

Leonardo Álvaro Banguera Arroyo  
Juan Miguel Sepúlveda Salas  
Carlos Julio Molestina Malta  
Óscar Carlos Vásquez Pérez  
Raúl Vicente Carrasco Armijos

---

# MARCO DE LA LEY DE RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REP).

---



### **Leonardo Álvaro Banguera Arroyo PhD,**

Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Industrial y Magister en Ciencias de la Ingeniería mención en Ingeniería Industrial de la Universidad de Santiago de Chile (USACH); Magister en Sistema Integrado de Gestión e Ingeniero Industrial de la Universidad de Guayaquil. Docente Titular de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Ecuador; Profesor de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), Universidad Andrés Bello (UNAB). Premio Anual Filantrópica del Guayas “Medalla al Mérito” Año 2004 Fac. de Ingeniería Industrial Universidad de Guayaquil. Mejor promedio obtenido en mi nivel, durante el periodo 2004 – 2005. Mejor promedio obtenido en mi nivel, durante el periodo 2005 – 2006. Coordinador de Postgrado y Director de la Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil; Áreas de investigación: Logística Inversa, Cadena de Suministros y Sustentabilidad.

### **Juan Miguel Sepúlveda Salas PhD**

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Industrial en la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Posee el título de Ingeniero Industrial de la USACH y un MSc y PhD en Ciencias de la Ingeniería, ambos de la Universidad de Tennessee-Knoxville, Estados Unidos. Sus áreas de investigación comprenden: Economía Circular, Cadena de Suministro, Modelación de Sistemas Mineros y Manufactura, Inteligencia computacional y Producción 4.0. Ha publicado sobre 80 artículos científicos en revistas de especialidad y ponencias de congresos internacionales. Ha dictado clases Pregrado y Postgrado, dirigiendo más de 250 trabajos de título y 20 tesis de postgrado. Ha sido director de departamento académico, pregrado, programas de maestría y doctorado, postgrado y jefe de proyectos de I+D+i y de consultoría.

### **Carlos Julio Molestina Malta**

Ingeniero Industrial y Master en Sistemas de Producción y Productividad; Curso de Proyectos de alto riesgo mediante CONFAR III en la ONUDI Viena-Austria; Gerente de producción de ASTINAVE; Director regional de Proyectos en ESTRUSA; Profesor Universitario en Investigación de Operaciones y Estadísticas en la Universidad de Guayaquil (32 años)

### **Óscar Carlos Vásquez Pérez PhD**

Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Santiago de Chile. Recibió su maestría en Matemáticas Aplicadas de la École Polytechnique, Francia (2008) y Doctor en Informática de la Universidad Pierre and Marie Curie (2014). Sus intereses de investigación incluyen la optimización combinatoria, la teoría algorítmica de juegos, el análisis de algoritmos y la simulación de eventos continuos / discretos en problemas de programación, especialmente en salud, minas subterráneas, medio ambiente y sistemas de gestión de energía.

### **Raúl Vicente Carrasco Armijos PhD**

Doctor en Ciencias de la Ingeniería, mención Automática; Magister en Ingeniería Industrial; Ingeniero Comercial, mención en Administración de Empresas; Contador Público y Auditor de la Universidad de Santiago de Chile; áreas de investigación en Data Science, Teoría de Decisiones y Sostenibilidad.

Leonardo Álvaro Banguera Arroyo  
Juan Miguel Sepúlveda Salas  
Carlos Julio Molestina Malta  
Óscar Carlos Vásquez Pérez  
Raúl Vicente Carrasco Armijos

MARCO DE LA LEY DE RESPONSABILIDAD  
EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REP).



**MARCO DE LA LEY DE RESPONSABILIDAD  
EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REP).**

Leonardo Álvaro Banguera Arroyo  
Juan Miguel Sepúlveda Salas  
Carlos Julio Molestina Malta  
Óscar Carlos Vásquez Pérez  
Raúl Vicente Carrasco Armijos

MARCO DE LA LEY DE RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR (REP).

Editado por Colloquium  
ISBN: 978-9942-814-40-1  
Primera edición 2019

© Leonardo Álvaro Banguera Arroyo  
© Juan Miguel Sepúlveda Salas  
© Carlos Julio Molestina Malta  
© Óscar Carlos Vásquez Pérez  
© Raúl Vicente Carrasco Armijos  
© Colloquium

La obra fue revisada por pares académicos antes de su proceso editorial, en caso de requerir certificación debe solicitarla a: [sbores@colloquium-editorial.com](mailto:sbores@colloquium-editorial.com).

