



INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE

ECONOMÍA CIRCULAR

Oportunidades que surgen para la INGENIERÍA

COMISIÓN ECONOMÍA CIRCULAR • 2022

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE
Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidenta

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segundo Vicepresidente

Cristian Hermansen Rebolledo

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorera

Marcela Munizaga Muñoz

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretaria

Ximena Vargas Mesa

DIRECTORIO 2022

Hernán Alcayaga S.

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Fernando Bravo Fuenzalida

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alejandra Decinti Weiss

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Carlos Mercado Herreros

Viviana Meruane Naranjo

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Juan Music Tomicic

Ricardo Nanjarí Román

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Alejandro Steiner Tichauer

Luis Valenzuela Palomo

Ximena Vargas Mesa

René Vásquez Canales

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

**SOCIEDADES ACADEMICAS
MIEMBROS DEL INSTITUTO**

ASOCIACION CHILENA DE SISMOLOGIA
E INGENIERIA ANTISISMICA, **ACHISINA.**

Presidente: Jorge Carvallo W.

ASOCIACION INTERAMERICANA DE
INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL –
CAPITULO CHILENO, **AIDIS.**

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA
HIDRAULICA, **SOCHID.**

Presidenta: Hernán Alcayaga S.

SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA,
SOCHIGE.

Presidente: Roberto Gesche S.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA
DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN.**

Presidenta: Marisol Castro A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, **SOCHEDI.**

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Aprendizajes en Ingeniería, Modalidad Virtual.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

Ingenieros en la Historia Presente.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

La Mujer en el Estudio y Ejercicio de la Ingeniería.

Presidenta: Viviana Meruane N.

Calidad de la Ingeniería en Proyectos de Inversión

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

El Hidrógeno Verde y las Energías Renovables.

Presidente: Cristian Hermansen R.

*El Estado, su Eficiencia, su Rol y los Desafíos
Futuros*

Presidente: Jorge Pedrals G.

Cambio Climático y el Agua.

Presidente: Luis Nario M.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández



INSTITUTO DE INGENIEROS
C H I L E

ECONOMÍA CIRCULAR

Oportunidades que surgen para la INGENIERÍA

Presidente: Javier García Monge
Participantes: Juan Carlos Barros
Luis Abdón Cifuentes
Cristián Hermansen
Alejandra Tapia
Jorge Yutronic

INFORME DE LA COMISIÓN ECONOMÍA CIRCULAR

Septiembre de 2022

Agradecimientos

El Instituto de Ingenieros de Chile agradece a cada uno de los miembros de la Comisión por el trabajo realizado y su participación en la elaboración del presente Informe: Javier García, Alejandra Tapia, Cristián Hermansen, Jorge Yutronic, Juan Carlos Barros y Luis Abdón Cifuentes.

En especial, se agradece a los expositores invitados, por su aporte al trabajo de la Comisión: Juan Rayo (JRI Ingeniería), Alejandra Tapia (Construye 2025), Guillermo Gonzalez (ex Ministerio de Medio Ambiente), Verónica de la Cerda (Triciclos), Shardul Agrawala (OECD), Marcela Godoy y Carolina Moya (Ecodiseño, Santiago Slow), Mauricio López y Felipe Vargas (PUC, Laboratorio de Materiales), Felipe Cevallos y Ricardo Reppening (Reborn).

Finalmente, al Ingeniero Civil Raúl Uribe Sawada, quien como Editor de las publicaciones del Instituto colaboró en la revisión del material del presente Informe.

Índice

Índice de tablas	3
Índice de figuras	3
Siglas y abreviaciones	4
1 Resumen Ejecutivo	5
2 Introducción	6
3 Antecedentes	7
3.1 Uso de Materiales	7
3.2 Modelo lineal versus modelo circular	7
3.3 La Hoja de Ruta para Chile Circular	9
3.4 Gestión de Residuos	10
3.5 La Ley REP	12
4 Modelos de Economía Circular	12
4.1 Modelo de Insumos Circulares	13
4.2 Modelo de Uso de Residuos como materias primas (reciclaje)	13
4.3 Modelo de Extensión de la vida útil	13
4.4 Modelo de usos compartidos	14
4.5 Modelo de servicios	14
5 Oportunidades económicas	16
6 Oportunidades para la ingeniería	19
6.1 Oportunidades para el desarrollo de Chile	19
6.2 Oportunidades específicas para la ingeniería	21
6.3 Concepto final de oportunidades	24
7 Estudios de Caso	24
7.1 Construcción	24
7.2 Neumáticos fuera de uso	29
7.3 Valorización de relaves de cobre	32
7.4 Gestión del agua	34
7.5 Reacondicionamiento de buses	36
8 Recomendaciones	37
8.1 Promover la formación sobre EC en carreras asociadas a diseño y construcción	37
8.2 Promover las compras sostenibles del Estado	37
8.3 Mejorar la regulación para la promoción y adopción de la EC	37
8.4 Promover estándares ESG (ASG) en la gestión empresarial	38
9 Conclusiones	38
10 Bibliografía	39

Índice de tablas

Tabla 1. Metas de la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040.	9
Tabla 2. Metas de recolección para envases y embalajes domiciliarios.	12
Tabla 3. Conceptualización de beneficios (costos) ambientales asociados a modelos de negocio de Economía Circular.	15
Tabla 4. Metas Ley REP neumáticos fuera de uso.....	30
Tabla 5. Porcentaje en peso de diferentes componentes en neumáticos.....	31

Índice de figuras

Ilustración 1. Esquema de Economía Circular.	8
Ilustración 2. Relación entre pobreza comunal y porcentaje de recaudación para el financiamiento de la gestión de RSD.....	10
Ilustración 3: Ejes de la Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en Construcción 2035.	26
Ilustración 4: Acopio de material reciclado para pavimentos asfálticos, región de Valparaíso.	27
Ilustración 5: Pavimentación con material reciclado, región de Valparaíso.....	28
Ilustración 6: Camino asfaltado con material reciclado. Región de Valparaíso.....	29
Ilustración 7: Aprovechamiento de relaves mineros de cobre	34
Ilustración 8: Precipitaciones anuales y promedio de 10 años, estación Quinta Normal, 1979-2021	34

Siglas y abreviaciones

Sigla	Significado
ASG	Ambiente, Social y Gobernanza
AST	Aguas servidas tratadas
CASEN	(Encuesta de) Caracterización Socioeconómica Nacional
CChC	Cámara Chilena de la Construcción
CO2	Dióxido de carbono
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
EC	Economía Circular
ESG	Environment, Social and Governance (ver ASG)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IC	Instituto de la Construcción
ICE	Internal Combustion Engine
gT	Giga Toneladas (mil millones de toneladas)
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NFU	Neumáticos fuera de uso
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas
OECD	Organización para el Desarrollo y la Cooperación Económica
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de Naciones Unidas por el Desarrollo
RCD	Residuos de construcción y demolición
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
SINIM	Sistema Nacional de Información Municipal
SUBDERE	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
UNEP	Programa de Naciones Unidas por el Medio Ambiente
US\$	Dólares de Estados Unidos de Norteamérica

1. RESUMEN EJECUTIVO

La Economía Circular se plantea como alternativa al modelo económico vigente, considerado lineal, donde los materiales se extraen, refinan y procesan, se consumen y se descartan. Los impactos ambientales del modelo lineal plantean problemas de sostenibilidad serios a escala planetaria por la emisión de gases de efecto invernadero, contaminación atmosférica, pérdida de biodiversidad, eutroficación y contaminación de cuerpos de agua, entre los más importantes.

Si bien el tránsito desde la economía lineal a la circular es deseable, tanto por beneficios económicos, creación de empleos de calidad y, especialmente, beneficios ambientales, la transformación económica no es evidente y requiere la puesta en marcha de políticas que la favorezcan.

Existen ejemplos de sectores que ya han iniciado el tránsito desde modelos lineales a circulares. Sin embargo, la magnitud de los cambios aún es insuficiente para alinear la economía con las metas del Acuerdo de París y con la necesidad de detener la pérdida irreversible de biodiversidad. Para ello, se requieren políticas más ambiciosas y una implementación más efectiva de la economía, que produzcan las transformaciones requeridas.

El informe que se presenta a continuación entrega el contexto para entender la necesidad de una economía circular, entregando datos sobre consumo de materiales, información sobre las características principales de los modelos lineales y circulares. Posteriormente ahonda en elementos de política vigente como la ley de Promoción del Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor y la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2050, incluyendo un análisis de la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Luego, se entregan elementos de análisis para entender los modelos económicos que subyacen a la economía circular junto con una evaluación de las ventajas y desventajas asociadas, de los beneficios económicos que surgen de una implementación más extendida de la economía circular así como las oportunidades que surgen para la ingeniería, asociadas a este nuevo modelo, desde el diseño de procesos y proyectos hasta su puesta en marcha, pasando por elementos de empleo calificado y productos con mayor valor agregado.

A continuación, se presentan estudios de casos que muestran cómo es posible implementar proyectos de economía circular, que cubren sectores diversos de la economía, tales como construcción, minería, gestión de recursos hídricos, entre los más importantes. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, donde destaca la necesidad de profundizar en los avances que ya se han realizado, de modo que tanto la legislación, la formación de profesionales y los incentivos para las empresas, estén alineados con las metas económicas, sociales y ambientales que surgen del modelo circular propuesto.

Esperamos que este trabajo motive a profesionales, servidores públicos y académicos a profundizar en los beneficios que proporciona la Economía Circular y a colaborar en la superación de las barreras que dificultan su implementación.

2. INTRODUCCIÓN

El planeta, más allá del freno económico que ha significado la pandemia del Covid-19, particularmente en 2020, junto con otras crisis económicas y financieras, ha experimentado un crecimiento económico progresivo, particularmente a partir de los años 50 del siglo pasado. Sin embargo, ese crecimiento ha sido acompañado hasta hace poco, de un descuido sobre los efectos ambientales asociados, por una parte, a la extracción de recursos para mantener el sistema productivo y, por otra, a la disposición final de desechos que produce el ciclo económico. Estos dos efectos están llevando al planeta a sobrepasar ciertos límites lo que podría implicar transformaciones en los sistemas físicos con eventuales puntos de no retorno que pondrían la estabilidad global de los sistemas económicos y sociales en riesgo.

La Economía Circular se presenta como una propuesta de transformación del modelo lineal vigente, que contribuye al desarrollo económico y social de los pueblos y, al mismo tiempo, tiene en cuenta las restricciones y posibilidades que plantea el entorno natural.

Este modelo ha ganado aceptación en los últimos años de modo que actualmente varios países han definido programas, hojas de ruta o legislaciones que favorecen la transición desde la economía lineal a la circular¹. Del mismo modo, muchas empresas han adoptado la circularidad como base de sus procesos productivos, contribuyendo de esta forma al esfuerzo global por la sostenibilidad. Con todo, estos esfuerzos no son suficientes y aún se requieren transformaciones profundas del modelo económico para asegurar que el sistema climático se mantenga dentro de parámetros aceptables para el resto del siglo, de manera que las bases que sustentan nuestros modos de vida no se vean comprometidas.

Este trabajo muestra la situación global que motiva el surgimiento de la Economía Circular, define el concepto, sus alcances y los modelos de negocio asociados, ahonda en los avances que la EC ha tenido en el país incluyendo la promulgación de la ley REP y de la Hoja de Ruta para Chile Circular, enuncia los beneficios económicos asociados a su implementación, así como las oportunidades para el país y el desarrollo de la ingeniería que implican su adopción. Finalmente, explora algunos ejemplos concretos de su aplicación en ámbitos como la construcción y la minería, entre otros.

¹ Ver, por ejemplo, la Unión Europea: https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy_en; Japón: <https://zenbird.media/circular-economy-in-japan/#:~:text=Circular%20Economy%20refers%20to%20the,risen%20in%20a%20steady%20pace.>; Suiza: <https://circular-economy-switzerland.ch/>; EE.UU. de América: [https://www.epa.gov/recyclingstrategy/strategies-building-circular-economy-all#:~:text=A%20circular%20economy%20reduces%20material,government%20has%20pursued%20since%202009](https://www.epa.gov/recyclingstrategy/strategies-building-circular-economy-all#:~:text=A%20circular%20economy%20reduces%20material,government%20has%20pursued%20since%202009;); Canadá: <https://www.canada.ca/en/services/environment/conservation/sustainability/circular-economy.html#:~:text=In%20a%20circular%20economy%2C%20products,for%20you%20and%20future%20generations.&text=and%20create%20approximately%2042%2C000%20jobs.>

3. ANTECEDENTES

3.1 Uso de materiales²

El consumo global de materiales se estimó en 79 gT en 2011 y se proyecta que se duplicará a 167 gT en 2060, si no hay cambio en las tendencias actuales. El subconjunto más importante en el consumo, con más de la mitad del total, corresponde a arena, grava y caliza. A este lo siguen la producción de alimentos y luego cemento y acero. De todos modos, la intensidad del uso de materiales va a disminuir según las proyecciones, pero esto no será suficiente para impedir la duplicación del uso, que será liderado por las economías asiáticas. Este aumento sustantivo del consumo de materiales se explica por una mayor población y un mayor ingreso per cápita.

