UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

LOGÍSTICA INVERSA Y CADENAS DE SUMINISTRO CERRADAS: REVISIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL Y UNA PROSPECTIVA PARA CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

HERMAN GONZALO TAPIA SÁNCHEZ

PROFESOR GUÍA

MÓNICA LÓPEZ

PROFESOR CORREFERENTE

RAUL STEGMAIER

VALPARAÍSO, ABRIL 2019

RESUMEN EJECUTIVO

Las firmas, pertenecientes a diversas industrias y sectores económicos, deben estar en un constante proceso de mejora y adecuación a las condiciones, tanto externas como internas, en las que deben desarrollar sus actividades. Uno de los aspectos que cobra más relevancia con el paso de los años corresponde a la eficiencia en el manejo de los materiales y recursos de las empresas, especialmente aquellos más valiosos o de limitada disponibilidad. Las mejoras asociadas al rendimiento y recuperación de dichos materiales representan, por un lado, una oportunidad para las organizaciones para mejorar sus procesos, reducir costos o explotar nuevas áreas de negocio, pero también son parte de una responsabilidad, a veces impulsada por la legislación existente, sobre el manejo responsable de las materias primas y los residuos asociados a la producción.

El presente trabajo ofrece una revisión sistemática de la literatura, mediante la cual se estudian un número de trabajos relacionados a la logística inversa y las cadenas de suministro cerradas, conceptos o ideas que aportan a la búsqueda de la revalorización de los productos y sus componentes al final de sus ciclos de vida, mediante variadas prácticas en las diferentes etapas de una cadena de valor. Se consideraron trabajos publicados entre los años 2014 y 2017.

En primera instancia se presentan una serie de datos y antecedentes relativos al problema de investigación planteado, de manera de establecer un marco sobre la situación actual al respecto a nivel mundial. Posteriormente se especifica la metodología utilizada para la búsqueda, análisis y clasificación de los artículos estudiados, mediante los cuales se realiza

una selección de aquellos que realizan una contribución relevante al problema de investigación.

Los resultados de la revisión son presentados de acuerdo con una categorización realizada de los trabajos seleccionados, definiendo las siguientes áreas; Producción, Coordinación e integración, Toma de decisiones y evaluación del desempeño, Diseño y planeación, Optimización, y Barreras y factores de éxito. Se detallan las principales contribuciones realizadas en las distintas áreas para la implementación de herramientas y prácticas asociadas a la logística inversa y las cadenas de suministro cerradas.

Finalmente, se presenta un análisis y prospección para el caso de Chile, revisando las condiciones actuales referentes a las prácticas previamente estudiadas y ofreciendo una reflexión sobre las oportunidades futuras para su desarrollo a nivel nacional.

Índice de contenido

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 8
2. OBJETIVOS 10
2.1 Objetivo General 10
2.2 Objetivos Específicos 10
3. METODOLOGÍA 11
4. MARCO TEÓRICO 14
4.1 Antecedentes y ejemplos de implementación 14
4.2 Teorías y conceptos relevantes 18
4.2.1 Aspectos teóricos 20
4.3 Principales industrias con potencial de implementación 23
4.3.1 Industria automovilística 23
4.3.2 Equipos electrónicos 24
4.3.3 Mercado de alimentos 26
4.3.4 Industria de la construcción 28
4.4 Aspectos legales y marcos regulatorios 29
5. DESARROLLO 31
5.1 Método del análisis sistemático de la literatura 31
5.1.1 Pregunta de investigación 31
5.1.2 Proceso de búsqueda 31

5.1.3 Criterios de selección 37

5.2 Proceso de búsqueda – Artículos encontrados 38

5.3 Categorización de los trabajos seleccionados 45

5.3.1 Trabajos seleccionados y contribuciones 47

5.4 Análisis de resultados 51

5.4.1 Barreras y factores de éxito 52

5.4.2 Coordinación e integración 56

5.4.3 Diseño y planeación 57

5.4.4 Producción 62

5.4.5 Optimización 64

5.4.6 Toma de decisiones y evaluación del desempeño 66

5.5 Escenario chileno 71

5.5.1 Antecedentes 71

5.5.2 Legislación 76

5.5.3 Concientización 79

5.5.4 Innovación y cooperación 81

5.5.5 Ejemplos de campañas e implementación 83

6. CONCLUSIONES 86

7. REFERENCIAS 89

Índice de figuras

Figura 1. Metodología del trabajo 13

Figura 2. Esquema básico de una Cadena de Suministro cerrada 18

Figura 3. Composición del e-waste a nivel mundial..... 25

Figura 4. Desperdicio de comida según tipo de alimento..... 27

Figura 5. Términos de búsqueda..... 32

Figura 6. Filtro de búsqueda por fecha 33

Figura 7. Filtro de búsqueda por área 35

Figura 8. N° de trabajos encontrados por año de publicación 36

Figura 9. N° de trabajos encontrados por fuente de publicación 36

Figura 10. Problemáticas abordadas en la literatura 51

Figura 11. Valorización de residuos por rubro en Chile..... 74

Figura 12. Tipo de tratamiento de residuos valorizados..... 75

Figura 13. Funcionamiento Ley REP 79

Figura 14. Separación de residuos en hogares..... 80

Figura 15. Cooperación en empresas que innovan 82

Índice de tablas

Tabla 1. Trabajos encontrados y selección 44

Tabla 2. Trabajos seleccionados y contribuciones 50

Tabla 3. Factores de éxito en la implementación de LI 53

Tabla 4. Barreras al éxito en la implementación de LI 55

Tabla 5. Indicadores de rendimiento en LI 70

Tabla 6. Generación y valorización de residuos en Chile por rubro 73

Tabla 7. Proyectos de Innovación en economía circular 84

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Desde los últimos años, e incluso las últimas décadas, la eficiencia en el manejo y utilización de recursos ha tomado más y más importancia en industrias de todas las áreas. No sólo en el ámbito de los negocios, sino que a través de toda la sociedad ha surgido una creciente preocupación por el uso de los recursos, cada vez más valiosos y escasos ante el imparable aumento demográfico a nivel mundial y la consecuente alza en la tasa de consumo de los recursos naturales. Esta situación ha impulsado la búsqueda de nuevos paradigmas en la gestión de recursos dentro de una empresa, lo que se refleja en que, "En las últimas dos décadas, la atención de administradores e investigadores se ha expandido gradualmente para considerar aspectos ambientales y sociales" (Gualandris, Klassen, Vachon y Kalchschmidt, 2013).

La demanda en constante crecimiento de diversos productos y servicios ha potenciado el desarrollo de diversos negocios, pero también ha introducido nuevos desafíos. Uno de estos desafíos está en la manera en que las firmas manejan sus productos en la parte final de la cadena de suministros, al final de sus ciclos de vida. Los productos que alcanzan esta etapa son referidos como productos EoL (End of Life products). Es en este contexto, que los conceptos de cadena de suministros cerrada (En adelante, CSC) y logística inversa (LI) toman fuerza, mostrándose como una herramienta para, ya no sólo minimizar costos, sino que, en algunos casos, explotar nuevas oportunidades de negocio.

Pero ¿Es factible la implementación de CSC en cualquier economía o industria? Ciertamente cada caso es distinto del anterior, por lo que es importante identificar las condiciones necesarias para una correcta implementación de una red de LI. En cuanto a los

productos o piezas a reprocesar propiamente tal, existen una serie de mercados donde se desechan cantidades importantes de productos que aún poseen valor. Por ej. Productos como chips de circuito integrado, computadores y teléfonos móviles pueden volverse obsoletos debido a la innovación tecnológica. Sin embargo, estos productos pueden ser reprocesados y revendidos en el mercado (Yang, Wee, Chung y Hoa, 2010). Otras industrias donde la LI toma especial importancia son el sector automovilístico, de alimentos y el retail.

La logística inversa abarca actividades tales como reparación, reprocesos, reciclaje y/o desecho de residuos, además de todas las decisiones asociadas a la recolección, transporte y almacenamiento de los productos involucrados. Sin embargo, surge la interrogante, ¿Cómo pueden utilizarse estas herramientas para crear un valor agregado percibido por los consumidores?

Muchas organizaciones enfatizan la respuesta al cliente y la calidad como medios para mantenerse en el negocio durante su funcionamiento (Ramezani, Bashiri y Tavakkoli-Moghaddam, 2012). Es a través de éstas herramientas que las firmas tienen una oportunidad para desarrollar nuevas ideas y proyectos que les permitan explotar al máximo sus capacidades productivas, al mismo tiempo que les permite avanzar hacia modelos de negocios más sustentables, ante un mercado que constantemente se ve más atento y susceptible a las políticas ambientales de las empresas, valorizando cada vez más aquellas firmas que ofrecen una alternativa más responsable y eficiente a la hora de satisfacer las necesidades del mercado. De hecho, una de las mayores oportunidades de investigación está en la relación entre logística inversa, sustentabilidad y cadenas de suministro “verdes” (Govindan, Soleimani y Kannan, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar el escenario actual de la investigación e implementación de la logística inversa a nivel global, mediante la revisión y análisis de la literatura existente, para identificar aspectos críticos sobre su implementación y oportunidades futuras para su desarrollo.

2.2 Objetivos Específicos

Definir conceptos relacionados con la Logística Inversa y su implementación en diversas industrias.

Realizar un análisis sistemático de la literatura existente sobre los conceptos y aplicaciones actuales de la Logística Inversa, para identificar y categorizar los distintos aportes existentes en ésta.

Identificar factores relevantes, carencias y oportunidades para la implementación de la Logística Inversa en el contexto chileno.

3. METODOLOGÍA

En primer lugar, se lleva a cabo un análisis conceptual preliminar, con el objetivo de identificar y definir las principales ideas y conceptos claves que se deben manejar al estudiar la LI y las CSC para cumplir con los objetivos establecidos al inicio del presente trabajo, realizando una revisión de los antecedentes más relevantes sobre dichos tópicos.

Posteriormente se realiza un análisis sistemático de la literatura, según el método planteado por Alvesson y Sandberg (2011), con el objetivo de revisar la literatura existente, estableciendo criterios bien definidos de aceptación y rechazo, identificando los principales aportes realizados por aquellos artículos que sean seleccionados. El proceso de revisión de la literatura consta de 5 etapas principales:

Definición de la pregunta de investigación: Se establece la problemática central en torno a la cual se realizará la búsqueda de artículos e información.

Diseño de la estrategia de búsqueda: Se definen las palabras y conceptos clave que se utilizarán para la búsqueda de información, junto a las herramientas de búsqueda y bases de datos a consultar.

Proceso de búsqueda: Se lleva a cabo el proceso de búsqueda según la estrategia antes definida y se revisan los trabajos encontrados.

Definición de los criterios de selección: Se establecen una serie de criterios a aplicar a los trabajos encontrados, con el fin de seleccionar sólo aquellos que entreguen información relevante y valiosa para la problemática de la investigación.

Selección de los trabajos: Se aplican los criterios definidos a los trabajos encontrados para su correspondiente aceptación o rechazo.

Adicionalmente, se presenta un análisis de los resultados encontrados en aquellos estudios previamente seleccionados, identificando los principales aportes al problema de investigación, además de realizar una categorización de los trabajos seleccionados, según el enfoque con el que abordan el problema de investigación y los aportes que realizan.

Finalmente, se estudia la situación en Chile, determinando el escenario actual sobre políticas de LI y CSC, y utilizando los resultados encontrados previamente para identificar barreras y oportunidades futuras para el desarrollo de estas actividades a nivel nacional.

Figura 1. Metodología del trabajo

Fuente: Elaboración propia

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes y ejemplos de implementación

La implementación de LI y CSC en la industria aparece como una respuesta ante la necesidad de buscar nuevas oportunidades de negocios, nuevas ventajas competitivas y/o cumplir con normas vigentes respecto al manejo y desecho de ciertos productos, particularmente en la industria de los aparatos electrónicos. Pero el diseño y funcionamiento de una red de LI implican una serie de decisiones y operaciones que a su vez implican un costo propio para las firmas. Como señalan Jayant, Guide y Wassenhove (2008) "Los costos de LI pueden variar desde 4% (Rogers, 2001) hasta 9,49% del total de los costos logísticos. En los sectores de retail y manufactura, se estima que la LI cubre cerca del 5-6% del total de costos logísticos".

Otro de los motivos que puede llevar a una firma a potenciar sus sistemas de LI son las altas tasas de devolución de productos, situación que se presenta con mayor fuerza en los sectores de retail y manufactura, donde el retorno de productos se produce tanto por el mal funcionamiento de éstos, como por factores externos a las firmas o simplemente cambios de opinión en el consumidor, particularmente en el caso del retail. La devolución de productos es una creciente preocupación para las industrias. Grandes retailers pueden llegar a tener tasas de devolución superiores al 10% de las ventas, y fabricantes como Hewlett-Packard reportan costos por productos devueltos que sobrepasan el 2% del total de ventas. Al momento, solo un pequeño porcentaje del valor es recuperado (Atasu, Guide y Wassenhove, 2008).

Muchas firmas alrededor del mundo no sólo han aplicado sistemas y redes de LI y CSC, sino que las han perfeccionado durante la última década, aumentando los porcentajes

de partes reutilizables en sus productos, disminuyendo sus costos de producción e incluso generando asociaciones colaborativas con otras firmas u ONG's que participan en la recolección y/o reciclaje de diversos materiales, algunos de los cuales pueden ser particularmente valiosos. Por ejemplo, Xerox Corporation provee buzones prepagados para que sus clientes puedan devolver fácilmente sus cartuchos de impresión a Xerox sin incurrir en ningún costo. La compañía también remanufactura fotocopiadoras con alto valor al final de su vida útil (Xerox Corporation 2001). Las fotocopiadoras usadas son recolectadas directamente por Xerox al tiempo que otras nuevas son instaladas. En general, el programa de remanufactura verde le ahorra a la compañía 40%-65% en costos de manufactura a través de la reutilización de partes y materiales. (Savaskan, Bhattacharya y Van Wassenhove, 2004).

Sin duda, Xerox es sólo uno de varios actores en la industria de manufactura de equipos electrónicos que han identificado en la reutilización de partes y piezas una oportunidad importante para abaratar costos, y es que la industria de electrónicos es uno de los sectores con mayor potencial para éstas actividades, impulsado por 2 aspectos claves: Una importante cantidad de recursos valiosos y escasos usados en la producción de estos equipos, y la creciente preocupación y legislación asociada al manejo de éstos desechos, que en muchos casos pueden contener elementos peligrosos para el medioambiente y la salud humana.

Algunas organizaciones como HP o Dell han implementado LI como ventaja competitiva. De manera similar, otros fabricantes líderes como Canon y Xerox han alcanzado tasas de re-manufactura cercanas al 90%. De hecho, implementar programas de LI para reducir, reusar y reciclar desechos produce valor tangible e intangible y puede conducir a una mejor imagen corporativa (Agrawal, Singh & Murtaza, 2016).

Muchos fabricantes incluso alientan a los consumidores a devolver productos de marcas distintas a la propia para su correcto desecho o reciclaje. Por ejemplo, en 2008 Hewlett–Packard (HP) recolectó cerca de 265 millones de libras de productos usados. En 2008, Dell reportó la recuperación de 135 millones de libras en equipamiento de tecnología de información (Dell, 2008). Hoy en día, Las operaciones de manufactura de Dell pueden reciclar o reusar hasta el 95% de sus desechos (Hong y Yeh).

Si bien se podría pensar que la implementación de una CSC conduce a costos logísticos tan altos que no vale la pena, lo que en algunos casos puede llegar a ser cierto, no existe un método único para pasar de una cadena de suministros abierta a una cerrada, las opciones son ampliamente variadas, y una de las que ha tomado mayor fuerza es la asociación con firmas externas especializadas en la recuperación de productos EOL, como bien lo ejemplifican Hong y Yeh (2012): En Europa, la Corporación Dell subcontrata firmas externas para recolectar equipos de computación usados y llevarlos a un centro de procesamiento de productos obsoletos de Dell (Dell, 2008b). Hewlett Packard trabaja con una firma de manejo y eliminación de desechos para recolectar productos electrónicos desechados o “e-waste” (HP, 2008b). Acer consulta con una compañía de logística para llevar a cabo programas de reciclaje de productos en toda la región europea (Acer, 2008). Todos los productos usados son enviados a las firmas externas de reciclaje que colaboran con Hacer para ser desechados de manera apropiada.

Se han mencionado varios ejemplos de implementación de LI en Europa, donde la legislación sobre el manejo de desechos lleva ya varios años establecida y donde las redes logísticas de grandes firmas están bien consolidadas, pero ¿qué sucede en América Latina?

El costo de las operaciones logísticas en América Latina es mucho más alto que los países de la OCDE; en promedio éstos últimos no superan el 8% del valor final del producto; en Chile ese mismo valor alcanza el 18% (Subdirección de Desarrollo, 2014). Este dato por sí solo ayuda a dimensionar de cierta manera las diferencias que existen en el área entre ambas regiones y adelanta las dificultades existentes para una correcta implementación de una red de LI en Chile y América Latina.

Como ya se ha visto, diversas firmas internacionales ya han implementado exitosamente modelos de recuperación y reutilización de partes y piezas, sin embargo, es importante mencionar que diferentes productos deben ser tratados de diferente manera. No es lo mismo reprocesar productor perecible y no perecibles, por ejemplo. Por lo tanto, así como se deben considerar las diferencias entre distintos países y economías para evaluar la implementación de CSC, también se deben considerar las diferencias, ventajas y desventajas que existen entre productos de distinta naturaleza para su reutilización.

