

Produto 5.2

Diagnóstico do benefício potencial da aplicação da Indústria 4.0 a modelos de economia circular no Brasil, Chile, México e Uruguai

Projeto: Avaliação da situação atual da Economia Circular para o desenvolvimento de um Roteiro para o Brasil, Chile, México e Uruguai

RFP/UNIDO/7000003530

Novembro de 2020

Factor
Ideas for change



ASDF

Americas Sustainable Development Foundation

 **CTCN**

CLIMATE TECHNOLOGY CENTRE & NETWORK



www.wearefactor.com



ÍNDICE

1. Introdução	6
2. Modelos de negócio circulares e sua relação com as tecnologias da Indústria 4.0.....	7
2.1 Modelos de negócio circulares	7
2.2 Modelos de negócio circulares e tecnologias 4.0 em diferentes setores....	9
2.2.1 Agricultura.....	10
2.2.2 Pecuária	12
2.2.3 Setor de Laticínios	13
2.2.4 Mineração	14
2.2.5 Energia	16
2.2.6 Gestão de resíduos.....	18
3. Benefícios da aplicação de modelos e tecnologias disruptivas às iniciativas de economia circular	20
3.1 Brasil.....	21
3.1.1 Iniciativas consideradas.....	21
3.2 Chile	28
3.2.1 Iniciativas consideradas.....	28
3.2.2 Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais.....	30
3.3 México	36
3.3.1 Iniciativas consideradas.....	36
3.3.2 Enfoques de modelos de negócio circular, tecnologias 4.0 aplicáveis e benefícios potenciais	39
3.4 Uruguai	43
3.4.1 Iniciativas consideradas.....	43
3.4.2 Enfoques dos modelos de negócio circular, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais.....	45
4. Conclusões	49
4.1 Considerações anteriores.....	49
4.2 Tecnologias 4.0 aplicáveis por setor.....	50
4.3 Benefícios sociais.....	52
Anexo 1 - Tecnologias da Indústria 4.0	54
Referências	57



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de negócio circulares	8
Tabela 2. Penetração de mercado de modelos de negócio circulares	8
Tabela 3. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Brasil	24
Tabela 4. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Chile	31
Tabela 5. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no México	39
Tabela 6. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Uruguai	45

ANEXOS:

Anexo 1. Tecnologias da Indústria 4.0	48
---	----



ÍNDICE DE ABREVIATURAS

IA	Inteligência artificial
ANIQ	Associação Nacional da Indústria Química
AR	Realidade Aumentada
CAMIPER	Câmara de Mineração do Peru
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EC	Economia Circular
ESE	Empresa de Serviços de Energia
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEI	Gases do Efeito Estufa
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IoT	Internet das coisas
IIoT	Internet Industrial das coisas
ISPA	Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
ML	Machine Learning
MRO	Manutenção, Reparo e Operações
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
PACTI	Planos de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação
PBS	Succinato de polibutileno
PC	Computador Pessoal
PCM	Produto Como Serviço
PET	Polietileno Tereftalato
PHA	Polihidroxialcanoatos
PLA	Ácido polilático
PROFEFA	Procuradoria Federal de Proteção Ambiental
PTIC	Parque Tecnológico Industrial do Cerro
PME	Pequenas e Médias Empresas
RFID	Identificação por radiofrequência



RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais
TIC	Tecnologias da Informação e das Comunicações
VR	Realidade Virtual
WEF	Fórum Econômico Mundial



1. Introdução

Este relatório apresenta os resultados do produto 5.2, intitulado **Diagnóstico do benefício potencial da aplicação da Indústria 4.0 aos modelos de Economia Circular em cada país participante, como parte do Produto 5 do projeto de Avaliação da situação atual da Economia Circular para o desenvolvimento de um Roteiro para o Brasil, Chile, México e Uruguai RFP/UNIDO/7000003530.**

Por meio de uma análise dos avanços atuais nas principais tecnologias da quarta revolução industrial compatíveis com a Economia Circular (CE), serão apresentados os benefícios para as diferentes iniciativas identificadas em cada país.

Este produto baseia-se na definição de modelos de negócios circulares de acordo com as metodologias apresentadas pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a Fundação Ellen MacArthur e a empresa de consultoria Accenture. **O objetivo é alinhar as iniciativas identificadas dos países com estes modelos e apoiá-las na sua implementação com tecnologias da Indústria 4.0,** permitindo-lhes desta maneira tornar mais eficientes os seus processos produtivos e serviços, otimizar o uso de recursos e energia, e desenvolver novos modelos de negócios.



2. Modelos de negócios circulares e sua relação com as tecnologias da Indústria 4.0

2.1 Modelos de negócios circulares

Existem várias maneiras de classificar modelos de negócios circulares. A Fundação Ellen MacArthur, por exemplo, propõe a chamada "**ReSOLVE framework**" (Ellen MacArthur Foundation, 2015) que inclui modelos de negócios que fazem referência à regeneração ("regenerate"), ao compartilhamento de ativos ("share"), à otimização ("optimise"), à recuperação de ativos e resíduos ("loop") ou à virtualização ("virtualize").

Por sua vez, tanto a Accenture (Accenture, 2014) quanto a OCDE (OECD, 2019) identificam cinco negócios circulares:

- **Suprimentos circulares** ("circular supplies"): promover a substituição de matérias-primas tradicionais por meio da introdução de materiais renováveis ou recuperados.
- **Recuperação de recursos** ("resource recovery"): produzir matéria-prima secundária a partir de resíduos.
- **Extensão do ciclo de vida** ("product life extension"): que inclui tanto o condicionamento ("refurbishment") e a remanufatura ("remanufacturing"). Seu objetivo é prolongar a vida útil do produto.
- **Plataformas compartilhadas** ("sharing platforms"): compartilhar produtos e ativos.
- **Produto como serviço ou PCM** ("product as a service"): converter produtos em serviços, desde que a propriedade do produto permaneça com o fornecedor.

A **Tabela 1** apresenta a principal característica de cada modelo circular, o vetor de eficiência no uso dos recursos naturais, os subtipos de cada modelo de negócio circular e os principais setores que predominam atualmente.



Tabela 1. Modelos de negócio circulares

Fonte: Modelos de negócio para a economia circular (OECD, 2019)

	Suprimentos circulares	Recuperação de recursos	Extensão do ciclo de vida	Plataformas compartilhadas	Sistema de produto/serviço
Característica principal	Substituir materiais tradicionais por renováveis	Geração de matérias-primas secundárias	Vida útil mais longa	Aumento da utilização de ativos e produtos.	Trocar produtos por serviços
Vetor de eficiência no uso de recursos materiais	Fechamento de ciclos de material	Fechamento de ciclos de material	Reduzir a entrada de materiais	Ativos compartilhados	Eficiência de operação e manutenção
Subtipos de modelo	"Cradle to Cradle" (do berço ao berço)	Simbiose Industrial Reciclagem, upcycling, downcycling	Reparar, reutilizar, remanufaturar, recondicionar.	Co-acesso Copropriedade	Orientado para o produto, para o cliente, para resultados
Setores principais	Diversos setores de consumo/pródutos	Metal Papel Plástico	Automóveis Máquinas pesadas Eletrônicos	Transporte Habitação Máquinas Produtos de consumo	Transporte Químico Energia

Os modelos de negócio diferem em um nível teórico, mas na prática eles estão interconectados. Assim, uma iniciativa que parta de um deles pode gerar outro modelo circular. Por exemplo, um negócio de produto como serviço pode, subsequentemente, levar a iniciativas de extensão do ciclo de vida do produto.

O grau de penetração dos modelos de negócio circulares é limitado e, até o momento, só ocorreu em alguns setores produtivos, conforme mostra a **Tabela 2**. Essa implementação depende basicamente da qualidade da estrutura institucional, do comportamento do cliente e do grau de desenvolvimento das tecnologias digitais.

Tabela 2. Penetração de mercado de modelos de negócio circulares

Fonte: Modelos de negócio para a Economia Circular (OECD, 2019)

Negócio circular	Setor	Grau de Penetração	Observações
Recuperação: Reciclagem	Polpa e papel Metal Plástico	38% 2-30% 13%	Da produção total
Extensão: Recondicionamento	Smartphone	4-8%	Do total anual de manufaturas



Extensão: Remanufatura	Aeroespacial Máquinas Automóveis	2-12% 3-4% 1%	Do total manufaturado
Plataformas: Co-acesso	Habitação	1-6%	Do total das reservas de curto prazo.
PCM: produtos químicos, orientados para resultados	Automóveis Aeroespacial	50-80% 5-15%	Do total manufaturado
PCM: conteúdo digital orientado para resultados.	Música Livros	50% 25-35%	Do faturamento total
PCM: iluminação e calor, orientados para resultados	Diversos	4-7.5%	Do potencial das Empresas de Serviços de Energia (ESE)
PCM: transporte compartilhado, orientado para o cliente	Transporte	Menos de 1%	Da frota total.

É importante observar que os modelos de negócio circulares não estão muito difundidos, portanto, há um longo caminho a percorrer para o seu desenvolvimento futuro. A chave para a velocidade e profundidade dessa jornada estará baseada na capacidade do país de incorporar a Indústria 4.0 ao projeto dos modelos de negócio. Pode-se afirmar que, se a concepção do modelo de negócio se inspirar no conceito de economia circular, a sua efetiva implementação dependerá da capacidade de enfrentar o desafio tecnológico da Indústria 4.0.

2.2 Modelos de negócio circulares e tecnologias 4.0 em diferentes setores

Todas as tecnologias da Indústria 4.0 identificadas no produto 5.1 e reproduzidas no **Anexo 1** são aplicáveis com um maior ou menor grau de complexidade, integração e flexibilidade a todos os modelos de negócio circulares. Além disso, deve-se levar em consideração que a aplicação de uma tecnologia pode começar com um determinado modelo e posteriormente afetar vários modelos de negócio ao mesmo tempo.

A implementação das tecnologias 4.0 em modelos de negócio circulares dependerá fundamentalmente da intensidade tecnológica de cada setor, da dimensão das empresas existentes no país e do contexto competitivo de cada uma das empresas.

As tecnologias da indústria 4.0 em modelos de negócio circulares buscam ganhar capacidade competitiva para as empresas, em um setor e mercado específicos, por meio de três linhas de trabalho: automação, conectividade e gestão inteligente de muita informação em tempo real. O objetivo disso é desenvolver estratégias e operações preditivas. Isso quer dizer que a competitividade das empresas se baseia na capacidade de antecipar as expectativas do cliente. Nesse sentido, deve-se levar em conta que a economia circular busca abandonar o conceito da produção em massa, cujo estratégia



está centrada em alcançar a excelência operacional do próprio processo produtivo, para desenvolver uma produção personalizada com foco no cliente. Isso significa que o desenho do processo produtivo se ajusta às mudanças de expectativa do cliente.

Nesse contexto, o desafio consiste em conceber um modelo de gestão capaz de responder antecipadamente às expectativas dos clientes de forma eficaz, através de uma estratégia de redução do impacto ambiental. Esse desafio, mais do que de forma conceitual, está representado de forma real nos diversos setores da economia.

Por esse motivo, são analisados a seguir os desafios da Indústria 4.0 nos setores mais representativos dos quatro países em estudo em relação aos objetivos dos modelos de negócios circulares. A seleção desses setores foi feita com base nas iniciativas analisadas e na sua importância em termos de desenvolvimento econômico e social no âmbito internacional. Os setores analisados são: agricultura, pecuária, energia, mineração, gestão de resíduos e laticínios.

2.2.1 Agricultura

Segundo a FAO, os **dois grandes desafios** do setor agrícola são enfrentar as mudanças climáticas (já que podem causar potenciais perdas de eficiência nas safras) e enfrentar o constante crescimento populacional (FAO, 2017). Esse crescimento implica, simultaneamente, a necessidade de uma maior produtividade e qualidade para o consumo das safras. A agricultura mundial precisará produzir cerca de 70% mais alimentos do que em 2006. Por outro lado, a pressão sobre os preços no mercado mundial força os agricultores a se concentrarem na eficiência e na qualidade da produção em grande escala.

Esses desafios exigem um modelo de produção flexível e eficiente. Isso significa que é necessário ter um alto conhecimento em tempo real de todas as variáveis que afetam sua eficiência, tais como: ambiente das lavouras, solos, incidência de doenças, administração otimizada de insumos e características genéticas das sementes com o objetivo de ter mais competitividade. Somente um projeto agrícola baseado em tecnologia avançada fornecerá o conhecimento necessário sobre as circunstâncias físicas inerentes à produção. Essa tecnologia também deve permitir uma gestão específica para cada propriedade agrícola e até mesmo com graus significativos de variabilidade no mesmo terreno. O objetivo é produzir com mais eficiência em condições ambientais mais complexas.

A resposta a esse desafio tem sido chamada de **"agricultura de precisão"**, cuja chave é melhorar a resiliência das propriedades agrícolas por meio da incorporação de novas tecnologias já disponíveis. A *International Society of Precision Agriculture* – ISPA a define da seguinte maneira: "A estratégia de gestão que coleta, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gestão de



acordo com a variabilidade estimada, e assim melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola" (Universitat de Lleida, s.f.).

Essa forma de agricultura envolve potencialmente todos os modelos de negócios circulares identificados anteriormente neste relatório, bem como o objetivo inerente de apoiá-los com a tecnologia 4.0, que é aumentar a capacidade competitiva das empresas através de três eixos:

- **Social:** Aumento da valorização dos serviços ecossistêmicos na comunidade e região da propriedade agrícola.
- **Ambiental:** redução do impacto vinculado à atividade agrícola (limitações da dispersão de nitrogênio).
- **Eficiência:** aumento da competitividade por meio de práticas mais eficientes e melhoria da gestão; considerando a redução do consumo de água, insumos, energia e a menor incidência de doenças nas lavouras com o uso de tipos cada vez mais resistentes e adequados ao ambiente.