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Ecuador 2019

## Índice

Introducción.....	4
Logística inversa, logística verde y sustentabilidad. ....	7
Logística Inversa (LI). - .....	7
Logística Verde .....	12
Sustentabilidad y Logística Inversa.....	14
Desarrollo Sostenible, Cadena de suministro sustentable .....	17
Desarrollo sostenible.....	17
Cadena de suministro sustentable.....	18
Economía Circular – Cadena de Suministro Circular .....	19
Diseño Industrial con relación al ciclo de vida de los productos.....	34
Responsabilidad Extendida del Productor (REP) .....	37
Estrategias de toma de decisiones en los procesos organizacionales .....	39
Modelos Generales de logística Reversa e Inversa para la Gestión de Residuos	43
Estudios Teóricos Exploratorios .....	46
Diseño de Modelos para Logística Inversa .....	47
Prácticas internacionales de logística inversa.....	51
Procesos de los flujos inversos de papel fuera de uso.....	51
Procesos de los flujos inversos de vidrios fuera de uso.....	61
Procesos de los flujos inversos de latas de aluminio fuera de uso .....	66
Procesos de los flujos inversos de productos eléctricos y electrónicos fuera de uso	67
Procesos de los flujos inversos de plásticos fuera de uso.....	73
Procesos de los flujos inversos de medicamentos fuera de uso.....	75
Procesos de los flujos inversos de neumáticos fuera de uso.....	79
Análisis de empresas Chilenas .....	83

Residuos Sólidos Municipales en Chile .....	92
Proyecto de Ley Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor .....	99
Modelo de logística inversa: Estudio de caso en Chile .....	117
Los Neumáticos Fuera de Uso (NFU).....	117
Formulación del Modelo .....	122
Análisis del caso .....	131
Diseño de escenario para la modelación.....	148
Justificación.....	149
Situación y análisis enfocado desde la metodología .....	157
Diseño Metodológico de la Investigación.....	162
Estructura del Modelo Conceptual .....	163
Modelo Matemático .....	165
Recolección y Análisis de Datos .....	166
Selección de la herramienta para resolver el modelo.....	169
Análisis de los Resultados .....	171
Primera configuración (60%). - .....	172
Perspectivas para Ecuador.....	177
Conclusiones.....	179
Referencias bibliograficas .....	180

## **Introducción**

En primer lugar, se debe hacer mención a la motivación que ha impulsado a los autores a trabajar en las condiciones ambientales que se encuentra viviendo el Planeta en la actualidad, por la falta de una adecuada gestión de residuos, preocupación que debe ser parte de las organizaciones que generan una variedad de productos, los cuales terminado su ciclo de vida no tienen una adecuada disposición final de los mismos.

La recuperación de productos y materiales usados se ha convertido en un campo que posee cada vez más importancia en la sociedad y en el mundo. En Chile, la Ley para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor (Ley N° 20920), fue promulgada y se encuentra en la fase de su reglamentación para la aplicación. Bajo esta ley, se obliga a que un productor (o importador) debe hacerse cargo, de un producto una vez terminada su vida útil. La ley es especialmente aplicable a los productos prioritarios de consumo masivo, tales como envases, neumáticos, lubricantes, equipos informáticos, desechos electrónicos, refrigeradores, baterías, pilas entre otros. Una de las principales ventajas que se aprecian para establecer el concepto bajo el cual opera la ley, es la posibilidad de eliminar distorsiones en el mercado, ya que actualmente entre los costos de muchos productos no se considera el de manejo y de conversión del residuo. Con la incorporación de los costos de logística inversa, en los costos totales de todo el ciclo de vida del producto hasta su fin como residuo, se cumple con el principio de “quien contamina paga”.

Diversos estudios (Peña Montoya, Torres Lozada, Vidal Holguín, & Marmolejo Rebellón, 2013), reflejan la preocupación por el desarrollo sostenible que ha hecho replantear varios aspectos organizacionales a nivel estratégico, buscando contribuir a la minimización de los

impactos negativos al ambiente, para mitigarlos. Las cadenas de suministro son responsables de garantizar que su gestión contemple estrategias como la reducción de residuos en la producción de bienes de consumo, las operaciones amigables con el ambiente, el manejo de los mercados secundarios y el cumplimiento de normas ambientales (Kocabasoglu, Prahinski, & Klassen, 2007). Los impactos ambientales están presentes en toda la cadena de suministro, desde la gestión logística de las materias primas hasta que los bienes llegan al consumidor final.

Asimismo, la gestión de productos o materiales que pueden regresar a la cadena de suministro tiene asociados impactos ambientales que representan un reto para la misma. Para enfrentar estos retos, existen estrategias como la logística reversa e inversa (LR) que integra una serie de operaciones para valorizar los residuos sólidos (RS) o disponerlos adecuadamente una vez que éstos han disminuido su valor o cumplido su ciclo de vida (Prahinski & Kocabasoglu, 2006). La gestión sostenible de los RS implica la consideración de múltiples criterios, para que los involucrados de los sectores público, privado y la comunidad tomen decisiones en un marco temporal y espacial que es altamente dinámico y depende de las condiciones propias de las comunidades (Gasparatos, El-Haram, & Horner, 2009).

En este sentido, la LR se articula con la gestión de los RS mediante las opciones de reprocesamiento más usadas en la industria como la remanufactura y el reciclaje (Dowlathshahi, 2005); la remanufactura es el proceso en el cual los productos usados se reparan como nuevos, mientras que el reciclaje es un proceso para recuperar contenidos de los productos usados sin conservar la identidad de sus componentes. Estas opciones de reprocesamiento vinculan a LR con el desarrollo sostenible, si se asume que la sociedad debería utilizar todo el valor

que tienen los productos (De Brito & Dekker, 2004; Peña Montoya et al., 2013).