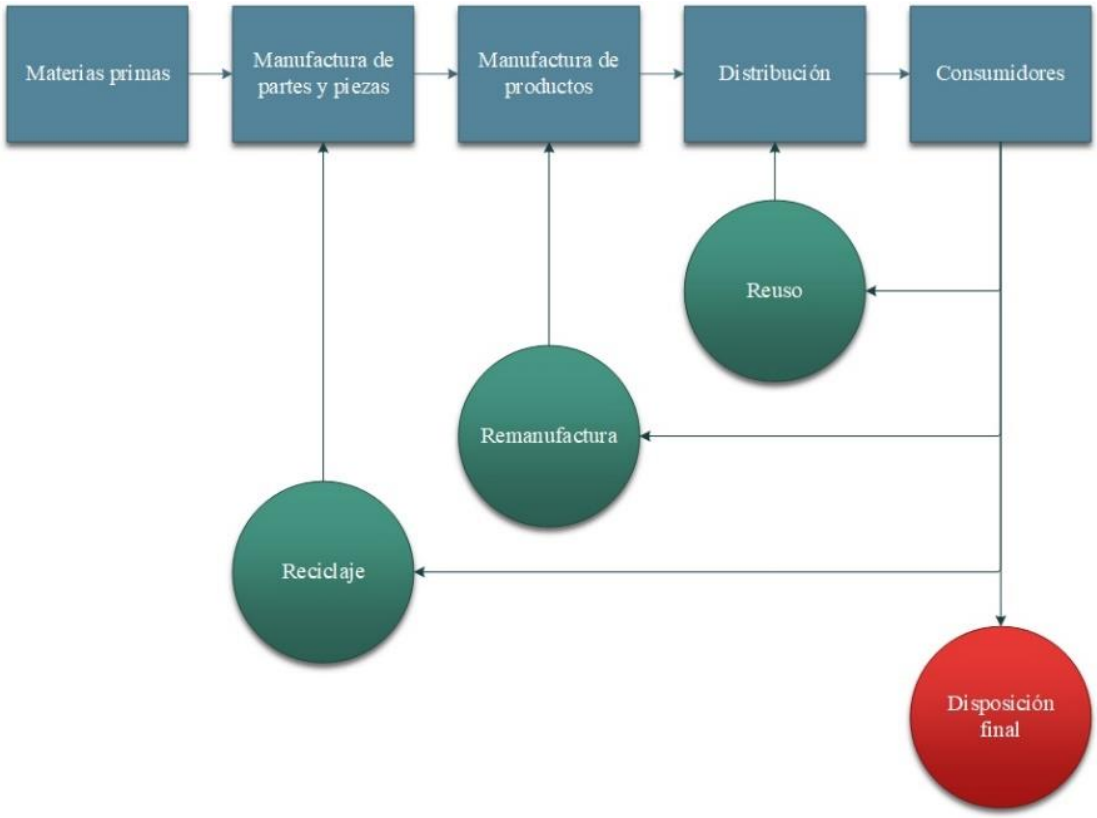

Figura 2. Esquema básico de una Cadena de Suministro cerrada

Fuente: Elaboración propia

4.2 Teorías y conceptos relevantes

Según M. Christopher (2016) ´"la logística es el proceso de gestionar estratégicamente la adquisición, movimiento y almacenamiento de materiales, piezas e inventario terminado (y los flujos de información relacionados) a través de la organización y sus canales de marketing de manera que las utilidades actuales y futuras sean maximizadas a través del cumplimiento económicamente eficiente de los pedidos."

De manera similar, la logística inversa se entiende como "El proceso de planificación, implementación y control de manera eficiente de materias primas, productos en proceso (WIP), productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hacia el

punto de origen, con el propósito de recapturar valor o desecharlos de manera correcta" (Rogers y Tibben-Lembke, 1998).

Una cadena de suministro consiste en todas las partes involucradas directa o indirectamente en satisfacer a un cliente. Esto implica incluir a transportistas, almacenes, intermediarios y a los clientes. Algunas etapas de la Cadena de Suministro son: Clientes, Minoristas, Distribuidores, Manufactureros, Proveedores de materia prima. El objetivo de la cadena de suministro es maximizar el valor global generado (Chopra & Meindl, 2007).

En una cadena de suministros "hacia adelante", el consumidor es generalmente el fin del proceso. Sin embargo, una CSC incluye los procesos de retorno y el productor tiene la intención de capturar valor adicional e integrar todas las actividades de la cadena de suministros. Por lo tanto, las CSC incluyen las actividades tradicionales de una cadena de suministros junto a las actividades adicionales de una cadena de suministros reversa o "hacia atrás" (Guide, Harrison & Van Wassenhove, 2003).

Las tareas asociadas a la administración y control de la cadena de suministros se insertan dentro de lo que se conoce como supply chain management (SCM). Como señalan Handfield y Nichols (1999), SCM es "El enfoque holístico de administración para integrar y coordinar los flujos de materiales, financieros y de información a lo largo de la CS". Melo, Nickel y Saldanha-DaGama (2009) también definieron SCM como "el proceso de planeación, implementación y control de las operaciones de la CS de una manera eficiente" (Según cita Govindan, Fattahi, & Keyvanshokooh, 2017).

Re-manufactura puede definirse como una estrategia de producción cuya meta es recuperar el valor residual de productos usados al re-usar componentes que aún funcionan correctamente (Debo, Toktay y Van Wassenhove, 2005).

4.2.1 Aspectos teóricos

La LI y las CSC se insertan dentro del amplio abanico de aspectos que considera la gestión y administración de operaciones. En ese sentido, muchas de las teorías y herramientas de evaluación de desempeño que se utilizan en la logística tradicional y las cadenas de suministro abiertas, también son aplicables para los casos particulares que aquí se estudian.

Uno de los aspectos que cobra mayor relevancia es la implementación de una red logística que permita la recolección y procesamiento de los productos EOL. Para ello, se deben tener claras las variables que influyen en su implementación. Generalmente, hay 3 tipos de variables de decisión: Variables de decisión estratégica (localizaciones, capacidades, etc.), variables de decisión táctica (asignaciones, planificación, etc.), y variables de decisión operacional (tamaño de lotes, inventario, etc.) (Chopra y Meindl, 2007). La implementación correcta de cualquier red logística deberá considerar los 3 tipos de variables mencionadas, sin embargo, como se profundizará más adelante, algunas de estas variables adquirirán una importancia particular en función de la industria en la que se trabaje y los principales parámetros que se deban considerar en la planificación del proceso de LI.

Por ejemplo, estudios de gestión de inventarios, al investigar cantidades de orden óptimas y otras decisiones relacionadas a inventario sobre re-manufactura y productos devueltos, juegan un rol mayor en el nivel operacional de la cadena de suministros. Algunos

investigadores se concentran en decisiones sobre planificación de la producción y control de inventarios simultáneamente. Esta integración aumenta la productividad de las decisiones operativas en CSC y LI (Govindan et al. 2014).

Como se mencionó anteriormente, una de las etapas más importantes en la implementación de un sistema de CSC es la planeación y diseño de la red física de flujo para los productos. El objetivo del diseño es determinar variables de decisión estratégicas (largo plazo) como localizaciones y capacidad de las instalaciones. En la etapa de planeación, las variables de decisión más importantes son las cantidades de flujo entre entidades de la red de suministros, conocidas como variables de decisión de medio término. (Govindan et al. 2014)

Otro aspecto importante en la implementación de una red de CSC es la flexibilidad que ésta sea capaz de adoptar, lo cual cobra especial importancia debido a la incertidumbre que presenta, no sólo la demanda de productos reprocesados, sino que también la disponibilidad de productos aptos para su recolección y reproceso o reciclaje, a diferencia del caso tradicional, en dónde los insumos están asegurados (o al menos regulados) por contratos con los proveedores.

La flexibilidad se puede construir dentro de un sistema de LI, por ejemplo, teniendo inventarios de seguridad más grandes, teniendo contratos con un grupo más amplio de proveedores, invirtiendo en tecnología modular de productos, e invirtiendo en automatización flexible, por nombrar algunas medidas. (Bai y Sarkis, 2013)

Chopra y Meindl (2007) han definido 6 impulsores principales para el rendimiento de una cadena de suministros: transporte, inventario, instalaciones, información, precios y abastecimiento. También proveen un marco de referencia para el análisis de una CS que

procede, primero, entendiendo la ventaja competitiva de la CS y cómo encaja con la estrategia operacional, y cómo ésta puede ser implementadas a través de cada impulsor.

Todos estas temáticas o impulsores son válidos para la gestión de una CSC, igualmente que para una cadena de suministros abierta y las teorías que se aplican son, en términos generales, las mismas. Las diferencias se marcarán entonces en aspectos más particulares, como la incertidumbre en los insumos o los flujos bidireccionales propios de una CSC. Se debe, por lo tanto, identificar claramente todos los aspectos que toman relevancia en un sistema de LI, en comparación con aquellos que sólo presentan un flujo "hacia adelante".

Por ejemplo, la gestión tradicional de cadena de suministros comúnmente distingue los inventarios según su función en la cadena de valor, como stock cíclico, stock estacional y stock de seguridad. Todas estas funciones también juegan un rol en la cadena de suministros extendida o cerrada. Sin embargo, los inventarios asumen un rol adicional en este contexto, el cual es impulsado por el desajuste entre el suministro exógeno y la demanda. (Jayant, Gupta y Garg, 2012)

Un ejemplo claro de las teorías generales que se aplican en cadenas de suministros tradicionales, pero también son aplicables para CSC es el modelo de cantidad económica de pedido/producción (EOQ/EPQ), comúnmente usado para investigar políticas de inventario en un contexto de LI, así como en otras áreas (El Saadany y Jaber, 2011).

4.3 Principales industrias con potencial de implementación

Existen una variedad de criterios y perspectivas según los que se pueden clasificar los problemas relacionados a LI y CSC o los estudios y trabajos que atienden estos temas. Más adelante, se profundiza en las categorías identificadas dentro de la literatura, por el momento, se señalan las principales industrias en las que la LI ocupa un papel importante y las razones de aquello.

4.3.1 Industria automovilística

La industria automovilística ha tenido una red de logística inversa establecida por décadas, incluyendo una infraestructura de Re-manufactura y reciclaje bien desarrollada y una red de venta de automóviles usados (Bai y Sarkis, 2013).

Algunos de los aspectos que contribuyen a la factibilidad de las CSC en la industria automovilística son el alto número y variedad de piezas y partes utilizadas, la vida útil de estos componentes, el valor que presentan algunos de ellos y los altos niveles de tecnología y producción que presentan las principales firmas productoras de automóviles, lo que facilita los procesos de recolección y re-manufactura.

Uno de los aspectos que ha cobrado más importancia, corresponde al valor de ciertos componentes utilizados en esta industria, donde muchas veces se utilizan metales y no metales de alto costo y baja disponibilidad en el mercado, siendo de especial atención las baterías de los automóviles, que muchas veces utilizan componentes reutilizables en la propia industria automovilística o en otras.

Como se menciona en Matopoulos, Barros y van der Vorst (2015), un ejemplo reciente de eficiencia de recursos es la iniciativa de Honda de establecer un nuevo proceso para reusar metales extraídos de baterías de níquel-metal hidruro en nuevas baterías para reciclar recursos valiosos. El fabricante de autos japonés planes aplicar el mismo proceso a través del reemplazo de baterías, así como también con otras partes usadas, lo que representa un paso más hacia una CSC para automóviles (Honda, 2013).

4.3.2 Equipos electrónicos

E-waste y lo que se conoce como "Equipamiento eléctrico y electrónico desechado" (WEEE, por sus siglas en inglés) describen equipos descartados que usan electricidad. E-waste describe bienes electrónicos como computadoras, televisores y celulares, mientras que WEEE también incluye bienes tradicionalmente no-electrónicos como refrigeradores y hornos (Robinson, 2009).

La industria de equipos electrónicos representa un mercado clave para la reutilización de recursos y el establecimiento de redes de LI, como ya lo han entendido diversos fabricantes alrededor del mundo, debido, principalmente, a 3 factores. El primero es la inmensa cantidad de e-waste que se genera anualmente en todo el planeta. Se estima que el total de e-waste generado en 2016 fue de 44,7 millones de toneladas. Se pronostica que esta cantidad aumentará hasta 52,2 [t] en 2021. Se estima que estos residuos se componen de; 16,8 [t] equipos pequeños (como aspiradoras, microondas, tostadores, afeitadoras eléctricas, cámaras de video, etc.), 9,1 [t] de grandes equipos (como lavadoras, secadoras, lavavajillas, hornos eléctricos, paneles fotovoltaicos, etc.), 7,6 [t] de equipamientos de refrigeración o

intercambio de calor, 6,6 [t] de pantallas, 3,9 [t] de pequeños equipos de TI (como teléfonos celulares, calculadoras, computadores personales, impresoras, etc.) y 0,7 [t] de lámparas y similares (Balde, Forti, Gray, Kuehr, & Stegmann, 2017) (Ver figura 3).

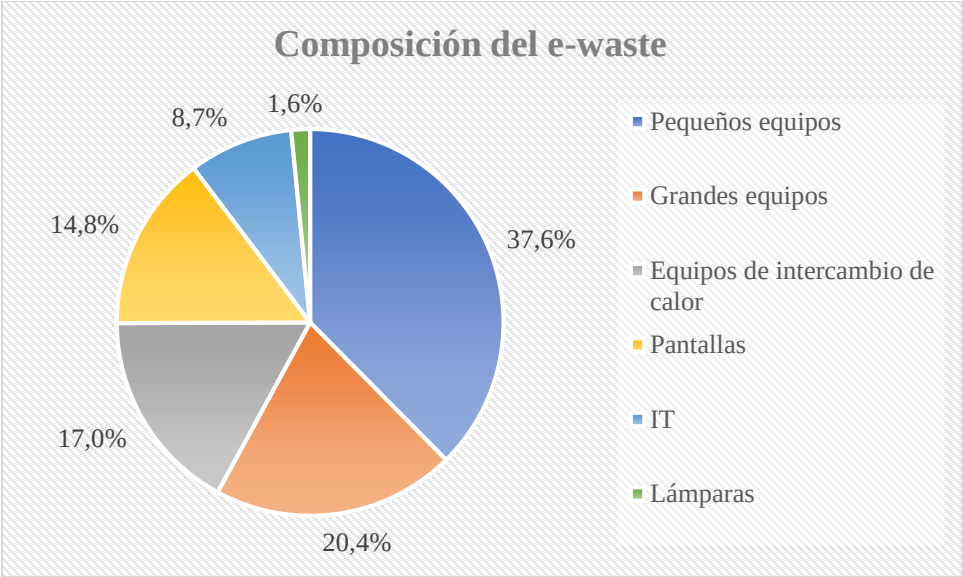

Figura 3. Composición del e-waste a nivel mundial

Fuente: Elaboración propia con datos de Balde et al. (2017)

Otro factor clave en la importancia del reproceso de e-waste consiste en el valor propio de algunos materiales utilizados en diversos equipos electrónicos. El valor intrínseco del material de e-waste a escala global se estimó en 55 billones de euros en 2016 (alrededor de 62 billones de dólares). Los materiales dominantes que aportan este valor son el oro, cobre y, debido a sus grandes volúmenes, plásticos (Balde et al. 2017). También es posible encontrar cantidades importantes de plata y paladio.

Finalmente, el tercer factor a considerar consiste en los desechos potencialmente peligrosos que están presentes en el e-waste. Algunos materiales peligrosos que pueden ser encontrados regularmente en el e-waste son; materiales pesados - como mercurio, plomo o cadmio- y químicos como clorofluorocarbonos (CFC) (Balde et al. 2017).

4.3.3 Mercado de alimentos

Uno de los mercados donde las CSC representan un aspecto clave en la utilización de recursos es la industria alimenticia. El desperdicio de comida ha alcanzado niveles sorprendentes, especialmente en países desarrollados. Sólo para hacerse una idea de la magnitud del problema, cerca de un tercio de las partes comestibles de la comida producida para consumo humano se pierde o desecha a nivel global, lo cual es alrededor de 1.3 billones de toneladas por año (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Van Otterdijk y Meybeck, 2011). En la figura 4 se puede observar cómo se distribuye este desperdicio según el tipo de alimento.