Quanto ao objetivo das tecnologias aplicadas aos modelos de economia circular envolvidos na agricultura de precisão, podem ser destacadas as seguintes etapas básicas (Universitat de Lleida, s.f.):

- **Conhecimento das condições específicas das informações sobre o cultivo:** que permitirão que sejam sobrepostos diferentes tipos de informações, tais como: rendimentos históricos, análise do solo, mapas e posicionamento por satélite, situação da colheita, podendo alcançar até mesmo o nível da planta e outras condições ambientais que afetam a produção, o que permitirá projetar um manejo mais eficiente dos insumos do cultivo, tempo, quantidade e aplicação.
- **Análise e aplicação:** uma vez extraídos e analisados os dados que determinam a flexibilidade do processo produtivo do terreno, ajustados às suas especificidades, serão aplicados o tipo e a quantidade de sementes e fertilizantes para o momento e quantidade precisos. Assim, dentro de um mesmo terreno, será possível um maior nível de precisão e eficiência graças aos sensores implantados nele, nos tratores e nos demais ativos da propriedade agrícola, possibilitando assim a realização de semeaduras com densidade variável e até mesmo a aplicação automática do nitrogênio e produtos fitossanitários de forma específica.

Assim, as potenciais tecnologias de aplicação combinada a ativos neste tipo de gestão podem ser resumidas da seguinte forma: robôs, veículos autônomos sensorizados, drones, imagens de satélite, Internet das coisas (*IoT - Internet of Things*), aplicativos móveis, *bigdata* e inteligência artificial (*Machine Learning*).



2.2.2 Pecuária

Em âmbito global, pecuária futura tem **três desafios principais** que definirão seu desenvolvimento e seu contexto competitivo (FAO, 2009):

- a grande pressão que exerce sobre os ecossistemas e a consciência de que afeta significativamente as mudanças climáticas,
- o possível aumento da propagação de enfermidades animais com risco para os humanos devido ao aumento dos fluxos de comércio internacional e à concentração de propriedades agrícolas próximas às populações humanas,
- e o papel a ser desempenhado pelo setor para a redução da pobreza e para assegurar a segurança alimentar.

Ressalta-se que esses desafios têm caráter genérico e precisam ser diferenciados quando contrastados com as especificidades da produção pecuária em cada país. No Uruguai, por exemplo, a pecuária é realizada principalmente em pastos naturais e sua NDC estabelece metas para melhorar a eficiência da produção de carne em relação às emissões de gases de efeito estufa (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020).

De qualquer maneira, é aceitável considerar que, diante desses desafios genéricos, um novo modelo de pecuária, conhecido como "**pecuária de precisão**", pode desempenhar um papel decisivo no sentido de solucioná-los. Não há definição formal disso, mas, nos campos acadêmicos e empresariais, a pecuária de precisão é conhecida como "o uso coordenado de sensores para a medição de fenótipos animais, parâmetros ambientais, fisiológicos e sistemas de intercâmbio, armazenamento, transformação e geração de informações ao pecuarista para ajudá-lo em sua tomada de decisões diárias por meio da tecnologia" (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020).

Seu impulso é posterior à agricultura de precisão, mas basicamente participam das mesmas diretrizes de ação. Pode-se dizer que esta nova forma de entender a produção pecuária alinha-se perfeitamente com os modelos circulares apresentados. O significado final desta prática é baseado no manejo individualizado da propriedade agrícola e do gado para atingir níveis mais altos de eficiência.

Segundo as fontes de informação do setor (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020), a **incorporação das novas tecnologias de informação e comunicação (TICs)** na gestão diária da propriedade agrícola, para a coleta de informações sobre parâmetros, irá melhorar as taxas de rentabilidade obtidas pelo agricultor, e, simultaneamente, reduzir o impacto ambiental dos processos produtivos e proporcionar maior bem-estar e saúde aos animais e, conseqüentemente, maior qualidade do produto final. O potencial de gerenciamento de informações específicas e



inclusive individualizadas em tempo real fará com que a pecuária evolua para um modelo preditivo, permitindo assim ao gestor se antecipar às circunstâncias para ganhar eficiência e qualidade. A aplicação da tecnologia 4.0 ao setor será decisiva para aumentar a sua capacidade competitiva, sendo cada vez mais padronizada a utilização de técnicas de inteligência artificial e tecnologias como a internet das coisas (IoT) e *bigdata* para o melhoramento da pecuária intensiva através da otimização no cuidado dos animais.

Segundo Díaz Rodríguez, entre outros, (Díaz Rodríguez, Rodríguez, Montañés Foz, Bodas Rodríguez, & García García, 2020) com os elementos de sensorização, como coleiras inteligentes, cercas virtuais, sensores nos comedouros, drones, sensores de movimento e robótica de ordenha e limpeza, será possível monitorar os parâmetros físicos e biológicos do animal e serão obtidos e processados dados precisos em tempo real em um ambiente de cloud computing.

Desta forma, será possível saber quais variáveis influenciam no bem-estar animal, detectar precocemente qualquer anomalia e reagir rapidamente a qualquer fator que indique um problema alimentar ou de saúde. Essas tecnologias maximizam o potencial individual do animal, permitem a detecção precoce de patologias e ajudam a minimizar o uso de medicamentos por meio de medidas de prevenção sanitária.

A tecnologia mais recente que chegou ao setor e que com toda probabilidade regerá a rastreabilidade e as futuras transações comerciais no mercado mundial de carne bovina é o chamado "*Blockchain*", que poderá registrar rapidamente e com um custo mínimo muitíssimas operações em uma infinidade de computadores, com a garantia total de que posteriormente ninguém poderá apagar ou modificar o que foi anotado.

Tecnologia, sensores, robôs e inteligência artificial também serão decisivos na exploração de plantas para a conversão de resíduos em energia e fertilizantes.

2.2.3 Setor de Laticínios

As inovações tecnológicas do setor estão intimamente relacionadas com as do item anterior e, portanto, o mencionado acima no que diz respeito à gestão da pecuária também é relevante.

Os **desafios** fundamentais da inovação para o setor de laticínios correspondem às tecnologias de automação de processos associadas aos controles de qualidade e segurança dos produtos, com sensores e plataformas em nuvem (Erbes, Gutman, Pablo, & Robert, 2019). Esses desafios estão estruturados em quatro eixos:

- **Automação total dos processos produtivos**, combinando software, hardware, sensores e equipamentos industriais em empresas com sistemas integrados de automação. Esses sistemas permitem o controle integrado de todo o processo desde o pré-processamento do leite, o processamento e controle dos lotes finais, o compartilhamento e a



centralização das informações para assegurar a segurança e a qualidade das matérias-primas e produtos.

- **Robotização** de processos parciais ou isolados (robôs de seleção e colocação), como visto em algumas empresas de processamento de queijo, e nas etapas de embalagem e "paletização". Entretanto a robotização de todo o processo de produção ainda não foi alcançada.
- **Tecnologias baseadas no domínio digital**, tanto para as tarefas de gestão comercial das empresas, como para assegurar a rastreabilidade dos produtos nas várias fases produtivas da empresa, incluindo armazenamento e logística. Dentro delas, a tecnologia *blockchain* começa a se difundir para assegurar rastreabilidade, controle e comunicação em todos os estágios das cadeias de valor do complexo dos laticínios. Essas tecnologias garantem a qualidade e segurança dos alimentos, garantem o controle da origem de cada insumo e facilitam as estratégias just-in-time e a "customização" da produção, promovendo a coevolução entre as inovações tecnológicas e organizacionais.
- **Sistemas, sensores e software de controle de qualidade de efluentes, fertilizantes e solo.**

O que se demonstra a partir disso é o grande impacto e relevância da Indústria 4.0 no desenvolvimento de novos modelos de negócio de economia circular com menor impacto ambiental e maior eficiência econômica simultaneamente.

2.2.4 Mineração

O setor da mineração possui três características que determinam seu contexto competitivo: (i) é intensivo no uso de ativos, logo seus custos de manutenção e operação são muito elevados, (ii) tem um impacto ambiental considerável, o que dificulta a defesa de sua reputação social e (iii) o risco para a segurança dos seus trabalhadores é fundamental na concepção de suas operações, afetando assim seus custos.

Nesse contexto, o impulso da **forte inclusão de novas tecnologias digitais** em todo o processo de mineração e a automação que vem sendo implementada gradativamente nas empresas desde a exploração à distribuição e à logística tem uma lógica importante do ponto de vista da melhoria de sua competitividade, visto que possibilitam o acompanhamento do processo integral, o que leva à possibilidade de realização de uma projeção preditiva do mesmo, permitindo elevar os padrões de segurança ocupacional e ambiental e economizar custos de manutenção e operação.

O Fórum Econômico Mundial (WEF) identificou as áreas que terão um papel muito importante na transformação automática e digital da mineração (World Economic Forum, 2017). As grandes mineradoras se concentram, inicialmente, em controlar e automatizar algumas atividades e sistemas de forma isolada.



Posteriormente, começam a colocar infraestrutura e serviços de telecomunicações em todas as áreas da mina, para finalmente automatizar, controlar e digitalizar todas as atividades.

O desenvolvimento de uma mina totalmente automatizada e controlada envolve uma série de etapas e tecnologias. Partindo de uma primeira fase de automação isolada, inicia-se a instalação da infraestrutura de telecomunicações em todos os espaços das minas subterrâneas e a céu aberto, tais como: cabeamento estruturado, fibra ótica, salas de controle, links sem fio, redes Wi-Fi, equipamentos de telefonia, servidores, dispositivos para expansão do sinal de celular, nós de comunicação móvel, circuito fechado de televisão, controle de acesso, detecção e supressão de incêndios e comunicação por rádio. O objetivo da instalação dessa infraestrutura é oferecer serviços de telecomunicações, como comunicação digital por rádio, telefonia pela internet, vídeo, sistemas de RFID, sinal de celular e conectividade sem fio Wi-Fi (World Economic Forum, 2017).

Posteriormente, continua-se a digitalização do processo e a integração de todos os sistemas que o compõem, ou seja, a criação de cópias virtuais em tempo real de cada uma das atividades de mineração, por meio das informações fornecidas por sensores ou dispositivos eletrônicos localizados em equipamentos, máquinas, veículos, pessoas, etc. Entre os sistemas a serem digitalizados e integrados estão sistemas de localização e rastreamento, sistemas de evacuação, sistemas anticolisão, geocercas, monitoramento de energia, monitoramento de gases, telemetria de equipamentos, vídeo em movimento. A ideia é gerenciar as informações de todos os sistemas do processo de mineração em um único banco de dados centralizado, para posteriormente operá-los e controlá-los remotamente, bem como planejar ações futuras na mina (World Economic Forum, 2017).

Corroborando com o anteriormente exposto, na opinião de Kurt Goldman, Diretor de Treinamento da CAMIPER, Escola de Altos Estudos, Câmara de Mineração do Peru, **o setor de mineração tem vários desafios a serem superados**, entre eles: a necessidade de aumentar a produtividade de suas operações, reduzir custos, utilizar fontes de energia renováveis, controlar o impacto ambiental e, acima de tudo, identificar e controlar os perigos inerentes e emergentes a que estão expostos milhares de trabalhadores. É evidente que todos esses desafios podem ser superados com a implementação de tecnologia de ponta para a obtenção de processos automatizados, e até mesmo aplicando inteligência artificial (IA) dadas as amplas vantagens que isso implicaria, comparando-a naturalmente com uma operação menos tecnológica ou onde, aparentemente, o fator humano é o elemento que reduz a eficiência do sistema (Tiempo Minero, 2020).

Nesta mesma linha, Dan Miklovic, pesquisador da LNS Research, afirma que **a gestão do desempenho de ativos 4.0 constitui uma mudança radical na forma como uma empresa realiza a manutenção**. O modelo utilizado na Indústria 4.0 depende de sistemas ciberfísicos para mudar fundamentalmente a maneira



como uma empresa opera. Ele se baseia em um conjunto de tecnologias críticas (Miclovic, 2020):

- Internet industrial das coisas (IIoT), conectividade integrada que permite a extensão do ciclo de vida e a servitização dos produtos.
- *Bigdata* analytics. Análise preditiva, utilizando a inteligência artificial (IA) e o aprendizado automático (ML), combinado com a modelagem e a simulação.
- Sensores de mobilidade e posição para fornecer informações em qualquer lugar sobre qualquer dispositivo.
- Realidade aumentada/realidade virtual (AR/VR) para apresentar informações em uma experiência aprimorada ao usuário e o uso de gêmeos digitais.

Em relação à segurança das operações, a escola de gestão da Minera Gerens (Gerens Escuela de Posgrado, 2017), define claramente um ambiente automatizado onde **as máquinas de controle remoto e a ventilação inteligente** são os dois casos de aplicação de tecnologia que se mostraram mais críticos para melhorar a segurança e a eficiência nas minas. Esses aplicativos de controle remoto com múltiplas fontes de feedback ajudam a reduzir o pessoal nas áreas e momentos mais perigosos. Por sua vez, isso melhora a produtividade, pois reduz o tempo entre um incidente e a entrada dos mineiros na área.

2.2.5 Energia

Energia é talvez o setor com maior impulso e dinamismo no processo de incorporação de novos modelos de economia circular e digitalização. Isso pode ser deduzido das estratégias divulgadas por todas as grandes empresas do setor e também pode ser endossado pelas opiniões de seus executivos, como será mostrado a seguir.