Para Flórez Calderón et al., (2012), los problemas presentados en el diseño de redes de LR, se han centrado principalmente en la gestión de residuos, recuperación de materiales (reciclaje), recuperación de productos o de partes (remanufactura o reuso), retornos comerciales y en la redistribución de los bienes recuperados o nuevos que han sido elaborados a partir de los residuos. Con el fin de apoyar a la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos, autores como (Giuntini & Andel, 1995), (Matos R., 1997), (Rogers and Tibben-Lembke., 1998), (Schwartz, 2000), (Stock, 2004), (García, 2004), (Knudsen, 2005), (Hevia L., 2008), (Ji, 2008) y (S. Lambert, Riopel, & Abdul-Kader, 2011), realizaron diseños de modelos generales de logística reversa para la gestión de residuos sólidos, que permitan estandarizar el proceso de gestión de los residuos sólidos.

Partiendo del análisis general sobre lo que pasa en el mundo, con relación a los RS y la LR, se ha analizado el caso de Chile, con respecto a cómo se encuentran estructuradas y organizadas las empresas para enfrentar las nuevas políticas pública relacionada a la Ley N° 20920, donde se requiere que las empresas cuenten con un sistema de LR, acorde a lo requerido por la Ley, y que permita dar cumplimiento lo exigido por la política pública establecida. Existiendo esta problemática se realizó un análisis de las empresas asentadas en la ciudad de Santiago con respecto a la LR; además se diseñó un modelo de logística inversa acorde al contexto de la política pública chilena. Además, se presenta las perspectivas que se analizan para el Ecuador con relación a la problemática de los residuos sólidos.

## **Logística inversa, logística verde y sustentabilidad.**

### **Logística Inversa (LI). -**

Desde el momento en que el hombre ha tenido la necesidad de trasladar cosas de un lugar a otro, siempre se ha encontrado con el problema de cómo hacerlo, de la mejor manera posible. Este problema aún sigue vigente y para comprender mejor este concepto se dará una pequeña revisión histórica de la evolución de LI a través del tiempo.

Según Flórez Calderón et al., (2012), LI surge a mediados de los años 70, como una nueva tendencia orientada hacia el reciclado y reutilización de los desechos, LI estudia los procesos de recuperación de los productos fuera de uso, con objeto de aprovechar el valor que aún pudieran incorporar a través de su reutilización, reciclaje, re-fabricación, o proceder a su adecuada eliminación.

En 1985 Council of Logistics Management (CLM) define la logística como una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen al punto de consumo, con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente (García, 2004; Estrada Jerez et al., 2015).

Durante los años noventa el CLM publica estudios donde LI fue reconocida como un aspecto relevante para los negocios y para la sociedad; en 1992 CLM publica la primera definición conocida. Según (Estrada Jerez et al., 2015), LI es el término comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos. Una perspectiva más amplia incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas

llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución y reutilización de materiales y disposición final.

Rogers & Tibben-Lembke., (1998), describen LI como el proceso de planear, implementar y controlar eficientemente, el costo de los flujos de materias primas, inventario en proceso, bienes terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen; con el propósito de recuperar el valor primario o disponer adecuadamente de ellos.

Sin embargo García, (2004), manifiesta que el grupo Europeo de logística inversa, (RevLog) en el año 1998 fue más allá de la definición de Rogers & Tibben Lembke usando la siguiente definición de LI: el proceso de planeación, implementación y control del flujo de materias primas, inventario en proceso y bienes terminados, desde un punto de uso, manufactura o distribución a un punto de recuperación o disposición adecuada. Esta definición es más amplia ya que no se refiere a un punto de consumo, aceptando aún más flujos, ya que una parte no necesariamente regresa al mismo punto de donde salió.

Otra definición para clarificar más este concepto es la del Reverse Logistics Executive Council: “Logística Inversa es el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos”, la cual introduce el concepto de recuperación de valor de los componentes en la cadena (uno de los puntos más importantes del concepto hasta ese momento).

Para el 2003 el CLM corrige su definición de logística quedando de siguiente manera: una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento hacia delante y en reversa de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo

con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente (García, 2004).

En esta definición ya se observa claramente un interés sobre los flujos de retorno (inversos), ya que las organizaciones empezaron a tomar especial interés de ser competitivas, de tal manera que les permitiera gestionar la entrega efectiva de sus productos y de no ser así de integrar nuevamente los retornos en su canal comercial; todo esto poniendo énfasis en el tiempo, y en los recursos, a esta rama dentro del concepto de la logística se le conoce como LI.

De acuerdo a Govindan, Soleimani, & Kannan, (2015), cita otra definición para clarificar más este concepto, es la del Reverse Logistic Executive Council: LI es el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos, introduciendo el concepto de recuperación de valor de los componentes en la cadena, uno de los puntos más importantes del concepto hasta ese momento.