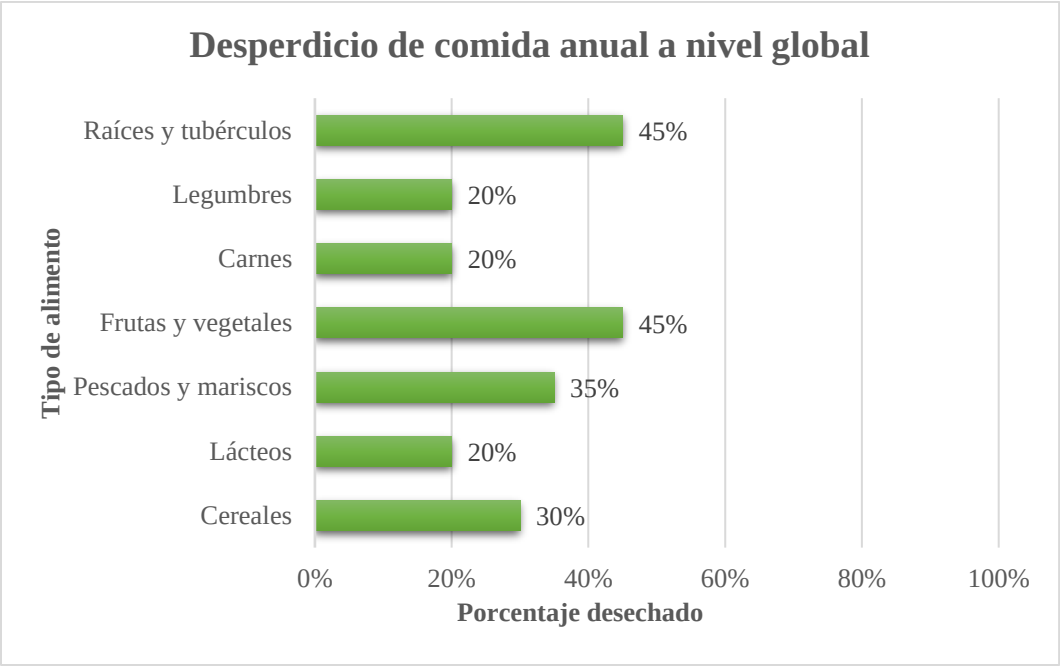

Figura 4. Desperdicio de comida según tipo de alimento

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

En el caso particular de América Latina el panorama no es distinto. En la región, las PDA (pérdidas y desperdicios de alimentos) alcanzan un volumen cercano a los 127 millones de toneladas, esto es, 223 kg por persona anualmente, lo que significa que un 34% de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o desperdicia cada año. (FAO, 2016)

Alianzas estratégicas entre distintos actores de la cadena de suministros de la industria, incluyendo productores, distribuidores y consumidores finales, se hacen necesarias para crear CSC que permitan reducir los altos niveles de desperdicio observados hoy en día.

Un aspecto importante que considerar son las etapas en las cuales se producen las pérdidas de alimento, pues esto es clave para construir una red de conexión y transporte que

permita conectar adecuadamente las etapas de la cadena de suministro, con el objetivo de minimizar costos y maximizar la utilización de los recursos propiamente tal. En América Latina y el Caribe, las PDA en la fase de producción representan el 13,4%, mientras que un 7,5% corresponde a la fase de postcosecha, un 5%, a la de elaboración y envase, un 4,1%, a la de distribución y un 3,7% a la fase de consumo. Se estima que un 6% de las pérdidas mundiales de alimentos ocurren en América Latina y el Caribe y que la cantidad de alimentos que se pierden o desperdician en la región podrían alimentar a 300 millones de personas. (FAO, 2016).

4.3.4 Industria de la construcción

Otra industria en la que existe un alto potencial para el re-proceso y re-utilización de materiales es la construcción, la cual se ve favorecida por los altos volúmenes de materia prima utilizados y la gran variedad de éstas.

Dentro de todo el ciclo de vida de la construcción, se debería estar consciente de los problemas de manejo de residuos, ya que, desde el comienzo de la construcción, y durante las reparaciones, alteraciones, reconstrucción y demolición, en todas estas etapas es posible la recuperación de materias primas y productos de construcción (Sobotka y Czaja, 2015)

Sin embargo, también se debe tener claro que, como en toda industria, se deben tener consideraciones específicas para manejar los materiales que se busca reutilizar. Durante el ciclo de vida de una construcción, la materia prima puede estar expuesta a agentes corrosivos y otros factores, deteriorando sus parámetros de rendimiento, por lo tanto, es extremadamente

importante tomar muestras de la porción de material que se busca reutilizar en orden para determinar parámetros técnicos para el uso futuro de dicho material (Sobotka y Czaja, 2015).

4.4 Aspectos legales y marcos regulatorios

Así como la investigación e implementación de redes de LI es un proceso relativamente nuevo (recién toma fuerza en la década de los 90), la legislación asociada al correcto manejo y eliminación de los desechos generados a partir de procesos de manufactura, así como también de los productos EOL, ha tomado fuerza y sufrido cambios importantes al comienzo de este siglo, orientándose principalmente a aumentar la responsabilidad e involucramiento de los fabricantes, importadores y distribuidores para hacerse cargo de dichos procesos.

Por ejemplo, 27 países en europa han promulgado una legislación de recuperación para los residuos electrónicos o “e-waste” (Waste Electrical and Electronics Equipment (WEEE) Directive 2002/96/EC), 23 estados en EE.UU han aprobado leyes similares (ETC 2010) y Japón ha establecido leyes de reciclaje para electrodomésticos y computadoras (Tojo 2004) (Kahhat et al. 2008).

En Corea del Sur, bajo la Extended Producer Responsibility (EPR) Law, que entró en efecto en 2003, a los fabricantes locales, distribuidores e importadores de bienes de consumo como aires acondicionados, televisores y computadoras se les exige alcanzar objetivos oficiales de reciclaje o enfrentar consecuencias financieras. Deben configurar una cuenta con el gobierno para depositar fondos de reciclaje, los que son reintegrables en proporción a los volúmenes reales de desechos reciclados (Kahhat et al. 2008).

En los EE. UU, California especifica una cuota obligatoria de reciclaje de e-waste de US $8–$25 para ciertos productos electrónicos enviados directamente al estado (IWMB, 2003). En Maine, todos los productores son responsables por el reciclaje de e-waste (MRS, 2008). Adicionalmente, algunos gobiernos también les han exigido a los fabricantes que venden productos nuevos o repuestos que recolecten los productos antiguos de los clientes y los desechen de manera apropiada (Hong y Yeh, 2012).

5. DESARROLLO

5.1 Método del análisis sistemático de la literatura

En esta sección se detallarán las etapas desarrolladas para llevar a cabo el análisis sistemático de la literatura, describiendo el proceso de búsqueda realizado y los criterios fijados para la selección de los trabajos encontrados.

5.1.1 Pregunta de investigación

Se desea identificar aspectos claves para la implementación de la LI y las CSC, tanto en industrias específicas como de manera general, así como elementos que permitan su control y evaluación.

5.1.2 Proceso de búsqueda

La herramienta de búsqueda utilizada es Scopus (www.scopus.com), una de las bases de datos de referencias bibliográficas más utilizadas y que provee variadas herramientas para refinar y optimizar el proceso de búsqueda.

Para llevar a cabo este proceso y la recopilación de información se definieron las palabras y conceptos claves a utilizar. A través de estos conceptos y la combinación adecuada de ellos mediante operadores booleanos (AND/OR) se procede a realizar el proceso de búsqueda en sí, realizando las consultas pertinentes a través de un conjunto de bases de datos, lss cuales son claramente establecidos. De esta forma se consigue no sólo presentar la forma

en que se obtuvieron los resultados de manera clara, sino que también se facilita el trabajo de un potencial estudio posterior que permita ampliar y/o perfeccionar el trabajo aquí presentado.

Se decidió utilizar los conceptos principales contenidos en el título del presente trabajo, realizando la siguiente búsqueda en Scopus:

Reverse logistics OR Closed supply chain

Figura 5. Términos de búsqueda

Fuente: Scopus.com

Adicionalmente, se agregó un conjunto de filtros a la búsqueda con el fin de reducir los artículos encontrados a aquellos que puedan, potencialmente, presentar un aporte actual y relevante al tema en investigación.

En primer lugar, se aplicó un filtro por fecha, seleccionando de manera exclusiva los trabajos publicados desde el año 2014 hacia adelante (Ver figura 6).

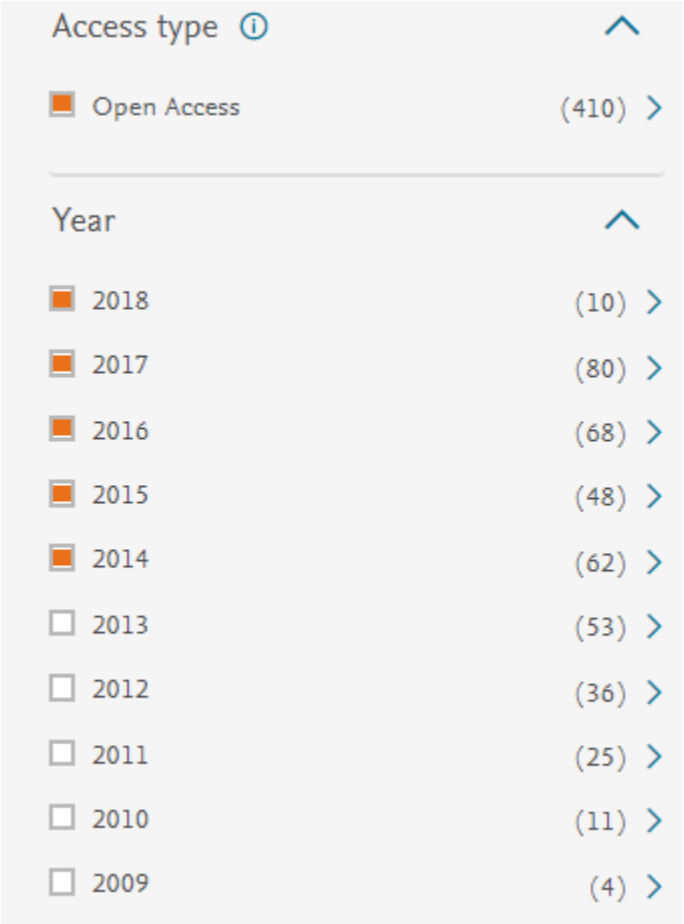

Figura 6. Filtro de búsqueda por fecha

Fuente: Scopus.com

En segundo lugar, se aplicó un filtro por área de conocimiento, para así descartar aquellos trabajos que no abarcan los temas estudiados desde un punto de vista de la gestión de operaciones o la ingeniería.

De esta forma, las áreas que se incluyeron en la búsqueda son:

- Engineering
- Mathematics

- Computer science
- Environmental science
- Decision sciences
- Business, management and accounting
- Multidisciplinary
- Economics, econometrics and finance
- Materials science
- Energy

Por otro lado, se excluyeron de la búsqueda los trabajos pertenecientes a las siguientes áreas:

- Biochemistry, genetics and molecular biology
- Medicine
- Agricultural and Biological sciences
- Social sciences
- Inmunology and microbiology
- Pharmacology, toxicology and pharmaceutics
- Veterinary
- Earth and planetary sciences
- Physics and astronomy

- Neuroscience
- Psychology

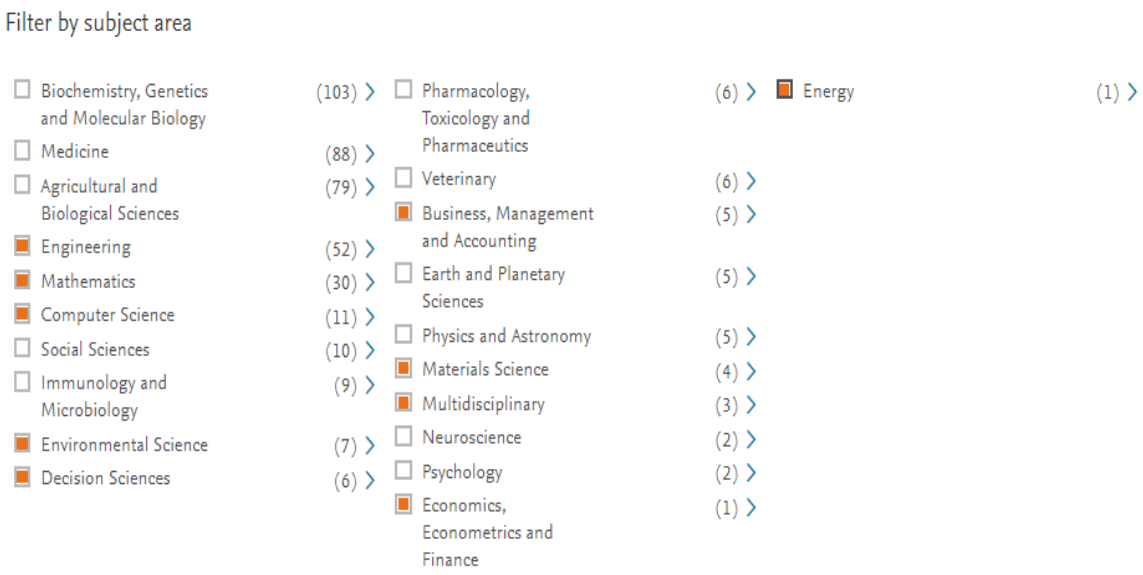

Figura 7. Filtro de búsqueda por área

Fuente: Scopus.com

Finalmente, mediante el proceso de búsqueda detallado, se obtuvieron un total de 88 resultados. Ante la posibilidad de realizar más búsquedas con diferentes términos, se estimó que el número de artículos encontrados con los 2 términos más relevantes al problema de investigación representa una buena base para realizar el análisis, con lo que se procedió a su revisión para identificar sus aportes y realizar el correspondiente proceso de selección.

Figura 8. N° de trabajos encontrados por año de publicación

Fuente: Elaboración propia

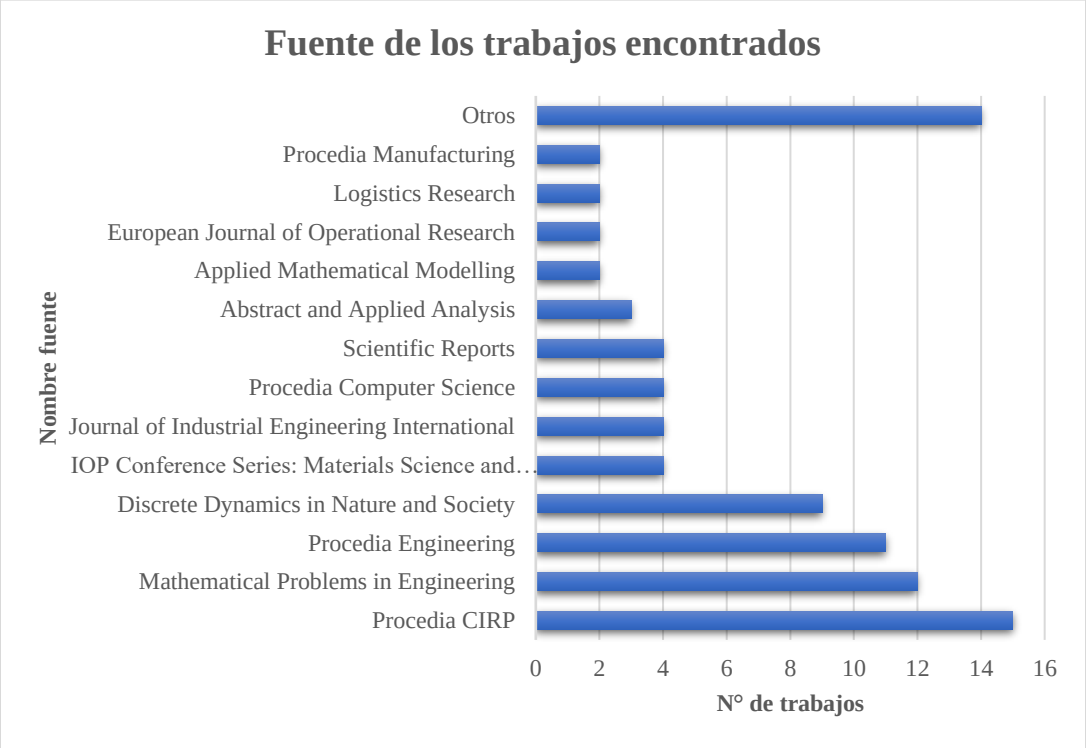

Figura 9. N° de trabajos encontrados por fuente de publicación

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Criterios de selección

Una vez que se han descargado los archivos encontrados mediante el proceso de búsqueda anterior, se procede a su revisión, con el fin de establecer si realmente representan un aporte al problema de investigación planteado. Para que un trabajo sea seleccionado, debe cumplir al menos uno de los criterios de aceptación.

Aceptación:

- Identifica variables relevantes para la implementación de políticas de LI o CSC.
- Presenta metodologías de implementación y/o evaluación del desempeño en LI/CSC.
- Presenta o analiza herramientas o recursos con potencial para ser aplicados en un contexto de LI/CSC.

Rechazo:

- Presenta una Keyword en su contenido, pero no aborda el problema de investigación.
- Estudia la cadena de valor desde una perspectiva tradicional, sin profundizar en aspectos de la LI.
- Lack of insight; No cumple ninguno de los criterios de inclusión y por lo tanto no representa un aporte sustancial a la revisión.

5.2 Proceso de búsqueda – Artículos encontrados

A continuación, se presenta una tabla que recopila el total de artículos encontrados y estudiados. En esta, se señalan, para cada uno de los trabajos, los criterios (de aceptación o rechazo) con los que se determinó el estado final de cada documento (Seleccionado o Excluido).