Un consumo de materiales de esta magnitud plantea presiones importantes sobre el medio ambiente. Este consumo está asociado a la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que su aumento plantea serias dudas de la posibilidad de cumplir con las reducciones de emisiones necesarias para las metas del Acuerdo de París. Estas emisiones se asocian al uso de combustibles fósiles en los procesos de extracción, procesamiento y transporte de materiales y la producción de acero, cemento y materiales de construcción, principalmente. Por su parte, la extracción y procesamiento de metales tiene efectos ambientales importantes en la salud humana y en los ecosistemas, incluyendo vertidos tóxicos al agua, aire y suelo.

Las tendencias proyectadas no son sostenibles. Duplicar las emisiones de GEI implica renunciar a la meta de limitar el aumento de temperatura a no más de 1,5°C sobre el promedio preindustrial, llevando al planeta a una trayectoria por sobre los 3° de aumento a fines de siglo. Un escenario de este tipo implica efectos en un conjunto importante de variables, algunos de ellos severos e irreversibles, como olas de calor, aumento del nivel del mar o incremento de incendios forestales.

Por lo tanto, se hace imperativo lograr una reducción de esta tendencia, de modo que sea posible lograr un desarrollo sostenible que posibilite a las personas satisfacer sus necesidades sin por ello exacerbar los problemas ambientales que estamos viviendo. Por ello, la Economía Circular se presenta como una solución posible para cambiar, al menos en parte, esta tendencia creciente de consumo de materiales que ha caracterizado las últimas décadas.

Por otra parte, el consumo de recursos no es parejo cuando se compara por países y regiones y, en general, son los países más desarrollados los que concentran la mayor proporción de este consumo³.

² El análisis siguiente está basado en OECD, Global Material Resources Outlook to 2060, Paris, 2018. Ver también el Panel Internacional de Recursos del PNUD que habla de un consumo de 92 mil millones de toneladas por año (92 gT), versus 37 mil millones en 1990 y 27 mil millones en 1970. Ref.: UNEP, International Resource Panel; Global Resource Outlook, 2019, página 7: <https://www.resourcepanel.org/>

³ Ver: Hickel, O'Neil, Fanning and Zoomkawala; National Responsibility for Ecological Breakdown: a fair-share Assessment of Resource Use, 1970-2017; The Lancet, Volume 6, Issue 4, April 2022. Disponible en: [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00044-4/fulltext?dgcid=raven_jbs_etoc_feature_lanplh](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00044-4/fulltext?dgcid=raven_jbs_etoc_feature_lanplh)

3.2 Modelo lineal versus modelo circular.

La economía ha funcionado sobre la base de un modelo lineal donde los recursos se extraen, procesan, transportan, usan y descartan. Este modelo está llegando a sus límites, por la carga de residuos sobre los sistemas naturales y artificiales que ya no están en condiciones de procesarlos adecuadamente⁴. De hecho, el enfoque de límites planetarios indica la existencia de subsistemas cuyas variables biofísicas deben mantenerse dentro de ciertos valores para asegurar condiciones de vida estables en la Tierra, al modo como ha sido en los últimos 11.700 años (período geológico del Holoceno). El modelo reconoce que en cuatro de estos subsistemas se han sobrepasado los límites considerados seguros, lo que puede llevar a efectos severos o irreversibles sobre los ecosistemas y la vida en general. Estos corresponden a la concentración de CO₂ en la atmósfera, la pérdida de biodiversidad, la incorporación de nitrógeno y fósforo adicional en los sistemas terrestres y acuáticos y los cambios de uso de la tierra⁵.

Por ello y reconociendo los límites del modelo lineal, se propone un modelo de economía circular, donde los materiales se mantienen por mayor tiempo dentro del ciclo económico e, idealmente, no se descartan nunca, se disminuyen significativamente los residuos generados y se regeneran los sistemas naturales; lo que se resume en la ilustración 1:

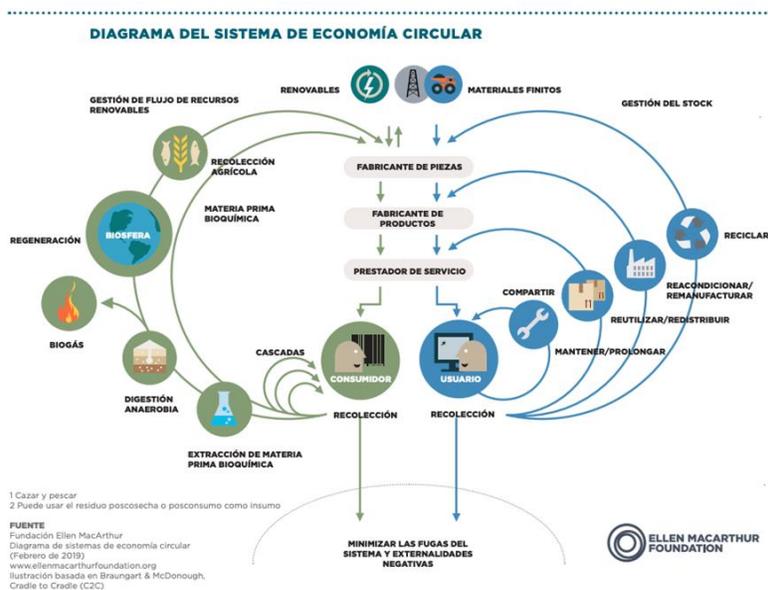


Ilustración 1. Esquema de Economía Circular.

Fuente: Fundación Ellen McArthur

<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/diagrama-sistematico>

⁴ Ver: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

⁵ Por ejemplo, el enfoque plantea un límite seguro para las concentraciones de CO₂ de 350 ppm. Las concentraciones actuales se sitúan en 412 ppm y siguen subiendo. Ver: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/the-nine-planetary-boundaries.html>; <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855>

En el diagrama se aprecia cómo la Economía Circular va cerrando los bucles, de manera que los materiales se mantienen más tiempo dentro del ciclo económico y se minimiza la generación de residuos.

3.3 La Hoja de Ruta para Chile Circular

Los Ministerios de Economía y de Medio Ambiente, la Corfo y la Agencia para la Sustentabilidad y el Cambio Climático elaboraron la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040. El documento, publicado en 2020, se elaboró con una participación ciudadana amplia que incluyó grupos de trabajo para sus cuatro ejes de acción: innovación circular, cultura circular, regulación circular y territorios circulares. Estas cuatro líneas de acción se despliegan en 28 iniciativas mediante las cuales se espera alcanzar, al 2030 y 2040, las metas de la Hoja de Ruta señaladas en la Tabla 1.

Tabla 1. Metas de la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040.

Indicador	Meta al 2030	Meta al 2040
Generación de empleo	100.000 nuevos empleos verdes	180.000 nuevos empleos verdes
Generación de RSD por habitantes	Disminución de 10%	Disminución de 25%
Generación total de residuos por PIB	Disminución de 15%	Disminución de 30%
Productividad de materiales	Aumento de 30%	Aumento de 60%
Tasa general de reciclaje	Aumento al 40%	Aumento al 75%
Tasa de reciclaje de RSD	Aumento al 30%	Aumento al 65%
Recuperación de sitios afectados por la disposición ilegal	Recuperación de 50%	Recuperación de 90%

Fuente: Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040, página 7.

La Hoja de Ruta se apoya y complementa con la ley N° 20.920, ley marco para la gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje, conocida como Ley REP⁶.

La Economía Circular (EC) se basa en escuelas de pensamiento⁷ o conceptos que han surgido en las últimas tres décadas como “De la cuna a la cuna”⁸, “La Economía del Rendimiento”⁹, “La biomímesis”¹⁰, “La Ecología Industrial”¹¹, “El Diseño Regenerativo”¹², “La Economía Azul”, entre los más importantes.

⁶ La ley REP se explica más adelante, sección 2.5.

⁷ Ver: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento>

⁸ <https://www.pdfdrive.com/cradle-to-cradle-remaking-the-way-we-make-things-e158757908.html>

⁹ https://www.globe-eu.org/wp-content/uploads/THE_PERFORMANCE_ECONOMY1.pdf

¹⁰

https://www.academia.edu/38300413/Janine_M_Benyus_Biomimicry_Innovation_Inspired_by_Nature_2002_Harper_P_ennial_1

¹¹ http://pustaka.unp.ac.id/file/abstrak_kki/EBOOKS/A%20Handbook%20of%20Industrial%20Ecology.pdf

¹² https://www.researchgate.net/publication/273379786_Regenerative_Development_and_Design

3.4 Gestión de residuos

La gestión de los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) constituye un problema para las ciudades y comunas. En Chile se generan más de siete millones de toneladas de RSD al año. Si se toma en cuenta que en algunos países la casi totalidad de los materiales incluidos en los RSD se valorizan de alguna manera, estamos ante un modelo de despilfarro de recursos. Por otra parte, como veremos a continuación, el modelo de gestión vigente ya no es viable, ni social, ni económica ni ambientalmente.

El modelo de gestión de RSD en Chile está en crisis¹³, como lo muestran los casos de la isla de Chiloé, donde parte de los residuos son transportados a Los Ángeles, a más de 600 kilómetros, debido al colapso de los sitios para disposición final en la isla. En Chile, el costo anual de esta gestión supera los 300 mil millones de pesos por año¹⁴. Solo un 30% del costo es financiado por los usuarios, siendo el 70% restante subvencionado por los municipios, con una carga proporcional mayor para las comunas de menores recursos, como se muestra en la gráfica de la ilustración 2.

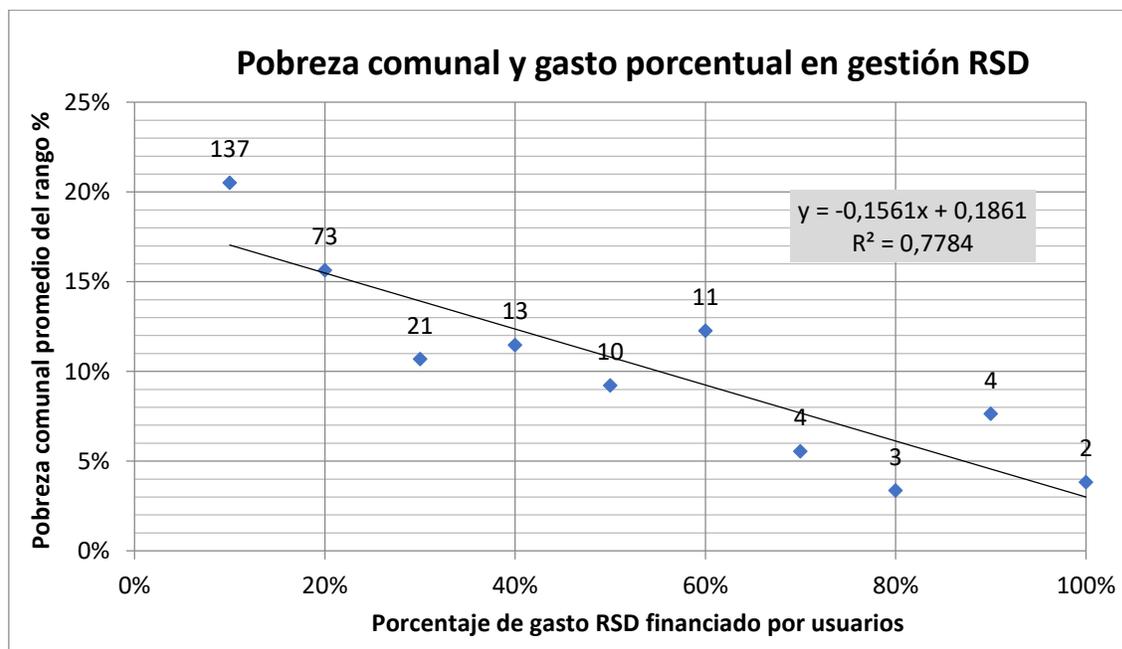


Ilustración 2. Relación entre pobreza comunal y porcentaje de recaudación para el financiamiento de la gestión de RSD.

Fuente: elaboración propia a partir de SINIM, Censo 2017 y Casen 2015. Los rombos corresponden a la cantidad de municipios (ej. 137 municipios con pobreza sobre 20% y recaudación promedio de 10%).

En la Figura se aprecia que a mayor nivel de pobreza comunal, medida como porcentaje de los habitantes bajo el umbral de pobreza, menor es la recaudación que hace el municipio de derechos de aseo y, por consiguiente, mayor la proporción que debe destinar de recursos propios para financiar el servicio de recolección y disposición final de residuos.

¹³ Ver: La Tercera, 4 de septiembre de 2021.

¹⁴ La Tercera, 2 de abril de 2022.

La disposición final genera una serie de pasivos ambientales de manejo complejo, incluso en el caso de los rellenos sanitarios que cumplen con estándares internacionales en la gestión de gases y líquidos percolados. La ubicación de los sitios de disposición final implica desigualdades territoriales que padecen las comunas o localidades cercanas a ellos. Como vemos, la gestión de RSD tiene costos económicos, sociales y ambientales.

La tendencia histórica ha sido pasar del botadero (sitio sin ningún tipo de control), al vertedero y luego al relleno sanitario. Los países desarrollados han utilizado la incineración, solución que actualmente está siendo dejada de lado, al menos parcialmente, para pasar a sistemas de recuperación de materiales y reducción de la basura generada¹⁵. Ello ha redundado en costos de gestión menores, ingresos por reuso o reciclaje de materiales que son reincorporados al ciclo económico, reducción de los impactos sobre los territorios y beneficios ambientales.