Así, también (Dyckhoff, Lackes, & Reese, 2004; Gomez M., 2010; Escarria Parra & Giraldo, 2014; C.-C. Hsu, Tan, & Zailani, 2015) definen LI como toda actividad que involucra la administración, procesamiento, reducción y disposición de residuos o productos; desde producción, residuos de embalaje (cajas, pallets, bidones, entre otros) y/o bienes usados por el cliente hasta el punto de origen, reproceso o destrucción. En tanto, (Gattorna, 2003; Gomez M., 2010; Escarria Parra & Giraldo, 2014; Wong, Lai, Lun, & Cheng, 2016) indica que LI consiste en el movimiento de productos desde el punto de consumo, pasando por los canales de miembros, hasta el punto de origen, recuperación o reproceso de los productos. Por otro lado, (Martin, 2007; Gomez M., 2010; Kapetanopoulou & Tagaras, 2011;

Escarria Parra & Giraldo, 2014) la definen como un conjunto de procesos encargados de recibir, evaluar, registrar y transformar o tratar los productos retornados por los clientes, con el fin de convertirlos en amigables con el medioambiente o reutilizables por la industria. El origen de LI se explica desde el momento en que los empresarios deben atender varios aspectos, tales como: el retorno o devolución de las mercancías, el reciclaje de envases, restos de embalajes, desperdicios peligrosos, tratamiento de productos obsoletos o de inventarios estacionales, en cualquier eslabón de la cadena de suministro, procurando que su recuperación sea efectiva y económica (Ballesteros R. & Ballesteros S., 2007; C. C. Hsu, Tan, Zailani, & Jayaraman, 2013; Leeuw, Grotenhuis, & Goor, 2013). S. Lambert et al., (2011) Hace referencia a la división realizada por Fleischmann, Bloemhof-Ruwaard, Dekker, Van Nunen, y Van Wassenhove (1997), en donde subdivide la logística inversa en tres áreas principales; estas son: planificación de la distribución, control de inventario y planificación de la producción. Esta división se establece a través de una encuesta que aborda la logística de reutilización industrial de productos y materiales desde una perspectiva de la Investigación de Operaciones.

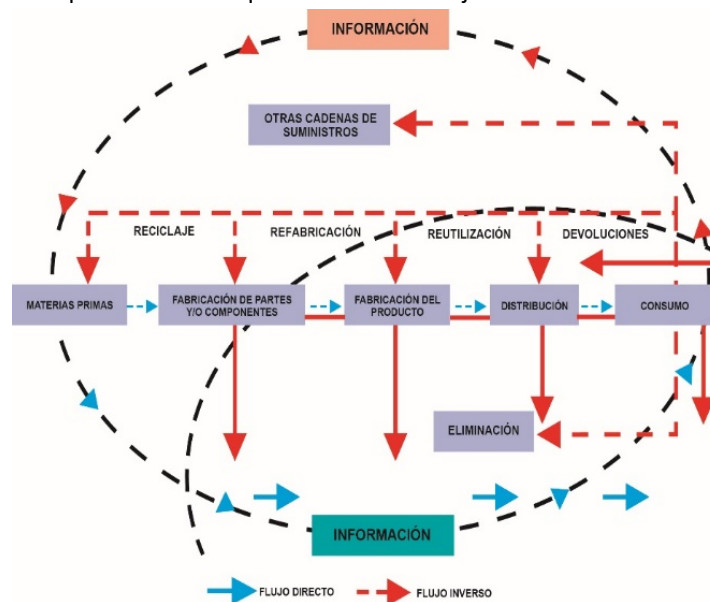
Para Alamillo R., (2013), la LI es una disciplina que consiste en gestionar y optimizar los flujos provenientes del consumidor en dirección al fabricante.

A partir de las definiciones presentadas, se puede indicar que esta logística es llamada inversa, debido que el flujo del producto, la información y el dinero van en dirección contraria desde el punto de uso al de origen o reproceso; lo cual es contrario al flujo tradicional de la cadena de suministro que es desde el punto de origen (empresa proveedor) hasta el punto final (distribuidores-clientes). Finalmente,

se debe considerar que el diseño e implementación de sistemas LI dependen de los objetivos que establezcan las empresas y sus actores asociados, con el fin de generar valor y reducir costos con los productos recuperados.

En resumen, la definición de LI ha cambiado con el tiempo, comenzando con un sentido de dirección inversa, pasando por un énfasis excesivo en aspectos ambientales, de regreso a los pilares originales del concepto y finalmente, la ampliación de su ámbito de aplicación, así podemos identificar en la representación esquemática de los flujos que se dan en una cadena de suministro incluyendo los procesos de LI.

Representación Esquemática de los Flujos en una Cadena de Suministro



Fuente: Chamorro M. & Rubio L., (2004)

A pesar de que la logística siempre es una parte esencial en cualquier actividad económica, en las últimas décadas se ha sentido un vivo interés por el desarrollo de la misma, al punto de que un número creciente de empresas la están adoptando como herramienta gerencial en vista de los resultados positivos que arroja su aplicación.

## **Logística Verde**

Las diferentes problemáticas mundiales por los fenómenos climáticos que han preocupado a los gobiernos, ha llevado a que se promulguen leyes que regulen e impulsen el cuidado del medio ambiente por las personas y las empresas, (Calderón S., 2013).