Autor	Año	Identifica variables relevantes	Presenta metodologías de implementación o evaluación	Analiza herramientas o recursos	No aborda el problema de investigación	Logística tradicional/No profundiza en LI	Lack of insight	Estado
Adelina W., Kusumastuti R.D.	2017					✘		Excluido
Alvarez de los Mozos E., Renteria A.,	2017	✓		✓				Seleccionado
Ashfari H., et al.	2014						✘	Excluido
Axelsson J. et al.	2014				✘			Excluido
Aydin R., Kwong C.K., Ji P.	2015						✘	Excluido
Bai D. S. et al.	2017				✘			Excluido
Bazaras D., Palšaitis R.	2017					✘		Excluido
Behmanesh E., Pannek J.	2016						✘	Excluido

Butzer S. et al.	2017	✓	✓				Seleccionado
Chierici E., Copani G.	2016	✓	✓				Seleccionado
Chinda T.	2017					✘	Excluido
Chiu C. Y., Lin Y., Yang M.-F.	2014					✘	Excluido
Da Silveira Guimarães J.L., Salomon V.A.P.	2015		✓				Seleccionado
Darlai R., Moore E.J.	2017				✘		Excluido
De Araujo M.V.F. et al.	2015			✓			Seleccionado
Deng S., Li Y., Guo H., Liu B.	2016					✘	Excluido
Dos Santos R.F., Marins F.A.S.	2015		✓	✓			Seleccionado
Dwicahyani A.R., et al.	2017					✘	Excluido
Dwicahyani A.R., Jauhari W.A., Kurdhi N.A.	2016					✘	Excluido
Fareeduddin M., et al.	2015					✘	Excluido
Fu P. et al.	2017					✘	Excluido
Gan S.S., Pujawan I.N., Suparno, Widodo B.	2015	✓					Seleccionado
Gao J., Wang X., Yang Q., Zhong Q.,	2016					✘	Excluido

Ghezavati V.R., Beigi M.	2016						✘	Excluido
Giel R., Plewa M., Młyńczak M.	2017					✘		Excluido
Gnoni M.G. et al.	2017		✓					Seleccionado
Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokooh E.	2017	✓		✓				Seleccionado
Govindan K., Soleimani H., Kannan D.	2015	✓						Seleccionado
Gubíniová K. et al.	2017						✘	Excluido
Guo Q. et al.	2017				✘			Excluido
Guo W., Wang Y.	2017				✘			Excluido
Gutberlet J. et al.	2017					✘		Excluido
Hatefi S.M., Jolai F.	2014						✘	Excluido
He S., Yuan X., Zhang X.	2016						✘	Excluido
Islam S., Karia N., Fauzi F.B.A., Soliman M.S.M.	2017					✘		Excluido
Jahangoshai Rezaee M., Yousefi S., Hayati J.	2017						✘	Excluido
Jayant A., Gupta P., Garg S.K., Khan M.	2014						✘	Excluido
Jayant A., Gupta P., Garg S.K.	2014						✘	Excluido

Jayawickrama H.M.M.M. et al.	2016			✘		Excluido
Jindal A., Sangwan K.S., Saxena S.	2015				✘	Excluido
Kang K., Wang X., Ma Y.	2017				✘	Excluido
Kinoshita Y. et al.	2016				✘	Excluido
Kumar D.T., Soleimani H., Kannan G.	2014				✘	Excluido
Kundu S., Chakrabarti T., Jana D.K.	2014				✘	Excluido
Li W., Wu H., Deng L.	2015				✘	Excluido
Li Y., Lu M., Liu B.	2014				✘	Excluido
Lian Z.	2017				✘	Excluido
Lieder M. et al.	2017	✓	✓			Seleccionado
Ma J., Chen B.	2014				✘	Excluido
Ma J., Guo Y.	2014				✘	Excluido
Martinsen K., Gulbrandsen-Dahl S.	2015				✘	Excluido
Miao S., Chen D., Wang T.	2017				✘	Excluido
Nanasawa T., Kainuma Y.	2017				✘	Excluido

Niero M., Hauschild M.Z.	2017		✓	✓				Seleccionado
Peña Montoya C.C. et al.	2015						✗	Excluido
Ramezani M., Kimiagari A.M., Karimi B.	2014	✓	✓					Seleccionado
Ran W., Chen F., Wu Q., Liu S.	2016						✗	Excluido
Sangwan K.S.	2017	✓						Seleccionado
Sato T., Murata K., Katayama H.	2017				✗			Excluido
Sherafati M., Bashiri M.	2016						✗	Excluido
Shi Z., Wang N., Jia T., Chen H.	2016						✗	Excluido
Shimomura A. et al.	2017				✗			Excluido
Slotina L., Dace E.	2016						✗	Excluido
Sobotka A., Sagan J., Baranowska M., Mazur E.	2017						✗	Excluido
Sobotka A., Sagan J.	2016					✗		Excluido
Sobotka A., Czaja J.	2015	✓						Seleccionado
Steinke L., Fischer K.	2016	✓						Seleccionado
Tippayawong K.Y. et al.	2015					✗		Excluido

Tokhmehchi N., Makui A., Sadi-Nezhad S.	2015				✘	Excluido
Uthayakumar R., Tharani S.	2017			✘		Excluido
Wang W., Wang Y., Mo D., Tseng M.	2017				✘	Excluido
Wang W.	2015				✘	Excluido
Wang Y.	2017			✘		Excluido
Weskamp M., Braun A. T., Bauernhansl T.	2015		✓			Seleccionado
Wilson G.T. et al.	2017	✓				Seleccionado
Xiong Y., Zhao Q., Zhou Y.	2016	✓				Seleccionado
Xu C., Li B., Lan Y., Tang Y.	2014				✘	Excluido
Yanhua F., Xuhui X., Zheng Y.	2017				✘	Excluido
Yazici E., Büyüközkan G., Baskak M.	2016				✘	Excluido
Yuan X.G., Zhang X.Q.	2015				✘	Excluido
Yuchi Q., He Z., Yang Z., Wang N.	2016				✘	Excluido
Zhang G., Sun H., Hu J., Dai G.	2014				✘	Excluido
Zhang P., Xiong Z.	2017				✘	Excluido

Zhang X.-Q., Yuan X.-G.	2016		✘	Excluido
Zhang Z. et al.	2017	✘		Excluido
Zhou Y. et al.	2015		✘	Excluido
Zhou Y., Chan C.K., Wong K.H., Lee Y.C.E.	2014		✘	Excluido
Zou Q., Ye G.	2015		✘	Excluido

Tabla 1. Trabajos encontrados y selección

Fuente: Elaboración propia

5.3 Categorización de los trabajos seleccionados

Para identificar y clasificar los problemas abordados dentro de los distintos estudios previamente aceptados, se utilizó como base el trabajo realizado por Govindan et al. (2014), con algunas consideraciones. De esta manera, las problemáticas (o enfoques) identificadas son las siguientes:

Toma de decisiones y evaluación del desempeño: En esta categoría se incluyen aquellos trabajos que se enfocan en encontrar metodologías para la recopilación de información y el control de gestión en un contexto de LI o CSC, con el objetivo de tomar decisiones dentro de la organización, usualmente en el ápice estratégico.

Coordinación e integración: Aquí se consideran aquellos trabajos que se enfocan en la creación y facilitación de redes de comunicación y colaboración entre los participantes de una cadena de valor, con el objetivo de maximizar la creación y, sobre todo, la recuperación de valor.

Diseño y planeación: Enfocados en el diseño e implementación de las tácticas, los procesos y la infraestructura necesaria para puesta en marcha de políticas de logística inversa o CSC.

Locación, inventario y transporte: Trabajos que analizan variables principalmente de nivel operacional, enfocándose en políticas y costos de transportes, inventario y similares. Suelen ser abordados mediante modelos matemáticos de optimización.

Producción: Trabajos enfocados en variables de nivel operacional para los procesos básicos del modelo de negocios, como implementación de tecnologías o maquinaria, o capacitación de los trabajadores.

Barreras y factores de éxito: Algunos trabajos se enfocan en la identificación de variables claves para la implementación y evaluación de una CSC, incluyendo aspectos en distintas áreas y niveles de jerarquía.

5.3.1 Trabajos seleccionados y contribuciones

Título	Autor (año)	Categoría	Contribuciones
Collaborative robots in e-waste management	Alvarez de los Mozos y Renteria (2017)	Producción	Presenta aspectos y etapas claves para la recuperación de e-waste utilizando robots y aplicaciones semi-automatizadas, identificando ventajas y desafíos
Development of a Performance Measurement System for International Reverse Supply Chains	Butzer et al. (2017)	Toma de decisiones y evaluación del desempeño	Presenta aspectos a considerar para la elaboración de un sistema de medición del desempeño para LI a nivel internacional. Ofrece un modelo detallado utilizando como base el modelo de BSC
Remanufacturing with Upgrade PSS for New Sustainable Business Models	Chierici y Copani (2016)	Diseño y planeación	Identifica y estudia aspectos clave y barreras para la implementación de un modelo PSS sustentable
ANP applied to the evaluation of performance indicators of reverse logistics in footwear industry	Da Silveira Guimarães y Salomon (2015)	Toma de decisiones y evaluación del desempeño	Presenta un modelo (ANP) para medir y evaluar el rendimiento de una red de LI, utilizando el caso de la industria del calzado en Brasil como ejemplo

Cost assessment and benefits of using RFID in reverse logistics of waste electrical & Electronic equipment (WEEE)	De Araujo et al. (2015)	Diseño y planeación	Evalúa costos y beneficios de la implementación de la tecnología RFID para el seguimiento y control del e-waste
Integrated model for reverse logistics management of electronic products and components	Dos Santos y Marins (2015)	Coordinación e integración	Analiza la implementación de tecnologías tipo ERP y APS para dar cumplimiento a políticas de recuperación de e-waste
Pricing decision model for new and remanufactured short-life cycle products with time-dependent demand	Gan et al. (2015)	Diseño y planeación	Presenta un modelo de optimización sobre el precio de productos nuevos y re-manufacturados, analizando el efecto de diversas variables en los resultados, como los ciclos de vida de los productos o la variación de la demanda en el tiempo
Supporting circular economy through use-based business models: the washing machines case	Gnoni et al. (2017)	Diseño y planeación	Realiza un análisis global y presenta ejemplos sobre la implementación de un modelo de product-service system (PSS) para la transición hacia una economía circular
Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions	Govindan et al. (2017)	Diseño y planeación	Estudia el diseño de la cadena de suministro, incluyendo flujos inversos o CSC, comparando diferentes metodologías y modelos de optimización usados de manera regular

Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future	Govindan K. et al. (2015)	Barreras y factores de éxito	Realiza una revisión de la literarura sobre la situación de la LI, abarcando hasta el año 2013. Identifica una serie de variables y problemáticas relativas al tema de interés.
Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy	Lieder M., et al. (2017)	Diseño y planeación	Compara diferentes estrategias para el manejo de productos EOL y la implementación de un modelo de economía circular, mediante un proceso de simulación
Closing the Loop for Packaging: Finding a Framework to Operationalize Circular Economy Strategies	Niero y Hauschild (2017)	Toma de decisiones y evaluación del desempeño	Analiza y compara distintos "frameworks" existentes para la implementación y evaluación de estrategias de economía circular dentro de una organización.
Closed-loop supply chain network design: A financial approach	Ramezani et al. (2014)	Optimización	Presenta un problema de optimización para una CSC, incorporando aspectos financieros en el modelo
Key Activities, Decision Variables and Performance Indicators of Reverse Logistics	Sangwan K.S. (2017)	Barreras y factores de éxito	Analiza diversos aspectos relevantes para la implementación de políticas de LI, identificando los aportes realizados por diversos autores en la identificación de problemáticas, además de proponer una serie de KPI para la evaluación y toma de decisiones asociadas a LI.

Analysis of the factors stimulating and conditioning application of reverse logistics in construction	Sobotka y Czaja (2015)	Barreras y factores de éxito	Identifica aspectos claves en la industria de la construcción para la correcta implementación de LI y recuperación de materiales
Extension of multi-commodity closed-loop supply chain network design by aggregate production planning	Steinke y Fischer (2016)	Optimización	Presenta un modelo de optimización, enfocado en la planificación de la producción agregada, analizando el impacto en las soluciones óptimas (costos) de diversas variables relevantes y no siempre consideradas en otros trabajos
Real option-based evaluation of eco-oriented investment using the example of closed-loop supply chains	Weskamp T. et al. (2015)	Toma de decisiones y evaluación del desempeño	Analiza las decisiones de inversiones en una organización con una visión ecológica(verde), usando CSC como ejemplo
The hibernating mobile phone: Dead storage as a barrier to efficient electronic waste recovery	Wilson G.T. et al. (2017)	Barreras y factores de éxito	Analiza las razones y el efecto de la hibernación como barrera para una correcta recuperación de valor desde teléfonos móviles (e-waste)
Manufacturer-remanufacturing vs supplier-remanufacturing in a closed-loop supply chain	Xiong Y. et al. (2016)	Producción	Identifica elementos relevantes y propone un modelo de optimización para la implementación de una CSC, comparando la re-manufactura por parte de un proveedor o por parte de un fabricante

Tabla 2. Trabajos seleccionados y contribuciones

Fuente: Elaboración propia

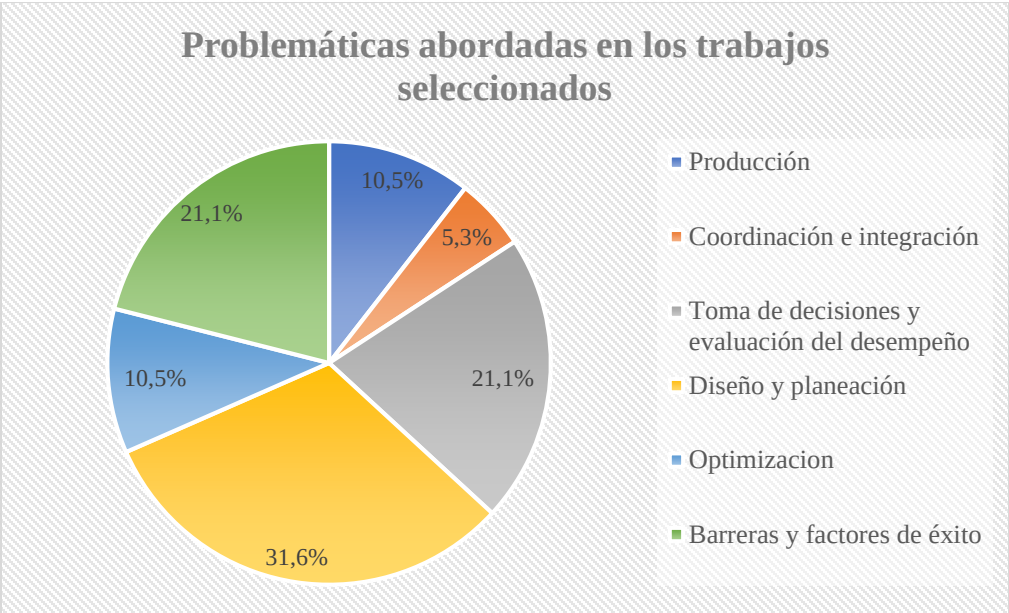

Figura 10. Problemáticas abordadas en la literatura

Fuente: Elaboración propia

5.4 Análisis de resultados

A continuación, se analizan los resultados encontrados en los trabajos seleccionados previamente. Para esto, la sección se dividió en 6 partes, correspondientes a las categorías utilizadas para clasificar los trabajos según se especificó previamente. En cada subsección, se presentarán y analizarán los aportes realizados por dichos trabajos en cada una de las problemáticas identificadas, revisando los aportes individuales e identificando aquellos aspectos que éstos puedan tener en común. Cabe mencionar que, a pesar de la clasificación realizada previamente según el enfoque dominante adoptado por cada estudio, algunos trabajos aportan información y análisis valiosos, relativos a más de una problemática.

5.4.1 Barreras y factores de éxito

Uno de los primeros pasos para lograr una implementación efectiva y eficiente de una CSC corresponde a la identificación de todas las variables que pueden jugar un rol en este proceso, tanto de manera interna en una organización, como también aquellas asociadas a las relaciones entre los distintos actores de la cadena de valor o aquellas que regulan el marco económico, ambiental, social o legal de la industria.

Se deben considerar aspectos económicos, ambientales y sociales para la implementación efectiva y eficiente de estrategias de economía circular, de manera de evitar cambios en las cargas o responsabilidades entre los diferentes stakeholders o las etapas del ciclo de vida del proyecto, y para apuntar hacia una sustentabilidad general de las estrategias y acciones propuestas (Niero y Hauschild, 2017). La tabla 3 presenta los principales factores de éxito identificados en la literatura.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que para cada una de las industrias en las que se busca implementar la LI, existirán variables propias para cada una de ellas, las cuales quizás no sean necesarias de considerar en otras industrias e incluso aquellos factores que distintas industrias tengan en común pueden tener un nivel de importancia muy diferente. Un caso claro es la industria de la construcción, en donde las propiedades y vida útil de los materiales juegan un papel crítico. Por ejemplo, Sobotka y Czaja (2015) estudian las condiciones necesarias para la implementación de la LI en esta industria y señalan lo siguiente; Para la recuperación eficiente de materias primas y productos de construcción en las etapas finales del ciclo de vida de las obras, todas las decisiones diseñadas para un “desmontaje fácil” debiera ser respetadas y ejecutadas en el sitio de construcción. Por lo tanto, es necesario preparar a los empleados para ejecutar el trabajo según las

nuevas/inusuales soluciones, además de realizar control de calidad continuo sobre las obras y su cumplimiento con el proyecto.