Da análise dessas estratégias atuais, pode-se deduzir que **as linhas de trabalho definidas pelas empresas do setor de energia se baseiam principalmente em três pilares:**

- a descarbonização com a aplicação de modelos de negócio circulares baseados em um mix renovável;
- a tendência à descentralização da produção; e
- a necessidade de uma digitalização aplicável aos processos de operação/manutenção e relacionamento com os clientes.

São três eixos que definem o contexto competitivo do setor em todo o mundo. Ou seja, energias renováveis, menor produção em grandes centros e clientes ativos e informados produzirão mudanças na estrutura de distribuição apoiadas em uma rede mais inteligente, o que possibilitará a redução de perdas e a aplicação de estratégias de melhoria na eficiência energética, com base na



colaboração produtor/cliente. Essas mudanças implicam na implementação de novos modelos de negócio circulares apoiados na digitalização e forçosamente na tecnologia 4.0.

Uma das grandes conclusões do Fórum enerTIC sobre o impacto das tecnologias 4.0 no setor é que **o cliente será o foco central dos novos negócios em energia**, e as empresas do setor entendem que a transformação digital é o meio para atingir os objetivos exigidos pelo cliente, ou seja, energia mais barata, de qualidade e sustentável (Mujer Emprendedora, 2018).

Por outro lado, a tendência de gerar em centros de pequena escala implica em autoconsumo e este novo papel gera a necessidade de automatizar alguns processos complexos, devido à possibilidade que o cliente tem de trocar energia na rede. Diante dessa demanda prevista de autoconsumo, as empresas do setor elétrico precisam se digitalizar para apoiar sua gestão. A Indústria 4.0 permitirá a implementação de novos modelos de negócio de energia orientados para a demanda e serviços fornecidos aos consumidores, que permitam sua participação em tempo real.

Esse aspecto também pode ser corroborado nas opiniões dos gestores de grandes empresas do setor de energia apresentadas na XIV Pesquisa Mundial do Setor Elétrico e Energético, elaborada pela PwC (PwC España, 2015), na qual gestores de 70 empresas de 52 países de todo o mundo mostraram seu otimismo em relação à evolução do mercado de energia digitalizado.

Em função da resposta dos dirigentes das empresas do setor, pode-se deduzir as áreas do setor de energia que se tornarão importantes nos próximos anos.

A concepção colaborativa de modelos de eficiência energética em cidades, empresas e a gestão da geração distribuída própria e o apoio à geração distribuída de terceiros serão variáveis chave a serem geridas para responder às expectativas do mercado. Nesse contexto, será promovida uma nova linha de negócios baseada na definição da infraestrutura e do modelo de ótimo relacionamento produtor/cliente, fazendo com que a assessoria e a prestação de serviços para alcançar eficiência no consumo sejam fundamentais para a competitividade do setor.

De acordo com essas opiniões, divulgadas por dirigentes e incluídas nas estratégias das grandes empresas, pode-se deduzir que o novo paradigma do modelo de negócios do setor elétrico é sustentado pela colaboração cliente/produtor e o ponto de encontro para essa colaboração será na rede inteligente. **Uma rede automatizada e digitalizada em todos os seus ativos, tais como medidores, subestações e transformadores**, permitirá tanto uma melhoria na tomada de decisão do consumidor sobre o seu consumo de energia, como uma gestão mais eficaz da operação e manutenção da mesma rede. Esta rede inteligente apoiará o gerenciamento de um relacionamento dinâmico entre produtor e cliente com o objetivo de combinar oferta e demanda de forma eficiente em tempo real. O resultado final será um aumento da segurança e qualidade do fornecimento, além da redução das perdas de energia.



Outro aspecto que afetará essa colaboração entre produtor e cliente será nos custos de investimento na infraestrutura da rede, uma vez que os picos estimados de energia fornecida diminuirão graças a uma excelente gestão da demanda. O monitoramento e o controle remoto da produção e do consumo de energia permitem um ajuste contínuo entre a oferta e a demanda e um achatamento da curva de demanda, o que resulta diretamente na redução dos custos de manutenção e na melhoria da eficiência (redução das perdas em rede) e, conseqüentemente, leva à redução dos custos de eletricidade em função de um consumo mais preciso e sensível.

Um consumidor ativo, muito mais informado, o achatamento da curva da demanda e a produção descentralizada apoiada pela tecnologia renovável tornarão mais complexa a gestão dos sistemas de energia. As tecnologias da informação, o *Bigdata*, a Internet das coisas, a robótica, drones e a Inteligência Artificial são essenciais para apoiar a modificação dos modelos operacionais e de relacionamento, que são a causa do novo paradigma.

Conclui-se que os novos modelos de negócio circulares acima delineados são fundamentais para manter a capacidade competitiva das empresas do setor no novo mercado, e que só podem ser suportados com investimentos significativos em digitalização e tecnologia 4.0.

Outro aspecto importante a ser considerado na gestão de energia é a segurança do suprimento e, em um contexto digitalizado, a **segurança cibernética** deve fazer parte do desenvolvimento da estratégia de qualquer empresa.

Além disso, e talvez **a chave para o setor é que ele é fundamental nas economias nacionais por sua natureza transversal**, já que sua gestão eficiente é um elemento de competitividade para o resto, bem como um fator decisivo no combate às mudanças climáticas.

2.2.6 Gestão de resíduos

De acordo com o Banco Mundial (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018), **se não forem tomadas medidas urgentes até 2050, o lixo global crescerá 70% em relação aos níveis atuais**. Isso virá através do rápido crescimento combinado das cidades e da população. Com isso deduz-se a importância fundamental deste setor e a urgência de aplicar modelos de negócio circulares. Existe um grande problema ambiental que afeta diretamente a qualidade de vida dos cidadãos. A digitalização abrangente de toda a cadeia de valor e a participação dos cidadãos em todo o processo de reciclagem é um dos grandes desafios do setor.

O modelo de digitalização de serviços é semelhante ao dos demais setores. Parte-se de uma **sensorização dos ativos**: caminhões e recipientes para, posteriormente, através de sua conexão à internet, analisar e conectar todo o processo para desenvolver uma gestão mais eficiente através de *Bigdata* e



inteligência artificial. Para isso, são utilizados sensores que são colocados nos caminhões de coleta de lixo, com os quais é possível coletar dados reais, desde o depósito, a coleta e a gestão dos resíduos urbanos. São também implementados sensores para monitorar os recipientes de lixo e otimizar a coleta. São sensores sem fio colocados nos recipientes para detectar quando estão cheios e ajudam a criar horários de esvaziamento flexíveis e otimizar as rotas de coleta. Esse recurso permite que a empresa de coleta de lixo planeje melhor a utilização de sua mão de obra e de seus caminhões, o que resultará em maior eficiência e aumento de produtividade, reduzindo custos logísticos e a emissão de carbono dos veículos.

Existem também experiências em que os recipientes detectam a identificação pessoal do usuário e, portanto, sua utilização do serviço. Isso determinará as taxas específicas de coleta de lixo para cada cidadão.

Na opinião de empresas líderes no setor, como a Ferrovial, **as tecnologias da Indústria 4.0 estão mudando a concepção da estação de tratamento de resíduos** do futuro. Seu nome deveria passar a ser estação de produção de materiais e estar baseada em três linhas de ação (Ferrovial, 2019):

- Flexibilidade: capacidade de adaptação às mudanças na composição e na quantidade dos materiais a serem tratados.
- Segurança: para isso será necessário controlar a operação remotamente e evitar o contato humano com os resíduos.
- Abrangência: capacidade de recuperar 100% dos materiais presentes no fluxo de resíduos.

Para atender os três aspectos anteriores, é essencial que seja, sem dúvida, uma usina totalmente conectada. Internamente, a usina deverá ter controle em tempo real do processo. A montante, a usina deverá saber com antecedência os resíduos que irão chegar até ela; e, a jusante, a usina deve saber continuamente a demanda do mercado por materiais e seu preço.

Para enfrentar os desafios descritos, é necessário automatizar (robótica), sensorizar todos os ativos tanto do processo de coleta quanto do processo de tratamento na usina, e será necessário digitalizar, através da computação em nuvem, a infinidade de dados de toda a cadeia de valor, *Bigdata* e inteligência artificial. A redução dos custos operacionais e do impacto ambiental justificarão os investimentos necessários.



3. Benefícios da aplicação de modelos e tecnologias disruptivas às iniciativas de economia circular

Esta seção apresenta os benefícios da aplicação de modelos e tecnologias disruptivas às iniciativas de Economia Circular identificadas em cada país: Brasil, Chile, México e Uruguai.

O ponto de partida foram as iniciativas previamente identificadas no produto 2.4 do presente projeto. Todas as iniciativas foram consideradas, independentemente de seu grau de maturação. Para a classificação circular das iniciativas mais interessantes nos países, levou-se em consideração o seu alinhamento com os princípios da economia circular já definidos no produto anterior, ou seja, que possuam simultaneamente as seguintes características: a consideração integrada da cadeia de valor global para a avaliação de seus benefícios de eficiência e impacto ambiental, a consideração inovadora da mesma e a evidência da perspectiva sustentável em sua concepção. Outro aspecto importante que foi levado em consideração é o seu potencial de escala na região ou setor de referência. Este aspecto será uma variável determinante para o seu apoio do ponto de vista social e nacional.

Em relação aos modelos de negócio e tecnologias disruptivas, foram considerados os modelos de negócio circulares apresentados na seção anterior, e as tecnologias aplicáveis na Indústria 4.0 identificadas no produto 5.1 (ver Anexo 1).

Em relação aos benefícios considerados, foram considerados os seguintes benefícios econômicos, sociais e ambientais derivados da aplicação de modelos de negócio circulares e tecnologias disruptivas:

- **Econômicos,** tais como o aumento da competitividade, ou uma maior segurança em relação ao uso dos recursos naturais.
- **Sociais,** como a geração de empregos e o aumento do capital humano do país.
- **Ambientais,** como a redução de emissões e a mitigação de mudanças climáticas associadas ao uso de energias limpas (insumos circulares), o aumento da eficiência no uso de recursos materiais, e a minimização de resíduos orgânicos que contribuem para a emissão de gases do efeito estufa.

As iniciativas identificadas para cada país são apresentadas a seguir. Inicia-se com a descrição delas e posteriormente é apresentada uma tabela onde é descrito seu alinhamento com os modelos circulares e seu potencial suporte tecnológico 4.0.



3.1 Brasil

No caso do Brasil, as iniciativas foram selecionadas com base na análise do produto 2.4 e com base nos critérios mencionados acima. Além disso, foram levados em consideração os desafios do desenvolvimento tecnológico e industrial do Brasil. Adicionalmente, foram feitos comentários detalhados correspondentes aos setores industriais subjacentes aos quais se referem algumas iniciativas gerais, procurando identificar as tecnologias 4.0 aplicáveis.

3.1.1 Iniciativas consideradas

1. Bioeconomia - Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação, 2018 (Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia)

Trata-se de uma iniciativa liderada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

O Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI) em Bioeconomia tem como objetivo promover o desenvolvimento científico, tecnológico e inovador para eliminar barreiras e aproveitar as oportunidades de negócio oferecidas pela bioeconomia nacional. Ele se baseia no desenvolvimento sustentável para gerar benefícios sociais, econômicos e ambientais de forma integrada.

O PACTI é desenvolvido nas seguintes linhas principais:

- Promover o uso sustentável de processos, a utilização de recursos biológicos renováveis e a conservação da biodiversidade por meio da substituição de recursos de origem fóssil.
- Integrar iniciativas relacionadas à água, à segurança alimentar e à energia.
- Integrar iniciativas voltadas para o desenvolvimento de bionegócios e bioprodutos.
- Excelência científica e de negócios.
- Desenvolvimento sustentável e economia circular.

Ao mesmo tempo, o PACTI leva em consideração as seguintes tecnologias:

- Tecnologias para a conversão de resíduos de biomassa em bioenergia.
- Química verde.
- Melhoramento genético.
- Biomimética.



- Convergência entre biotecnologia, TIC e tecnologias cognitivas.
- Automação e robotização de processos de biomassa industrial.

2. FINEP e FINEP startup

Vinculada ao MCTI, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) é a agência pública dedicada à promoção de projetos de inovação, sendo pioneira no Brasil no financiamento de projetos inovadores de economia circular. Entre outros, destacam-se os seguintes exemplos:

- Braskem: polietileno de origem natural.
- Sabesp: fertilizante a partir do lodo de estação de tratamento de esgoto.
- MPC: sílica produzida a partir da casca de arroz.
- Mahle: desenho de peças para aumentar a eficiência do óleo e do combustível.
- B&A: fertilizante de fontes alternativas.
- Carbonífero Criciúma: produtos de enxofre de resíduos minerais.
- Natura: desenvolvimento de ingredientes aromáticos naturais.
- CTC: etanol de segunda geração e novos produtos a partir da cana-de-açúcar.
- Geoenergética: biogás a partir de biomassa.

Dentro da FINEP, cabe destacar o programa FINEP startup, que tem por objetivo apoiar a inovação em empresas nascentes ao cobrir a lacuna de apoio e financiamento que existe entre as fases iniciais da inovação (programas de aceleração, investidores-anjo e *crowdfunding*) e as fases finais da inovação (fundos de *Seed Money* e *Venture Capital* e eventual saída para os mercados de capitais).

3. FINEP - ERA-MIN 2

O objetivo do consórcio é fornecer apoio financeiro através de subvenções a projetos transnacionais de investigação, desenvolvimento e inovação desenvolvidos em conjunto por empresas e as TIC (tecnologias de informação e comunicação) nos setores de:

- **Matérias-primas não energéticas e não agrícolas**, incluindo os subsetores dos metais.
- **Construção e minerais industriais.**

Esses temas enfocam o abastecimento, produção, consumo, reutilização e reciclagem sustentáveis de matérias-primas em uma Economia Circular.