En términos de generación, hay una correlación clara entre el nivel de ingresos y la cantidad de basura que cada habitante produce. En Chile, la tasa promedio de generación es de 1,22 kg/hab/día¹⁶. En Estados Unidos de Norteamérica, ésta supera los 2 kg/hab/día¹⁷. En un escenario de crecimiento económico donde Chile cierre o reduzca la brecha de ingresos con la mayoría de los países OCDE, es dable esperar que la tasa de generación aumente, de modo que tengamos mayor cantidad de basura que tratar, y con ello, aumento de costos económicos, sociales y ambientales. A lo anterior, se suma el aumento demográfico. Por otra parte, la solución actual, el relleno sanitario, enfrenta oposición creciente de las comunidades¹⁸, por lo cual se hace necesario transitar hacia un sistema de gestión que reduzca la cantidad de residuos, idealmente desde el origen. La economía circular puede entregar los incentivos adecuados para este tránsito. De hecho, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos del Ministerio de Medio Ambiente plantea una meta de reducción de la fracción orgánica del 30%, en la disposición final, a nivel nacional para 2030¹⁹. La fracción orgánica constituye más del 50% del volumen de residuos domiciliarios.

3.5 La Ley REP

En junio de 2016 se promulgó la ley de 20.920 que establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, conocida como ley REP. La ley establece que los productores de “productos prioritarios” (aceites lubricantes, baterías, neumáticos, envases y embalajes, pilas y artículos eléctricos y electrónicos), deberán cumplir con metas de recolección y valorización, fijadas mediante Decretos Supremos, para los residuos de estos productos una vez que finalicen su vida útil, en la etapa de post consumo. Los reglamentos que regulen los objetivos de recolección para cada tipo de material establecerán metas de recolección

¹⁵ Actualmente, la tendencia apunta a sistemas de basura cero (zero waste), donde los usuarios separan en origen y los materiales se valorizan económica o energéticamente. Ver: <https://zerowasteurope.eu/>

¹⁶ Fuente: SUBDERE 2018, “Catastro de la Situación por Comuna y por Región en Materia de RSD y Asimilables”, Tabla 1, página 13.

¹⁷ Fuente: ver: <https://www.infrastructurereportcard.org/cat-item/solid-waste/>; <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>; <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/>

¹⁸ Ver La Tercera, 24 de mayo de 2019, “La Tarea Pendiente en la Gestión de Residuos”, columna de Ociel Cofré.

¹⁹ <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>

para que disminuya la disposición final de residuos y aumente la recuperación. Esto llevará a la generación de nuevos modelos de negocio que se basarán en la recuperación, reutilización y reciclaje de los materiales aprovechados. A la fecha de redacción de este informe ya se habían publicado los reglamentos de Neumáticos y de Envases y Embalajes. A modo de ejemplo se presentan, en la Tabla 2, las metas de recuperación para la categoría “Envases y embalajes”²⁰;

Tabla 2. Metas de recolección para envases y embalajes domiciliarios.

AÑO	SUBCATEGORIAS				
	ENVASE TETRA	METAL	PAPEL Y CARTÓN	PLÁSTICO	VIDRIO
Primer año	5%	6%	5%	3%	11%
Segundo año	8%	9%	9%	6%	15%
Tercer año	11%	12%	14%	8%	19%
Cuarto año	15%	15%	18%	11%	22%
Quinto año	19%	17%	23%	14%	26%
Sexto año	23%	21%	28%	17%	31%
Séptimo año	27%	25%	34%	20%	37%
Octavo año	31%	29%	39%	23%	42%
Noveno año	36%	32%	45%	27%	47%
Décimo año	40%	36%	50%	30%	52%
Undécimo año	50%	45%	60%	37%	58%
A contar del duodécimo año	60%	55%	70%	45%	65%

Fuente: reglamento para envases y embalajes, ley REP. D.S. 12/2020 del Ministerio de Medio Ambiente

Como se observa en la tabla 2, la ley REP impulsará la recuperación de los materiales priorizados, disminuyendo la carga de residuos y creando nuevos usos para los materiales priorizados, para que se aumente su circularidad, contribuyendo a los objetivos ambientales y económicos de la ley. La aplicación de la ley disminuirá la cantidad de residuos enviados a relleno sanitario o vertedero, aliviando financieramente a los municipios por reducción de costos de recolección y disposición final. Es deseable que, en el futuro, la ley pueda incorporar nuevos materiales dentro de la priorización de modo que se incremente la circularidad en la economía.

4. MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Como se indicó, el modelo lineal vigente ha sido cuestionado por varias instituciones e iniciativas. La Economía Circular, que busca reemplazarlo, reduce la demanda por materiales vírgenes, con la consiguiente mengua en los impactos asociados a la extracción y procesamiento de materiales, y se disminuye la necesidad de disposición final. Por ejemplo, la Fundación Ellen McArthur ha tomado un rol de liderazgo en la promoción de la EC declarando: *“El presente modelo económico de “extraer, producir, desperdiciar” está llegando ya al límite de su capacidad física. La economía circular es una alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y*

²⁰ Las metas para neumáticos fuera de uso se presentan en la sección 6.2.3

eliminar los residuos del sistema desde el diseño. Respaldada por una transición a fuentes renovables de energía, el modelo circular crea capital económico, natural y social y se basa en tres principios:

- *Eliminar residuos y contaminación desde el diseño*
- *Mantener productos y materiales en uso*
- *Regenerar sistemas naturales*²¹

Modelos de negocio asociados a la Economía Circular²².

Se reconocen cinco modelos de negocio que cumplen con alguna de estas características, los que se presentan a continuación y se describen brevemente:

- Modelo de insumos circulares.
- Modelo de uso de residuos como materias primas.
- Modelo de extensión de la vida útil.
- Modelo de usos compartidos (aprovechamiento de capacidad ociosa).
- Modelo de servicios en lugar de venta de bienes.

4.1 Modelo de insumos circulares.

Se incluyen en esta categoría los modelos económicos donde los flujos de materiales o energía tienen una base renovable que no se agota necesariamente con el uso, o los modelos llamados “de la cuna a la cuna” donde la disposición final está anticipada en el diseño y puede incluir la recuperación o reutilización de los recursos (productos diseñados para un reúso o recuperación completa). Ellos incluyen provisión de energía o insumos físicos desde fuentes renovables.

4.2 Modelo de uso de residuos como materias primas (reciclaje).

En este caso, se incluyen los modelos que usan los subproductos o desechos de otros procesos como insumo para la producción de nuevos materiales. La mayor parte de los tipos de actividad se asocian con el reciclaje de materiales (ej., recuperación de metales como acero, aluminio, cobre; reciclado de papeles y cartones; reciclado de plástico; fabricación de combustibles a partir de aceites comestibles usados; etc.). Estos modelos requieren una logística particular para la recuperación de los materiales, especialmente cuando su uso está atomizado. Además, dependen de una provisión continua y estable de materias para funcionar, lo cual constituye una de sus principales debilidades.

4.3 Modelo de extensión de la vida útil.

En muchos casos, los aparatos que dan servicios valiosos tienen una vida útil limitada, sea por problemas de diseño, de durabilidad de sus componentes, de imposibilidad de encontrar repuestos, de incompatibilidad de su hardware o software o sea porque, han sido diseñados para tener una vida útil limitada²³. El modelo de extensión de la vida útil busca revertir esta tendencia y lograr que

²¹ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

²² Fuente: OECD, Comunicación personal, 2020.

²³ Concepto de obsolescencia programada, “(...) programación del fin de la vida útil de un producto, para que, tras un período de tiempo calculado de antemano por el fabricante o por la empresa durante la fase de diseño del mismo, este

los productos permanezcan por más tiempo en el ciclo económico, brindando los servicios para los que fueron concebidos. Los productos de mayor duración tienen mejores atributos de calidad y suelen llevar un sobreprecio comparados con los menos durables. El consumidor está dispuesto a pagar más por la compensación que produce el valor esperado de menores recambios futuros.

4.4 Modelo de usos compartidos.

En la economía moderna existen bienes de mucho valor y poco uso, como vehículos particulares²⁴, algunas herramientas, prendas de vestir y locaciones. Además, existen bienes perecibles que, si no se usan a tiempo, corren el riesgo de descomposición y con ello, su descarte (ej. alimentos perecibles). Las plataformas de comunicación basadas en tecnologías de información y la masificación de internet en teléfonos móviles han producido una disminución de los costos de transacción que implicaba compartir estos bienes, reuniendo así oferta con demanda por costos muy bajos y en tiempos casi instantáneos, posibilitando los intercambios. Esto mejora la tasa de uso de bienes subutilizados y el aprovechamiento de bienes que, en caso contrario, se perderían.

4.5 Modelo de servicios.

En años recientes, algunas empresas han cambiado su modelo de negocios de modo que ya no venden bienes sino los servicios que estos bienes proveen. Ejemplos de venta de “iluminación” en lugar de ampolletas, o de control de plagas en lugar de venta de pesticidas, no solo desplazan el foco de la transacción económica desde el producto al servicio, sino que implican mejoras en eficiencia. El proveedor tiene incentivos en manejar adecuadamente el producto y el prestatario se desentiende de operar equipos o implementos para cuyo funcionamiento no necesariamente está capacitado y se concentra en que la prestación recibida satisfaga sus requerimientos.

Los beneficios (y posibles costos) ambientales asociados a los cinco modelos de EC se resumen en la Tabla 3:

se torne obsoleto, no funcional, inútil o inservible por diversos procedimientos, por ejemplo por falta de repuestos, y haya que comprar otro nuevo que lo sustituya.” Ref.: https://es.wikipedia.org/wiki/Obsolescencia_programada. El en mismo sentido, la Unión Europea aprobó el “derecho a reparar” de los consumidores en noviembre de 2020. Esto implica la obligación para las empresas de disponer de repuestos para sus productos por un período mínimo de 10 años.

²⁴ Un vehículo particular se utiliza en promedio 2 horas al día y lleva 1,2 pasajeros para una capacidad promedio de 5. Eso implica una tasa de utilización promedio de 2%.

Tabla 3. Conceptualización de beneficios (**costos**) ambientales asociados a modelos de negocio de Economía Circular²⁵.

Modelo	Extracción	Diseño de producto	Uso, consumo	Fin de vida útil	Disposición final	Otros beneficios/costos
Residuos como materia prima	Extracción evitada	Menor uso de energía (materiales secundarios)		Uso de energía (logística) para recolección y reciclado	Menor disposición en relleno o incineración	
Insumos circulares	Extracción evitada	Uso de materiales renovables			Menor disposición en relleno o incineración	
Extensión de vida útil	Extracción evitada		Fase de uso extendida (+ -)	Uso de energía para reparación y remanufactura	Menor disposición en relleno o incineración	Menor difusión de tecnologías eficientes. Efecto rebote
Uso de capacidad ociosa	Reducción en uso de materias primas		Reducción del stock general de productos		Reducción de residuos	Efecto rebote
Servicios en lugar de productos	Menor extracción por mayor eficiencia en uso	Incentivo para diseño de productos robustos	Reducción del stock general de productos. Incentivo para optimizar fase de uso	Incentivo al reciclado y recuperación de materiales		Los usuarios cuidan menos los bienes. Efecto rebote.

Fuente: OECD.

Como se aprecia, el solo hecho de transitar a un modelo de negocio asociado a la Economía Circular, no asegura *per se* menores impactos ambientales. Los problemas pueden surgir principalmente, por mayores consumos energéticos o por efecto rebote. En el primer caso, el alargamiento de la vida útil de algunos dispositivos, particularmente en electrónica y tecnologías de información, puede significar mayor consumo energético que no llegaría a compensar el evitar la producción de un nuevo bien. Esto ocurre en bienes como computadores o teléfonos móviles, donde los modelos nuevos incorporan características que los hacen mucho más eficientes que sus predecesores de modo que, llegado un momento, es más eficiente realizar el cambio y desechar un equipo antiguo que mantenerlo. En el segundo caso, la mayor eficiencia de las aplicaciones o el mayor provecho de utilizar bienes que antes estaban ociosos, a un costo más competitivo (ej. Airbnb) permite que el consumidor disponga de poder de compra adicional. El uso de ese poder de compra no garantiza que se realice sin impactos ambientales importantes. El mismo caso de Airbnb puede ilustrarlo. Al ser un alojamiento más barato, un turista puede optar por realizar un viaje que, de otro modo, no habría hecho. Los beneficios ambientales por el uso de un activo ocioso podrían ser anulados por las emisiones asociadas a viajes aéreos u otros medios de transporte. Finalmente, algunos modelos implican uso de energía en labores de recolección y logística. Lo importante en estos casos es asegurar que esos usos sean menores que la alternativa lineal, de modo que haya una ganancia ambiental neta.

²⁵ Se marcan en color rojo posible efectos adversos o que implican mayor carga ambiental.

Por lo tanto, la adopción de nuevos modelos de negocio debe ser también acompañada de un análisis acucioso de todas sus implicancias (efectos de primer y segundo orden) de modo que se aseguren los beneficios de la economía circular y se eviten sus posibles impactos.

5. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS

La economía circular representa un cambio sistémico en la economía extendiendo la vida útil de productos y materiales, eliminando residuos desde las primeras etapas de diseño, construyendo resiliencia a largo plazo, generando nuevas oportunidades económicas, nuevos modelos de negocios y proporcionando beneficios ambientales y sociales.

Su objetivo es desacoplar, desde las primeras etapas de diseño, el crecimiento económico del uso de recursos naturales, manteniendo en forma permanente la circulación de los productos, a través de la reutilización, la reparación, remanufactura y el reciclaje, durante el mayor tiempo posible, alargando su vida útil inicial con un uso eficiente de energía y protección del ambiente.