	Factores de éxito
1	Capacidad para recuperar productos
2	Asociación estratégica con otros miembros de la cadena de valor
3	Implementación de nuevas tecnologías
4	Legislación
5	Flexibilidad en la producción
6	Capacidad de pronóstico
7	Medición del desempeño
8	Visión a futuro
9	Automatización de procesos
10	Capacidad de seguimiento y localización
11	Conocimiento detallado de los costos

Tabla 3. Factores de éxito en la implementación de LI

Fuente: Elaboración propia

De forma análoga a los factores de éxito o facilitadores, se deben estudiar, de manera previa, las barreras y dificultades existentes para una correcta implementación, de lo contrario, se corre el riesgo encontrarse con obstáculos durante la etapa de ejecución del proyecto, los cuales pueden tener efectos muy negativos, desde el aumento de los costos o los plazos, hasta incluso la imposibilidad de llevar a cabo la implementación deseada.

En este sentido, dos de las principales dificultades a la hora de aplicar políticas de LI que son abordadas en varios de los trabajos estudiados, son el riesgo y la incertidumbre asociados al rendimiento y los resultados futuros de la puesta en marcha de dichas políticas.

Heckmann et al. (2015), definió el riesgo en la CS como la potencial pérdida para la CS en términos de sus objetivos, causada por las variaciones inciertas en distintos aspectos de la CS, debido a eventos desencadenantes. (Según cita Govindan et al. 2017).

Por otro lado, la incertidumbre sobre el rendimiento futuro produce desconfianza en las personas encargadas de la toma de decisiones, lo cual repercute negativamente, especialmente cuando se trata de decisiones relacionadas a costos en inversiones dentro de la firma. Las inversiones realizadas usualmente no pueden ser revertidas sin crear altos costos. Por tanto, representan costos hundidos. Los costos hundidos generalmente son específicos para una compañía o industria. Esto es altamente importante para las decisiones estratégicas de inversión ya que la irreversibilidad de las decisiones de inversión puede tener consecuencias dramáticas para el éxito de la compañía. (Weskamp, Braun y Bauernhansl, 2015).

En términos de estrategias de marketing, existe una preocupación general de que los productos re-manufacturados podrían canibalizar las ventas de los productos nuevos. (San Gan, Pujawan y Widodo, 2015). En este sentido, el mismo estudio propone un modelo de optimización y realiza una simulación numérica para cuantificar los potenciales efectos de dicha canibalización. Su principal conclusión (bajo las condiciones descritas en su trabajo) es que los ingresos totales dependerán, entre otras cosas, de la velocidad de penetración de los productos re-manufacturados en el mercado, existiendo un intervalo óptimo. Por lo tanto, se debieran realizar esfuerzos asociados a decisiones de marketing para controlar este aspecto y mantener dicha penetración de mercado dentro de los niveles deseados. Sin duda que esto supone esfuerzos importantes desde un punto de vista comercial, por lo que representa un foco importante de investigación futura.

También existen, al igual que en el caso de los factores de éxito, numerosas barreras específicas a cada industria. En el caso de los productos electrónicos, Wilson et al. (2017) analiza las razones y el impacto de lo que se conoce como almacenamiento muerto o hibernación sobre la correcta recuperación y re-uso de sus componentes. El almacenamiento muerto corresponde al periodo en que los usuarios siguen en posesión de un producto después de que éste deja de ser usado, ya sea por obsolescencia u otras razones (ej. Renovación).

Para que un modelo de economía circular funcione efectivamente, las pérdidas de recursos y valor desde la CS deben ser reducidas. Por lo tanto, cualquier "fuga" o "filtración", incluyendo la hibernación de los productos al final de su ciclo de vida, tendrá múltiples efectos, ya que no sólo se pierden valiosos recursos para la re-manufactura de componentes o productos, sino que además el déficit de materiales deberá ser compensado con materias primas o componentes nuevos. (Wilson et al., 2017). La tabla 4 presenta las principales barreras identificadas para la implementación efectiva de prácticas de LI.

	Barreras
1	Falta de visión en el ápice estratégico
2	Alta incertidumbre
3	Falta de incentivos
4	Bajos conocimientos de LI en todos los niveles de las organizaciones
5	Falta de asociaciones estratégicas
6	Pobre infraestructura de TI
7	Falta de conciencia y cooperación de los consumidores

Tabla 4. Barreras al éxito en la implementación de LI

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Coordinación e integración

En cualquier cadena de valor, la comunicación y cooperación entre los participantes juegan un rol clave, y con la tendencia a la globalización y las mejoras en tecnologías de la información que se han presentado en las últimas décadas, estos aspectos van en alza. Ahora, al considerar una CSC, éstos cobran una relevancia aún mayor, pues es necesario manejar los flujos de materiales e información en ambos sentidos. En otras palabras, el cambio desde la administración individual hacia la administración de las relaciones entre los miembros de una CS es necesario para la integración de los procesos de negocio en la CS, creando un sistema de valor (dos Santos y Marins, 2015).

El trabajo de dos Santos y Marins (2015) identifica las relaciones con los clientes y la gestión de la demanda como los procesos clave para una gestión eficiente de la CS, además de abordar extensamente la importancia de las tecnologías de información y comunicación (TIC), señalando que; Las TIC poseen un rol relevante como fuentes de ventaja competitiva, por un lado, al apoyar a la administración en la toma de decisiones, pero también añadiendo valor a los productos y servicios de la organización. De manera similar, Kleindorfer (2005) declara que la evolución en los modelos de gestión de las CS genera una necesidad mayor de usar las TIC como apoyo a las operaciones (según lo citado por dos Santos y Marins, 2015).

En particular, se señala la importancia de 2 tipos de software que poseen el potencial para facilitar de manera importante la coordinación e integración de actividades entre los integrantes de una CS, éstos son los softwares de tipo ERP (Entreprise Resource Planning o planificación de recursos empresariales) y APS (Advance Planning and Scheduling o planeación y programación anticipada). Por un lado, ERP es un sistema creado en la década de los 90 que permite la sincronización, integración y control de los procesos de una firma

en tiempo real, diseñado bajo el concepto de un sistema único de información para la organización completa. Por otro lado, un software APS es un sistema de apoyo a la toma de decisiones, automatizando algunos procesos y facilitando otros, que pretende maximizar el rendimiento de la administración de la producción (dos Santos y Marlins, 2015). Ante la complejidad de una CSC, especialmente en industrias con altos volúmenes y variabilidad en la demanda, este tipo de herramientas representan un recurso clave que deberá ser abordado cada vez con mayor profundidad, al representar una oportunidad para mejorar la gestión interna de las organizaciones y, al mismo tiempo, facilitar una CS en donde todos sus participantes se relacionen de manera integrada y eficiente.

A pesar de ser un aspecto mencionado en varios de los trabajos estudiados y seleccionados, sólo uno de ellos aborda la coordinación entre los agentes de la cadena de suministro de manera profunda, sin embargo, parece existir consenso en que este punto es clave para una aplicación eficaz de la LI y que representa uno de los principales aspectos en los cuales se deben centrar los estudios a futuro.

5.4.3 Diseño y planeación

Existen numerosas variables que se deben tener en cuenta en la etapa de planeación de cualquier proyecto asociado a políticas de LI y, a su vez, diversas formas y herramientas que pueden ser utilizadas para lidiar con dichas variables y las dificultades asociadas que puedan surgir durante la etapa de ejecución. En este sentido, uno de los aspectos más críticos que se ha identificado dentro de muchos de los trabajos existentes y que ha sido señalado previamente como un factor clave para el éxito es el alto nivel de incertidumbre asociado al

funcionamiento de la CSC en diversos niveles y la capacidad que puedan tener las firmas para, por un lado, crear pronósticos que permitan anticipar sus necesidades y, por otra parte, la capacidad que tengan para controlar los efectos negativos que puedan tener surgir debido a dichas incertidumbres. Precio, demanda y costos son algunos parámetros importantes que se consideran como inciertos en la mayoría de los estudios. Sin embargo, estos no son los únicos parámetros estocásticos a considerar. Algunos otros son; tasa de retorno de productos, retrasos en la producción, calidad de los productos recuperados, momento de recuperación de los productos, voluntad de los consumidores para devolver el producto (Govindan et al. 2014).

Para una CS bajo incertidumbre, existen diversas estrategias que pueden ser utilizadas para manejar los riesgos asociados a interrupciones o rupturas del normal funcionamiento. De acuerdo con Tomlin (2006), las estrategias de mitigación corresponden a aquellas donde la CS toma acciones preventivas, en anticipación a una interrupción y también paga sus costos asociados independientemente de si la interrupción ocurre o no. Por otro lado, las estrategias de contingencia son aquellas en donde la CS toma medidas una vez que la interrupción ha ocurrido, con el objetivo de retornar el funcionamiento de la CS a su condición original (Según citan Govindan et al. 2017).

En términos más generales, para la implementación de operaciones de LI, desde una perspectiva industrial, una transición desde un sistema lineal a un sistema circular o cerrado requiere un movimiento desde el modelo convencional de vender productos físicos hacia un modelo de acceso a funcionalidades o servicios. (Lieder et al. 2017). En este sentido, dentro de los trabajos estudiados, una de las propuestas abordadas y que se presenta como una importante alternativa corresponde al sistema de servicio-producto.

5.4.3.1 Product-service system (PSS)

Gnoni, Mossa, Mummolo, Tornese, y Verriello (2017) presentan un análisis sobre la implementación e impactos de una economía circular basada en un sistema de servicio-productos (PSS por sus siglas en inglés). PSS consiste en una mezcla de productos tangibles y servicios intangibles diseñados y combinados de manera que conjuntamente son capaces de satisfacer las necesidades del consumidor final (Tukker y Tischner, 2006).

En otras palabras, Gnoni et al. Analiza, utilizando como ejemplo el mercado de lavadoras, un modelo en donde los productores generan un modelo de leasing con los consumidores finales, por lo que la propiedad de los productos se mantiene en manos del productor durante todo su ciclo de vida. Con esto se busca consolidar la responsabilidad de los productores sobre el manejo de los productos EOL. Una estrategia de CSC sería crucial para manejar la LI del modelo, recolectando los dispositivos usados al finalizar el contrato de leasing y recuperando los componentes y materiales para reciclaje y manufactura, cuando sea económicamente viable (Gnoni et al., 2017).

Esta idea representa una oportunidad importante para diversas industrias, ya que, al mantener la propiedad de los productos, esto les permitiría lidiar de mejor manera con algunas de las incertidumbre asociadas al funcionamiento de la red de LI, así lo señalan Chierici y Copani (2016); La fórmula de los PSS tiene el potencial de mejorar los rendimientos de re-manufactura, por ejemplo, al facilitar un mejor control de los activos durante la fase de uso y permitiendo un abastecimiento estable de productos devueltos.

Sin embargo, este modelo no está exento de dificultades. Por un lado, las firmas deben ser capaces de mantener un nivel importante de control sobre sus productos y sus ciclos de

vida, en adición a las inversiones realizadas en centros de recolección y procesos de re-manufactura o recuperación de partes. En este sentido, para asegurar la sustentabilidad económica del productor, la introducción de incentivos fiscales podría fomentar la adopción de esta solución por parte de los usuarios. Esto incrementaría los flujos de ingresos del productor y, por consiguiente, el atractivo de esta opción para las firmas (Gnoni et al., 2017). Es más, la masificación de este tipo de ofertas en el mercado podría motivar y facilitar a los gobiernos para la generación de marcos regulatorios que permitan fortalecer y fiscalizar el funcionamiento de las prácticas asociadas al re-uso de productos y componentes, por parte de productores y consumidores.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los consumidores podrían tener ciertos reparos en cuanto a no poseer la propiedad de los productos adquiridos, especialmente cuando se trata de aquellos de uso intensivo y personal, por lo tanto, correspondería investigar más a profundidad para esclarecer cuales son los productos que serían mejor recibidos por el público bajo esta modalidad, así como las diferencias que pueden existir entre distintos segmentos de mercado al respecto. En este sentido, Gnoni et al. (2017) señala que se debería aumentar la concientización entre los usuarios sobre las temáticas de sustentabilidad y economía circular (EC), ayudando a generar un cambio de mentalidad y superar las barreas relacionadas a la falta de propiedad que existe en una solución PSS.

A pesar de estas dificultades, los beneficios parecen ser considerables, en mercados competitivos, la oferta de soluciones tipo PSS podría permitir a los productores mejorar sus posiciones competitivas, estableciendo relaciones más estables y prolongadas con sus clientes al incrementar la eficiencia y confiabilidad para los usuarios y, por consiguiente, las participaciones de mercado y utilidades de los productores (Chierici y Copani, 2016).

5.4.3.2 RFID

La tecnología de identificación por radiofrecuencia (radio frequency identification o RFID) funciona con la identificación mediante un sistema inalámbrico, haciendo uso de campos de radiofrecuencia electromagnética para transmitir información entre una etiqueta y un lector (De Araujo et al, 2015). En otras palabras, representa una herramienta útil para realizar el seguimiento de las existencias con gran precisión en tiempo real. La importancia que esta tecnología puede adquirir en el contexto de las CSC radica en la potencial complejidad existente en una red que involucra movimientos de productos y componentes entre diversos actores, en más de una dirección.

Algunas de las principales ventajas que este sistema ofrece son:

- Identificación remota con información detallada
- Facilitación del desarrollo y control sobre indicadores de rendimiento
- Mayor nivel de seguridad
- Facilitar la cooperación y el manejo de información entre actores de la CS

Por otro lado, las desventajas a considerar son:

- Requisitos de inversión y capacitación
- Posibilidad de interferencia debido a algunos componentes presentes en e-waste o factores ambientales
- Falta de visión o conocimientos para su correcta implementación

5.4.4 Producción

A nivel productivo, las principales problemáticas que se abordan en la literatura respecto a la LI guardan relación con la tecnología y los procedimientos necesarios para lograr mejores niveles de eficiencia en tareas como el transporte, clasificación, desensamblado, reparación manufactura de productos y partes.

En la etapa temprana, cuando las tecnologías de re-manufactura son poco sofisticadas, ésta tiene una desventaja de costos, por lo que la dirección para promover la re-manufactura debiera ser la inversión en la innovación de procesos, para rebajar costos. A medida que la tecnología de re-manufactura alcanza un mayor nivel de sofisticación, los productores pueden adoptar tácticas de información y concientización del consumidor, con el objetivo de aumentar el número de consumidores dispuestos a pagar por productos re-manufacturados (Xiong, Zhao y Zhou, 2016).

El e-waste representa, por sus altas opciones de recuperación de valor y complejidad de los procesos asociados, un área con gran potencial para la implementación y desarrollo de tecnologías y procesos que permitan lograr la recaptación de valor con mayores niveles de eficiencia que los actuales. Para lograr la eficiencia deseada, se debe tener claridad sobre los principales obstáculos a superar y las áreas que permiten mejoras.

Al lidiar con desechos provenientes de equipos electrónicos, una de las barreras para su re-uso de forma exitosa (técnica y económicamente) son las dificultades en la clasificación y desmontaje de los componentes. El uso de operaciones y procesos manuales es considerado prohibitivo financieramente y la automatización completa es descartada debido a la falta de uniformidad de los dispositivos a tratar (Alvarez de los Mozos y Renteria, 2017). Por estas

razones, se deben estudiar a profundidad las opciones disponibles actualmente relativas a la automatización de procesos, con el fin de identificar aquellas prácticas que permitan lograr avances en los tiempos y eficacia de los procesos involucrados.

Problemas técnicos actuales en la identificación, clasificación, desmontaje y manipulación de e-waste pueden ser abordados mediante una combinación de operaciones manuales y robotizadas, en donde el humano le "enseña" a un robot donde cortar y separar partes, y la máquina ejecuta operaciones con bajos requisitos de habilidad (Alvarez de los Mozos y Renteria, 2017). La automatización de procesos es un área que ha experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años y que no parece desacelerar. Por lo tanto, debiera existir un seguimiento a futuro sobre las tecnologías disponibles con el fin de encontrar formas cada vez más eficientes para optimizar los procesos de separación, transporte y re-manufactura.

También es importante considerar las opciones que existen al momento de tomar decisiones sobre el re-proceso de los productos, relativas al lugar en que éste se realiza y los encargados de tales operaciones. Hoy en día, pocos fabricantes dependen solo de sí mismos para diseñar y producir sus productos por completo, y muchos de los componentes les son entregados por sus proveedores. Por lo tanto, la re-manufactura al nivel de los componentes puede ser desarrollada tanto por los productores mismos, como por sus proveedores (Xiong et al., 2016). Corresponde, por lo tanto, que los actores de la CS colaboren en la toma de decisiones, para encontrar soluciones que permitan optimizar la recuperación de valor y la eficiencia de los procesos asociados a lo largo de toda la CS.

5.4.5 Optimización

Una parte importante de la literatura estudiada en este trabajo aborda el tema de las CSC desde el punto de vista de los modelos de optimización y las mejores metodologías para su resolución. Sin embargo, por sobre la complejidad de los modelos, se seleccionaron aquellos que identificaban aspectos críticos u originales en la elaboración de dichos modelos.

Una de las principales conclusiones que ofrecen los trabajos seleccionados en esta área radica en la importancia de considerar la red de la CS y todos los flujos de materiales de manera integral. Los resultados muestran que el flujo inverso de productos influencia el flujo "hacia adelante" de éstos y la estructura óptima de la red logística, si es que la cantidad de productos retornados es alta. Por lo tanto, los flujos "hacia adelante" y "hacia atrás" de los productos deben ser planeados simultáneamente para poder lograr un diseño de red óptimo. (Steinke y Fischer, 2016). Una conclusión similar es la que establecen Ramezani, Kimiagari y Karimi, (2014); Ya que al diseñar la logística "hacia adelante" y "hacia atrás" de manera separada genera resultados subóptimos con respectos a los objetivos asociados a la CS, el diseño de la red logística de la CSC de manera global adquiere una importancia crítica.

