** XIV Encuesta Mundial del Sector Eléctrico y de Energía. Retrieved 10 14, 2010, from
https://www.youtube.com/watch?v=6eZOevmPHYA&feature=emb_titl
- Reportero Industrial. (2019).** Cemex lleva la inteligencia operacional a la industria del cemento. *Reportero Industrial*. Retrieved from
<https://www.reporteroindustrial.com/temas/Cemex-lleva-la-inteligencia-operacional-a-la-industria-del-cemento+131359>
- Tiempo Minero. (2020).** Automatización en sector minero, ¿un enemigo? *Tiempo Minero*. Retrieved from
<https://camiper.com/tiempominero/automatizacion-minera-es-un-enemigo-al-acecho/>
- Travel Leisure. (2019, 5 8).** *La plataforma Ecolana busca poner fin al problema de la basura en la CDMX*. Retrieved from
<https://travelandleisure.mx/green-travel/2019/05/08/ecolana-el-mapa-de-la-cdmx-que-muestra-donde-puedes-reciclar-tu-basura/>
- Universitat de Lleida. (n.d.).** *Agricultura de Precisión*. Retrieved 10 14, 2020, from Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión:
<http://www.grap.udl.cat/es/index.html>
- World Economic Forum. (2017).** *Digital Transformation Initiative Mining and Metals Industry*. Ginebra. Retrieved from
<http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-mining-and-metals-industry-white-paper.pdf>



ESTE REPORTE ES CARBONO NEUTRO

Factor neutraliza su huella de carbono y se ha convertido en la primera empresa española en certificar la neutralidad de sus emisiones bajo la norma PAS 2060.



La organización está inscrita en el Registro de Proyectos de Huella, Compensación y Absorción de Carbono del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España



Como demostración de su compromiso, Factor calcula la huella de carbono de cada proyecto y la compensa con unidades de valor oficiales en virtud del Protocolo de Kioto.

Este proyecto será carbono neutro.