4. CNI - Estudos de Economia Circular

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) reúne as federações estaduais de indústrias, associações industriais e representantes de empresas para avaliar o grau de desenvolvimento nacional em relação à Economia Circular e pensar em estratégias para acelerar a transição para este novo modelo econômico para redigir propostas baseadas em práticas e tendências internacionais sobre o assunto.

5. Ministério de Integração Nacional – Rotas de Integração Nacional

Além disso, o Ministério da Integração Nacional estabeleceu as Rotas de Integração Nacional como estratégia de desenvolvimento regional e inclusão produtiva. As 'Rotas da Economia Circular' são uma iniciativa dentro deste programa que busca promover inovação, diferenciação, competitividade e rentabilidade das empresas associadas no que diz respeito a produtos de economia circular, serviços e modelos de negócio. Especificamente, foram discutidas perspectivas de transformação digital, política nacional de saneamento e resíduos sólidos; desafios nos serviços de saneamento urbano; redução dos resíduos de alimentos; Economia Circular na indústria brasileira; e construção sem resíduos.

6. RenovaBio

O RenovaBio é uma política de Estado que reconhece o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis (biomassa, biogás, etanol, segunda geração, bioquerosene, biodiesel, entre outros) na matriz energética brasileira em termos da sua contribuição para a segurança energética, previsibilidade do mercado e redução das emissões dos gases de efeito estufa no setor dos combustíveis. Com isso, os biocombustíveis permitem um fornecimento de energia cada vez mais sustentável, competitivo e seguro. O RenovaBio tem três eixos estratégicos: 1) Metas de descarbonização; 2) Certificação da Produção de Biocombustíveis; e 3) Créditos de descarbonização (CBIO).

O objetivo da iniciativa é contribuir de maneira significativa para o cumprimento de sua contribuição nacionalmente determinada (NDC) no âmbito do Acordo de Paris, promover a expansão da adoção de biocombustíveis na matriz energética para melhorar a oferta de combustíveis e a estabilidade do mercado, além de aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa na produção e na comercialização.

7. Projeto Cetem (Urban Mining)

O objetivo dessa iniciativa é promover parcerias estratégicas entre o governo, universidades, centros tecnológicos e cooperativas com o objetivo de aumentar os investimentos por meio da disseminação de conhecimentos, avanços científicos e tecnologias que gerem bem-estar social.

8. CTI Renato Archer. Projeto REMATRONIC.

O objetivo da iniciativa é recuperar materiais estratégicos oriundos do lixo eletrônico para aumentar a eficiência de custos e reduzir o impacto ambiental.



As linhas de trabalho são: (1) recuperação de materiais estratégicos de placas eletrônicas oriundas de resíduos de aparelhos eletroeletrônicos; (2) processos de biometalurgia e hidrometalurgia para reutilizar metais como ouro, prata, cobre ou paládio; e (3) tecnologia para separar metais pesados e a gestão correta dos resíduos.

9. Projeto LICOBAT

Desenvolvimento de processos para recuperar, de forma economicamente viável, materiais estratégicos de baterias de íons de lítio usadas (ou seja, lítio e cobalto).

3.1.2 Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais

As iniciativas brasileiras estão alinhadas com os modelos circulares conceituais definidos e o potencial tecnológico da Indústria 4.0.

Tabela 3. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Brasil

Fonte: elaboração própria

Nome e objetivos da iniciativa	Enfoque e modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
<p>Bioeconomia</p> <p>Agricultura sustentável; inovação em agricultura avançada: Agricultura de precisão. Química verde, melhoramento genético, bioenergia e biomassa.</p>	<p>Redução do impacto ambiental através da eficiência em recursos, água e energia. Eficiência de custos.</p> <p>Modelo de negócios: provisionamento circular e recuperação de recursos.</p>	<p>Sensores, Internet das coisas, drones, interconexão abrangente via serviços em nuvem, <i>Bigdata</i>, inteligência artificial. Convergência das tecnologias descritas.</p>	<p>Adaptabilidade de processos produtivos, otimização de rotação de culturas.</p> <p>Eficiência no uso de água, energia, fertilizantes e produtos fitossanitários.</p>
<p>FINEP -Startup</p> <p>Projetos de inovação em economia circular.</p>	<p>Redução de impacto ambiental e aumento da eficiência em termos de custos.</p> <p>Dependendo do projeto piloto, todos os modelos de negócios podem ser adotados.</p>	<p>Potencial para a aplicação de todas as metodologias da Indústria 4.0</p>	<p>Eficiência em termos de custos e, ao mesmo tempo, redução do impacto ambiental.</p>
<p>FINEP - ERA-MIN 2</p> <p>Desenvolvimento de TIC em empresas de mineração, matérias-primas.</p>	<p>Eficiência no processo produtivo através da melhoria do programa de manutenção e materiais utilizados.</p> <p>Modelo de negócio: provisionamento circular</p>	<p>Internet das coisas, <i>Bigdata</i>, inteligência artificial, aprendizado automático combinado com modelos de simulação, virtualidade digital de ativos. <i>Blockchain</i>, robótica colaborativa.</p>	<p>Otimização dos custos de manutenção, aumento da segurança nas atividades, excelência comercial.</p>



Estudos de Economia Circular (CNI): Desenvolvimento de iniciativas de inovação de economia circular e Indústria 4.0.	Todos os modelos circulares.	Todas as apresentadas dependendo do setor e do setor específico. Conexão de bases de dados para compartilhamento de informações; cibersegurança e internet das coisas	Desenvolvimento de iniciativas conjuntas de economia circular e Indústria 4.0.
Rotas de Economia Circular (Ministério de Desenvolvimento Regional):	Todos os modelos circulares.	Todas as apresentadas, dependendo do setor e da indústria específica.	Desenvolvimento de iniciativas conjuntas de economia circular e Indústria 4.0.
RenovaBio Contribuir para a NDC do Brasil no âmbito do Acordo de Paris; promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética.	Compensação pelas emissões geradas pelas distribuidoras de petróleo.	<i>Bigdata, Blockchain, serviços em nuvem e Internet das coisas.</i>	Promoção dos biocombustíveis na matriz energética do país.
Projeto Cetem (Urban Mining)	Promover parcerias estratégicas entre o governo, universidades e centros tecnológicos para aumentar os investimentos e mitigar seu risco. Todos os modelos de negócio circular.	<i>Bigdata, IoT; cibersegurança</i>	Promoção de investimentos colaborativos em economia circular.
CTI Renato Archer. Projeto REMATRONIC	Recuperar materiais estratégicos oriundos do lixo eletrônico. Modelo de negócio: provisionamento circular	<i>Bigdata, sensores, robótica, IoT</i>	Eficiência em termos de custos e redução do impacto ambiental
Projeto LICOBAT	Recuperar de forma viável materiais estratégicos de baterias de íons de lítio. Modelo de negócio: provisionamento circular	<i>Bigdata, sensores, robótica, IoT</i>	Eficiência em termos de custos e redução do impacto ambiental

Os benefícios decorrentes da aplicação das tecnologias 4.0 aos projetos descritos na tabela acima são detalhados a seguir.

- A aplicação de tecnologias 4.0 a projetos de **agricultura sustentável**, como os promovidos pelo **Plano de Ação para Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia**, geram significativa eficiência produtiva, redução do impacto ambiental e melhoria da qualidade dos produtos obtidos. Isso se deve ao aumento da flexibilidade/adaptabilidade do



processo de produção em relação às condições dos cultivos e às características ambientais e dos lotes de terra. Da mesma forma, a aplicação de sensores à produção reduzirá o uso de água, fertilizantes e produtos fitossanitários e melhorará a eficiência energética das instalações. Também é significativo considerar a redução do impacto ambiental inerente à agricultura de precisão.

- Os benefícios da implementação de iniciativas como a **FINEP-startup** são fundamentais para o desenvolvimento da economia circular e dos modelos da indústria 4.0. Eles constituem uma motivação essencial para empreendedores e serão terreno fértil para a mudança cultural e de paradigma gerada pela economia circular e pela Indústria 4.0.
- Os benefícios da aplicação de tecnologias 4.0 em projetos de mineração como o **FINEP-ERAMIN** incluem o uso de TIC para integrar ativos, processos e pessoas que resultem em redução de custos de manutenção e melhorias na segurança, bem como a possibilidade de assegurar a origem das mercadorias com a aplicação da tecnologia *Blockchain*. Os efeitos da inclusão dessas tecnologias no processo produtivo também apresentam um alto grau de melhoria no impacto ambiental inerente a esta atividade. Todos esses efeitos positivos juntos criam uma oportunidade para melhorar a reputação das empresas. Ou seja, tudo isso pode ser comunicado à comunidade de referência com reflexos positivos na percepção pelas pessoas. A transparência e a integração das expectativas das partes interessadas são dois princípios de referência da economia circular.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis **aos estudos de Economia Circular (CNI) e Rotas da Economia Circular (Ministério da Integração Nacional)** estão relacionadas à Internet das coisas, cibersegurança e *Bigdata*. Estas tecnologias permitem analisar e compartilhar os benefícios e resultados das iniciativas e possibilitam uma análise coerente por todos os agentes com critérios e indicadores homogêneos. Os efeitos positivos na melhoria da eficiência e na redução dos impactos ambientais terão de ser considerados em cada iniciativa em particular. Além disso, é importante considerar que esta iniciativa pode levar à colaboração entre diferentes agentes em novos projetos de inovação, com o consequente efeito de escala da economia circular.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao **RenovaBio** incluem: *Bigdata*, para a análise de dados relativos à configuração do mercado; Internet das coisas com o objetivo de conectar os diferentes agentes; a cibersegurança; e inclusive o *Blockchain*, com o objetivo de possibilitar interações exatas no mercado.
- Por sua vez, o **Projeto Cetem - Urban Mining** representa a materialização da colaboração público-privada básica para o desenvolvimento das tecnologias 4.0 e modelos de negócios circulares. A liderança do



governo em termos da gestão exemplar de seus serviços e da coordenação das estratégias nacionais de competitividade nos setores e regiões é um elemento que deve se materializar em estratégias flexíveis e progressivas.

- Por fim, os **projetos CTI Renato Archer, REMATRONIC e LICOBAT** têm uma natureza semelhante e o benefício essencial de todos eles pode ser expresso simultaneamente na redução de custos e impactos ambientais.



3.2 Chile

As iniciativas foram selecionadas com base na análise do produto 2.4 e em função dos critérios mencionados anteriormente. No caso do Chile, decidiu-se analisar os projetos de inovação mais interessantes desde a perspectiva de integrar a Economia Circular e a Indústria 4.0 e ao mesmo tempo relacionados com os setores industriais chave da economia chilena.

3.2.1 Iniciativas consideradas

1. Desenvolvimento do sistema logístico de reciclagem: "Smart Recycling Logistic System"

O Smart Recycling Logistic System é uma plataforma de otimização logística da reciclagem composta por um aplicativo que determina o caminho ideal para a coleta e rastreabilidade dos resíduos desde a origem até o destino final, e um sistema modular móvel que reduz o volume de resíduos no local. Com isso agregamos valor aos setores sujeitos a metas de coleta, aproveitando ao máximo a capacidade de carga veicular e reduzindo os custos logísticos e a pegada de carbono.

2. Fabricação de peças de desgaste para o setor de mineração

No beneficiamento do minério de cobre, existe um enorme desgaste dos equipamentos, por isso é essencial a busca contínua por ligas metálicas que tenham melhor comportamento e resistência à abrasão. Isso, a fim de diminuir a frequência de paradas em usinas para troca de elementos deteriorados e também diminuir a grande geração de sucata circulante que se acumula constantemente nos redutos de mineração.

3. Valorização do lixo eletrônico: o potencial do Chile na mineração urbana

O projeto visa avaliar, desenvolver e determinar um processo de recuperação de metais preciosos em circuitos impressos, por meio de um processo específico de pirólise. Os materiais necessários serão fornecidos pelo beneficiário, também entregando as informações e resultados obtidos internacionalmente, a fim de comparar as concentrações obtidas no processo específico que será usado com o processo tradicional não específico utilizado no resto do mundo.

4. Redução de embalagens e controle de estoque em produtos químicos automotivos com base em IOT

Criar um sistema de distribuição a granel para os principais produtos químicos utilizados no mercado automotivo. Para isso, será criado o seguinte: (i) uma estrutura que permita o transporte seguro dos produtos; (ii) um sistema de impulsão e controle do fluxo dos produtos despachados, (iii) um sistema modular de armazenamento para recebimento de líquidos e (iv) um sistema IoT de monitoramento do estoque, disponível para o fornecedor e para os usuários, através de uma plataforma web.



5. Smart Yeast: Reutilização de leveduras descartadas

As leveduras fermentadoras, que produzem cerveja, são um dos resíduos mais importantes desse setor, gerando 42 mil toneladas de resíduos por ano no Chile, que não são reciclados. Este projeto consiste em um método para produzir extrato de levedura a partir de resíduos, sem adição de sal ou outro composto químico. Isso é feito através da aplicação de leveduras predadoras e/ou enzimas puras capazes de hidrolisar as leveduras residuais, obtendo extratos nutritivos e naturais.

6. Recuperação de resíduos agroindustriais

O projeto consiste na aplicação de um modelo de Economia Circular que visa remanufaturar e reaproveitar os resíduos orgânicos produzidos pela Biofresco por meio de vermicompostagem. A separação na origem dos resíduos efetuada pela empresa permitirá o desenvolvimento de um vermicomposto com características físico-químicas particulares para obter um substrato específico para o cultivo sustentável de cogumelos, reduzindo o seu custo de produção.