También existen otros aspectos que deben ser abordados de manera previa a la elaboración del modelo de optimización de la CSC, pues las decisiones que se tomen sobre éstos afectarán el planteamiento del problema y, consecuentemente, los resultados obtenidos.

Por un lado, el número de periodos en el horizonte de planeación tiene un impacto en el diseño de la red y la toma de decisiones sobre la re-manufactura. Un enfoque de planeación de con múltiples periodos para una red de CSC, en contraste con un enfoque de un periodo único, conduce a nuevos y diferentes resultados. Por lo tanto, el número relevante de periodos

debe ser determinado y la red debe ser analizada sobre este periodo de planeación. (Steinke y Fischer, 2016). Si bien esto es algo que también se suele tener en cuenta en los trabajos de optimización sin flujos “hacia atrás”, en un contexto de CSC adquiere una relevancia aún mayor, considerando la cantidad de variables propias de la LI que pueden verse afectadas en por el tiempo (Cantidad de productos recuperados, obsolescencia, etc.).

Por otra parte, se debe considerar la posibilidad de un centro de recolección, clasificación o similar centralizado versus sitios múltiples. Un sitio de prueba/clasificación centralizado es deseable para procedimientos de pruebas costosos, ya que minimiza el costo de los equipos de prueba y labor especializada. Sin embargo, una desventaja es que en este sistema el desecho será identificado posterior a su transporte, por lo que los costos de transporte serán mayores. Por otro lado, sitios múltiples de prueba/clasificación suelen ser usados cuando los costos de dicha clasificación son relativamente bajos. Bajo este sistema, el desecho es identificado de manera temprana y enviado a centros de manejo de residuos, reduciendo los costos totales de transporte. Sin embargo, los procedimientos de prueba/clasificación deben ser consistentes y confiables en todas las instalaciones (Sangwan, 2017).

Finalmente, se identificaron las finanzas asociadas a una CSC como una de las áreas con mayor potencial para una futura investigación, desde el punto de vista de los modelos de optimización. A pesar de la importancia de los aspectos financieros en la administración de las CS, pocos investigadores han abordado las consideraciones financieras correspondientes en la literatura. La mayor parte de los estudios considera los aspectos financieros como variables endógenas, con muy pocos trabajos abordándolos como variables exógenas utilizadas en las restricciones y la función objetivo del modelo (Ramezani et al., 2014).

El trabajo de Ramezani et al. (2014) presenta un modelo de optimización ´con un enfoque financiero novedoso, ya que, no sólo incluye variables financieras poco abordadas en la literatura, sino que además utiliza una función objetivo basada en el cambio de patrimonio, en contraste con las funciones objetivo más clásicas que se enfocan maximizar los ingresos y minimizar los costos durante el horizonte de evaluación del modelo. Algunos de los aspectos financieros considerados en este trabajo son; Líneas de crédito, niveles de deuda permitidos, liquidez, tasas de interés, seguros, préstamos, retrasos en los pagos, cambios en activos y pasivos, etc. El trabajo realiza una comparación entre los resultados obtenidos para una CSC por un modelo tradicional versus el enfoque financiero propuesto y concluye que éste último conduce a mejores resultados, con un mayor cambio en el patrimonio de la firma.

5.4.6 Toma de decisiones y evaluación del desempeño

Para lograr una correcta implementación y funcionamiento de los proyectos asociados a LI es necesario establecer un sistema que permita evaluar el desempeño de dichos proyectos. Neely, Gregory, & Platts (1995) definen la medición del desempeño como el proceso de cuantificar la eficiencia y efectividad de una acción (según cita Butzer, Schötz, Petroschke y Steinhilper, 2017).

La gestión de la LI representa un aspecto limitado en la mayoría de las organizaciones, por razones que suelen incluir la falta de disponibilidad de sistemas computarizados de gestión, la dificultad en la medición del impacto de productos o materiales recuperados,

además de la falta de reconocimiento por parte de las compañías de la necesidad de controlarlos de manera adecuada. (da Silveira Guimarães y Salomon, 2015).

Al ser la LI un área con altos niveles de incertidumbre y bajos conocimientos (en términos generales) en todos los niveles de las organizaciones, la evaluación del desempeño adquiere un rol especialmente crítico. Un modelo de evaluación debe ser desarrollado para apoyar la toma de decisiones, de manera que se consideren las oportunidades y riesgos propios de las inversiones que van de la mano con una producción sustentable (Weskamp et al., 2015).

Previamente se han discutido las principales barreras que dificultan la correcta implementación de prácticas de LI y CSC, así como también algunas herramientas y tácticas disponibles para sortear estas dificultades y lograr un funcionamiento eficiente y eficaz de las operaciones. Resta, por lo tanto, establecer cuáles serán los indicadores utilizados pare medir el rendimiento de dichas operaciones y el cumplimiento de las metas establecidas por la organización, y cómo éstos serán definidos. En este sentido, destacan dentro de los trabajos analizados las siguientes propuestas;

Niero y Hauschild (2017) comparan diferentes estructuras o “frameworks” para la implementación de políticas de economía circular:

- Cradle to cradle (C2C): Está orientado hacia la calidad e innovación de los productos y apunta hacia diseños de soluciones “eco-efectivas”. Uno de sus principios es “Todo es un recurso para algo más”. Sus criterios de evaluación se basan principalmente en el potencial para reuso y reciclaje de los productos diseñados.

- Indicador de circularidad de los materiales (ICM): Los índices desarrollados en este proyecto consisten de un indicador principal, el ICM, midiendo que tan restaurativos son los flujos de materiales de un producto o una firma, además de indicadores complementarios que abordan riesgos e impactos que deben ser tomados en cuenta (Niero y Hauschild, 2017).

- Evaluación de la sustentabilidad del ciclo de vida: Se sustenta en 3 pilares que deben ser balanceados entre ellos; Económico, ambiental y social. Se definen indicadores desde estos 3 puntos de vista, para luego analizar sus relaciones y los efectos que unos pueden tener en los demás aspectos, de manera de encontrar un equilibrio y garantizar la satisfacción de todos los stakeholders.

Por otra parte. Butzer et al. (2017) propone un sistema de evaluación del desempeño basado en el Balance Scorecard (BSC) desarrollado por Kaplan y Norton en la década de los 90, adaptado para una red internacional de LI, aunque muchas de sus propuestas también son aplicables para los casos domésticos.

El Balance Scorecard provee a los ejecutivos un marco de referencia que traduce los objetivos estratégicos de la firma en un conjunto coherente de medidas del desempeño. El BSC presenta a la administración cuatro diferentes perspectivas de las cuales escoger indicadores, complementando los indicadores financieros tradicionales con medidas de rendimiento para las perspectivas de clientes, procesos internos e innovación y aprendizaje (Kaplan y Norton, 1998).

A partir de este modelo, Butzer et al. (2017) presenta una versión adaptada con las siguientes 6 perspectivas, en lugar de las 4 tradicionales:

- Perspectiva legal y de ciudadanía: Protección del medioambiente y cumplimiento de la legislación.
- Perspectiva financiera: Maximización de las utilidades y minimización de los costos.
- Perspectiva de los stakeholders: Maximizar la satisfacción de los stakeholders.
- Perspectiva de los procesos: Mejora de los procesos valiosos para la firma y sus clientes.
- Perspectiva de innovación y aprendizaje: Asegurar competitividad de manera sustentable.
- Perspectiva de la flexibilidad: Incrementar la flexibilidad de la organización.

Otro trabajo que aporta un método de evaluación interesante es el de Da Silveira y Salomon (2015), quienes presentan una herramienta llamada Analytic Network Process (ANP), la cual es una generalización del Analytic Hierarchy Process (AHP), aplicada al caso de la LI, la cual facilita la toma de decisiones mediante la evaluación y priorización de los indicadores de rendimiento a utilizar.

AHP es una herramienta de decisión de criterios múltiples, que estructura un problema de decisión jerárquicamente en tres niveles; Meta o decisión, criterios y alternativas

disponibles. Su aplicación consiste en 3 pasos; Identificar los criterios y las alternativas existentes sobre la decisión a tomar, asignar una importancia relativa a los criterios de decisión y un valor de rendimiento a cada alternativa disponible y, finalmente, realizar una síntesis y análisis de los resultados (Silveira y Salomon, 2015). El ANP, por su parte, se lleva a cabo de manera similar, con la diferencia que, en el caso de AHP, los criterios de decisión y las alternativas se consideran independientes de los demás, mientras que en el ANP se deben analizar las interdependencias que pueden existir entre unos y otros, añadiendo cierta complejidad al problema. Ambas alternativas representan una opción atractiva para apoyar la toma de decisiones en una CSC.

Finalmente, en base a la literatura estudiada, se identificaron los siguientes indicadores de rendimiento como potencialmente valiosos para apoyar la toma de decisiones y evaluar el rendimiento de las firmas en el contexto de una CSC u operaciones de LI:

Indicadores de rendimiento de LI	
1	Valor recapturado
2	Costos operacionales
3	Ahorros en consumo de materias primas
4	Volumen de residuos no eliminados
5	Ingresos asociados a productos re-manufacturados
6	Relación valor recapturado/cantidad de residuos procesados
7	Creación de puestos de trabajo
8	Cumplimiento de la legislación
9	Creación de relaciones de cooperación a largo plazo

Tabla 5. Indicadores de rendimiento en LI

Fuente: Elaboración propia

5.5 Escenario chileno

En esta sección se presentará un análisis sobre la situación nacional respecto a la implementación de políticas asociadas a LI y CSC. Para esto, se utilizarán los hallazgos encontrados en las secciones anteriores del presente trabajo, con el objetivo de definir de manera integral el contexto actual de estas prácticas a nivel país, así como también identificar aquellos aspectos particulares de Chile que puedan influenciar, positiva o negativamente, el diseño y la implementación de actividades de LI. Finalmente, se presentan algunas reflexiones y propuestas para un desarrollo futuro de manera eficiente y eficaz de las prácticas asociadas a LI a nivel nacional.

5.5.1 Antecedentes

En Chile, de manera similar a un amplio número de países en el mundo, conceptos como LI o economía circular son relativamente nuevos y, en consecuencia, existe un bajo nivel de conocimiento relativo a estas prácticas en la población y las firmas de la mayoría de los sectores económicos. A pesar de esto, en los últimos años se han impulsado algunas iniciativas y proyectos asociados al impulso de la economía circular a nivel nacional.

En Chile existe un Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) – Integrado en el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)- el cual funciona como catálogo o base de datos, accesible al público, destinado a recopilar, analizar y difundir información sobre emisiones, residuos y transferencias de contaminantes que son emitidos al entorno, ya sea desde un origen industrial o municipal y transferidos para su valorización o eliminación.

La Valorización corresponde al conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y, o el poder calorífico de los mismos. La valorización comprende la preparación para la reutilización, el reciclaje y la valorización energética. A su vez, a nivel nacional, el reciclaje es definido como "el empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo, incluyendo el coprocesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética" (MMA, 2018)

Una de las principales fuentes de información del RETC es el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), un sistema de declaración vía portal web, que permite a los generadores y destinatarios de residuos (industrias y municipios), declarar dichos residuos de forma periódica. Este sistema funciona bajo el alero del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

El año 2016, según datos del RETC, en Chile se generaron 12.695.986 toneladas de residuos industriales no peligrosos, mientras que los residuos generados a nivel municipal alcanzaron los 7.495.538 de toneladas. Por su parte, los residuos industriales peligrosos generados fueron de 641.992 toneladas, sin embargo, éstos son de poco interés para el presente trabajo pues requieren de manejos especializados y raramente es posible su valorización.

A continuación, en la tabla 6 se presentan las cantidades generadas de residuos industriales no peligrosos al año 2016, junto con las cantidades valorizadas de dichos residuos, especificadas según rubro. En base a estos mismos datos, la figura 11 muestra los porcentajes correspondientes de valorización de residuos, donde se observa una importante variabilidad entre los distintos rubros.

Rubros	Generación reportada [t]	Valorización [t]
Producción de metal	612.950,93	505.274,70
Pesca y acuicultura	436.108,46	334.180,16
Industria agropecuario y silvicultura	787.776,21	521.837,20
Producción de alimentos	719.107,98	449.436,70
Comercio	1.619.759,20	1.007.261,20
Gestor de residuos	582.687,34	230.396,40
Otras actividades	1.811.350,65	610.331,30
Industria del papel y celulosa	950.633,92	251.536,00
Extracción de minerales	362.269,92	88.738,30
Transporte	122.300,15	29.954,60
Combustibles	49.469,84	9.503,20
Industria manufacturera	1.215.683,60	201.621,48
Transmisión y distribución de energía eléctrica	26.886,21	4.170,50
Generación de energía	2.620.764,33	397.910,08
Suministro y tratamiento de aguas	494.766,48	53.342,04
Construcción e inmobiliarias	621.729,21	42.018,70
Producción química	57.555,47	2.033,40

Tabla 6. Generación y valorización de residuos en Chile por rubro

Fuente: Elaboración propia con datos del RETC y MMA

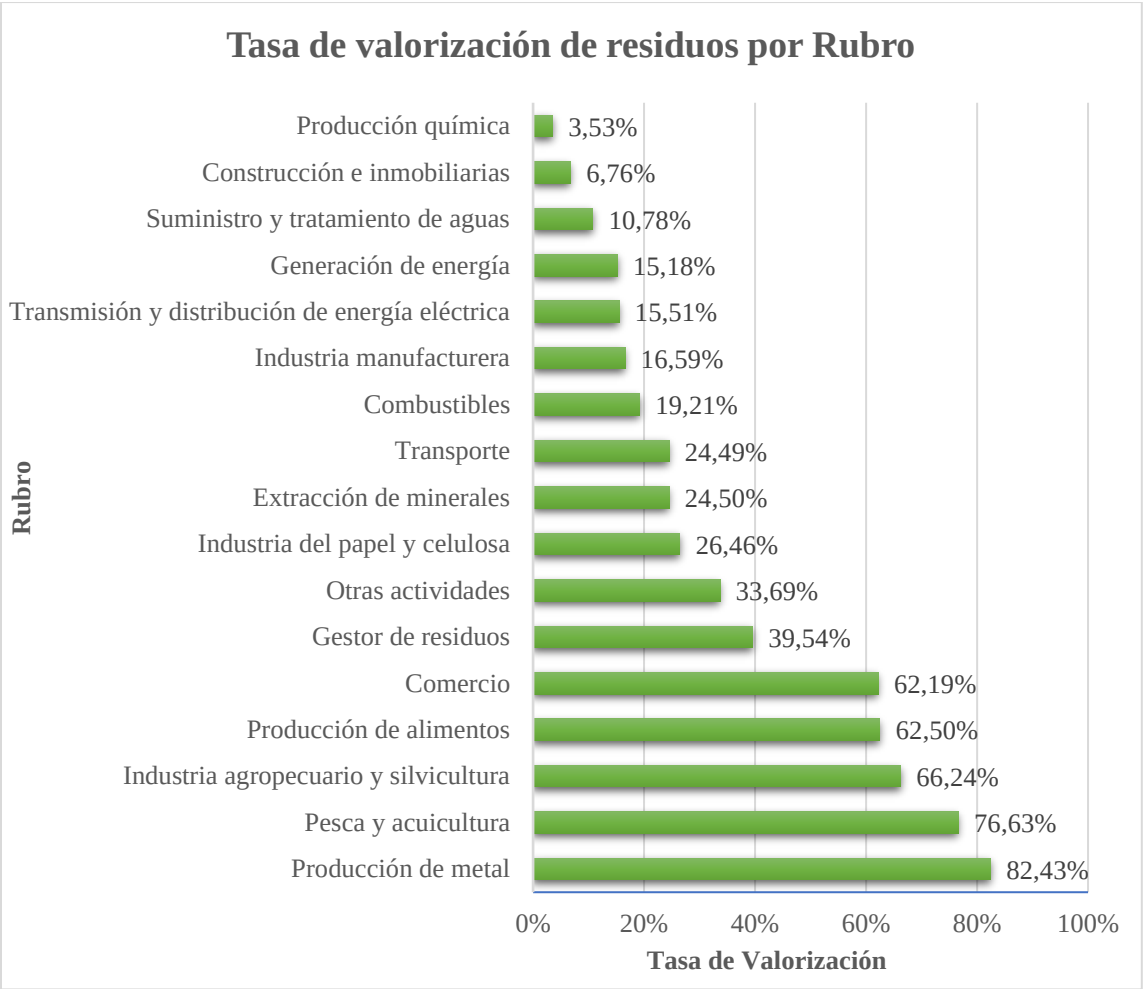

Figura 11. Valorización de residuos por rubro en Chile

Fuente: Elaboración propia con datos del RETC y MMA

En total, un 63,1% de los residuos sólidos industriales no peligrosos fue destinado a su disposición final (transferencia a vertederos, rellenos sanitarios o similares) mientras que un 36,9% fue sometido a diferentes procesos asociados a su valorización. Éstos se desglosan en la figura 12.