Por ello se ha buscado generar una cultura con respecto al cuidado de nuestro entorno, ya que no es simplemente una meta a nivel mundial, ni nacional, sino un reto netamente personal que debemos tener presente en el diario vivir y tener en cuenta las medidas necesarias para realizarlo.

Tras las disputas entre países que se generaron en los años 50, donde se buscaba la mejor forma eficiente de trasladar los diferentes suministro de materiales requeridos para cumplir una misión aplicada a la actividad empresarial; Pero, una vez concluida la segunda guerra mundial la demanda creció en los países industrializados la capacidad de distribución era inferior a la de venta producción, optando por vender cualquier artículo en cualquier lugar posible, en donde los canales de distribución comenzaron a ser obsoletos.

En la década de los 80 se hace indispensable una gerencia de todo el proceso de distribución, pues esto conlleva a que más medios de transportes comiencen a circular para trasladar cualquier tipo de armamento o materias primas que se necesiten.

Es ahí donde nace la logística verde, dejando en claro que es la derivación de la logística, pues los nuevos sistemas de distribución iban a traer consecuencias ya que las emisiones de carbono de este producto forman parte de la combustión de los combustibles para todos los tipos de transporte de mercancías; bien sea por mar, aire o tierra. Se busca con esto, un equilibrio entre la eficiencia económica y ecológica sin afectar al proceso productivo.

Para Reyes de León, Zabala Rio, & Gálvez Choy, (2008), el término “Verde”, está relacionado con la idea de hacer algo a favor del medio ambiente; por lo que si sumamos a los conceptos establecidos de logística tradicional e inversa podemos llegar a diferentes definiciones relacionadas a logística verde dada por algunos autores como:

Simpson, Power, & Samson, (2007), quien describe a la logística Verde como la adopción de requerimientos ambientales en las actividades logísticas tradicionales que se llevan a cabo entre proveedores y clientes. Así para, (De Brito, 2004; Zhu, Sarkis, Cordeiro, & Lai, 2008) la logística verde es la que debe considerar aspectos ambientalistas en todas las actividades logísticas tradicionales -del productor al consumidor-. Los temas ambientales que destacan en la logística tradicional son el consumo de los recursos naturales no renovables, las emisiones al aire, la congestión y el uso de carreteras, el ruido y la eliminación final de residuos tanto peligrosos como no peligrosos.

Por otro lado Soto Z., (2005), indica que la Logística Verde persigue los objetivos de: reutilización de contenedores, reciclar los materiales de embalaje, rediseño de los mismos embalajes, utilización de menor cantidad de materiales, reducción de energía y contaminación respecto a la transportación de productos.

Luego, podemos decir que la logística verde mide los niveles de consumo de energía durante el transporte del producto con el fin de reducir dicho consumo: Reducir la contaminación del aire, del suelo, agua y auditiva, en la fabricación y transporte de los productos terminados. La logística verde no se trata solamente de reducir el impacto ambiental que la empresa genera, también se trata de mejorar la productividad y aumentar las ganancias; por la ejecución y elaboración de la misma, además aplicando la logística verde se puede prevenir que se genere algún daño al ambiente en algún punto

del proceso, ya que se tiene completo control sobre la cadena de abastecimiento. Es este sentido se expresa que la logística verde, es un concepto aplicable de forma más amplia, ya que actúa sobre la logística tradicional e inversa, en cualquiera de sus etapas, tanto iniciales como finales, y que se enfoca en optimizar todos los usos de recursos y generación de desechos de los procesos, así podemos visualizar en la relación entre la logística inversa y logística verde.



**Fuente:** (López P., 2010)

### **Sustentabilidad y Logística Inversa**

Las diferentes percepciones que se han originado a partir del interés de la industria por el cuidado de la ambiente, se fundamentan en la Ecología Industrial (EI), la misma que consiste en desarrollar industrias o en su caso modificar sus procesos que permitan generar actividades más amigables con el medio ambiente, integrando aspectos económicos (Richards, Allenby, & Frosch, 1994), tecnológicos (Dewulf & Van Langenhove, 2005), políticos (Cousins & Newell, 2015), ambientales y sociales (Loayza Perez & Silva Meza, 2013). La EI es, por lo tanto, un área del saber que busca que las organizaciones

industriales posean una conducta similar al de los ecosistemas naturales, convirtiendo el modelo lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, avivando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales (Erkman, 2001). Por lo tanto, la EI al buscar conductas de producción cíclicas incorpora el enfoque de Metabolismo Industrial que es el resultado de un balance de materiales (Ayres & Ayres, 2002), donde el objetivo principal radica en explicar, cómo se da el flujo total de materiales y energía de un sistema industrial, desde su extracción hasta su inevitable reintegración a los ciclos biogeoquímicos de los elementos naturales (Carrillo González, 2009). Para poder aplicar los sistemas cíclicos dentro de la industria es necesario conocer también el significado de Simbiosis Industrial, que consiste en crear una alta relación interdependiente entre dos empresas, creando relaciones simbióticas como una ventaja competitiva que implica el intercambio físico de materiales, energía, agua y subproductos (Glavič & Lukman, 2007), ofrecidos por la proximidad geográfica (Chertow, 2000), contribuyendo en el bienestar de las industrias (Manahan, 2011; Curran & Williams, 2012; Li, Dong, & Ren, 2015).