7. AgroWaste2Energy

Visa prototipar um processo que permite de forma contínua e encadeada a extração de pectina e hidroxitirosol e a geração de energia através da digestão anaeróbia de descartes de maçã e bagaço da indústria de maçã e o bagaço de azeitona, obtidos na a produção de azeite. Dando assim uma solução atrativa do ponto de vista econômico para esses resíduos.

8. Carbon black de pirólise de pneumáticos

O processo de pirólise de pneumáticos gera três subprodutos: gás, metal e negro de fumo. O gás produzido é novamente tratado sob uma abordagem de Economia Circular por um processo de destilação para produzir combustível, o metal (aço) é recuperado e vendido. Por outro lado, o negro de fumo não possui mercado no Chile que permita sua comercialização direta. Além disso, devido à complexidade da operação, não tem uma qualidade constante devido à qualidade diferenciada dos pneus que entram no forno de pirólise. Essa iniciativa busca gerar uma análise das alternativas com maior potencial para o negro de fumo, o que geraria o reaproveitamento de 5.700 kg de negro de fumo por semana e 68.400 kg por ano de negro de fumo que não possui alternativa comercial atualmente.



9. Recicladora de bioplásticos.

O principal problema é ambiental, e nesse sentido todas as pessoas, sejam homens, mulheres, crianças, adultos, até a flora e a fauna são afetados pela poluição do plástico. A solução está no uso correto dos bioplásticos, que não trazem as consequências nocivas do plástico ao meio ambiente e à saúde humana. A tendência global desses produtos é crescente ano a ano (de acordo com a europeanbioplastic.org, o mercado mundial de bioplásticos aumentará 20% até 2022 em relação a 2017).

Entre os principais bioplásticos podemos encontrar os de base biológica (não biodegradáveis) e os biodegradáveis (PHA, PBS, PLA). Este último biopolímero, o PLA, é o que a Compobottle vende em suas garrafas, bolsas, copos, películas, talheres, entre outros. Porém, todos esses produtos devem vir acompanhados de um correto "fim de vida" para sua biodegradabilidade (reciclagem, compostagem ou biodigestão). É por isso que a Compobottle decidiu encarregar-se dos "fins de vida" e promover a Economia Circular que os bioplásticos têm. Pensou-se em aprofundar a opção mais barata, mais fácil e mais industrialmente escalável: a reciclagem. Foi aí que nasceu a ideia de reaproveitar os bioplásticos com uma recicladora que cria filamentos para impressão 3D.

3.2.2 Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais

As iniciativas da Economia Circular chilena são apresentadas a seguir em uma tabela onde cada uma delas é descrita com base em seus objetivos principais, o modelo de negócio circular implícito, as tecnologias 4.0 potencialmente aplicáveis e os benefícios esperados desta aplicação.



Tabela 4. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Chile

Fonte: elaboração própria

Nome e objetivos da iniciativa	Enfoque e modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
Sistema logístico de reciclagem Otimização da logística para coleta de resíduos.	Otimizar a logística e o tratamento de resíduos. Aumentando a eficiência e reduzindo o impacto ambiental. Modelo de negócio: recuperação de recursos.	<i>Bigdata</i> , sensores, Internet das coisas, software de otimização da rota de serviços em nuvem e robótica.	Redução do impacto ambiental e melhoria da eficiência conectada em toda a cadeia de valor. Possibilitar a criação de usinas de "produção de materiais" totalmente conectadas, remotas e flexíveis, dependendo do tipo de resíduo.
Fabricação de peças de desgaste para o setor de mineração Processo de produção de mineração	Eficiência de custos e melhoria ambiental do processo produtivo. Modelo de negócio: provisionamento circular.	Internet das coisas, <i>Bigdata</i> , inteligência artificial, aprendizado automático combinado com modelos de simulação, virtualidade digital de ativos. <i>Blockchain</i> , robótica colaborativa e sensores.	Dada a intensidade dos ativos na indústria de mineração, uma variável fundamental para a eficiência do processo produtivo é a otimização da manutenção, gerando redução de custos e do impacto ambiental.
Recuperação de resíduos eletrônicos Recuperação de metais preciosos por processo de pirólise.	Fechar o círculo: de materiais para resíduos, de resíduos para matéria-prima. Modelo de negócio: recuperação de recursos.	Sistemas duais de inteligência artificial e robótica avançada para melhorar a capacidade de seleção de resíduos, obtendo um maior número de materiais, de melhor qualidade. <i>Bigdata</i> , Internet das coisas, serviços em nuvem e <i>Blockchain</i> , combinados.	Eficiência e redução de processos de impacto ambiental.
Redução de embalagens em produtos químicos automotivos Redução de embalagens e otimização do controle de estoque.	Eficiência do processo de produção e distribuição, redução do impacto ambiental. Modelo de negócio: provisionamento circular.	Internet das coisas, robótica, processamento de dados, softwares e sensores inteligentes, dos fornecedores aos clientes, para poder prever, controlar, planejar e distribuir, de forma inteligente, gerando maior valor para toda a cadeia	Integração de toda a cadeia de valor gerando eficiência e reduzindo simultaneamente o impacto ambiental.



Tabela 4. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Chile

Fonte: elaboração própria (continuação)

Nome e objetivos da iniciativa	Enfoque e modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
Reciclagem de bioplásticos Reciclagem de plástico biodegradável.	Reciclagem: bioplásticos biodegradáveis para obtenção de matéria-prima para impressoras 3D Modelo de negócio: recuperação de recursos.	Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i> , sensores e robôs	Integração de toda a cadeia de valor gerando eficiência e reduzindo simultaneamente o impacto ambiental.
Smart Yeast Criação de um novo produto utilizando resíduos do setor cervejeiro.	Upcycling: partindo dos resíduos do setor cervejeiro para gerar o extrato de levedura, que é um novo produto utilizado como aromatizante. Modelo de negócio: recuperação de recursos.	Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i> , sensores e robôs	Redução do impacto ambiental e melhoria da eficiência conectada em toda a cadeia de valor. Manutenção do valor dos recursos, reduzindo o suprimento de matérias-primas.
Recuperação de resíduos agroindustriais Uso de vermicompostagem para geração de substrato para cultivo de cogumelos.	Reciclagem: Uso de minhocas para processamento de resíduos orgânicos de frutas e vegetais. Modelo de negócio: Recuperação do valor dos recursos.	Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i> , sensores e robôs	Redução do impacto ambiental e melhoria da eficiência conectada em toda a cadeia de valor. Manutenção do valor dos recursos, reduzindo o suprimento de matérias-primas.
Agrowaste2energy Aproveitamento energético de resíduos de maçãs e azeites.	Upcycling: partindo dos resíduos da produção de maçãs e azeites, gerando matéria-prima para geração de energia. Modelo de negócio: Recuperação do valor dos recursos.	Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i> , sensores e robôs	Redução do impacto ambiental e melhoria da eficiência conectada em toda a cadeia de valor. Manutenção do valor dos recursos, reduzindo o suprimento de matérias-primas.
Carbon black via pirólise de pneumáticos Reaproveitamento do material dos pneus.	Reciclagem: Uso de líquidos e gases resultantes da pirólise. Modelo circular: recuperação de recursos.	Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i> , sensores e robôs	Redução do impacto ambiental e melhoria da eficiência conectada em toda a cadeia de valor. Manutenção do valor dos recursos, reduzindo o



			suprimento de matérias-primas.
--	--	--	--------------------------------



Os benefícios decorrentes da aplicação das tecnologias 4.0 aos projetos descritos na tabela acima são detalhados a seguir.

- A utilização de tecnologias 4.0 no **sistema logístico de reciclagem** consiste na sensorização dos elementos de coleta, recipientes e veículos para sua conexão integrada, o que resultará em uma excelente gestão do processo inteiro, e que proporcionará simultaneamente a redução do impacto ambiental e dos custos associados. As tecnologias aplicadas são sensores nos ativos de coleta, integração de dados pela internet e seu gerenciamento por *Bigdata* e inteligência artificial.
- A iniciativa de **Fabricação de Peças de Desgaste para Mineração** deve ser acompanhada da aplicação das tecnologias 4.0 apresentadas no capítulo anterior. A possibilidade de integrar ativos, processos e pessoas na mineração produz a redução de custos de manutenção e melhorias na segurança, e permite assegurar com precisão a origem das mercadorias.
- As principais tecnologias 4.0 aplicáveis à **iniciativa de Valorização de Resíduos Eletrônicos** (recuperação de metais preciosos por pirólise) incluem sistemas duais de inteligência artificial e robótica avançada para melhorar a capacidade de seleção de resíduos. As tecnologias *Bigdata*, Internet das coisas, serviços em nuvem e *Blockchain* combinadas também têm alto potencial. A sua aplicação proporcionará precisão às informações prestadas de forma a comparar as concentrações obtidas no processo específico com o processo tradicional não específico utilizado no resto do mundo. Os benefícios da eficiência de custos e redução do impacto ambiental são evidentes.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao projeto de **Redução de embalagens em produtos químicos automotivos** estão relacionadas à robótica no manuseio de elementos em armazéns, detecção de ativos: recipientes e estoques, integração de informações através da internet e o uso combinado de *Bigdata* e inteligência artificial para otimizar as rotas de distribuição e gestão de estoques simultaneamente. Isso produzirá um benefício nos custos de gestão e na redução do impacto ambiental devido à eficiência das rotas e à redução da matéria-prima utilizada.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis à reciclagem de bioplásticos, para o projeto **Smart Yeast** e para o **projeto de Reaproveitamento dos Resíduos Agroindustriais** (vermicompostagem) envolvem a sensorização de recipientes e estoques, a integração dessas informações através da internet e sua análise conjunta de *Bigdata* e inteligência artificial. Os benefícios estão relacionados à eficiência de custos e à redução do impacto ambiental simultaneamente.
- As tecnologias 4.0 aplicadas ao projeto **Agrowaste2energy** são as mesmas citadas para o Sistema de Logística de Reciclagem e os



benefícios referem-se aos ganhos de eficiência e redução do impacto ambiental que são alcançados simultaneamente.

- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao projeto **Carbon black de Pirólise de Pneumáticos** incluem a sensorização dos ativos utilizados, armazéns, recipientes, etc. a gestão comercial de clientes através de *Bigdata* e a gestão integrada de todo o processo via inteligência artificial. Isso produziria reduções de custos e impacto ambiental simultaneamente.



3.3 México

As iniciativas foram selecionadas com base na análise do produto 2.4 e em função dos critérios mencionados anteriormente. Além disso, foram levados em consideração os desafios do desenvolvimento tecnológico e industrial do México. Adicionalmente, foram feitos comentários detalhados correspondentes aos setores industriais subjacentes aos quais se referem algumas iniciativas gerais, procurando identificar as tecnologias 4.0 aplicáveis.

3.3.1 Iniciativas consideradas

1. Plataforma para reaproveitamento de materiais

O objetivo da iniciativa é criar um mercado de materiais na indústria siderúrgica que aumente seu valor nas diferentes etapas e ciclos de uso.

A regulamentação atual apresenta uma limitação para o uso e o reaproveitamento de materiais metálicos, já que apenas os classifica como matéria-prima (virgem) e resíduo (sucata), o que não permite a criação de um mercado de materiais diferenciado pelo tipo de aplicações e pelos níveis de qualidade para os quais ele poderia atender.

2. Rede de Aprendizagem em EC

Com base no antecedente estabelecido pela PROFEPA, no Programa para a Liderança Ambiental e Competitividade, espera-se criar uma Rede de Aprendizagem em Economia Circular onde as empresas âncora incentivem as PMEs associadas à sua cadeia produtiva a aplicarem os diferentes aprendizados nesta matéria.

O objetivo da iniciativa é fazer circular as cadeias produtivas através de redes de conhecimento em que as grandes corporações sejam o guia das PMEs.

3. Projeto FELICITY da Agência Alemã GIZ (financiamento para investimento em energia de baixo carbono nas cidades)

O objetivo da iniciativa é o aproveitamento da energia proveniente da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). No México, são gerados diariamente 103 mil toneladas de RSU, dos quais 9,63% são reciclados. O depósito desses resíduos em locais de disposição final e sua gestão respondem por 4,6% das emissões de GEE do país.

O projeto piloto está localizado no município de Naucalpan, Estado do México, com uma população de cerca de 872 mil habitantes, onde a energia está sendo gerada a partir de RSU.

Cabe ressaltar que há iniciativas de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos tanto no município de Aguascalientes, onde são gerados 2,7 megawatts para a fabricação de veículos no complexo da Nissan, como na



cidade de Monterrey, onde a energia gerada cobre 45% da iluminação pública e o sistema de transporte do metrô (BENLESA, 2003).

4. Bases do Mercado de Carbono

A Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMARNAT) estabelecerá progressiva e gradativamente um Sistema de Comércio de Emissões com o objetivo de promover a redução de emissões entre os setores participantes. Além disso, consta dos artigos transitórios da Lei Geral de Mudanças Climáticas que o México se compromete de forma Incondicional a reduzir suas emissões de GEE em 22% até 2030 em relação à linha de base.

Em outubro de 2019, foram publicadas as bases preliminares do Programa de Teste do Sistema de Comércio de Emissões, que contou com a participação de diversos atores do setor industrial, incluindo a Associação Nacional da Indústria Química (ANIQ), e cuja fase de teste se iniciou em 1º de janeiro de 2020 e terminará em 31 de dezembro de 2021.

5. Oportunidades para simbiose no setor de tequila

O projeto se baseia na realização de um estudo de ciclo de vida que identificou usos alternativos do bagaço de agave, os quais foram comercializados com outras empresas do ramo. Entre as ações realizadas estão a reformulação de recipientes e embalagens, a captura de CO₂ da fermentação para uso em outros setores e o aproveitamento de folhas de agave para produção de energia e produtos de valor agregado (bioplásticos, móveis, alimentos e produtos farmacêuticos).