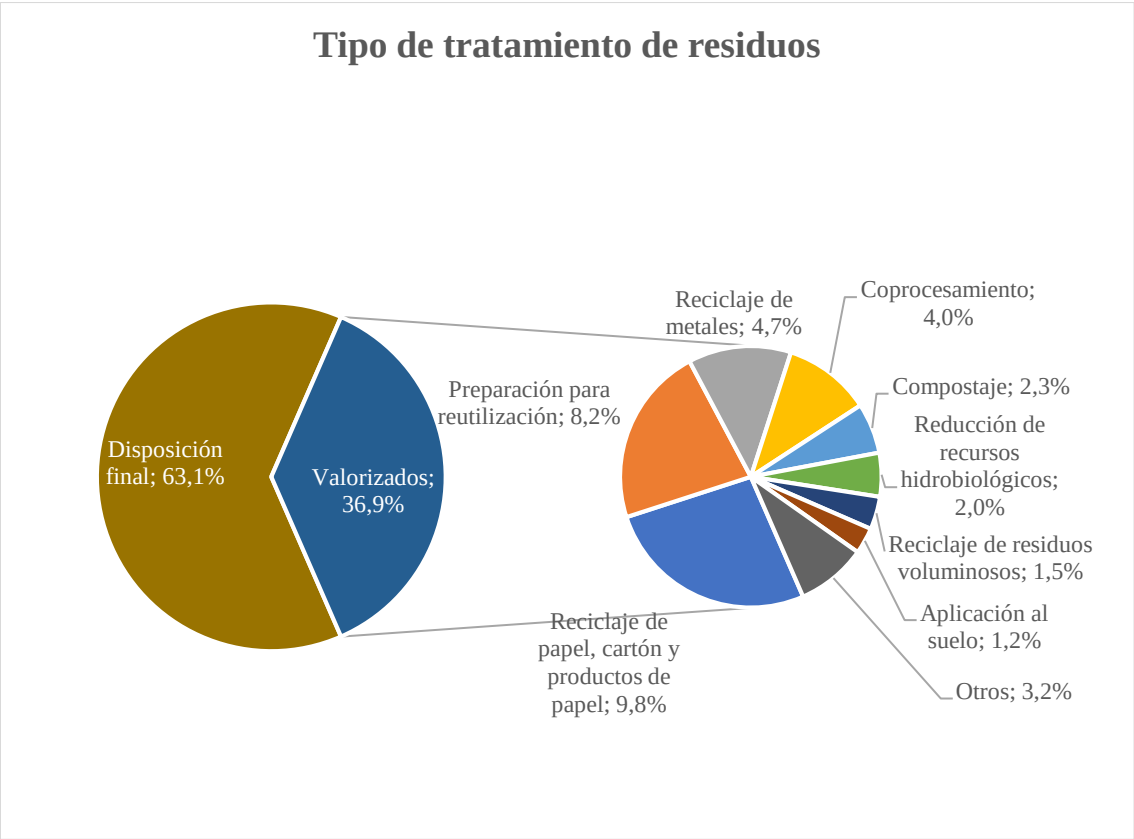

Figura 12. Tipo de tratamiento de residuos valorizados

Fuente: Elaboración propia con datos del RETC y MMA

En cuanto a la generación de residuos por tipo de producto, cabe destacar las siguientes cifras:

- Se estima que durante 2016 en Chile se generaron alrededor de 159.000 toneladas de residuos electrónicos, es decir, 8,7 kg por habitante, ubicándose en el segundo lugar (per cápita) en América Latina. (Balde et al. 2017)

- También en 2016, se generaron 122.757 toneladas de neumáticos fuera de uso, de las cuales sólo se valorizaron 6.340, correspondientes al 5,2%, según datos de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC)
- Siguiendo en la industria automotriz, pero en el año 2015, la generación de baterías fuera de uso se estimó en 21.141 toneladas y la generación de aceites lubricantes usados se estimó en 93.001 metros cúbicos anuales (ASCC, 2015).

Todos estos productos resultan de alto interés, pues están considerados en la ley marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje, discutida a continuación.

5.5.2 Legislación

En mayo de 2016 se promulgó la ley N°20.920 que establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje, también conocida como ley REP. Esta ley "tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente" (MMA, 2017). La ley fue diseñada para implementarse gradualmente en un plazo de 5 años, por lo que al día de hoy aún hay muchos reglamentos para su regulación y el establecimiento de metas que se encuentran en etapas de elaboración o revisión por parte del Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Salud, Contraloría General de la República u otros.

Algunos de los objetivos de esta ley, según los define el MMA, son:

- Aumentar el reciclaje u otro tipo de valorización de residuos
- Disminuir el impacto ambiental asociado a la extracción de materias primas
- Aumentar la vida útil de los productos
- Mejorar los productos a través del ecodiseño

El instrumento central de esta ley es la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga a productores e importadores de ciertos productos considerados "prioritarios" a organizar y financiar la gestión de los residuos derivados de los productos que colocan en el mercado. Dicho porcentaje deberá ser fijado de manera anual por el Ministerio del Medio Ambiente. La ley considera 6 productos prioritarios; Aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, pilas, neumáticos y baterías.

"Para cumplir con las metas de recolección y valorización, los productores tendrán la obligación de organizar y financiar los llamados sistemas de gestión, cuyo objetivo será la recuperación de residuos. Estos podrán ser individuales –correspondiente a un solo productor- o bien colectivos, conformado por varios productores organizados a través de una persona jurídica sin fines de lucro. La ley contempla reglas de funcionamiento para estos sistemas colectivos, a fin de evitar que se afecte la libre competencia" (MMA, 2016).

La ley también promueve la participación de otros actores en la cadena de valor. Las municipalidades podrán celebrar convenios con sistemas de gestión, recicladores de base y otros gestores de residuos y tendrán acceso a un Fondo de Reciclaje establecido por la ley, el cual contempla un presupuesto de $2.000 millones para financiar proyectos y programas que

sean ejecutados por municipalidades y asociaciones de éstas. Además, la ley REP reconoce formalmente a los recicladores de base como gestores de residuos, mediante un sistema de registro y certificación. La figura 13 presenta un esquema general sobre el funcionamiento de la ley REP.

En cuanto al desarrollo futuro de la legislación, se contempla la inclusión de nuevos productos prioritarios. Además, el informe Evaluaciones del desempeño ambiental (2016) para Chile, publicada en conjunto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) propone las siguientes recomendaciones para "fomentar la prevención de la producción de desechos, el reciclaje y la reutilización de productos no contemplados en los esquemas previstos de responsabilidad extendida del productor":

- El uso más generalizado de multas e impuestos sobre la generación de desechos
- La consideración de incentivos fiscales al reciclaje de productos
- El examen de los incentivos y los mecanismos de financiamiento de la gestión de desechos en los municipios de menor tamaño
- Aumentar el grado de sensibilización de la ciudadanía

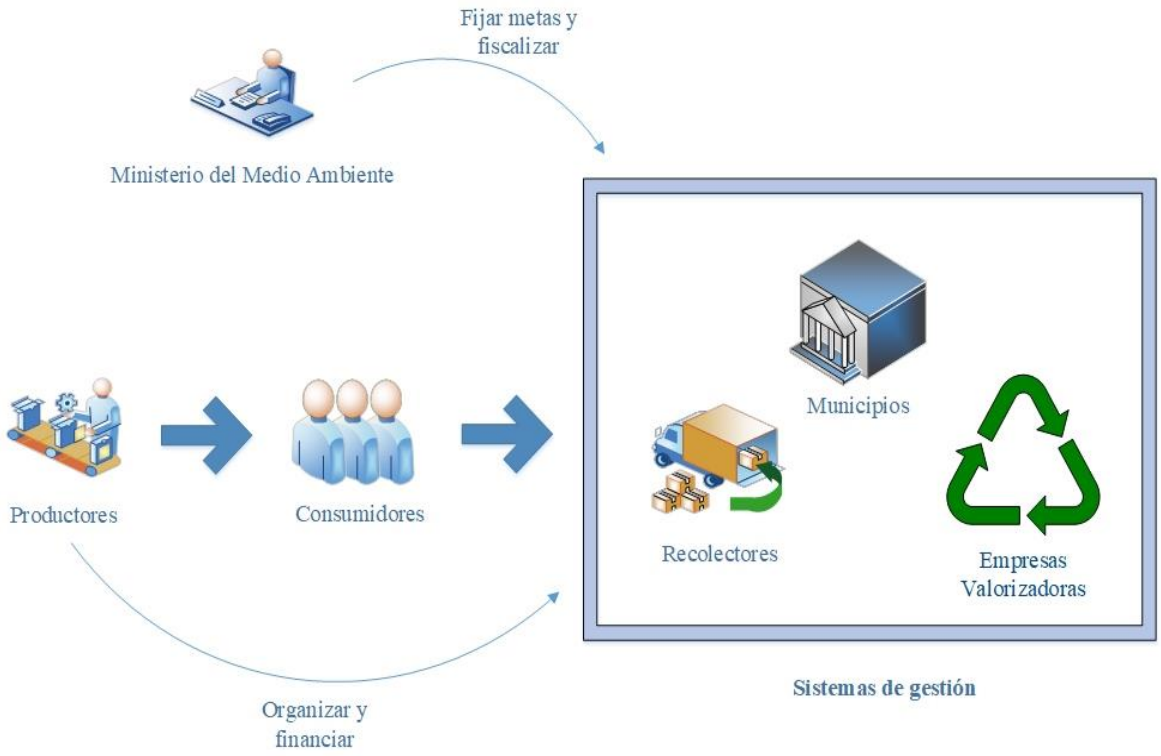

Figura 13. Funcionamiento Ley REP

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Concientización

Se ha discutido previamente la importancia de la sensibilización de los consumidores en la implementación efectiva de una CSC, de manera que éstos puedan facilitar el flujo "hacia atrás" de los productos y la recuperación de valor. Se mencionó anteriormente que la tasa de valorización de los residuos sólidos industriales no peligrosos en Chile alcanzó un 36,9% en 2016. Pues bien, en el caso de los residuos municipales, este valor sólo alcanzó un 1,46% (MMA, 2018).

Según los resultados de la Encuesta Nacional de Medioambiente 2017-2018, publicados por el MMA, el 50% de las personas separa su basura semanalmente para reciclar.

Entre quienes no lo hacen, las principales razones señaladas fueron la falta de lugares para entregar el reciclaje (40%) – el 2016 este valor correspondía al 20%- y la falta de costumbre (23%). En cuanto a los materiales separados para su reciclaje, los mayores niveles corresponden a envases plásticos (76%) y envases de vidrio (73%), mientras que los residuos electrónicos sólo alcanzaron un 14% (Ver figura 14).

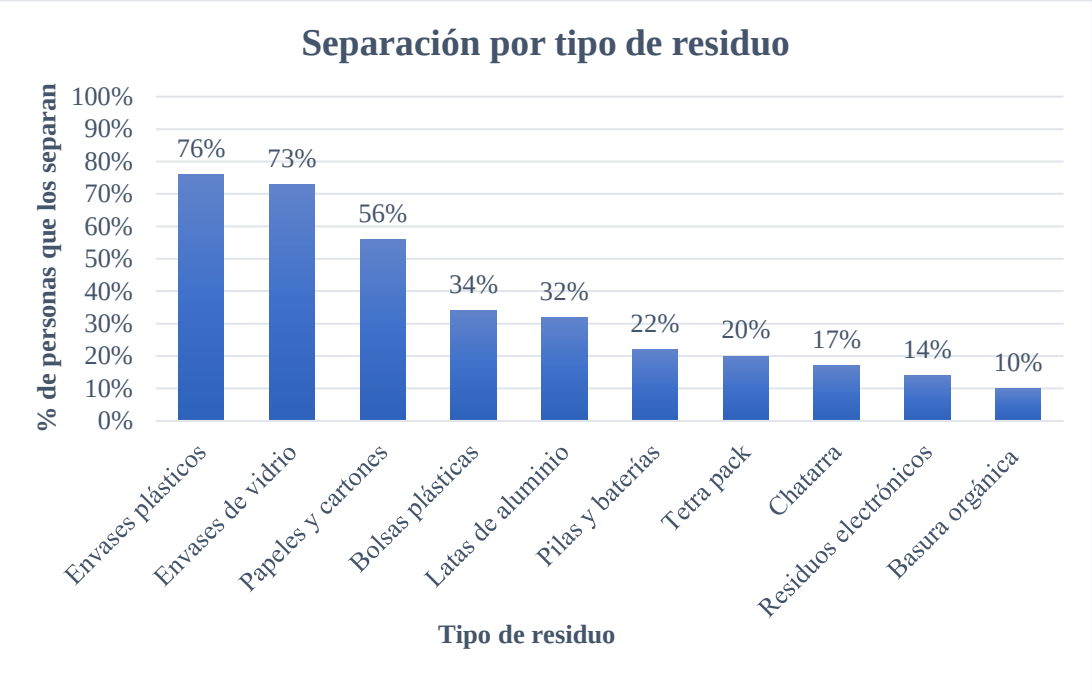

Figura 14. Separación de residuos en hogares

Fuente: Elaboración propia con datos del MMA

Ante la pregunta "Pensando en los últimos años y de acuerdo a lo que usted sabe o ha escuchado, ¿podría mencionar algún avance importante que se ha logrado en Chile en materia medioambiental? ¿recuerda algún otro avance medioambiental en los últimos años?" sólo un 4% de los encuestados respondió "el incentivo al reciclaje y tratamiento de residuos".

Estas estadísticas muestran que, a pesar del impulso que se ha buscado darle en los últimos años al reciclaje y el manejo responsable de residuos, aún es posible aumentar la sensibilización y el compromiso de los consumidores respecto a estos temas para lograr un mayor involucramiento en el funcionamiento de redes de LI y economía circular.

5.5.4 Innovación y cooperación

La innovación es clave para el desarrollo de las CSC, tanto desde un punto de vista tecnológico, como también en cuanto a los procesos y las estrategias organizacionales. Según los resultados de la 10ª Encuesta de Innovación en empresas (2018), publicados por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, "La tasa de innovación, la cual establece el porcentaje de empresas que realizaron algún tipo de innovación en Productos, Procesos, Organizacional o Marketing durante 2015-2016 fue de un 15.1 %". Esto se traduce en que fueron 26.797 las empresas chilenas que realizaron algún tipo de innovación durante el periodo de medición. Con respecto al gasto en actividades innovativas, el año 2015 se gastaron 1.614 ($MM), mientras que el año 2016 este monto aumentó hasta 1.799 ($MM)

Al momento de identificar los obstáculos a la innovación, los principales factores señalados – entre todas las empresas, no sólo aquellas que innovaron- fueron; Costo de innovación muy alto (65,9%), Falta de fondos propios (65,3%) Mercado dominado por empresas establecidas (62,9%) e Incertidumbre respecto a la demanda por bienes o servicios innovados (61,8%). Todos estos datos son relevantes ya que, si bien hablan de la innovación en Chile en términos generales y no sólo relativo a prácticas de economía circular, permiten formar una idea sobre el entorno en que se deberán desarrollar los avances en esta área.

Otro aspecto que fue identificado previamente como clave en el desarrollo de las CSC es la cooperación entre los distintos actores. En términos generales, el 19.3 % de las empresas que innovan dicen haber realizado alguna acción de cooperación. A continuación, se muestra el desglose según el tipo de cooperación realizado por dichas firmas:

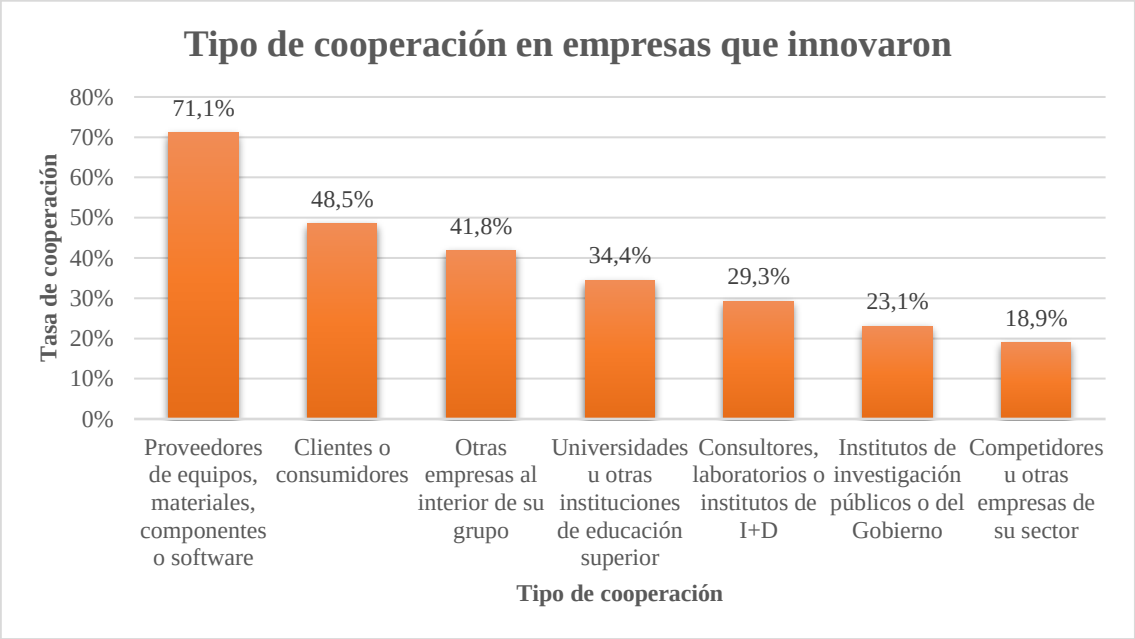

Figura 15. Cooperación en empresas que innovan

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2018)

Como se observa, existe un bajo nivel de cooperación entre las firmas y sus competidores u otras empresas de su sector. Este aspecto representa una importante oportunidad de desarrollo para las CSC en varias industrias a nivel nacional, pues un aumento en la cantidad de firmas y organizaciones, pertenecientes a una misma industria o sector económico, permitiría establecer sistemas de LI más efectivos y con un mayor alcance.