Por medio de una filosofía administrativa de Ecoeficiencia, la industria busca entregar bienes y servicios a un costo competitivo que satisfagan las necesidades humanas y ayuden a una buena calidad de vida, disminuyendo progresivamente el impacto ambiental y el consumo de los recursos naturales durante todo el ciclo de vida (Lehni, 2000; Ng, Yeo, Low, & Song, 2015), por lo que para lograr la Ecoeficiencia, la innovación (Díaz López & Montalvo, 2015), el diseño de productos (Waage, 2007), y los incentivos para la sociedad, forman un punto crítico para la transformación hacia la sostenibilidad (Tukker

& Jansen, 2006; Tukker et al., 2008; Petala, Wever, Dutilh, & Brezet, 2010). En este punto, la Logística Inversa desempeña un papel significativo en la integración de la variable medio ambiental, ya que considera la perspectiva de ciclo de vida total del producto: es decir desde su concepción, fabricación, distribución y uso, hasta su refabricación, reutilización o eliminación (Orbegozo & Molina, 2007). Para poder motivar el manejo de la Ecoeficiencia en la Producción más limpia, de acuerdo con PNUMA<sup>1</sup>, se necesita la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada y aplicada a procesos, productos y servicios, disminuyendo así las condiciones de riesgos para los humanos y el medio ambiente; creando así un enfoque sistemático de las operaciones de producción (Glavič & Lukman, 2007), apoyándose en estrategias tales como la gestión del producto (Arroyave R. & Garcés G., 2006), diseño ecológico (Boix, Montastruc, Azzaro-Pantel, & Domenech, 2015) y cadena de suministros cerradas (Curran & Williams, 2012). Para establecer una clara diferencia entre producción limpia y ecología industrial (Erkman, 2001) propone que: “La Producción limpia enfoca sus acciones hacia el interior de las compañías; mientras que la aplicación de la producción limpia a nivel sistémico entre un grupo de industrias, es ecología industrial.”

De esta manera, de acuerdo con Gomez M., (2010), el papel de la logística inversa es gestionar adecuadamente los retornos, desechos y devoluciones de la cadena de suministros, buscando una reducción de los impactos ambientales e intentando desarrollar un enfoque de rentabilidad; con lo que se promueve la recuperación de los recursos

---

<sup>1</sup> Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Manual de producción más limpia del año 1999, se estructuraron un paquete de recursos para capacitación a nivel internacional.

desde las perspectivas económicas y ecológicas (Thierry, Salomon, Nunen, & Wassenhove, 1995; De Brito & Dekker, 2004).

## **Desarrollo Sostenible, Cadena de suministro sustentable**

### **Desarrollo sostenible**

Para la Organización de Naciones Unidas, desarrollo sostenible es el desarrollo integral del hombre, es decir, satisfacer las necesidades de las generaciones de hoy y mañana, sin dañar ni perjudicar los recursos naturales.

En el ámbito de la economía, la ecología o el desarrollo y responsabilidad social, el desarrollo sostenible y el desarrollo sustentable son sinónimos, por lo cual se pueden usar ambos términos para referirse a lo mismo, que es, hacer uso de los recursos que nos entrega el planeta, de una manera responsable para velar que las futuras generaciones también puedan disfrutar y vivir de estos recursos. (Fernández & Gutiérrez, 2013)

El desarrollo sustentable engloba todas las acciones de una empresa que desarrolla sistemas de producción más eficientes que utilicen o desgasten menos un determinado recurso natural, por ejemplo, el petróleo, que es un recurso natural no renovable. Un auto que utilice agua como combustible sería una invención que favorecería el desarrollo sustentable. Por otra parte, desarrollo sostenible sería que un grupo de mujeres mejore su calidad de vida emprendiendo un taller de fabricación textil, pero que para la fabricación de productos utilice telas ya utilizadas anteriormente, empleando técnicas de reciclaje. Así, no sólo mejorarían un cierto aspecto de su vida (la económica, en este caso) sino que también estarían contribuyendo a la preservación ambiental mediante el reciclado.

(Feitó Cespón, Cespón Castro, Rodríguez, & Alejandro, 2016) Mantiene que el Desarrollo Sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Es por esta razón que la sostenibilidad de las organizaciones socioeconómicas depende fundamentalmente de tres dimensiones: la ambiental, la social y la económica, las cuales deben estar balanceadas para que las organizaciones sean sostenibles.

### **Cadena de suministro sustentable**

Cadena de suministro, es un término que ha tomado mucha importancia en el ámbito empresarial, ya que está conformada por proveedores, productores y distribuidores, permitiendo la transformación de la materia prima en un producto final, cuya finalidad es satisfacer las necesidades del cliente.

Para Serna et al., (2010), la cadena de suministro, es "un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal de flujo del producto, mediante los cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor al consumidor. También Lambert, (2008) define a la Administración de la Cadena de Suministro o Supply Chain Management (CSM) como la gestión e integración de los productos, servicios e información de los procesos clave del negocio, de los proveedores, productores y distribuidores, que permiten adicionar valor y satisfacer las necesidades de los clientes y los "stakeholders". Estos se fundamentan en un conjunto de procesos que permiten alcanzar los objetivos de la empresa.