Sus impactos económicos y ámbito de acción son bastante más amplios y globales que el simple tratamiento del proceso de residuos, ya que son generadores de nuevos modelos de negocios.

Su impacto económico es simultáneamente en macroeconomía con estrategias de países y regiones pensando en el largo plazo, como por ejemplo los compromisos de carbono neutralidad, en los distintos sectores de la economía y en microeconomía a nivel de empresas²⁶. En este caso, los rediseños de procesos orientados a la eficiencia en el uso de materiales y optimización de procesos redundan en menores costos para las empresas y los usuarios.

Los principales beneficios económicos de la economía circular son:

- Reducir gastos en los procesos productivos usando un diseño ecológico y reutilización de materiales, integrando etapas²⁷
- Minimizar las pérdidas en los procesos de producción de bienes
- Optimizar el uso de todas las formas de energía en la elaboración de productos, tanto en el proceso de fabricación de los productos como en el proceso de evitar la fabricación de componentes innecesarios
- Reducir el uso de recursos
- Disminuir logística y transporte de las componentes necesarias para la fabricación de productos
- Generar soluciones innovadoras, de menor costo y sostenibles
- Disminuir el riesgo de suministro de componentes
- Optimizar los flujos de materiales

²⁶ Se estiman ahorros de hasta 630 mil millones de dólares por la implementación avanzada de la economía circular en la Unión Europea de bienes de capital y de hasta 700 mil millones por la llegada de la EC al sector de los bienes de consumo a nivel global. Ver: WEF, EMF, 2014; Towards the Circular Economy, Accelerating the Scale up across global value chains. Citado en Hoja de Ruta para Chile Circular 2040, página 23.

²⁷ El Ecodiseño está normado por la ISO 14006, "Directrices para la incorporación del Ecodiseño", y el análisis de ciclo de vida, por la ISO 14040. Se estima que el 80% de la carga ambiental de un producto se define en la etapa de diseño. La Unión Europea posee una directiva de Ecodiseño: 2009/125/EC.

- Optimizar stocks de materias primas y productos
- Disminuir los residuos y generarles un valor económico²⁸
- Limitar los impactos ambientales del uso de recursos
- Generar crecimiento del empleo²⁹
- Incorporar biodiversidad en los procesos
- Reducir la emisión de contaminantes y de gases de efecto invernadero (combate al cambio climático)
- Preservar la naturaleza
- Incrementar la competencia económica
- Permitir el crecimiento de nuevas empresas de pequeño y mediano tamaño
- Contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, en especial ODS 12, 7 y 9.
- Reactivar y fortalecer la economía

Las características relevantes de la economía circular se potencian en el caso de eventos no previstos como la pandemia, que provocan quiebres de la cadena logística y dificultades de abastecimiento de componentes, problemas que pueden ser superados por una economía circular que actúa en ámbitos locales.

Un fuerte impacto económico de la economía circular es la nueva visión de diseño de cada producto, preparándolo para ser deconstruido en las siguientes etapas de su vida útil, para evitar residuos y convertirlos en materias primas o reutilizarlos en otros procesos con modificaciones mínimas, en ámbitos locales generando nuevos negocios y empleos locales³⁰.

En los distintos sectores de la economía existen innumerables ejemplos de aplicación y de ahorros económicos y de rentabilidad para las empresas participantes, que no son solamente la transformación de residuos sino principalmente nuevos modelos de negocios que aprovechan materiales disponibles.

En sectores industriales se avanza en la recuperación de residuos, por ejemplo, Ley REP en Chile, lo cual impulsa el nuevo diseño de evitar los residuos y crear etapas intermedias de generación de nuevos productos.

²⁸ Los municipios en Chile gastan la cifra de 313 mil millones de pesos al año por concepto de recolección y disposición final de residuos. Fuente: La Tercera, sábado 2 de abril de 2022, aproximadamente \$ 17.500 por persona al año. Ver también SINIM y sección 2.4 de este informe.

²⁹ La Hoja de Ruta por un Chile Circular prevé la creación de 180.000 empleos asociados a la economía circular. En términos globales, un documento de trabajo publicado por la OCDE estima que la variación neta de empleo debida a una implementación de la EC es marginal, ya que al mismo tiempo que ciertos empleos se crean, otros se destruyen. Ver: Jean Chateau, Eleonora Mavroeidi; The Jobs Potential of a Transition Towards a Resource Efficient and Circular Economy; OECD Environment Working Papers, N° 67, 2020; página 3.

³⁰ La evidencia empírica muestra resultados positivos del ecodiseño, particularmente en la reducción de impactos ambientales y el desempeño financiero. Ver: Wakuelo, Odock, Chepkulei y Kiswilli; Effects of Eco-design practices on the performance of Manufacturing Firms in Mombasa County, Kenya; University of Nairobi; International Journal of Social Sciences, Vol. 7, N° 8, agosto de 2017. Ver también: https://www.researchgate.net/publication/319486959_An_empirical_analysis_of_eco-design_of_electronic_products_on_operational_performance_Does_environmental_performance_play_role_as_a_mediator; <https://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2022-0-page-in.html>

En el sector minero se pueden utilizar residuos como materia prima creando nuevos procesos productivos³¹ y también cambiar la gestión del mantenimiento volviendo al criterio antiguo de reparar los componentes en vez de reemplazarlos por componentes nuevos.

En la industria de la moda se potencia la reventa de ropa o la recuperación de fibras para la remanufactura, lo cual evita los vertederos ilegales de ropa usada, ahorra energía por menor fabricación y beneficia al medio ambiente al evitar procesos altamente contaminantes³².

En el sector del acero, altamente emisor de gases de efecto invernadero, se avanza en acero reciclado y en su reutilización para los procesos de construcción, generando importantes ahorros en costos del producto³³.

A nivel mundial, incluyendo Chile, en el sector financiero y bursátil se favorece la economía circular para cumplir con los objetivos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) y favorecer el crecimiento económico.

Aparecen nuevos modelos de negocios, entre ellos, el producto como servicio, en que las empresas mantienen la propiedad del producto y obtienen su rentabilidad por medio de la venta del servicio a otros usuarios, optimizando su utilización, su vida útil y su mantenimiento.

En el tema de riesgos económicos la economía circular minimiza la volatilidad de precios de los recursos y de su disponibilidad, incrementando el crecimiento económico al disminuir la incertidumbre y aumentar la resiliencia y productividad.

Otros impactos económicos relevantes son el aporte a la biodiversidad, la mejora del medio ambiente y los recursos naturales, la disminución del calentamiento global, la disminución de la degradación del suelo, la disminución de la contaminación atmosférica y de los océanos, entre otros.

La economía circular en todas sus etapas de desarrollo contribuye a una producción y consumo sustentable.

6. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA

El despliegue de la Economía Circular representa oportunidades importantes para el país y las diversas actividades laborales, muy en particular para la ingeniería. Asimismo, presenta desafíos culturales, económicos y tecnológicos.

Las oportunidades se fundamentan en las bases de la economía circular. Entre ellas: aumento de la productividad de los materiales, para lograr más o mejores resultados con menos recursos; eliminación de los residuos, organizando los materiales como insumos técnicos o nutrientes biológicos al interior de los circuitos cerrados de materiales (esto es, usando los residuos como insumos o alimentos); aumento del valor ambiental y económico de los materiales; sistematización

³¹ Ver Recuadro sobre sector minero y recuperación de relaves, sección 6.3.

³² Ver por ejemplo, Ecocitex: <https://www.ecocitex.cl/>

³³ Es el caso de AZA que fabrica acero a partir de chatarra: <https://www.aza.cl/quienes-somos/>

de los flujos de materiales, energía e información en organizaciones industriales evolucionadas; articulación, recuperación, protección y desarrollo de los ecosistemas biológicos.

Para hacer viables estas bases, además de las iniciativas de las personas y los actores económico-sociales, son necesarios modelos de negocios y políticas públicas adecuadas. A nivel internacional, ya existen algunos modelos de negocios para desplegar la economía circular³⁴. Parte de esto ya ha empezado a desplegarse en Chile, por ejemplo, en la remanufactura. No obstante, hay un significativo espacio para desarrollar modelos de negocios más potentes con el fin de acelerar la transición a una economía sustentable.

También, y prioritariamente, son necesarias unas políticas públicas adecuadas que catalicen las buenas prácticas y los modelos de negocios viables. A nivel internacional, existe una variedad de políticas públicas, desde algunas de carácter reactivo que buscan disminuir los residuos y proteger el medio ambiente hasta otras más proactivas que buscan renovar significativamente las industrias desde su diseño. Chile ya comenzó el despliegue de alguna de estas políticas públicas³⁵, pero son amplias las necesidades para potenciarlas y desarrollar nuevas políticas.

En este contexto de evolución internacional a la cual se suma Chile, se plantea a continuación un conjunto de oportunidades de importancia.

6.1 Oportunidades para el desarrollo de Chile.

La economía circular hace posible los siguientes tipos de oportunidades para el desarrollo sostenible del país, en el sentido de los ODS de las Naciones Unidas:

Menor consumo relativo de materiales, energía y agua.

Esta oportunidad se expresa principalmente en las industrias y actividades que presentan consumos altos respecto de las mejores prácticas internacionales. Esto se puede aplicar en manufactura, minería, construcción, industria de alimentos y agricultura, energía, transporte y logística, vida en ciudad y otros sectores. La orientación es hacia la circularidad y la eficiencia en el uso de agua, energía y materiales.

Transición acelerada hacia materiales y energías renovables.

En algunos ámbitos existe la oportunidad de acelerar la transición hacia energías renovables; en particular la energía solar cuando se pueden compensar o complementar sustentablemente los periodos de intermitencia (por ejemplo, sistemas sustentables de almacenamiento³⁶).

Asimismo, algunas actividades pueden evolucionar hacia el uso de materiales renovables como la construcción en madera.

³⁴ Ver sección 3.

³⁵ Las ya citadas Ley REP, la Hoja de Ruta para Chile Circular 2050, ver sección 2.3 y la Hoja de Ruta del Pacto Chileno de los Plásticos. Ver: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2020/01/roadmap-pacto-chileno-de-los-plasticos.pdf>

³⁶ El sistema eléctrico en Chile, de un total de 30.480 MW instalados, 64 corresponden a baterías. La empresa AES Andes energía anunció recientemente inversiones por US\$ 400 millones que permitirán elevar la capacidad de almacenamiento a 300 MW y un potencial de entrega de energía de 1.563 MWh, evitando la emisión de 200.000 toneladas de CO2-eq por año. Ver: <https://www.revistaei.cl/2021/11/05/este-es-el-plan-de-inversiones-en-almacenamiento-que-anuncio-aes-en-la-cop-26/>; <https://acera.cl/aes-andes-anuncia-nuevos-proyectos-para-almacenar-energia/>

Disminución de residuos y de la contaminación.

La circularidad y la eficiencia asociada en el uso de recursos provocan la disminución directa de residuos y contaminación (por ejemplo, reciclaje en la industria de la construcción³⁷); y su consecuencia en el aumento de la calidad de vida humana y, también, de los ecosistemas biológicos. La oportunidad radica en la combinación de políticas públicas y modelos de negocios que incentiven las iniciativas de los actores.

Disminución de la pobreza energética e hídrica.

La oportunidad consiste en que – principalmente mediante adecuadas políticas públicas – disminuya significativamente la población que viva en condiciones de escasez hídrica (secanos en particular) y de limitaciones energéticas (uso de leña, por ejemplo). Esto es posible al considerar el mejor acceso y distribución como consecuencia de la mayor eficiencia económica y ambiental que es parte de la economía circular.

Recuperación y regeneración de ecosistemas naturales.

Esta oportunidad consiste en usar la ingeniería, junto a otras disciplinas, como medio para recuperar ecosistemas degradados y, eventualmente, regenerarlos; por ejemplo, frente a la desertificación, la pérdida de biodiversidad y otras dinámicas. Los ecosistemas recuperados y regenerados aumentan el valor ambiental, económico y cultural de los territorios en la perspectiva del desarrollo sustentable.

Contribución a la respuesta al cambio climático.

Algunas dimensiones de la economía circular se articulan directamente con la respuesta al cambio climático; en particular en relación con las energías renovables, la eficiencia energética, la eficiencia en el consumo de materiales y el probable secuestro de carbono. La oportunidad consiste en apalancar las regulaciones para mitigar el cambio climático y avanzar significativamente en los resultados de la economía circular y su impacto en las personas.

Desarrollo de industrias más evolucionadas y de mayor valor agregado.

La transición industrial hacia la economía circular conduce a transformaciones al interior de las empresas y en la articulación entre ellas, que las hace más evolucionadas en su sustentabilidad y aceptación social, y a generar mayor valor agregado. La oportunidad está en que las industrias aumentan su sustentabilidad e, incluso, en el potencial mejoramiento de sus resultados económicos.

Aumento del emprendimiento innovador sustentable.

Las características de la economía circular representan una oportunidad significativa para los emprendedores innovadores que buscan mayor sustentabilidad en diversos tipos de industrias. Con sus propuestas de valor, ellos contribuyen a renovar las industrias existentes y también a crear nuevas, además de generar empleo. La mayoría son PyMES de nueva generación, algunas con gran potencial de crecimiento.

Diversificación productiva y aumento de valor de algunos productos.

La economía circular conduce al surgimiento de nuevos productos con características de circularidad y sustentabilidad, lo cual constituye una forma de diferenciación en los mercados y una fuente de ventajas competitivas. Algunos de estos productos modificados o nuevos podrán tener más valor

³⁷ Ver sección 6, Caso de la construcción.

que los previos. Esto es una oportunidad importante para los emprendimientos y las industrias de avanzada.