6. Reciclagem de garrafas PET

Liderada pela empresa mexicana PetStar, a iniciativa recicla 84 mil toneladas de garrafas PET por ano para produzir 52 mil toneladas de resina PET reciclada grau alimentício e evitar a geração de 108 mil toneladas de CO₂e a partir da produção de resina virgem. Devido à sua magnitude, essa iniciativa representa um passo importante na transição para a economia circular (Petstar, 2019).

7. Indústria cimentícia

A Cemex, empresa produtora de cimento, concreto, agregados e outros materiais de construção, iniciou um projeto para coletar dados de suas fábricas ao redor do mundo e transformá-los em conhecimentos com benefícios tangíveis. Por meio da implementação de tecnologias de IoT, o sistema é capaz de coletar, analisar, visualizar e compartilhar grandes quantidades de dados históricos, provenientes de várias fontes, entre pessoas e sistemas operacionais. A empresa conseguiu ter controle de suas operações, prever possíveis falhas e otimizar processos, de qualquer lugar e em tempo real (Reportero Industrial, 2019).



8. Indústria automotiva

A Ford está incorporando a Tecnologia 4.0 à construção de seus produtos, como a impressão de protótipos em impressoras 3D no Laboratório da Fábrica de Motores de Chihuahua, no México, e a utilização de um exoesqueleto para a montagem de unidades na Fábrica de Cuautitlán. Da mesma forma, em 2018, as fábricas de Hermosillo e Cuautitlán foram equipadas com exoesqueletos para reduzir o desgaste físico, lesões e desconforto dos funcionários durante o processo de montagem dos veículos (Ford, 2018).

A montadora Volkswagen México está implementando uma transformação tecnológica 4.0, iniciada com o desenvolvimento de habilidades dos funcionários, para prosseguir com o estabelecimento de padrões de eficiência e facilitar a adoção acelerada de novas tecnologias. Até fevereiro de 2020, cerca de 800 robôs já haviam sido incorporados à produção de carrocerias, além de um mecanismo em que um operador e um braço robótico se complementam na execução do processo iniciado nas tarefas de pintura (Paralelo19.mx, 2020).

9. Estudo sobre a pegada de carbono da indústria de papel e celulose

O estudo, baseado na análise do ciclo de vida, permite determinar a contribuição do setor para a redução das emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo que fornece uma ferramenta de avaliação de resultados e cenários das políticas empresariais, como a melhoria da eficiência energética, a transição para fontes de energia com menor impacto ambiental, o tratamento e recirculação de água, a implementação de plantações florestais comerciais e o aumento de matérias-primas derivadas da reciclagem, uma vez que, no México, 54% do papel e do papelão são coletados ao fim de sua vida útil (Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel, 2020).



3.3.2 Enfoques de modelo de negócio circular, tecnologias 4.0 aplicáveis e benefícios potenciais

Temos a seguir uma tabela com as iniciativas de Economia Circular do México descrevendo cada uma delas com base em seus principais objetivos, o modelo de negócio circular implícito, as tecnologias 4.0 potencialmente aplicáveis e os benefícios esperados desta aplicação.

Tabela 5. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no México

Fonte: elaboração própria

Nome e Objetivos	Enfoque do modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
<p>Plataforma para reaproveitamento de materiais metálicos</p> <p>Criar um mercado de materiais que aumente seu valor e ciclos de uso em relação às suas aplicações e níveis de qualidade.</p>	<p>Reciclagem: Utilização de matérias-primas e sucatas de acordo com o uso e qualidade necessários.</p> <p>Modelo de negócio: recuperação de recursos no mercado de materiais metálicos para matérias-primas e sucata.</p>	<p>Internet das coisas, serviços em nuvem, sensores, <i>Bigdata</i>, <i>Blockchain</i> e cibersegurança.</p>	<p>Integração das cadeias de valor para aumentar sua eficiência, reduzir as emissões de GEE e preservar o valor dos recursos.</p>
<p>Rede de aprendizagem de economia circular</p> <p>Promover e orientar as pequenas e médias empresas através da experiência de grandes empresas.</p>	<p>Vários modelos de negócio: simbiose industrial, reciclagem, remanufatura, reutilização, compartilhamento de ativos e também compras inovadoras, onde as especificações funcionais das empresas líderes indicam as necessidades aos fornecedores e estão associadas para oferecer uma resposta excelente.</p>	<p>Internet das coisas, serviços em nuvem, <i>Bigdata</i>, <i>Blockchain</i> e cibersegurança.</p>	<p>Expansão da digitalização e dos modelos de EC nas regiões.</p>
<p>Projeto Felicity</p> <p>Uso de energia de RSU.</p>	<p>Modelo de negócio: recuperação de recursos.</p>	<p><i>Bigdata</i>, sensores, Internet das coisas, serviços em nuvem e robótica.</p>	<p>Redução do impacto ambiental e redução das emissões de GEE.</p>
<p>Bases do mercado de emissões</p> <p>Criação de um mercado de emissões.</p>	<p>Promoção de todos os modelos de negócio circulares.</p>	<p><i>Bigdata</i>, Internet das coisas, sensores, serviços em nuvem.</p>	<p>Redução de emissões de GEE e cumprimento de acordos internacionais.</p>

<p>Simbiose no setor de tequila</p> <p>Redução do uso de fertilizantes, água e energia, bem como o desenvolvimento de novos mercados para o bagaço.</p>	<p>Modelo de negócio: recuperação de valor de recursos e provisionamento circular.</p>	<p><i>Bigdata, Blockchain, serviços em nuvem, sensores, software inteligente e robótica.</i></p>	<p>Integração de cadeias de valor, eficiência de processos e redução do impacto ambiental.</p>
<p>Reciclagem de garrafas PET</p> <p>Reciclagem de garrafas PET com o objetivo de produzir resina reciclada.</p>	<p>Modelo de negócio: recuperação do valor dos recursos.</p>	<p><i>Bigdata, internet das coisas, sensores, serviços na nuvem e robótica.</i></p>	<p>Redução do consumo de matéria-prima e redução de emissões de GEE.</p>
<p>Excelência operacional na indústria cimentícia.</p> <p>Análise dos dados operacionais para otimizar o processo produtivo de forma remota.</p>	<p>Modelo de negócio: recuperação do valor dos recursos e suprimentos circulares.</p>	<p><i>Bigdata, internet das coisas, sensores, serviços na nuvem e robótica.</i></p>	<p>Redução do consumo de matéria-prima e redução de emissões de GEE.</p>
<p>Indústria automotiva</p> <p>Impressão 3D, formação e robotização.</p>	<p>Modelo de negócio: recuperação do valor dos recursos e suprimentos circulares com potencial de estender a vida útil ao longo de seu ciclo.</p>	<p><i>Bigdata, internet das coisas, sensores, serviços na nuvem e robótica.</i></p>	<p>Redução do consumo de matéria-prima utilizada, eficiência energética e redução de emissões de GEE.</p>
<p>Estudo sobre a pegada de carbono da indústria de papel e celulose.</p> <p>Conhecimento da pegada ambiental do ciclo de vida.</p>	<p>Modelo de negócio: o potencial dessa medida pode ser direcionado para o desenvolvimento de todos os modelos de negócios circulares descritos anteriormente.</p>	<p><i>Bigdata, internet das coisas, inteligência artificial</i></p>	<p>É o ponto de partida para o desenvolvimento de qualquer tipo de modelo de negócio circular com benefícios potenciais de aumento de eficiência e redução de seu impacto ambiental.</p>

Os benefícios decorrentes da aplicação das tecnologias 4.0 aos projetos descritos na tabela acima são detalhados a seguir.

- O uso de tecnologias 4.0 para a **Plataforma de Reavaliação de Materiais** inclui o uso de *Bigdata*, computação em nuvem, inteligência artificial e cibersegurança. O processo consiste em compartilhar informações de diversos agentes, avaliando-as, conhecendo os motivos da variabilidade de seu preço e da venda do produto. O benefício a ser gerado é a possibilidade de reaproveitar a matéria-prima, mantendo seu valor



constantemente. Os benefícios da eficiência de custos e redução do impacto ambiental são inerentes à iniciativa.

- As tecnologias 4.0 aplicáveis à **Rede de Aprendizagem da Economia Circular** são a combinação de *Bigdata*, internet, cibersegurança e inteligência artificial. Seu objetivo é orientar e promover as PMEs através da experiência das grandes empresas. Em suma, considera-se a criação de um ambiente colaborativo de hélice tripla: administração, empresa e conhecimento. Isso significa que devem ser intercambiadas as melhores experiências e serem lançados projetos-piloto colaborativos. Os dados a serem controlados, basicamente, são os indicadores da evolução dos projetos e dos resultados obtidos com a sua aplicação. Além disso, esses dados devem ser compartilhados por todos os agentes, o que proporcionará um contexto homogêneo de conhecimento onde a inovação pode ser considerada uma ferramenta integrada na estratégia das empresas.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao projeto **Felicity de Recuperação Energética de RSU** visam auxiliar as empresas de resíduos a gerenciar melhor a coleta e a reciclagem de todos os tipos de resíduos. Com a ajuda das tendências digitais, já explicadas na seção anterior, como *Bigdata*, sensores inteligentes e aplicativos móveis, foram criadas muitas soluções que podem revolucionar o campo da gestão de resíduos com o objetivo principal de otimizar a gestão local de resíduos, melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e incentivar a sua participação em processos de reciclagem. Essas iniciativas terão um impacto direto na melhoria da eficiência e na redução do impacto ambiental das atividades simultaneamente.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao **projeto base do mercado de emissões** consistirão na combinação de *Bigdata*, internet, inteligência artificial, computação em nuvem e *Blockchain* com o objetivo de criar um mercado transparente e eficiente. Seus benefícios se refletirão na possibilidade de reduzir as emissões industriais ao ritmo estabelecido pelos compromissos internacionais aceitos pelo México.
- As aplicações das tecnologias 4.0 ao projeto de **Simbiose Industrial no Setor da Tequila** se concentram na internet e *Bigdata*, que possibilitarão o compartilhamento de informações entre os diferentes agentes sobre a disponibilidade e o preço das matérias-primas. No que se refere aos preços de coleta e armazenamento de matéria-prima, são aplicadas as tecnologias expressas nas iniciativas de reciclagem, basicamente voltadas para a sensorização dos ativos usados e armazéns e a robotização no seu manejo. A simultânea redução do impacto ambiental e a melhoria da eficiência são inerentes a essa iniciativa.



- O uso de tecnologias 4.0 para a **reciclagem de garrafas PET** para obter resinas PET pode envolver o uso de *Bigdata*, computação em nuvem, inteligência artificial, sensorização e robotização nos processos de coleta, armazenamento e processamento. Nesse sentido, destaca-se a consequente economia de matéria-prima e a redução das emissões de GEE.
- As aplicações de tecnologias 4.0 ao **projeto da empresa de cimento** para coletar os dados de suas fábricas ao redor do mundo e transformá-los em conhecimentos com benefícios tangíveis consistem basicamente na implementação de tecnologias de IoT, *Bigdata*, inteligência artificial, computação em nuvem e cibersegurança. O sistema é capaz de coletar, analisar, visualizar e compartilhar grandes quantidades de dados históricos, de várias fontes, entre pessoas e sistemas operacionais. O benefício do projeto está relacionado à melhoria da eficiência do processo, tanto na operação como na sua manutenção. É importante enfatizar que, nesse projeto, identifica-se um aumento da flexibilidade do processo produtivo e a possibilidade de utilização da operação remota em tempo real.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis aos **projetos desenvolvidos pelas empresas do setor automotivo** na construção de seus produtos, na impressão de protótipos em impressoras 3D e na robotização do processo aumentarão a capacidade de desenvolvimento de produtos concebidos de forma ecológica para incorporá-los ao processo produtivo, além do aumento da eficiência proporcionado pela robotização. As tecnologias envolvidas consistirão na combinação de *Bigdata*, internet das coisas, inteligência artificial, computação em nuvem, impressão 3D e robotização com o objetivo de criar um processo produtivo mais eficiente e com menor impacto ambiental.
- As tecnologias 4.0 aplicáveis ao **projeto do cálculo da pegada ambiental do setor de papel e celulose** são principalmente as seguintes: *Bigdata*, inteligência artificial, internet das coisas (IoT), computação em nuvem e cibersegurança. O objetivo dessa iniciativa é identificar oportunidades de reaproveitamento de matéria-prima e reduzir os impactos ambientais de sua operação. Essa iniciativa é o ponto de partida para o desenho de projetos de inovação que apliquem tecnologias 4.0 no desenvolvimento de modelos de negócios circulares. O fato de ser implementada com uma metodologia homogênea nas diferentes empresas do setor tem o potencial de desenvolver projetos colaborativos para melhorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental, além da possibilidade de compartilhamento das melhores experiências entre elas.



3.4 Uruguai

As iniciativas foram selecionadas com base na análise do produto 2.4 e em função dos critérios mencionados anteriormente. Além disso, foram levados em consideração os desafios do desenvolvimento tecnológico e industrial do Uruguai. Adicionalmente, foram feitos comentários detalhados correspondentes aos setores industriais subjacentes aos quais se referem algumas iniciativas gerais, procurando alinhar as indicações da Indústria 4.0 a eles.

3.4.1 Iniciativas consideradas

1. Biovalor/ 2017

Projeto que visa promover tecnologias de recuperação de resíduos, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

O Governo uruguaio, junto com a ONUDI, está realizando este projeto com o objetivo de apoiar a transição de um modelo linear para um modelo circular, entendendo que este processo é necessário para alcançar uma mudança efetiva em direção a formas sustentáveis de produção e consumo.