Otro de los tipos de cooperación que se debería buscar fortalecer es el de las empresas con sus clientes o consumidores. Éstos desempeñan un rol clave en el manejo de los residuos y los productos fuera de uso, por lo que el fortalecimiento de este tipo de cooperación podría, por un lado, aumentar la sensibilización de los consumidores, y, además, facilitar a las firmas la recuperación de productos en desuso y reducir la incertidumbre existente al suministro de éstos.

5.5.5 Ejemplos de campañas e implementación

El año 2018 la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) lanzó el programa Prototipos de Innovación en Economía Circular, el cual busca "apoyar el desarrollo de versiones iniciales, pero funcionales, de nuevos o significativamente mejorados bienes, servicios y/o procesos que, además de ser innovadores, impliquen un avance hacia la economía circular" (Corfo, 2018).

El programa contempla el financiamiento de entre el 50% y 70% del costo total de los proyectos seleccionados, según el tamaño de la empresa, con un tope máximo de $60.000.000. En total fueron 25 los proyectos ganadores (entre más de 110 postulantes), con una inversión total superior a los $2.287 millones, de la cual un 56% corresponde a los aportes realizados por Corfo. Los proyectos que se adjudicaron los fondos se desarrollan en distintas industrias, desde la agricultura hasta la construcción o la minería, y abarcan diversas temáticas o enfoques, como los tratamientos necesarios para el re-uso de ciertos productos o la implementación de tecnologías en los procesos. Entre los proyectos ganadores se destacan los siguientes (Ver Tabla 7):

Postulante	Objetivo
Open World SpA	Reutilización de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos para el diseño y desarrollo de productos estructurales para la industria agrícola.
Sociedad de Servicios Szavar Limitada/GestiónREP Ltda	Desarrollar una plataforma inteligente para la optimización de la gestión logística asociada a las políticas de recolección de la industria del neumático.
EMPRESA NEPTUNO INDUSTRIAL COMERCIAL LIMITADA	Reutilización de desechos de material de desgaste de la minería para la fabricación de aleaciones metálicas antiabrasivas -con mayor resistencia a los fenómenos de abrasión que serán utilizadas por la misma industria.
Laboratorio de Investigación Aplicada SpA	Prototipo de economía circular aplicable a los plásticos masivamente descartados por las industrias minera, acuícola y agropecuaria utilizándolos como insumo para la minería.
FUNDACIÓN TODO CHILE ENTER	Implementar un prototipo de recuperación de metales preciosos de interés estratégico a partir de residuos electrónicos, con la finalidad de estimar el potencial de la minería urbana local a nivel industrial.
EOX Spa	Tecnología e ingeniería basada en IOT (Internet of things) para la reducción de envases y control de inventario en productos químicos automotrices.
Marketgreen S.p.A.	Reutilización de residuos publicitarios (tela PVC) para revestimiento de muros, pisos y techumbre de alta calidad y durabilidad para el sector construcción.
Maestranza Rio Claro Ltda	Evaluar la factibilidad de incorporar la escoria negra de acero, como agregado del hormigón, y determinar los parámetros que se deben controlar para este fin.
Resiter Industrial S.A.	Diseño y desarrollo de una línea de proceso que acondicione residuos orgánicos hortofrutícolas para que sean transformados en proteína para dietas de insectos en alimentación animal.

Tabla 7. Proyectos de Innovación en economía circular

Fuente: Elaboración propia con datos de Corfo

Por otro lado, en septiembre del año 2018, 30 empresas del sector privado representadas por ACCIÓN empresas suscribieron el Acuerdo de Producción Limpia (APL) Cero Residuos a Eliminación, impulsado por la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC).

Mediante este acuerdo se busca "vincular la oferta de residuos sólidos con las empresas valorizadoras agrupadas en la Asociación Nacional del Reciclaje (ANIR), lo que permitirá contribuir al desarrollo de la industria del reciclaje, facilitando la construcción de un ciclo cerrado en la gestión de los residuos." (MMA, 2018)

Las empresas que suscribieron al acuerdo son las siguientes: Aguas Andinas, CAP, Carozzi, CCU Chile, Transportes CCU, Viña San Pedro Tarapacá, Cementos Bío Bío, CMPC Planta Chimolsa, Codelpa, Viña Concha y Toro, Disal, Electrolux, Falabella, FerradaNehme, Focus, GNL Quintero, Grupo Polpaico, Iansa, Komatsu Cummins, Laboratorio Bagó, Cemento Melón, Natura, Nestlé, Sodexo, Sodexo Soluciones de Motivación Chile S.A., Sodimac, Tottus, Unilever, Walmart y Watts (MMA, 2018).

Además, cabe mencionar la realización en Chile durante diciembre de 2018 de la 2ª edición del Foro latinoamericano de Economía Circular, el que contó con más de 20 oradores de diferentes países y diversas actividades, buscando establecer un intercambio de conocimientos, exponer ejemplos reales de implementación en la región y concientizar a los participantes sobre los potenciales beneficios comerciales de la economía circular como estrategia de desarrollo (MMA, 2018).

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado un proceso de revisión sistemática de la literatura en torno a la logística inversa y las cadenas de suministro cerradas, identificando aspectos claves para la implementación de proyectos asociados a estos conceptos, así como barreras y amenazas relacionadas y métodos para la evaluación de su rendimiento.

En total, fueron 88 los trabajos estudiados mediante este proceso, entre los cuales se determinó que sólo 19 representaban una contribución significativa para el problema de investigación planteado, los cuales fueron divididos en 6 categorías.

En cuanto a la situación actual de las prácticas en estudio, se pudo determinar que, en términos generales, se está en una etapa de desarrollo temprano, en donde ya se han identificado varios incentivos (económicos, sociales y ambientales) para que las firmas desarrollen este tipo de proyecto, sin embargo, los casos de implementación efectiva aún son escasos y la forma de llevar a cabo dicha implementación aún es un tema en discusión. Dentro de la literatura estudiada se identificaron algunos diseños propuestos, como por ejemplo el caso del sistema de servicio-producto (PSS).

Un importante número de variables fueron identificadas como factores críticos para una implementación efectiva y eficiente. Uno de los más mencionados en la literatura y con gran relevancia corresponde a la incertidumbre que tendrán que enfrentar las firmas respecto, entre otras cosas, a su capacidad para recuperar productos al final de su ciclo de vida o la demanda por los productos re-manufacturados. Para lidiar con estas incertidumbres y el gran número de variables involucradas, las firmas deberán desarrollar cierta flexibilidad ante

situaciones inesperadas, y las tecnologías de la información y comunicación jugarán un rol clave para permitir un mejor seguimiento y control sobre los flujos de materiales de información. También es importante tener en cuenta que para diferentes industrias o rubros en los cuales se quieran desarrollar proyectos de LI, se deberán considerar variables y restricciones propias a éstas, por lo que deberá existir un desarrollo de procesos o tecnologías específicas.

Por otro lado, la cooperación entre los actores de la cadena de valor juega un rol clave para lograr mejores resultados, a pesar de esto, sólo uno de los artículos seleccionados se enfoca en este aspecto. La colaboración entre miembros de una cadena de valor o incluso entre competidores dentro del mismo mercado puede facilitar el manejo del flujo de materiales y reducir las incertidumbres existentes, por lo tanto, la capacidad que tengan las firmas para establecer relaciones de apoyo y una comunicación fluida será clave en el desarrollo de redes más eficientes de revalorización.

En cuanto a la investigación a futuro, en base a los resultados encontrados, ésta debería considerar la inclusión de nuevas tecnologías en los procesos de logística inversa (automatización, internet of things, etc.), los aspectos financieros de una CSC, la coordinación y comunicación entre los miembros de una CSC y los efectos de la introducción de productos re-manufacturados en el mercado y el comportamiento de los consumidores.

En el caso de Chile, la situación no es tan diferente del contexto global, en cuanto al reciente impulso de estas prácticas. Un aspecto crítico que se debe considerar es el impacto que podría tener el aumento de las prácticas de revalorización en la demanda de materias primas. Al tener una economía fuertemente impulsada por la exportación de materias primas, una disminución en la demanda de, por ejemplo, el cobre, podría tener efectos

significativamente negativos en la economía chilena. Para lidiar con esta amenaza, e incluso potencialmente transformarla en una oportunidad, se debe evaluar el desarrollo de productos diseñados para facilitar la recuperación de valor al final de su ciclo de vida. El diseño de este tipo de productos juega un rol clave en las CSC y representa una oportunidad de agregar valor a los productos nacionales. En cualquier caso, no es una transición sencilla y requeriría de importantes niveles de innovación e inversión.

Finalmente, es importante destacar el potencial existente para la implementación a nivel local de estrategias de CSC en diferentes rubros, principalmente agricultura, minería, construcción y productos asociados al parque automotriz. Prueba de esto es el importante número de proyectos de innovación presentados ante Corfo. Por lo tanto, es vital el impulsar el desarrollo de este tipo de proyectos mediante el aumento de las ofertas de financiamiento para investigación e innovación, la ampliación de los alcances de la Ley REP y la creación de alianzas estratégicas entre productores, empresas valorizadoras de residuos, instituciones de investigación o universidades y entidades gubernamentales.

7. REFERENCIAS

Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (2015) Estrategia sostenible de producción limpia y tratamiento de residuos para la industria generadora de neumáticos, baterías y aceites lubricantes. Recuperado de: http://www.agenciasustentabilidad.cl/resources/uploads/documentos/archivos/684/estrategia_sostenible_de_produccion_limpia_y_tratamiento_de_residuos_para_la_industria_generadora_de_neumaticos,_baterias_y_aceites_lubricantes.pdf

Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2016). Prioritizing critical success factors for reverse logistics implementation using fuzzy-TOPSIS methodology. Journal of Industrial Engineering International, 12(1), 15-27.

Alvarez-de-los-Mozos, E., & Renteria, A. (2017). Collaborative robots in e-waste management. Procedia Manufacturing, 11, 55-62.

Atasu, A., Guide, V. D. R., & Wassenhove, L. N. (2008). Product reuse economics in closed-loop supply chain research. Production and Operations Management, 17(5), 483-496.

Atasu, A., & Souza, G. C. (2013). How does product recovery affect quality choice? Production and Operations Management, 22(4), 991-1010.

Bai, C., & Sarkis, J. (2013). Flexibility in reverse logistics: a framework and evaluation approach. Journal of Cleaner Production, 47, 306-318.

Balde, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.

Butzer, S., Schötz, S., Petroschke, M., & Steinhilper, R. (2017). Development of a performance measurement system for international reverse supply chains. Procedia CIRP, 61, 251-256.

Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G. (s.f.) Generación de neumáticos fuera de uso (NFU). Recuperado de: http://cinc.cl/wp-content/uploads/2018/06/180524-Estad%C3%ADsticas-de-generaci%C3%B3n-tratamiento-de-NFU.pdf

CEPAL, N. (2016). Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016.

Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management. Pearson UK.

Chopra, S., & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. Das summa summarum des management, 265-275.

Corporación de Fomento de la Producción (2018) Corfo y su impulso a la economía circular en Chile. Recuperado de: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/04-09-2018_corfo_y_su_impulso_a_la_economia_circular_en_chile

da Silveira Guimarães, J. L., & Salomon, V. A. P. (2015). ANP applied to the evaluation of performance indicators of reverse logistics in footwear industry. Procedia Computer Science, 55, 139-148.

Debo, L. G., Toktay, L. B., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Market segmentation and product technology selection for remanufacturable products. Management science, 51(8), 1193-1205.

Dos Santos, R. F., & Marins, F. A. S. (2015). Integrated model for reverse logistics management of electronic products and components. Procedia Computer Science, 55, 575-585.

El Saadany, A. M., & Jaber, M. Y. (2011). A production/remanufacture model with returns' subassemblies managed differently. International Journal of Production Economics, 133(1), 119-126.

Gnoni, M. G., Mossa, G., Mummolo, G., Tornese, F., & Verriello, R. (2017). Supporting circular economy through use-based business models: the washing machines case. Procedia CIRP, 64, 49-54.

Govindan, K., Soleimani, H., y Kannan, D. (2014). Reverse logistics and close-loop supply chain: A comprehensive review for the future. European Journal of Operational Researh, 240(3), 603-626.

Gualandris, J., Klassen, R.D., Vachon, S., y Kalchschmidt, M. (2013). Sustainable evaluation and verification in supply chains: Aligning and leveraging accountability to stakeholders. Journal of Operations Management.

Guide, V. D. R., Harrison, T. P., & Van Wassenhove, L. N. (2003). The challenge of closed-loop supply chains. Interfaces, 33(6), 3-6.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste (pp. 1-38). Rome: FAO. (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Van Otterdijk y Meybeck)

Hong, I. H., & Yeh, J. S. (2012). Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(4), 817-829.

Jayant, A., Gupta, P., & Garg, S. K. (2012). Perspectives in reverse supply chain management (R-SCM): A state of the art literature review. JJMIE, 6(1). (Jayant, Gupta y Garg, 2012)

Kahhat, R., Kim, J., Xu, M., Allenby, B., Williams, E., & Zhang, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. Resources, Conservation and Recycling, 52(7), 955-964. (Kahhat, Kim, Xu, Allenby, Williams y Zhang, 2008)

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1998). Putting the balanced scorecard to work. The economic impact of knowledge, 71(5), 315-24.

Matopoulos, A., Barros, A. C., & Van der Vorst, J. G. A. J. (2015). Resource-efficient supply chains: a research framework, literature review and research agenda. Supply Chain Management: An International Journal, 20(2), 218-236.

Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (2018) 10ª Encuesta innovación en empresas (2015-2016). Recuperado de: https://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Beamer_Innova_2015_2016-3.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2016) Nueva Ley de Reciclaje impone a las empresas el financiamiento y metas de recolección y valorización de los residuos que generan sus productos. Recuperado de: http://portal.mma.gob.cl/nueva-ley-de-reciclaje-impone-a-las-empresas-el-financiamiento-y-metas-de-recoleccion-y-valorizacion-de-los-residuos-que-generan-sus-productos/

Ministerio del Medio Ambiente (2017) Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje. Recuperado de: http://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/10/Libro_Ley-Fomento-al-Reciclaje.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2018) 30 empresas suscriben inédito Acuerdo de Producción Limpia para disminuir residuos a cero. Recuperado de: http://portal.mma.gob.cl/30-empresas-suscriben-inedito-acuerdo-de-produccion-limpia-para-disminuir-residuos-a-cero/

Ministerio del Medio Ambiente (2018) Chile organizará el encuentro más importante de Latinoamérica para impulsar la economía circular en la región. Recuperado de: http://portal.mma.gob.cl/chile-organizara-el-encuentro-mas-importante-de-latinoamerica-para-impulsar-la-economia-circular-en-la-region/

Ministerio del Medio Ambiente (2018) Cuarto Reporte del Estado del Medio Ambiente. Recuperado de: http://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/02/Cuarto-REMA-comprimido_compressed_compressed.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2018) Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes 2005-2016. Recuperado de: http://www.retc.cl/wp-content/uploads/2018/12/UNDECIMO_REPORTE-RETC-2005-2016.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2018) Resultados Encuesta Nacional de Medioambiente 2017-2018. Recuperado de: http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Presentacion-Encuesta-Nacional-de-Medio-Ambiente-2018.pdf

Niero, M., & Hauschild, M. Z. (2017). Closing the loop for packaging: finding a framework to operationalize Circular Economy strategies. Procedia Cirp, 61, 685-690.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., & Organización Panamericana de la Salud. (2017). 2016 América Latina y el Caribe: panorama de la seguridad alimentaria y nutricional. Sistemas alimentarios sostenibles para poner fin al hambre y la malnutrición. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-i6747s.pdf

Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multiobjective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. Applied Mathematical Modelling.

Robinson, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. Science of the total environment, 408(2), 183-191.

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). Going backwards: Reverse logistics trends and practices. Center for Logistics Management, University of Nevada, Reno. Reverse Logistics Executive Council.

Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. Management science, 50(2), 239-252.

Sobotka, A., & Czaja, J. (2015). Analysis of the factors stimulating and conditioning application of reverse logistics in construction. Procedia Engineering, 122, 11-18.

Subdirección de Desarrollo, Boletín Tendencias Logística. Extraído de: http://www.prochile.gob.cl/wp-content/uploads/2014/05/tendencia_logistica_mayo_2014.pdf

Tukker, A., & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. Journal of cleaner production, 14(17), 1552-1556.

Weskamp, M., Braun, A. T., & Bauernhansl, T. (2015). Real Option-Based Evaluation of Eco-Oriented Investment Using the Example of Closed-Loop Supply Chains. Procedia CIRP, 33, 151-156.

Wilson, G. T., Smalley, G., Suckling, J. R., Lilley, D., Lee, J., & Mawle, R. (2017). The hibernating mobile phone: Dead storage as a barrier to efficient electronic waste recovery. Waste Management, 60, 521-533.

Yang, P.C., Wee, H.M., Chung, S.L., y Hoa, P.C. (2010). Sequential and global optimization for a closed-loop deteriorating inventory supply chain. Mathematical and computer modelling.