Cada día, más empresas o compañías han comenzado a introducir el término sustentabilidad en sus cadenas de producción, utilizando materiales y procesos que no dañen el medio ambiente, y que la eliminación de desperdicios sea lo más sostenible posible. De ésta

forma la empresa o compañía se reducen costos y daña menos el Medio Ambiente. Es por esto, que en estos momentos es de vital importancia introducir el término sustentable a todas las actividades relativas a la producción y consumo de bienes.

Feitó Cespón et al., (2016), define la Gestión de la Cadena de Suministros Sostenible (GCSS) como la gestión de materiales, información y flujos de capital así como la cooperación entre las compañías a lo largo de la cadena, teniendo en cuenta las metas de las tres dimensiones del desarrollo sostenible, como son las ecológicas, económicas y sociales, derivadas de los requerimientos de los consumidores y los grupos de interés.

Una de las prácticas empresariales asociadas a la sostenibilidad de las cadenas de suministros es sin duda la llamada logística inversa, la cual se puede describir como el conjunto de actividades de gestión, que se ocupa de devolver los productos y materiales a los procesos productivos y mercados, para lograr ventajas competitivas, revalorización de estos materiales y reducir el impacto de estos productos en la naturaleza.

### **Economía Circular – Cadena de Suministro Circular**

Desde el comienzo de la revolución industrial, y el inicio de la producción en masa por la búsqueda del crecimiento económico de las empresas a partir del descubrimiento de las máquinas para la producción y hasta el siglo XX, se ha venido empleando un modelo de economía lineal el cual consiste en la fabricación y uso de los productos para luego desecharlo. Es así como ha quedado en evidencia que el hombre desde un inicio ha dado prioridad a la producción y comercialización de los productos sin preocuparse del

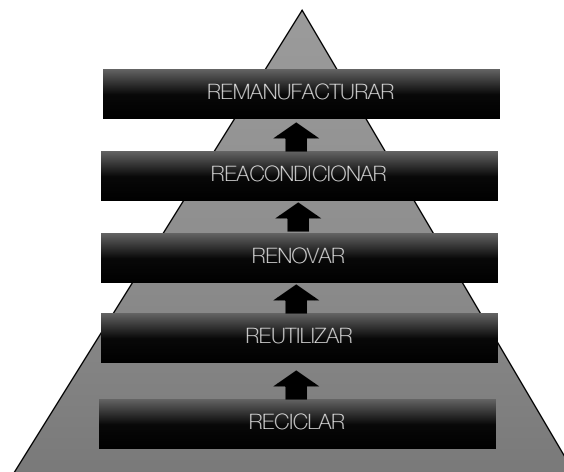
estado final en que quedan estos productos una vez que terminaron su ciclo de vida y en qué forma afectan estos a la naturaleza.

A partir del siglo XXI, con la preocupación de la situación actual que se encuentra el planeta, por el análisis de la alta extracción de los recursos que se extraen de la naturaleza y la lenta velocidad de regeneración de estos, está ocasionando el agotamiento de los recursos materiales disponibles y, al mismo tiempo, los residuos generados de los sistemas económicos se están transformando en problemas sociales y ambientales. Massolin, (2016), hace referencia a la necesidad de identificar nuevos modelos empresariales que permitan respetar los límites biofísicos del planeta a fin de preservar los distintos servicios eco-sistémicos de los cuales benefician a los seres humanos. De esta filosofía ha surgido el concepto de “economía circular” – no lineal – dado por la Ellen Macarthur Foundation, (2017) el cual consiste en “un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos, minimizando los riesgos del sistema y tiene como objetivo principal cambiar la economía actual buscando reducir la extracción de materia prima de la naturaleza y utilizar los residuos como recursos para disminuir el impacto ambiental.

Previo al siglo XXI la economía lineal se basaba en el paradigma “producir, usar y tirar”, el cual quedó atrás luego de la implementación del nuevo paradigma “reducir, reutilizar y reciclar” propuesto por la escuela ecologista en busca de una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente (Lett, 2014). El concepto de economía circular se apoya precisamente en los fundamentos de la escuela ecologista y por tanto en su paradigma.

Así para Fernández A., (2015), define por economía circular a aquella que tiene por objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo de materias primas, agua y energía. Es por tanto un concepto económico que persigue implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

Jerarquía ambiental en las estrategias de la Economía Circular de producto



Para la Fundación para la Economía Circular (FEC)<sup>2</sup>, este concepto de economía circular “es una de las siete iniciativas emblemáticas que forman parte de la estrategia para Europa 2020 que pretende generar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador”, la cual permitirá la creación de mayores puestos de empleo y crecimiento tratando que los recursos se utilicen de forma eficaz. En la actualidad es la principal estrategia de este continente, que además cuenta con el respaldo del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo. Así la

---

<sup>2</sup> La Fundación para la Economía Circular es una Fundación privada, de ámbito ibérico y proyección supranacional, formada por un patronato compuesto por antiguos altos cargos de administraciones autonómicas con un equilibrio territorial y político. La FEC es un generador constante de soluciones sobre sostenibilidad (ambiental, económica, social y cultural) que trabaja eficazmente gracias a su independencia operativa y a su vocación innovadora. [http://economiecircular.org/wp/?page\\_id=51](http://economiecircular.org/wp/?page_id=51)

economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos.