2. Plano para coleta de lâmpadas

O plano é responsável pela coleta das lâmpadas gastas que a população deposita nos recipientes localizados em locais próximos. Posteriormente, serão transferidas para uma estação de tratamento, onde serão tratadas de acordo com um sistema homologado pelo órgão ambiental.

3. Recuperação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (Antel Integra):

São utilizados equipamentos de informática em desuso, doados por empresas e pessoas físicas.

A Antel possui um centro de reciclagem responsável pela classificação, desmontagem, limpeza e reciclagem dos equipamentos recebidos. Neste centro são montados computadores completos que possuam as exigências mínimas de hardware e com software livre instalado.

O objetivo do projeto é colaborar principalmente com os locais com menor poder aquisitivo, oferecendo PCs reciclados, com software gratuito e acesso à internet.

4. Plano Nacional de Eficiência Energética

O Plano inclui instrumentos de âmbito geral, transversais a todos os setores, e instrumentos de caráter setorial, dirigidos a um público segmentado segundo as suas características de consumo.

Reciclagem de resíduos no setor de construção para produzir ou reutilizar materiais necessários à construção de estruturas. O Plano apresenta diversos



instrumentos através dos quais será alcançada uma meta de energia evitada de 1.690 ktep no período de 2015 a 2024.

5. Circularidade de nutrientes em laticínios

Aprofundar o potencial da circularidade de nutrientes dentro dos estabelecimentos de laticínios.

Melhoria, monitoramento e avaliação dos sistemas de gestão de resíduos e efluentes em 5 unidades de demonstração do sistema nacional de ensino superior.

6. Parque Tecnológico Industrial do Cerro: Projeto valorizando seus resíduos

O Parque Tecnológico Industrial do Cerro (PTIC) está implementando progressivamente sua gestão de resíduos.

Atualmente a gestão inclui a coleta de resíduos não recuperáveis, serviço contratado com a Prefeitura de Montevideu, e a coleta de resíduos recuperáveis tais como sucatas, papelão e papel. Eles são entregues a empresas responsáveis pela reciclagem. O conceito de melhoria contínua é afirmado tanto na gestão de resíduos quanto em outros aspectos ambientais.

O objetivo do projeto é criar a usina de triagem de resíduos do PTIC.

7. Projeto MOVÉS

Ações concretas de promoção do transporte público, dos modos de transporte não motorizados e do uso de veículos elétricos.

O objetivo do projeto é promover a transição efetiva para uma mobilidade urbana inclusiva, eficiente e de baixa emissão de carbono no Uruguai.

8. Estações de recarga para transporte elétrico

Em 2017, teve início o projeto que conecta as estradas do Uruguai com diversas estações de recarga elétrica em todos os departamentos.

O objetivo do projeto é dotar o Uruguai de uma infraestrutura para a expansão da mobilidade elétrica.



3.4.2 Enfoques dos modelos de negócio circular, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais

A seguir, são apresentadas as iniciativas de Economia Circular do Uruguai em uma tabela descrevendo cada uma delas com base em seus principais objetivos, o modelo de negócio circular implícito, as tecnologias 4.0 potencialmente aplicáveis e os benefícios esperados desta aplicação.

Tabela 6. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Uruguai

Fonte: elaboração própria

Nome e Objetivos	Enfoque do modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
Biovalor Otimizar a recuperação de resíduos sob uma perspectiva circular	Modelos de negócio: recuperação de recursos; provisionamento circular; extensão da vida útil.	IoT, serviços em nuvem, software e sensores inteligentes, <i>Bigdata</i> , robótica e inteligência artificial. Recipientes inteligentes, digestão anaeróbia para geração de biogás e biofertilizante, tratamento de resíduos para uso como corretivo do solo, despolimerização catalítica para geração de Diesel sintético, tratamento de água para fertirrigação, combustão para vapor ou energia, gaseificação para geração de gás. Tratamento de resíduos do setor de laticínios e de produção de carne para uso como corretivos do solo	Potencial para criar estações de recuperação de materiais: Flexíveis nos processos de tratamento, seguros e com capacidade de recuperação de 100% dos resíduos. Redução do impacto ambiental, integração da cadeia de valor e geração de eficiência.
Plano para coleta de lâmpadas Gerenciamento do fim de vida de lâmpadas fluorescentes compactas.	Modelo de negócio: Recuperação do valor dos recursos; extensão da vida útil	<i>Bigdata</i> , Internet das coisas, robótica, recipientes inteligentes, serviços em nuvem, veículos de coleta de baixo impacto ambiental.	Integração da cadeia de valor, eficiência e redução do impacto ambiental.
Recuperação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (Antel Integra) Ampliar as possibilidades de	Todos os modelos de negócio circulares.	<i>Bigdata</i> , Internet das coisas, robótica, recipientes inteligentes, serviços em nuvem, veículos de coleta de baixo impacto ambiental.	Dinamizar a internet, reduzindo o impacto ambiental.



acesso à informática e à internet.			
------------------------------------	--	--	--



Tabela 6. Modelos de negócio circulares, tecnologias 4.0 e benefícios potenciais no Uruguai (continuação)

Fonte: elaboração própria

Nome e Objetivos	Enfoque do modelo de negócio circular	Potenciais tecnologias 4.0	Benefícios potenciais
Plano Nacional de Eficiência Energética Promover a eficiência energética em todos os setores.	Todos os modelos de negócio circulares.	<i>Bigdata</i> , Internet das coisas, software inteligente, inteligência artificial e conexão de sensores.	Eficiência energética no consumo.
Circularidade de nutrientes em laticínios Aprofundar o potencial da circularidade de nutrientes dentro dos estabelecimentos de laticínios.	Modelo de negócio: provisionamento circular e recuperação de recursos.	Robótica, sensores ligados a softwares inteligentes e à Internet das coisas.	Redução do impacto ambiental.
Parque industrial do Cerro: recuperação de resíduos. Criar uma estação de triagem de resíduos.	Modelo de negócio: provisionamento circular e recuperação de recursos.	Robótica, <i>Bigdata</i> , Internet das coisas, sensores, inteligência artificial.	Integração da cadeia de valor e redução do impacto ambiental.
Projeto MOVES Mobilidade sustentável	Modelo de negócio: provisionamento circular	<i>Bigdata</i> , software inteligente conectado a sensores e Internet das coisas.	Geração de sistemas automatizados de informatização para transporte público nas cidades.
Pontos de recarga para transporte elétrico Mobilidade sustentável.	Modelo de negócio: provisionamento circular. Este projeto, dada a sua natureza circular, tem grande potencial para usar o ecodesign na estrutura física do ponto de recarga.	<i>Bigdata</i> , sensores, software inteligente.	Promoção de carros elétricos.

Os benefícios decorrentes da aplicação das tecnologias 4.0 aos projetos descritos na tabela acima são detalhados a seguir.

- Como já foi explicado para outros projetos de gestão de resíduos como **Biovalor, Plano para Coleta de Lâmpadas, Antel Integra ou Parque Industrial do Cerro**, o potencial de integração da tecnologia 4.0 é integral em todos os seus processos, da coleta ao transporte e sua logística, e o tratamento final nas usinas. Recipientes inteligentes, *Bigdata*, IoT e inteligência artificial (IA), para transmissão e gerenciamento de dados, robótica da usina no tratamento e manutenção de resíduos e possibilidade de uso de drones para o

monitoramento de aterros sanitários. O objetivo é criar usinas de produção de materiais com processos flexíveis, dependendo da composição dos materiais tratados, seguras para trabalhadores no tratamento e na manutenção e integrais, no que diz respeito à sua capacidade de recuperação de todos os materiais. Os benefícios da eficiência de custos e redução do impacto ambiental são evidentes.

- A elaboração do **Plano Nacional de Eficiência Energética** requer um conhecimento detalhado dos ativos e consumos dos diferentes setores, ter critérios homogêneos para a identificação dos ativos a serem considerados, definição de indicadores de cálculo homogêneos, criar projetos para a implementação das diretrizes do trabalho em cada setor, conhecimento e coordenação geral da implementação de projetos-piloto e compartilhamento de experiências de trabalho entre os diferentes setores. O potencial para a aplicação das tecnologias 4.0 para o desenvolvimento do plano inclui a combinação de *Bigdata*, computação em nuvem, inteligência artificial, cibersegurança e internet. O objetivo final será criar uma dinâmica de melhoria contínua de colaboração público-privada. Os benefícios da eficiência de custos e redução do impacto ambiental são evidentes.
- As tecnologias potenciais para aplicação na **iniciativa Circularidade de Nutrientes em Laticínios** baseiam-se na automação dos processos de qualidade e segurança do produto, robotização nas etapas de paletização e embalagem e digitalização tanto para as tarefas de gestão comercial das empresas quanto para assegurar a rastreabilidade dos produtos nas diversas etapas produtivas da empresa, incluindo armazenamento e logística. Dentro delas, estão começando a se difundir a tecnologia *Blockchain*, sensores e softwares para controle de efluentes, de fertilizantes e da qualidade do solo. O objetivo de todos eles é gerar eficiência, segurança e higiene do produto, maior qualidade e redução do impacto ambiental.
- O **Projeto Moves**, que parte do conceito de *smartcity*, requer basicamente um processo de digitalização massiva da mobilidade. As tecnologias a serem combinadas são: sensores das vias públicas e meios de transporte que fornecem informações em tempo real sobre a situação, condições e disponibilidade do serviço, internet, *Bigdata* e inteligência artificial gerenciados em plataformas integradas com capacidade de analisar globalmente o processo integrado de prestação do serviço de mobilidade cidadã, a fim de oferecer serviços eficientes e práticos aos cidadãos. Todo esse novo conceito de mobilidade significará grande economia nos custos de energia e redução do impacto ambiental.
- O aspecto com maior potencial para o projeto de **Postos de Recarga para Transporte Elétrico** seria a incorporação de técnicas de ecoprojeto no processo de fabricação dos ativos a serem instalados. O ecoprojeto como metodologia incorpora a variável ambiental no projeto dos produtos com o objetivo de gerar processos de fabricação mais competitivos porque integram essa variável nas exigências de qualidade do produto, ligando-os desta forma

às expectativas do cliente e às exigências de rentabilidade do investimento da empresa.

4. Conclusões

4.1 Considerações anteriores

Para apresentar as conclusões sobre os benefícios específicos das iniciativas analisadas, considera-se relevante destacar uma série de aspectos anteriores que ligam este documento ao 5.1, enquadrando-os na mesma linha argumentativa de análise.

Se forem consideradas as iniciativas existentes nos diferentes países, pode-se concluir que **há em todos eles um compromisso com a Economia Circular e a Indústria 4.0**, uma vez que essas iniciativas têm alto potencial de benefício econômico e ambiental simultaneamente e também têm o potencial para se tornar a base para a expansão da economia circular e da indústria 4.0 em cada país.

Um aspecto primordial e importante a destacar para a efetiva implementação dessas iniciativas é a necessidade de considerar a resistência à mudança implícita em qualquer transformação cultural no desenvolvimento de projetos de tecnologia avançada integrados em modelos de economia circular. A implementação dos modelos de economia circular apoiados na tecnologia 4.0 implica em mudanças importantes nas formas de compreensão das relações com os grupos de interesse e a organização interna do trabalho nos processos. Uma destas mudanças importantes a considerar é a evidência de que **a implementação de tecnologia avançada implica em projetar processos colaborativos eficientes** entre diferentes departamentos internos das empresas, diferentes empresas (a princípio concorrentes) e com a administração e o mundo do conhecimento. Isso ocorre porque o risco de inovar, devido aos altos investimentos a serem aplicados, precisa ser mitigado por meio da cooperação com os demais agentes da cadeia de valor, com o governo e com o mundo do conhecimento simultaneamente.

Além disso, **existem também barreiras regulatórias, organizacionais e de mercado** que devem ser previamente identificadas e analisadas para definir uma estratégia de forma a mitigar o risco de implementação existente. As principais barreiras potenciais existentes para a implementação desses tipos de iniciativas analisadas e que foram deduzidas das fontes de informação utilizadas no desenvolvimento deste documento podem ser resumidas conforme a seguir (muitas delas também têm apoio expresso nos indicadores utilizados no produto 5.1):

- Os custos de investimento necessários.
- Possibilidade de acesso a trabalhadores treinados nessas tecnologias.



- Estrutura e cultura organizacional das organizações.
- Infraestrutura de telecomunicações do país.
- Financiamento e/ou linhas de crédito insuficientes.
- Modelos de gestão que não são capazes de refletir o valor do retorno dos investimentos.
- Dificuldades de integração de novos softwares nos sistemas próprios das empresas.
- Eficácia da regulamentação existente.

Outro aspecto a destacar previamente, a fim de facilitar e potencializar a implementação dessas medidas em cada país e que potencializaria sua sinergia na obtenção de benefícios globais, refere-se à conveniência de definir uma **estratégia global de economia circular e Indústria 4.0 para cada país**. Estratégia com objetivos compartilhados e iniciativas públicas, setoriais e regionais alinhadas com esses objetivos. Isso gerará sinergias de diferentes iniciativas e melhorará a imagem de todo o esforço coletivo desenvolvido com base na transparência do projeto abrangente que engloba todas as iniciativas. O desenvolvimento desta estratégia global deve ser apoiado por uma estrutura organizacional pública que coordene a nível nacional a definição e implementação das iniciativas prioritárias e que seja o ponto de encontro entre as exigências do Estado em termos de compromissos internacionais e estratégia competitiva nacional e a promoção de setores e regiões industriais com base na inovação circular e na Indústria 4.0.