Acceso continuo a mercados internacionales exigentes.

Al aumentar los niveles de exigencia de los países más desarrollados sobre los productos y los procesos productivos respecto del cumplimiento de normativas ambientales, las exportaciones chilenas deberán evolucionar a la par. Al cumplir esos estándares cada vez más exigentes, las empresas se superarán y lograrán mantenerse vigentes continuamente en los mercados de destino. La oportunidad consiste en que las regulaciones locales se sintonicen a tiempo con la de los países más avanzados y, con ello, contribuyan a catalizar las industrias del país.

Aumento del empleo en determinados ámbitos valiosos.

El desarrollo de la economía circular requiere la generación de empleo con competencias innovadoras, de sustentabilidad, de emprendimiento, de transformación económica y digitales; en diferentes tipos de actores: empresas, organismos públicos, instituciones de educación, organizaciones de la sociedad civil. Ello conlleva oportunidades importantes de empleo calificado. Lo anterior apela a la necesidad de formación de capacidades adecuadas a los desafíos de la economía circular.

Inversión pública y privada de nueva generación.

Esta oportunidad consiste en que la inversión pública – incluyendo las compras públicas - tenga un componente relevante en economía circular, sustentabilidad y respuesta al cambio climático y, con ello, apalanque la inversión privada y juntas dinamicen la transformación económica, social y ambiental del país.

Mejor satisfacción de las aspiraciones humanas y desarrollo de una cultura más plena.

La economía circular tiende a satisfacer más equilibradamente las aspiraciones de las personas que buscan conciliar las dimensiones económicas y ambientales, y con ello una cultura más plena. Esto impacta positivamente la calidad de vida, la cohesión social, y el prestigio internacional.

6.2 Oportunidades específicas para la Ingeniería.

Las oportunidades para la Ingeniería se originan en los desafíos para el desarrollo de Chile basados en la economía circular. El desarrollo sustentable de los territorios y de las naciones, con la contribución de la economía circular, requiere más y mejor ingeniería. Para ello, la ingeniería debe transformar y potenciar sus prácticas y métodos.

Comprensión profunda de los problemas y de los aportes de la ingeniería.

La mentalidad circular cambia el enfoque lineal de comprensión de los problemas físicos, biológicos, sociales y económicos que se abordan desde la ingeniería, buscando comprender en forma profunda las causas de las causas – hasta las causas raíz - para luego sistematizarlos en problemas cuyas soluciones posibles sean circulares y sustentables. Logrando esta comprensión profunda es posible la definición de los aportes de la ingeniería y también el reconocimiento de sus límites, así como de sus efectos colaterales todavía no controlados. Esto tiene importancia económica, ambiental y ética.

Nueva visión de la ingeniería.

Esta oportunidad radica en abordar simultáneamente varias dimensiones que son necesarias en la economía circular y en las dinámicas para abordar los ODS. Entre ellos: complejidad de los problemas y desafíos; trans e interdisciplinariedad; sustentabilidad; digitalización; resiliencia. Esta nueva visión va más allá de las disciplinas específicas de la ingeniería y las articula e integra para hacerla más efectiva en la aplicación de la economía circular.

Diseño evolucionado y su relevancia.

El diseño aumenta su importancia en ingeniería para dar respuesta a los desafíos y oportunidades de la economía circular y el desarrollo sustentable. Se requieren diseños más sistémicos e integrados para superar los diseños parciales de productos y procesos concebidos con enfoques lineales. Por ejemplo, el diseño concebido en función del desensamblaje y recuperación de materiales al final de la vida útil debe ser un imperativo en la concepción actual de dispositivos, piezas y partes. Para ello se requieren mejores metodologías de diseño. Esto configura una oportunidad relevante para determinados ámbitos de ingeniería, tanto en el diseño como en sus efectos consecuenciales en la construcción, fabricación y uso. Una dimensión relevante de este diseño evolucionado es la consideración rigurosa de los usuarios de los productos, procesos y servicios, con el fin de asegurar las bases de la circularidad, además del cumplimiento de las expectativas y necesidades de las personas.

Normas y guías de ingeniería.

Esta oportunidad consiste en desarrollar progresivamente el cuerpo de normas y guías de ingeniería que son necesarias para el despliegue de la economía circular. En forma similar, por ejemplo, a lo que ha venido ocurriendo por décadas con la ingeniería para abordar la construcción sísmo resistente. Es sabido el impacto masivo que tienen las normas y guías de buenas prácticas, en la medida que estén bien concebidas.

Fabricación y construcción circulares.

Esta oportunidad consiste en el cierre progresivo de los ciclos productivos, tanto en la fabricación de productos (partes, piezas, equipos, sistemas fabriles y de logística) como en la construcción (carreteras, plantas industriales, puentes, puertos, viviendas, estructuras, viviendas y otras). Estos ciclos se basan en nuevos diseños, con retroalimentaciones desde la fabricación y la construcción. Lo anterior demanda un esfuerzo de reingeniería y de nueva ingeniería, que implican nuevas actividades industriales y servicios profesionales especializados.

Implementación, uso, operación, mantenimiento y retiro circulares.

Esta oportunidad consiste en el cierre progresivo de los ciclos de implementación, uso, operación, mantenimiento y retiro circulares, con las consiguientes reinserciones de los residuos y equipos durante el ciclo de vida expandido. Esto se materializa en articulaciones retroalimentadas con la fabricación y construcción circulares y con los diseños de nueva generación. Lo cual demanda la renovación de los diversos tipos de servicios que concurren en estas funciones y el aporte de la ingeniería a ellos.

Renovación acelerada de las industrias existentes

Esto es una oportunidad significativa para empresas y otros actores económicos que ven la posibilidad realista de liderazgo transformacional en la economía circular y el desarrollo sustentable, como ocurre en algunas industrias como la minería y la agroalimentaria, sectores que están

desafiados a disminuir significativamente su impacto ambiental, la huella de carbono y la huella hídrica.

Desarrollo de nuevas industrias.

La economía circular, articulada por el desarrollo sustentable, configura una gran oportunidad para el avance de nuevas industrias en que la ingeniería juega un rol protagónico. Esto se fundamenta en la necesidad de utilizar diversos tipos de tecnologías en forma convergente, desde tecnologías de materiales hasta inteligencia artificial, con el fin de lograr diseños industriales (productos, procesos) que sean simultáneamente económicamente viables y sustentables ambiental y socialmente.

Estas nuevas industrias tendrán ventajas competitivas relevantes respecto de las industrias existentes e incluso de aquéllas que se renueven. Por ejemplo, el desarrollo de alimentos sintetizados en base a vegetales implica la sustitución - al menos parcial - de la producción pecuaria con el consiguiente menor consumo de agua y menores emisiones de GEI y de otros recursos, y una menor generación de residuos³⁸.

Digitalización y su impacto en la economía circular.

Una oportunidad específica es la digitalización como medio clave para aumentar y acelerar el desarrollo de la economía circular, tanto en la organización sistémica de los procesos productivos como en la trazabilidad y confiabilidad de las transformaciones. Parte importante de la economía circular será viable en la medida que use adecuadamente las plataformas digitales y diversas herramientas tecnológicas de la industria 4.0.

Servicios globales de ingeniería.

Esta oportunidad consiste en proyectar y organizar los servicios de ingeniería aplicables en Chile con enfoques internacionales. Esto incluye: diseño; ingeniería de proyectos; estudios de ingeniería y de otras disciplinas relacionadas; ingeniería de construcción y fabricación; ingeniería de implementación, uso, operación y mantenimiento; ingeniería de sistemas circulares; evaluaciones y análisis de desempeños; varios otros. Las empresas y profesionales que logren realizar ingeniería efectiva para un ámbito de la economía circular en un país como Chile pueden proyectarlo internacionalmente. Esto implica una disposición para trabajar a escala global.

Generación de nuevas políticas públicas y modelos de negocios.

Esta oportunidad consiste en que la ingeniería concurra a la elaboración de nuevas políticas públicas que faciliten la transición a la economía circular y al desarrollo sustentable, aportando visión y experiencia de lo que es posible realizar y lograr, así como los métodos y normas necesarios para ello. También, esta oportunidad consiste en que la ingeniería colabore en el desarrollo de los modelos de negocios aptos para que las empresas puedan participar sustentablemente en los mercados con propuestas efectivas basadas en la economía circular.

Investigación, desarrollo e innovación.

La economía circular requiere nuevo conocimiento, nuevos desarrollos tecnológicos e innovaciones de diverso tipo. No basta con lo actualmente existente, a pesar de su abundancia y variedad. Entonces, la oportunidad radica en identificar líneas de investigación y desarrollo, tipos de candidatos a innovaciones, y abordarlos tempranamente en los escenarios internacionales, surgiendo desde lo local. Los investigadores, innovadores, emprendedores, centros de ciencia y

³⁸ www.eea.europa.eu/publications/artificial-meat-and-the-environment

tecnología y otros actores dedicados a estas funciones podrán tener un gran impacto con sus realizaciones en la medida que perseveren.

Inversiones en torno a economía circular.

Esta oportunidad consiste en movilizar los crecientes recursos de inversión, disponibles a nivel internacional, en torno a iniciativas sustentables y de economía circular. La Ingeniería concurre como un medio para hacer viables los proyectos de inversión y aumentar significativamente el flujo de soluciones de calidad. Es posible – en la medida que tales soluciones demuestren su efectividad - posicionar a Chile como un centro de inversión continental en estos ámbitos.

Educación superior y educación continua.

Esta oportunidad consiste en renovar la formación de ingenieros, otros profesionales y técnicos, en aquellos aspectos que son necesarios para habilitar el ejercicio profesional competente en economía circular. Lo que incluye aspectos curriculares, métodos de enseñanza – aprendizaje, cuerpo docente, vinculación con la industria y articulación internacional.

Asimismo, esta oportunidad consiste en renovar la educación continua para adaptarla a los requerimientos de la economía circular durante todo el ciclo de vida laboral de las personas.

6.3 Concepto final.

Para que la transición a la economía circular y desarrollo sustentable sea efectiva, es necesario comprender bien las oportunidades y actuar proactivamente, con amplia participación empoderada de personas, empresas, organismos públicos y organizaciones de la sociedad civil.

Es una tarea de todos que incluye, de manera importante los aportes de la ingeniería y también de diversas profesiones y oficios.

7. ESTUDIOS DE CASO.

7.1 Construcción:

7.1.1 Contexto y caracterización del sector

A nivel mundial, la industria de la construcción contribuye al crecimiento de la economía y consiste en un importante pilar de desarrollo. En 2017, alcanzó los US\$10.600 millones y se espera que aumente a US\$12.700 millones en 2022 (Global Construction Outlook to 2022, 2018). El mercado formal de la construcción en Chile tiene una participación por sobre el 7,1% del Producto Interno Bruto (PIB) y del 8,5% de los empleos a nivel nacional (CChC, 2017), con 30 mil empresas relacionadas, en las que trabajan más de 700 mil personas. De ellas, un 98% corresponde a pymes, que crean el 81% de los puestos de trabajo en el sector y aportan el 34% de la facturación (Construye2025, 2015).

La construcción es el mayor consumidor de materias primas y otros recursos, utilizando alrededor del 50% de la producción mundial de acero y más de 3 mil millones de toneladas de materias primas. Uno de los materiales más utilizados en la construcción es el hormigón, y los áridos representan entre un 65% y 75% de su volumen total (Ministerio Obras Publicas, 2015). A nivel mundial, los

residuos de la construcción y demolición (RCD) representan cerca del 35% de los residuos sólidos y en Chile, el 34% (Conama, 2010).

La contribución económica del sector construcción se basa en una economía lineal, en la que se extrae, fabrica y construye; luego se desecha y demuele. Sin embargo, los nuevos desafíos globales vinculados a la disponibilidad de materias primas, agua y energía, movilizan a las empresas hacia un cambio de paradigma, en el que la economía circular es una clara oportunidad de creación de valor, nuevos negocios y oportunidades de crecimiento económico, desacoplando la histórica dependencia de la extracción de recursos renovables y no renovables.

La economía circular se basa en tres principios, según se establece en la Hoja de Ruta para **un Chile Circular 2040**.

Principio 1: Eliminar los residuos y la contaminación desde el diseño: Para la economía circular, los residuos son un error de diseño. Además, se relaciona con la jerarquía en el manejo de residuos, que establece que reducir es mejor que reutilizar, reutilizar es mejor que reciclar, y reciclar es mejor que valorizar energéticamente y que esta última opción es mejor que desechar.

Principio 2: Mantener productos y materiales en uso: Una vez que un recurso ya ha ingresado a la economía, se debe hacer todo lo posible por evitar que disminuya o pierda totalmente su valor, conservar los materiales, la energía, y los recursos que se encuentran incorporados en estos.

Principio 3: Regenerar los sistemas naturales: Más allá de la conservación, el sistema económico debe buscar la regeneración del capital natural y de la biodiversidad de los territorios.

Los fundamentos de la economía circular y el desacoplamiento del crecimiento económico respecto a la extracción de recursos, así como las evidencias de daño ambiental, desperdicios de materias primas y afectación al bienestar y calidad de vida de las personas, hacen que sea urgente un cambio de paradigma en el sector construcción, incorporando las tecnologías existentes, la investigación, el desarrollo e innovación para la generación de nuevos modelos de negocios y mercados.

En Chile, el desarrollo de una [Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035](#) surge de la necesidad de abordar desde el Estado la reducción de extracción de materias primas y generación de residuos de la construcción y demolición (RCD), a partir del uso eficiente de los recursos, y el manejo jerarquizado y ambientalmente racional de los residuos, fomentando la economía circular y la disminución de emisiones del sector construcción.

Para ello, se reunieron los Ministerios de Vivienda y Urbanismo, Obras Públicas, Medio Ambiente, Corfo y Construye2025, y se formuló un sueño en común: **“un país que gestiona sus recursos en forma eficiente, impactando positivamente en los ámbitos social, ambiental y económico”**, con la representación de actores públicos, privados y la academia. Para alcanzarlo, se definen cinco ejes estratégicos que impulsan la economía circular en construcción: el ordenamiento y planificación sustentable del territorio; la coordinación y articulación pública; la creación de ecosistemas y cadenas de valor sustentables y circulares; la necesidad de desarrollar y fortalecer plataformas de datos que entreguen información para el diseño de políticas públicas y creación de nuevos mercados en torno a la economía circular; y la remediación ambiental para los impactos resultantes de la

extracción de áridos y disposición inadecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD). Lo anterior se presenta en la ilustración N° 3:

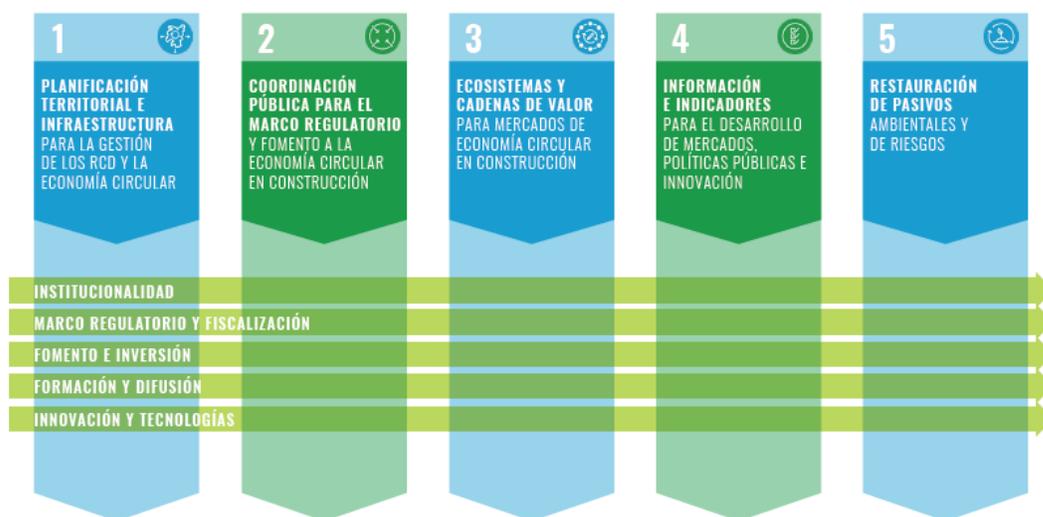


Figura 51: Ejes estratégicos y transversales. Elaboración propia.

Ilustración 3: Ejes de la Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en Construcción 2035.

Fuente: Construye 2025. (<https://construye2025.cl/rcd/hoja-de-ruta/>)

Si bien, la hoja de ruta plantea lineamientos y acciones para cada etapa de la cadena de valor en su vida útil, y para sus distintos actores, Chile se encuentra muy atrasado en materia de gestión de residuos de la construcción y demolición, por tanto, se ha dado prioridad a la gestión de residuos. Una de las razones es que el costo de eliminar y demoler es bajo, consecuencia de falencias en la regulación y fiscalización de este tipo de residuos y de su inadecuada gestión. Actualmente, siete regiones de Chile no cuentan con lugares para disposición autorizada de residuos sólidos asimilables, por tanto, no hay cobertura nacional para su adecuada disposición ni tampoco una institucionalidad a cargo.

Según un informe interno del Ministerio de Medio Ambiente, al utilizar un factor realista de generación de residuos de $0,26 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (metros cúbicos de residuos por metro cuadrado construido), la generación de RCD anual asciende a 7,1 millones de toneladas de residuos de la construcción. Cerca del 70% de estos residuos corresponde a inertes, por lo cual, según la estimación anterior, se generarían cerca de 5 millones de toneladas de residuos inertes al año, los que son totalmente valorizables para la producción de áridos reciclados, haciendo uso de las tecnologías existentes y con un mercado ampliamente desarrollado en Europa, donde su uso como bases y subbases de caminos está ya validado con una vasta experiencia. Por otra parte, la demanda de áridos se estima en cerca de 11 millones de metros cúbicos al año, de los cuales las plantas formales solo tienen capacidad para 4 millones, por tanto, se presume que 7 millones de toneladas serían de extracción ilegal³⁹.

³⁹ Construye2025; Hoja de Ruta de la Economía Circular en la Construcción al 2035; capítulo Contexto y Diagnóstico, Santiago, 2019. Página 38.

En cuanto a las oportunidades de crecimiento en el sector respecto al reciclaje de residuos inertes de la construcción y demolición, según las cifras citadas anteriormente, si se considera que el 50% de residuos inertes son valorizables, estos convertidos a metros cúbicos (densidad 800 kg/m³), con un volumen de 2 millones de m³, a un valor comercial de \$7.000 el m³ (base estabilizadora) podrían generar ventas anuales por cerca de \$14.000 millones, las que se asociaría a cerca de 2.000 empleos, considerando su cadena de manejo.

En el ámbito nacional, existe experiencia muy exitosa en el reciclaje de pavimentos en proyectos MOP, de la Dirección de Aeropuertos. Particularmente, el caso del aeródromo de Tobalaba obtuvo los siguientes beneficios: reducción del volumen de áridos naturales vírgenes en un 70%, disminución del plazo de ejecución en un 10%, un ahorro del 45% del costo final respecto a lo presupuestado y, finalmente, se redujo la cantidad de camiones utilizados en un 74%.

Dadas las oportunidades de crecimiento económico que ofrece la economía circular, se requiere avanzar en destrabar barreras regulatorias, de mercado, financiamiento y técnicas, para propiciar la inversión por parte de empresas para la oferta de productos y servicios, creación de nuevos nichos y modelos de negocios, y la generación de nuevos empleos.

Estos antecedentes indican el enorme potencial de crecimiento con impactos positivos en lo ambiental y social que tiene la valorización aplicada a pavimentos, como se muestra en la ilustración 4.

Caso: “Solución sustentable de rodadura para caminos de tierra a partir de reciclado de desechos de pavimentos asfálticos antiguos”



Ilustración 4: Acopio de material reciclado para pavimentos asfálticos, región de Valparaíso.
Gentileza de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la Región de Valparaíso.

Un caso de uso eficiente de los recursos en la gestión del Estado, corresponde a las experiencias de la Dirección de Vialidad del MOP de la Región de Valparaíso, con el proyecto de innovación llamado “Solución sustentable de rodadura para caminos de tierra a partir del reciclado de desechos de pavimentos asfálticos antiguos”. El Departamento Regional de Conservación por Administración Directa, utilizando sus recursos, trabajadores, maquinarias y presupuesto limitado, tiene a su cargo

la manutención de una red de caminos interiores de tierra y ripio, los cuales presentan problemas de transitabilidad para las comunidades en el invierno por el barro y en el verano, por la generación de polvo, afectando la calidad de vida de su entorno.

7.1.2 Problemática

En Chile hay 3.800 kilómetros de doble vía concesionada. Cada kilómetro genera cerca de 40 m³ de residuos de asfalto producto del fresado por la conservación mayor de estos pavimentos, por lo que se estima un total nacional estimado de 150.000 m³ de residuos asfálticos al año. Según valores de mercado, cada m³ de árido virgen cuesta entre US\$12 y US\$15, por lo que representa un desperdicio equivalente de US\$2.000.000 al año.

Si se utilizara todo este material en caminos vecinales, se podría lograr pavimentar cerca de 250 km. de caminos, callejones y pasajes de comunidades locales y aledañas a las vías concesionadas.

7.1.3 Propuesta de valor

Se propuso utilizar un material proveniente del mejoramiento de vías concesionadas -como carreteras, en este caso en particular de la ruta 68 que une Santiago y Valparaíso-, donde se eliminaban toneladas de residuos generados por el fresado de la carpeta asfáltica. Al respecto, se visualizó que podía ser utilizado como agregado, para hacer un tipo de carpeta y como solución básica para caminos de bajo tránsito. Para evaluar su comportamiento, se realizaron distintas pruebas en el laboratorio de control de calidad regional. Un ejemplo de aplicación se muestra en la ilustración 5:



Ilustración 5: Pavimentación con material reciclado, región de Valparaíso.
Gentileza de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la Región de Valparaíso.

7.1.4 Investigación en laboratorio

Se realizaron ensayos del RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), término dado a materiales de pavimento formados por cemento asfáltico y agregados pétreos, con el fin de conocer su comportamiento en laboratorio, con distintos tipos de ligantes asfálticos, para poder determinar la

dosificación de los ligantes. Luego, se obtuvieron resultados adecuados y resistentes para ser aplicados en caminos de bajo tránsito, con un muy bajo costo, ya que solo se requería la emulsión, puesto que el asfalto es reciclado a partir de los residuos del fresado de la concesión, como se puede apreciar en la ilustración 6:



Ilustración 6: Camino asfaltado con material reciclado. Región de Valparaíso.
Gentileza de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la Región de Valparaíso.

En cuanto a las pruebas, se realizó la pavimentación de un estacionamiento de maquinaria pesada en el recinto fiscal de Pangal, en la zona de Limache, de 500 m², con 50 m³ de desecho asfáltico, a modo de piloto, para evaluar su comportamiento en terreno bajo solicitaciones. Con los aprendizajes de la prueba piloto, se tomó la decisión, en 2019, de pavimentar un tramo de 300 m en el Callejón Los Barrera, comuna de Casablanca, con tales resultados, que se extendió la pavimentación a 1,1 km. También se pavimentó el Callejón Los Salas en la misma zona, (1 km).

Junto con los resultados técnicos, que fueron muy buenos en todas las experiencias, es necesario destacar que también hubo un importante impacto en las comunidades, donde se mejoró la calidad de vida de los vecinos.

7.2 Neumáticos fuera de uso (NFU)

7.2.1 Contexto y caracterización del sector

Entre los años 2010 al 2019, se ha observado un aumento sostenido del parque automotriz. En el año 2010, se contabilizaban 3.046.909 de autos y camionetas y 206.279 camiones y buses, en tanto que, en el año 2019, estos alcanzaron 5.205.388 y 288.160 unidades, respectivamente. Esto implica un aumento entre el año 2010 y 2019, cercano al 70%. El crecimiento del parque automotriz ha tenido un impacto importante en la importación de neumáticos, incrementándose además el problema de su disposición final al terminar la vida útil.

7.2.2 Problemática

En un estudio solicitado por CONAMA en 2008⁴⁰ se estimó que anualmente se generaban 40.000 toneladas (ton) de residuos provenientes de Neumáticos Fuera de Uso y que, de este total, solamente 7.200 ton (18%) tenían un uso final⁴¹ definido. Las proyecciones de la Cámara de la Industria del Neumático indican que ha aumentado la generación de NFU desde 102.576 ton en el año 2011 a 145.020 ton, en el año 2019, con lo que el 95% de los NFU no tendrá actualmente un uso final ni disposición conocida, terminando probablemente en vertederos no autorizados.

7.2.3 Propuesta de valor

La Ley de Responsabilidad Extendida al Productor pretende cambiar esta situación. Esta ley, que entró en vigor en mayo de 2016 obliga a los fabricantes o importadores de seis productos prioritarios a hacerse cargo de los residuos derivados de sus productos al término de su vida útil. Entre estos productos prioritarios se encuentran los neumáticos.

Estimaciones de la Cámara de la Industria del Neumático indican que, con esta ley, en el año 2022 se deberán valorizar 28.568 ton de neumáticos, en las categorías A y B, hasta aumentar a 130.038 ton el año 2029⁴² como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Metas Ley REP neumáticos fuera de uso (toneladas por año)

Año	Categoría "A"				Categoría "B"	
	Recolección	Valorización Material	Valorización Energética	Eliminación o acopio	Recolección	Valorización
2022*	71.160	21.348	14.232	35.580	7.220	7.220
2023	73.295	26.386	17.591	29.318	7.437	7.437
2024	75.494	31.707	21.138	22.648	7.660	7.660
2025	124.413	55.986	37.324	31.103	7.889	7.889
2026	128.146	57.666	38.444	32.037	24.378	24.378
2027	131.991	79.194	52.796	-	25.109	25.109
2028	135.950	81.570	54.380	-	25.863	25.863
2029	157.532	94.519	63.013	-	35.519	35.519

Fuente: CINC – Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G

*Fecha estimada de entrada en vigor.

Los neumáticos son fabricados utilizando diferentes componentes que pueden ser recuperados y utilizados como materias primas o insumos en otros procesos. En la Tabla 5 se muestra, el porcentaje en peso de los principales componentes de neumáticos de vehículos livianos y camiones.

⁴⁰ C Y V Medioambiente Ltda. Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso. Diciembre 2008

⁴¹ En este estudio se indica que 3.000 ton. se usan como estabilizadores de laderas de rellenos sanitarios, 2.000 ton. se destinan al uso agrícola, municipal y de infraestructura y 2.200 ton. se utilizan como combustible, principalmente en cementeras.