Um dos principais desafios tecnológicos presentes em todos os países é a necessidade básica e prévia de desenvolvimento de todas as iniciativas específicas para consolidar o desenvolvimento das estruturas de tecnologia de telecomunicações, ampliá-las e aumentar sua capacidade de conexão, pois são o suporte para o progresso na implementação da Indústria 4.0. Esta medida é a base para o desenvolvimento das iniciativas restantes apresentadas e a sua deficiência criaria dificuldades para o seu desenvolvimento.

4.2 Tecnologias 4.0 aplicáveis por setor

Os principais desafios tecnológicos dos setores considerados são mencionados a seguir:

- **Setor agroalimentar:** neste setor é visualizado o conceito de propriedades agrícolas inteligentes. A tendência geral é gerar processos produtivos sustentáveis. Nesse setor, estão sendo usados serviços de GPS, tecnologia M2M, IoT alinhada com sensores e *Bigdata* para otimizar a produtividade dos cultivos, reduzindo os insumos de peso produtivo, água, energia, fertilizantes e pesticidas, assim como resíduos. Isso exige o monitoramento da produção a partir da previsão do rendimento, monitoramento da saúde do cultivo, suas necessidades e a recuperação dos solos para



otimizar a rotação dos cultivos. Requer a incorporação de dados do solo, telemetria, software inteligente, *Bigdata*/IoT e serviços em nuvem.

- **Setor de laticínios:** seriam aplicadas tecnologias de automação parcial de processos associados a controles de qualidade e segurança dos produtos, com sensores e plataformas em nuvem:
 - Automação total dos processos de produção.
 - Robotização de processos parciais ou isolados.
 - Tecnologias baseadas no domínio digital, tanto para as tarefas de gestão comercial das empresas, como para assegurar a rastreabilidade dos produtos nas várias fases produtivas da empresa, incluindo armazenamento e logística.
 - Sistemas, sensores e software de controle de qualidade de efluentes, fertilizantes e solo.
- **Setor de mineração:** neste setor, especialmente importante no Chile e no México, o uso da tecnologia 4.0 é fundamental para melhorar a segurança das pessoas, a manutenção de máquinas pesadas, a operação remota da produção e o consumo de energia nos ativos, de acordo com as condições operacionais e a redução dos custos de insumos ao comprador final com *Blockchain*. Consolidar neste setor a combinação de sensores, IoT, *Bigdata* e nuvem permitirá a implementação de algoritmos de inteligência artificial que previnem situações de risco, assim como a robótica e os sensores irão otimizar a gestão da manutenção e da energia utilizada, que apresentam custos muito significativos para o setor. A segurança cibernética também está se tornando cada vez mais importante para manter os processos ativos.
- **Setor energético:** este setor é outro dos grandes alvos para a aplicação da tecnologia 4.0 e é fundamental nos quatro países. A energia tem dois principais pontos de desenvolvimento tecnológico: a transmissão e distribuição de energia renovável e o potencial de melhoria da eficiência energética no consumo. Em relação à distribuição e comercialização, o desafio é gerar a rede inteligente com sensorização. Através de medidores e software inteligentes, as perdas da rede serão reduzidas e o gerenciamento ideal da demanda aumentará a eficiência do consumo. Tudo isso conectado, integrado e monitorado através de *Bigdata*, nuvem, IoT e drones. A digitalização do serviço ao consumidor desempenha um papel fundamental, uma vez que irá servir os kWh produzidos e proporcionar a possibilidade de adaptar o processo de geração à demanda online.
- **Gestão de resíduos:** neste setor, a integração da tecnologia é plena em todos os seus processos, desde a coleta, transporte e logística, até o tratamento final nas usinas. Recipientes inteligentes, *Bigdata*, IoT e inteligência artificial (IA), para transmissão e gerenciamento de dados,



robótica da usina no tratamento de resíduos e manutenção e possibilidade de uso de drones para o monitoramento de aterros sanitários. O objetivo é criar usinas de produção de materiais com processos flexíveis, dependendo da composição dos materiais tratados, seguras para trabalhadores no tratamento e na manutenção e integrais, no que diz respeito à sua capacidade de recuperação de todos os materiais.

- **Setor de manufaturas:** este setor é a principal alavanca para o desenvolvimento da Indústria 4.0, portanto todos os esforços para sua promoção e consolidação contribuirão diretamente para a extensão da Indústria 4.0 no desenvolvimento das economias dos países. A manufatura está presente nas quatro economias de forma importante e é possível aplicar todas as tecnologias e modelos de negócio circulares definidos. A decisão de aplicar uma ou outra tecnologia dependerá do mix de negócios circulares definidos na estratégia de cada empresa e de sua capacidade de incorporar as mudanças estruturais e operacionais implícitas.

4.3 Benefícios sociais

A união dos modelos circulares com a tecnologia 4.0 aumentará o valor econômico gerado pelos países. Este acréscimo de valor econômico será apoiado justamente pelo desenvolvimento dos seguintes pilares necessários à implementação do novo paradigma circular e tecnológico:

- **aumento da capacitação tecnológica** necessária dos profissionais;
- **qualidade das universidades** e sua participação no desenvolvimento de diretrizes para o trabalho em conjunto com as empresas;
- **cooperação** nacional e internacional necessária à formulação de projetos de inovação rentáveis;
- participação de profissionais com critérios de **igualdade de gênero**;
- alinhamento com os compromissos internacionais sobre **mudanças climáticas** e com os demais **objetivos de desenvolvimento sustentável**;
- e a efetiva implementação de uma **cultura de inovação e transparência** de estratégias para os agentes envolvidos.

Todos esses elementos integrados de forma coordenada apoiam a melhoria das condições de vida das pessoas. E para isso, esses elementos, devidamente considerados, têm que efetivamente impulsionar os demais setores econômicos, apoiando-se em um alto grau de capilaridade no tecido socioeconômico do país, e isso depende de três questões fundamentais:

- o **grau de liderança** que a administração é capaz de desempenhar na criação de um ambiente de colaboração público-privada eficaz;



- a **qualidade institucional** existente alicerçada numa elevada segurança jurídica e numa baixa complexidade das condições exigidas para a criação de novos negócios;
- e a existência de um **roteiro de consenso** com os principais agentes que reflita a progressividade e a hierarquização das iniciativas de acordo com a posição competitiva do país.

Pela lógica utilizada nos documentos 5.1 e 5.2, considera-se que o risco, que está sendo mantido por setores da mídia, consiste na perda de empregos pela utilização de um indicador baseado no "potencial de posições automatizáveis". Esse risco pode ser perfeitamente mitigado com a definição de uma estratégia abrangente, progressiva e flexível acordada com todos os agentes sociais. Isso produzirá projetos de inovação de uma natureza diferente que irão criar um contexto de transformação eficaz e eficiente para a criação de empregos de qualidade.

Em suma, o que se pensa com o desenvolvimento destas iniciativas conjuntas baseadas em modelos de economia circular e tecnologia 4.0 é uma **revolução ética em que se apoiará a competitividade do país e das empresas**. O apoio ético à tecnologia será oferecido pela economia circular, cuja filosofia se baseia nos princípios da sustentabilidade.



Anexo 1 - Tecnologias da Indústria 4.0

As tecnologias da Indústria 4.0 visam a implementação de uma fabricação avançada, possibilitando a integração das cadeias de valor e conectando o consumidor ao processo produtivo e ao modelo de negócio. Neste contexto, tem-se desenvolvido um conjunto de tecnologias cuja implementação dependerá da posição competitiva de cada empresa no mercado e das características do setor em questão. Embora seja verdade que o setor manufatureiro seja o principal impulsionador das tecnologias da Indústria 4.0, isso não é um obstáculo para não as considerar adequadamente nos demais setores produtivos, uma vez que sua capacidade competitiva futura dependerá também de sua implementação.

O gráfico a seguir mostra as tecnologias da Indústria 4.0:

Figura 1. Tecnologias da Indústria 4.0.

Fonte: Kaizen Melhoria contínua (Can, s.f.)





As tecnologias da Indústria 4.0 são as seguintes (lista elaborada a partir de (ONU, 2019)).

- **Big Data analytics e Blockchain:** trata-se da gestão e desdobramento de um grande volume de dados complexos com alta velocidade de crescimento, de tal magnitude que é impossível processar com ferramentas convencionais, no tempo necessário para torná-lo útil.

Todas as ações tomadas pelos usuários, como digitação, consulta a um navegador digital ou uma transação com cartão, são registradas, criando um rastro de informações valiosas. Essas informações são fundamentais, pois refletem as preferências do usuário, gostos atuais e tendências futuras que podem ser previstas por meio de padrões de previsão. Isso apresenta como exemplo o potencial de uso de *Big Data*.

Essa tecnologia colocou a gestão inteligente de dados a serviço das organizações, permitindo-lhes oferecer melhores produtos aos seus clientes. **No entanto, esta tecnologia continua a envolver alguns desafios especialmente relacionados com a segurança dos dados e ainda existem questões a serem resolvidas, como a propriedade dos dados, o uso das informações do usuário e sua autorização.** Por esse motivo, propõe-se a utilização desta tecnologia em conjunto com o *Blockchain* (tecnologia de banco de dados distribuído e protegido por criptografia), pois a partir de sua combinação o sistema de informação ganhará em segurança, precisão na coleta e classificação de dados e transparência. Assim, na Indústria 4.0, a correta gestão e análise desses dados tem um papel fundamental, sem esquecer que em última instância caberá aos profissionais agregar valor na integração e projeção dos dados, permitindo dar um salto qualitativo para a empresa.

- **Robótica colaborativa/avançada:** a automação é vital para as fábricas, pois otimiza processos, economizando energia, custos e tempo. Os robôs colaborativos (cobots) foram criados para ajudar as pessoas a realizar tarefas de automação e aumentar a produtividade. Os cobots são projetados para assegurar a segurança dos trabalhadores quando eles entram em contato direto com o robô enquanto realizam suas tarefas.
- **Internet das coisas:** trata-se da evolução da internet. Essa evolução representa uma mudança radical na qualidade de vida das pessoas e na forma como se relacionam, pois oferece um grande número de novas oportunidades que permitem a ligação de dispositivos e a interação entre eles ou com dispositivos centralizados.
- **Computação em nuvem:** são plataformas que permitem o acesso colaborativo e a recuperação de grandes quantidades de dados de qualquer lugar ou dispositivo, permitindo o fluxo massivo de dados. Estas plataformas não só permitem o armazenamento de dados, mas também



permitem a utilização de software na rede, sem dispor fisicamente das infraestruturas.

- **Manufatura aditiva (impressão 3D):** a impressão 3D permite a produção de objetos tridimensionais a partir de modelos virtuais, facilitando a prototipagem, a fabricação de produtos personalizados e a produção descentralizada. Assim, por meio de impressoras 3D, peças complexas são fabricadas em tempo reduzido e a um custo competitivo, uma vez que os custos logísticos são reduzidos.
- **Cibersegurança:** trata da proteção da informação digital. Devido à grande evolução que as novas tecnologias trouxeram, a proteção dos sistemas de informação e comunicação ganha importância, especialmente num momento em que existe a interligação entre dispositivos e sistemas. Assim, a cibersegurança garante a proteção, privacidade e segurança das empresas, assegurando todas as informações disponíveis sobre elas.
- **Realidade aumentada:** A realidade aumentada usa o ambiente físico para fornecer dados e informações em tempo real. Esta tecnologia é uma ferramenta que pode ser utilizada para apoiar os processos de produção e que melhora a tomada de decisões a partir das informações que disponibiliza.
- **Integração horizontal e vertical de sistemas:** os sistemas permitem a integração de tecnologias operacionais com tecnologias de informação e comunicação. Eles conectam máquinas com máquinas, máquinas com produtos e integram as diferentes áreas da unidade produtiva, impactando na gestão interna da empresa. Mas, além disso, permitem, por meio de plataformas digitais, a conexão da empresa com outros atores de sua cadeia de valor, como fornecedores, atores do sistema de logística e transporte, chegando até o cliente.
- **Inteligência artificial e aprendizado automático:** visa desenvolver técnicas para que as máquinas possam aprender e tomar decisões por si mesmas. Este aprendizado é possível graças à detecção de padrões dentro de um conjunto de dados de tal forma que é o próprio programa que prevê quais situações podem ou não ocorrer. São esses cálculos que lhes permitem aprender a finalmente gerar decisões e resultados confiáveis. **A chamada inteligência artificial e os sensores**, combinados com a computação em nuvem, oferecem uma gama crescente de soluções que permitem um salto qualitativo em termos de flexibilidade, um dos fatores-chave da Indústria 4.0.
- **Sensores:** contribuem para o sistema com a conectividade dos elementos de hardware e constituem um elenco de atuadores elétricos e sensoriais nos elementos físicos. Tudo isto complementado com a aplicação da internet nas empresas para a transmissão de dados, abrindo assim as portas a um conceito revolucionário como a "produção descentralizada".



Referências

- 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://manuelguerrerocono.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, 2020, 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/ener-tic-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-generacion-de-energia-elctrica-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-lumbrado-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>



AVISO

Todas as indicações, dados e resultados constantes neste documento foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante de erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e outros órgãos governamentais se eximem da responsabilidade de implementar quaisquer dos resultados, interpretações, recomendações, estimativas ou conclusões contidas neste estudo.



ESTE RELATÓRIO É NEUTRO EM CARBONO

A Factor neutraliza sua pegada de carbono e se tornou a primeira empresa espanhola a certificar a neutralidade de suas emissões sob o padrão PAS 2060.



A organização está registrada no Registro de Projetos de Pegada, Compensação e Absorção de Carbono do Ministério da Agricultura, Alimentação e Meio Ambiente da Espanha.



Como demonstração de seu compromisso, a Factor calcula a pegada de carbono de cada projeto e a compensa com unidades oficiais de valor do Protocolo de Kyoto.

Este projeto será neutro em carbono.