⁴² La categoría A corresponde a neumáticos con un aro inferior a 57 pulgadas, con excepción de los que tienen un aro igual a 45, 49 y 51 pulgadas. La categoría B corresponde a camiones mineros con aro igual a 45 pulgadas, 49 pulgadas, 51 pulgadas y con aros iguales o mayores a 57 pulgadas.

Tabla 5. Porcentaje en peso de diferentes componentes en neumáticos

Componentes	Automóvil (% del peso)	Camión (% del peso)
Caucho	41%	41%
Negro de humo	27%	28%
Acero	15%	14%
Sulfuro	17%	17%
Peso promedio	8,6 Kg.	45,4 Kg.
Volumen	0,06 m ³	0,36 m ³

Fuente: Estudio solicitado por CONAMA⁴³

La entrada en vigor de la ley REP generará un incentivo para que las empresas valoricen los neumáticos que elaboran y/o comercializan. Existen diferentes alternativas, técnicamente factibles para valorizar neumáticos. Una de ellas es mediante el proceso de pirólisis.⁴⁴⁻⁴⁵ Existen actualmente varios proyectos de valorización de neumáticos, con distinto nivel de desarrollo que utilizan esta tecnología. Estos en total representan una capacidad de valorización de 62.000 Ton/Año de neumáticos, equivalentes al 43% de los NFU generados anualmente. Algunos de los proyectos que han sido identificados son los siguientes:

Michelin

Michelin anunció⁴⁶ la construcción de su primera planta mundial, en la ciudad de Antofagasta, para el reciclaje de neumáticos mineros. Este proyecto, que se desarrollará a través de un Joint Venture con la empresa sueca Enviro, tiene considerado iniciar sus operaciones en el año 2023 y tendrá capacidad para procesar 30.000 ton. de neumáticos al año.

Kal tire

Kal Tire es una empresa de origen canadiense que trabaja con empresas mineras en Chile y Latinoamérica. En el año 2020 realizó una importante inversión e inauguró una instalación para el reciclaje de neumáticos mediante pirólisis⁴⁷. Esta planta se encuentra en Antofagasta y tiene una capacidad proyectada de 21.000 Ton/Año de neumáticos para el año 2025.

Arrigoni Ambiental

Arrigoni Ambiental NFU es una nueva área de negocios del Grupo Arrigoni, orientada a reciclar Neumáticos Fuera de Uso. Este proyecto, desarrollado en Chile, permitirá valorizar 10.000 toneladas anuales de neumáticos mediante el proceso de pirólisis.

⁴³ C Y V Medioambiente Ltda. Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso. Diciembre 2008

⁴⁴ Tirel, Kevin. Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago, 2017.

⁴⁵ El coprocesamiento de neumáticos en hornos cementeros como combustible complementario ha sido usado en varias plantas del país. Ver: <https://www.observador.cl/cementos-melon-reciclara-2-500-neumaticos-y-los-convertira-en-combustible-alternativo/>

⁴⁶ <https://www.guiaminera.cl/michelin-inicia-en-antofagasta-la-construccion-de-su-primera-planta-de-reciclaje-de-neumaticos-en-el-mundo/>

⁴⁷ <https://www.mch.cl/2021/04/07/kal-tire-pone-en-operaciones-planta-recicladora-de-neumaticos-mineros-en-chile/#>

Atlas

Atlas⁴⁸ es una empresa que en sus inicios se dedicó al recauchaje de neumáticos de vehículos y que con los años se ha enfocado solo en los neumáticos fuera de carretera (OTR), que son ocupados principalmente para el transporte de minerales y carga pesada. La empresa opera en todas las regiones del país y están en el listado de destinatarios autorizados de residuos no peligrosos del Ministerio de Salud de la Región Metropolitana. Actualmente tiene una capacidad instalada de pirólisis que le permite tratar 1.000 ton de neumáticos por año.

7.3 Valorización de relaves de cobre

7.3.1 Contexto y caracterización del sector

Chile, al ser el principal productor de cobre del mundo, genera también una cantidad importante de residuos de los procesos de obtención. Entre ellos se encuentran los relaves⁴⁹. Hoy en día, nuestro país se encuentra en el tercer lugar del ranking mundial de los países con mayor número de depósitos de relaves del mundo, superados solo por China y Estados Unidos, países con extensiones de terreno mucho mayores.

En el último catastro realizado por Sernageomin se contabilizaron un total de 740 depósitos de relaves, situados en diez regiones del país. De éstos, 170 están abandonados, 101 están activos y 469 se encuentran inactivos.

7.3.2 Problemática

Los relaves corresponden al 96-98% de todo el mineral que se extrae y procesa por molienda y flotación. A mediados del siglo pasado, con leyes de los minerales de cobre en promedio superiores a 1%, la masa de relaves era el 95% del mineral procesado. Actualmente, con leyes medias cercanas al 0,6%, la masa promedio de relaves que se deposita es cercana a 98%.

Según estimaciones de la empresa JRI, a mediados de esta década, el nivel de acumulación de estos residuos sería de 15.000 millones de ton, con ley de cobre equivalente (Cu eq.) entre 0,10 y 0,35%. Sernageomin calcula que se depositan anualmente cerca de 537 millones de toneladas de relaves, la mayor parte de ellos provenientes de empresas pertenecientes a la Gran Minería.

Los depósitos de relaves son regulados por el Decreto Supremo 248 del año 2007. Este establece que las empresas mineras deben asegurar que los lugares en los que se depositen los relaves deben ser química⁵⁰ y físicamente⁵¹ estables.

Si bien la legislación obliga a las empresas mineras a *“garantizar una operación continua y segura a la sociedad durante toda la vida útil de los proyectos y en las etapas de post-cierre de estas instalaciones, otorgando seguridad para el medio ambiente y las comunidades aledañas”*, no las obliga a hacerse cargo de su valorización. El gran volumen de relaves disponibles presenta una

⁴⁸ <https://atlasltda.cl/>

⁴⁹ El relave es un sólido finamente molido, que luego de descartado en operaciones mineras debe ser depositado de forma segura y ambientalmente responsable.

⁵⁰ Un depósito de relaves es estable químicamente si no genera contaminantes que lleguen al ecosistema circundante ni a las personas.

⁵¹ Un depósito de relaves es estable físicamente si éste no se desmorona ni se desborda conteniendo a los sólidos depositados.

importante oportunidad de valorización, según se indica en los dos ejemplos que se presentan a continuación.

7.3.3 Propuesta de valor 1: Cuantificación y recuperación de especies valiosas de depósitos de Relaves⁵²

El cobre puede clasificarse según su procedencia como cobre primario, si es obtenido mediante el sistema de extracción tradicional o cobre secundario, si corresponde al retratamiento de los residuos producidos.

Los residuos de cobre son una importante fuente de cobre secundario, pero, si se valoriza la producción de cobre secundario de Chile, ésta no alcanza al 1% del valor de la minería primaria. En otros países como Sudáfrica y China la proporción de valor entre ambas fuentes de extracción de Cobre es superior al 20%. Si en Chile se recuperara cada año el 2% del Cobre depositado como residuo, la producción nacional podría aumentar en más de un 20%.

La empresa JRI, en asociación con la empresa estatal Ecometales, inició el programa I+D Relaves con Valor. Este programa, apoyado por Corfo, tiene como objetivo analizar la forma de recuperar especies valiosas desde los depósitos de relaves, con énfasis en los metales no usuales como Cobalto y Tierras Raras.

El proyecto comenzó en el año 2017 y se organizó en tres proyectos técnicos. En el primer proyecto, se identificó la presencia de elementos de valor en diferentes depósitos de relaves, encontrándose contenidos de tierras raras junto con metales como cobre y hierro. En el segundo, se hicieron pruebas de laboratorio para configurar un proceso metalúrgico que permitiera extraer las tierras raras y en el tercero, se hicieron pruebas a mayor escala, para validar el proceso definido a nivel de laboratorio.

Como resultado del trabajo realizado, se han publicado dos manuales de uso público. En el primero se presenta la sistematización de la técnicas perforación, muestreo y caracterización de relaves para recuperar valor desde ellos y en el segundo, se desarrollan las etapas y desafíos que hay que abordar para recuperar valor desde relaves, con foco en su reprocesamiento.

7.3.4 Propuesta de valor 2: Valorización de relaves de Cobre como materiales de construcción.

Un grupo de investigadores de la Pontificia Universidad Católica de Chile, liderado por el académico Dr. Mauricio López está desarrollando el proyecto T2CM⁵³. Este proyecto, busca reducir el impacto medioambiental que generan los residuos de la actividad minera y contribuir al desarrollo sustentable de la industria de la construcción, ofreciendo materiales de construcción seguros, amigables con el medio ambiente y a costos competitivos, a partir de los relaves.

Los investigadores estiman que este proyecto podría generar ingresos anuales de 227 mil millones de dólares, en caso de procesar cinco millones de toneladas de residuos mineros.

La idea de aprovechar los relaves mineros del cobre surge de las emisiones de dióxido de carbono originadas en la producción de cemento. A raíz de ello, el grupo de investigación de la PUC analizó

⁵² Este caso ha sido resumido y adaptado de la presentación: “Cuantificación y recuperación de especies valiosas de depósitos de relaves. Aspectos esenciales por considerar”; realizada por el Ing. Juan Rayo P. en octubre de 2020.

⁵³ <https://www.uc.cl/noticias/investigadores-uc-transforman-relaves-del-cobre-en-materiales-de-construccion/>

la factibilidad técnica de crear nuevos aglomerantes mediante un nuevo uso para los relaves mineros de cobre, creando un “súper aglomerante” que tiene grandes beneficios ambientales.

Este proyecto permite no solo dar uso a un pasivo ambiental como los relaves sino que también, ahorrar en el uso de recursos naturales no renovables utilizados en la construcción.

La ilustración 7 muestra a los integrantes del equipo de trabajo:



Ilustración 7: Aprovechamiento de relaves mineros de cobre
Fuente: WEB Pontificia Universidad Católica de Chile

7.4 Gestión del agua

7.4.1 Marco general.

Chile central enfrenta su peor sequía en siglos. La llamada “megasequía” se arrastra por más de doce años y ha implicado una pérdida promedio de precipitación del orden de un tercio con respecto a las medias históricas, como se aprecia en la ilustración 8.

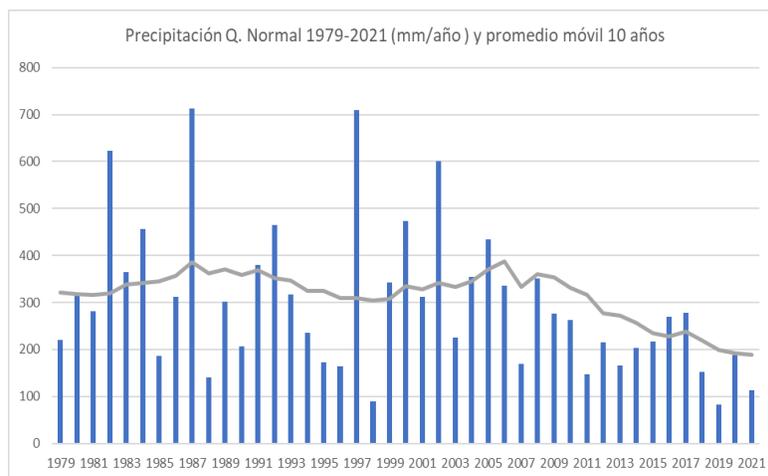


Ilustración 8: Precipitaciones anuales y promedio móvil de 10 años, estación Quinta Normal, 1979-2021
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

La necesidad de una gestión eficiente del agua se hace evidente. Las vías para una optimización del uso del agua son⁵⁴:

- Gestión de la demanda, por medio de instrumentos regulatorios y de mercado que estimulen a los usuarios a un uso más eficiente, centrado en las necesidades prioritarias y que desincentiven el sobreconsumo (ej. tarifas diferenciadas por sobre consumo).
- Eficiencia en el uso, mediante la implementación de opciones tecnológicas que permitan resultados de producción o servicio iguales con menores consumo (ej. riego tecnificado).
- Reutilización de aguas servidas tratadas, y de aguas grises, a través de la promulgación de un marco legal adecuado y de incentivos apropiados que consideren aspectos de salud, medio ambiente y usos posibles, en un contexto de gestión de cuencas.

7.4.2 Reutilización de aguas servidas tratadas (AST)

La utilización de aguas servidas tratadas podría ser un recurso importante en el contexto de la crisis hídrica que atraviesa el país, sin embargo, se trata de un recurso escasamente utilizado. Un estudio encargado por Corfo en 2019⁵⁵ detectó barreras que dificultan el aprovechamiento de este recurso, a saber:

- Falta de seguridad jurídica con respecto a la propiedad de las AST
- Ausencia de normativa ambiental acorde con la naturaleza de las aguas
- Limitaciones a la inserción del caudal de reúso en distintos tipos de aprovechamiento
- Ausencia de financiamiento público en proyectos de reúso con rentabilidad social

Para avanzar en la posibilidad de utilización de las AST como recurso, el estudio propone un conjunto de acciones, que se resumen a continuación⁵⁶:

- La declaración de las AST como bien nacional de uso público, a partir de lo cual se pueden definir con claridad los derechos de uso sobre estas aguas.
- La determinación del caudal susceptible de ser reutilizado, con lo cual se puede definir la parte que debe volver al cauce (razones ambientales o disponibilidad histórica) y aquella que puede ser aprovechada mediante una concesión (la que debe ser creada para tal efecto).
- El estudio de un plan de reúso en cada caso, considerando que los usos potenciales de las AST son variados y dependerán de las particularidades locales.
- El otorgamiento de una concesión de reúso sobre la base de una licitación pública bajo la ley de concesiones, cuya asignación será regulada por la ley de Concesiones de Obras Públicas y la Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas, DFL N° 850 de 1997. La posibilidad de otorgar un subsidio o de cobrar una tarifa dependerá de varios factores, incluyendo la rentabilidad social de un proyecto de reúso o las potenciales ganancias que genere la reutilización del recurso.

⁵⁴ Existen soluciones que amplían la oferta de agua, como la desalación, la acumulación de aguas lluvia o la captación de neblinas.

⁵⁵ Corfo, Diagua; Desarrollo de un Modelo Regulatorio-Institucional-Financiero que viabilice el Reúso de las Aguas Residuales en Chile; Santiago, 2019.

⁵⁶ Corfo, Diagua, op.cit., página 12.

El estudio reconoce el requerimiento de avanzar en la legislación de modo que se resuelvan los problemas de acceso, salubridad y calidad ambiental de las aguas. Adicionalmente, se reconoce la necesidad de adecuar la institucionalidad existente para que las instituciones relacionadas (DGA, DOH, SISS) realicen acciones de su competencia que permitan viabilizar la reutilización de las AST.

7.4.3 Biofactoría de Aguas Andinas

La empresa sanitaria Aguas Andinas ha realizado una concepción integral de sus plantas de tratamiento de aguas servidas en el sector poniente de Santiago, como unidades de economía circular que incluyen la recuperación de aguas para usos alternativos, la generación de energía con biogás y la producción de fertilizantes a partir de los lodos recuperados.

Entre las plantas de La Farfana y El Trebal se procesan aproximadamente 16 m³/s de aguas servidas. Con su tratamiento, se generan 90.000 m³ de biogás al día y 800 toneladas de lodo húmedo al día, que posteriormente es deshidratado y utilizado como fertilizante, pudiendo beneficiar hasta 30.000 hectáreas agrícolas. Las aguas se recuperan en un 100% y son restituidas al cauce natural con calidad apta para agricultura, unos 500 millones de m³/año⁵⁷.

7.4.4 Conclusión

El contexto de escasez hídrica en Chile obliga a buscar soluciones que vayan más allá de las opciones tradicionales. Las tecnologías para el uso eficiente y para la recuperación y reutilización existen; los problemas se asocian más bien a contextos culturales (sensación de abundancia de agua) y legales (falta de marcos adecuados para ciertos usos). El ejemplo de Aguas Andinas muestra que es posible la recuperación de aguas y su uso posterior con beneficios ambientales, económicos y sociales. La Economía Circular aplicada a la gestión de recursos hídricos es un aporte para la satisfacción de necesidades que, en este ámbito, serán cada vez más crecientes.

7.5 Reacondicionamiento de buses

La empresa Reborn Electric Motors comenzó sus operaciones en 2016, con la transformación de buses de motor diésel a motor eléctrico. Sin embargo, barreras regulatorias impidieron que el primer bus convertido pudiera circular por la vía pública⁵⁸. Por ello, se asociaron con una empresa de transporte en minería, con la cual desarrollaron un modelo de mini bus utilizado para transportar trabajadores de la mina El Teniente. El éxito del primer modelo permitió expandir el programa de modo que, al año 2021, habían convertido 7 vehículos, lo que ha permitido una reducción del 72% de las emisiones de la Empresa en su operación⁵⁹.

La Empresa ha logrado dominar la tecnología que le permite la conversión de buses a 100% eléctricos, cumpliendo estándares de seguridad y comodidad que satisfacen las exigencias del cliente, considerando que los buses operan en condiciones exigentes, como pendientes pronunciadas, temperaturas extremas, y ambientes cerrados (operación dentro de la mina

⁵⁷ Entrevista con Yves Lesty, de Aguas Andinas, octubre de 2021. Ver: <https://www.biofactoria.cl/>; <https://codexverde.cl/autoridades-visitantes-biofactoria-la-farfana-para-impulsar-nuevas-alternativas-de-reuso-de-agua/>;

⁵⁸ El Decreto Supremo N° 62, de 25 de abril de 2022, de la Subsecretaría de Transportes, permite la conversión de vehículos, desde tecnología ICE a eléctrica, bajo ciertas condiciones. Este decreto implica un cambio sustantivo al respecto y abre las puertas a la posibilidad de una penetración mayor de movilidad eléctrica.

⁵⁹ <https://rebornelectric.cl/es/reportaje-a-reborn-en-cnn/>

subterránea). La conversión considera la conservación del chasis, que se certifica para la operación en faenas mineras, junto con el cambio de todos los componentes eléctricos (motor, baterías, cables, etc.) que permiten el funcionamiento en las nuevas condiciones.

Recientemente, en julio de 2022, la Empresa inauguró una planta en la que se construyen buses eléctricos, con capacidad de producir 200 unidades por año, cuya reducción de emisiones estimada llega a 65.000 toneladas de CO₂ al año⁶⁰.

El caso presentado muestra la posibilidad de implementar soluciones de economía circular en el sector transporte, tomando ventaja del parque automotor existente y de las capacidades de ingeniería presentes en el país. Este tipo de soluciones se alinean con el mayor valor dado a los materiales por su permanencia en el ciclo económico y, al mismo tiempo, con las reducciones de emisiones necesarias para cumplir las metas del Acuerdo de París.

8. RECOMENDACIONES

La economía circular se presenta como uno de los pilares necesarios para una transición a la economía baja en carbono, y para la sostenibilidad en general. Para una adopción acelerada de la EC se proponen las siguientes recomendaciones:

8.1 Promover la formación sobre EC en carreras asociadas a diseño y construcción.

Las carreras universitarias y técnicas vinculadas con temas de diseño, construcción y habilitación de infraestructura, como arquitectura, diseño, construcción civil e ingeniería deben tener módulos de formación dedicados a EC, incluyendo temáticas como eficiencia en uso de materiales y energía, ecodiseño y, en general, todos los ámbitos relacionados con recuperación, reutilización y reciclaje de materiales. Los profesionales formados en esta visión podrán más fácilmente incorporarla en su actividad futura.

8.2 Promover las compras sostenibles en el Estado

El Estado puede, a través de las compras públicas, promover soluciones sostenibles lo que comprende desde compras menores hasta grandes obras de infraestructura. La inclusión de la EC en estos proceso de adquisición, como parámetro constituyente de los encargos que realiza el Estado tendrá efectos sustantivos en la calidad de las obras demandadas y en su circularidad, con beneficios en crecimiento económico, empleo y sostenibilidad ambiental.

8.3 Mejorar la regulación para la promoción y adopción de la Economía Circular

Se han hecho avances importantes en relación con las disposiciones legales que promueven una mayor circularidad en la economía. Se requiere avanzar aún más y algunas líneas de acción posible comprenden la inclusión de nuevos productos prioritarios en la ley REP, apoyados por los estudios de factibilidad correspondientes; la adopción obligatoria, por vía legal o administrativa de algunas

⁶⁰ <https://www.latercera.com/pulso/noticia/chile-fabrica-buses-electricos-para-reducir-dependencia-de-combustibles-fosiles/SUZNOVANIZHUPAD4MFNSST6CB4/>

de las disposiciones de la hoja de ruta por un Chile circular; la promoción activa a través de la gestión de RSD de los sistemas de cero basura, entre otras.

Por otra parte, existen regulaciones que impiden o dificultan la adopción de soluciones circulares. Por ejemplo, la clasificación de ciertos materiales como residuos dificulta su utilización como materias primas para procesos después de su primer uso; o la prohibición de convertir vehículos a movilidad eléctrica frena un potencial de desarrollo económico enorme cuando existen soluciones que se pueden hacer cargo del problema de seguridad sin impedir la reconversión⁶¹.

8.4 Promover estándares ESG (ASG) en la gestión empresarial

Los estándares ASG favorecen un gobierno corporativo que complementa las metas económicas de una empresa con prácticas asociadas con el cuidado ambiental, la promoción de valores sociales entre los trabajadores, colaboradores y la comunidad, y cuidan la buena gobernanza de la empresa. La adopción y comunicación de estos estándares generan dinámicas de mejoramiento que redundan en mejor desempeño general, ganancia reputacional y efectos positivos en la relación de la empresa con su entorno, incluyendo los efectos ambientales que busca la EC.

9. CONCLUSIONES

El modelo económico lineal, basado en la extracción, procesamiento, transporte, uso y descarte de materiales ha llegado a los límites que le permiten los sistemas naturales, de modo que una prolongación de este modelo está poniendo en peligro la sostenibilidad ambiental con el peligro de llegar a puntos de no retorno los que comprometerían en forma severa la capacidad de mantener los niveles de vida alcanzados hasta hoy para una población creciente.

El modelo de Economía Circular se plantea como una alternativa donde los materiales están más tiempo dentro del ciclo económico, prolongando la vida útil de los productos y minimizando los impactos ambientales del sistema económico en su conjunto. El nuevo modelo implica un cambio de mentalidad, ya que requiere una concepción de productos que, desde el diseño, estén pensados para maximizar su utilización, dejando atrás la obsolescencia programada y para recuperar la mayor parte de los materiales al final de su vida útil.

La adopción de la Economía Circular se dará en la medida en que la legislación entregue los incentivos adecuados para este cambio, sean ellos obligaciones o estímulos. Del mismo modo, las empresas deben buscar los modelos de negocios disponibles que más se ajusten a sus ofertas para que la transición se realice gradualmente. Así, por ejemplo, una empresa que vende productos puede variar su oferta entregando servicios asociados a esos productos, una empresa que se abastece con materias primas vírgenes puede optar por insumos reciclados, cuidando siempre la calidad de sus productos. Las nuevas legislaciones, como es el caso de la ley REP, apuntan en el

⁶¹ Ver por ejemplo, https://www.chvnoticias.cl/reportajes/polemica-decision-gobierno-conversion-autos-combustible-electricos_20191205/; <https://www.uchile.cl/noticias/159916/el-debate-por-la-conversion-de-autos-antiguos-a-electricos>. El Ministerio aduce razones de seguridad para negar la reconversión. Al momento de redacción de este informe, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones comunicó que esta disposición está en proceso de revisión.

sentido correcto al impulsar la creación de mercados para el flujo de materiales que, hasta hace poco, eran descartados, con impactos importantes en el medio ambiente y la sociedad.

Muchas empresas ya han adoptado la Economía Circular como guía de su accionar y están transitando hacia estos modelos económicos. La ingeniería tiene un papel importante que jugar en esta transición, partiendo por la formación de las nuevas generaciones e integrando soluciones innovadoras que incorporen, desde el diseño, las exigencias de sostenibilidad en los procesos y productos.

La posibilidad de un futuro sostenible, donde el sistema climático se mantenga dentro de rangos que permitan la prosperidad para todos los pueblos, dependerá de nuestra capacidad de integrar los conceptos asociados a la Economía Circular como parte integrante de todos nuestros esfuerzos productivos, de modo que podamos mantener los mismos niveles de servicio con impactos ambientales minimizados, idealmente cero en algunos casos, como en las emisiones de gases de efecto invernadero.

10. BIBLIOGRAFÍA

Construye 2025; Hoja de Ruta para la Economía Circular en la Construcción; Santiago, 2019.

C Y V Medioambiente Ltda., Diagnóstico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso, 2008.

Corfo, Diagua; Desarrollo de un Modelo Regulatorio-Institucional-Financiero que viabilice el Reúso de las Aguas Residuales en Chile; Santiago, 2019.

Fundación Chile, Hoja de Ruta del Pacto Chileno de los Plásticos, 2020.

Fundación Ellen McArthur, <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/es/fundacion-ellen-macarthur/la-fundacion>

Hickel, O'Neil, Fanning and Zoomkawala; National Responsibility for Ecological Breakdown: a fair-share Assessment of Resource Use, 1970-2017.

Jean Chateau, Eleonora Mavroeidi; The Jobs Potential of a Transition Towards a Resource Efficient and Circular Economy; OECD Environment Working Papers, N° 67, 2020.

Ministerio del Medio Ambiente, Hoja de Ruta para Chile Circular 2040.

OECD, Global Material Resources Outlook to 2060, Paris, 2018.

The Lancet, Volume 6, Issue 4, April 2022.

Tirel, Kevin. Ingeniería de perfil de modernas plantas para reciclaje de neumáticos fuera de uso. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Santiago, 2017

UNEP, International Resource Panel; Global Resource Outlook, 2019.

Wakuelo, Odock, Chepkulei y Kiswilli; Effects of Eco-design practices on the performance of Manufacturing Firms in Mombasa County, Kenya; University of Nairobi; International Journal of Social Sciences, Vol. 7, N° 8, agosto de 2017.

WEF, EMF, 2014; Towards the Circular Economy, Accelerating the Scale up across global value chains.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE EMPRESAS SOCIAS

AGUAS ANDINAS S.A.
ALSTOM CHILE S.A.
ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.
ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO
BESALCO S.A.
CIA. DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.
COLBÚN S.A.
CyD INGENIERÍA LTDA.
EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.
EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.
EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.
EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.
EMPRESAS CMPC S.A.
ENAEX S.A.
ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.
FLUOR CHILE S.A.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.
SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.
ARCADIS CHILE S.A.
IEC INGENIERÍA S.A.
JRI INGENIERÍA S.A.
LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