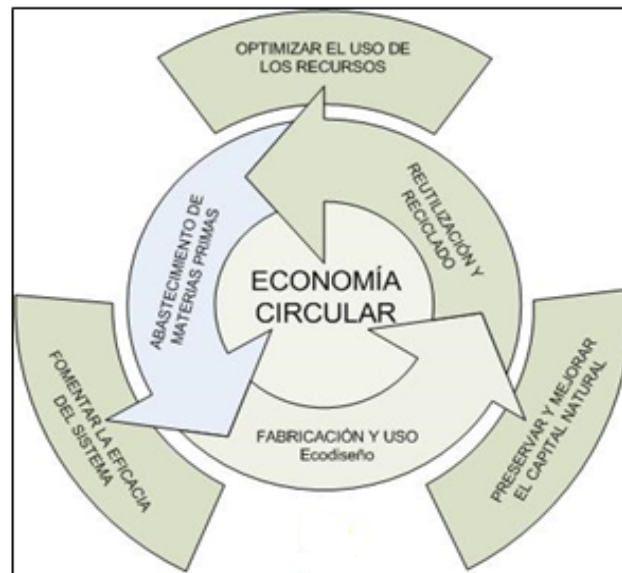
La (Ellen Macarthur Foundation, 2017), establece tres principios básicos para la economía circular, donde se aborda varios de los retos en términos de recursos y del sistema a los que han de hacer frente las economías industriales.

**Preservar y mejorar el capital natural**, controlando existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.

**Optimizar el uso de los recursos**, rotando productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos.

**Fomentar la eficacia del sistema**, revelando y eliminando externalidades negativas.

Esquema conceptual de economía circular



Fuente: (Ruiz M., 2016)

Este modelo busca extender la vida de los productos en la etapa de "uso", que conserva el valor y el diseño de subproductos nocivos, tales como sustancias tóxicas, que permitan tener un hábitat perfecto para las empresas innovadoras desde el punto de vista ecológico (Kiser, 2016).

La economía circular, está dirigida a los representantes públicos que se encargan del desarrollo sustentable y del territorio, tanto como para las empresas que buscan resultados económicos, sociales y ambientales, como a la sociedad que debe interrogarse acerca de sus necesidades reales.

Lett, (2014) manifiesta que, “para el año 2030 se calcula un aumento de tres billones de consumidores que generarán una importante demanda de energía, es esencial entonces revertir la lógica de descartar los desperdicios por un modelo donde estos se reutilizan y valorizan. Se puede citar el caso de la compañía automotriz Renault con su planta industrial en Choisy-le Roi, Francia, donde se practican los principios de la economía circular en la reingeniería de autopartes usadas, con un costo de 50% al 70% del valor original. En la planta procesadora se emplean 325 personas, mucho más que las requeridas para la manufactura en línea de autopartes de las otras plantas, sin embargo, la ecuación económica aún se mantiene favorable, debido al menor impacto de la materia prima en el costo final. Con esta modalidad, Renault ha logrado una reducción del 80% en el consumo de energía, del 88 % en el consumo de agua y del 77% en la generación de residuos con relación al modelo tradicional de producción”.

Además es importante mencionar a las distintas organizaciones sobre economía circular que buscan potenciar a las empresas, organizaciones e individuos que se encargan de contribuir con el fin

de potenciarlas, por lo que se crearon los Premios Circular, que se entregan en el marco del Foro Económico Mundial de Davos en enero.

Empresas finalista para el premio mundial de Economía Circular

Empresa	Misión
Sustainers Homes	Esta compañía holandesa fabrica casas móviles totalmente desconectadas de las redes de servicios (off-grid) a partir de materiales reciclados y reutilizables. La calefacción y electricidad son de fuentes renovables y el agua proviene de la lluvia. Según su cofundador, las emisiones en todo el ciclo de vida representan sólo un 4% de las de un hogar tradicional, sin tener que renunciar a comodidades como lavadora o lavavajillas
Drivy	Permite que las personas renten su vehículo cuando no lo están utilizando, y ya cuenta con alrededor de 800 mil usuarios y 35 mil autos privados en Alemania, Francia y España. Gracias a su asociación con la empresa de seguros Allianz, Drivy puede proteger tanto a los dueños de los automóviles como a quienes los rentan. Además, este año incluyó una innovación muy importante: una caja que se instala en los coches y que permite abrir las puertas, a la hora convenida, con un smartphone.
Redisa	Creada para ayudar a solucionar el enorme problema de llantas que acaban en vertederos de basura de Sudáfrica, causando incendios y problemas de salud, esta compañía recolecta las llantas para reciclaje. Desde 2012 ha recogido 18 millones de ellas y creado 3 mil empleos.
Optoro	Optoro ganó en la categoría de empresa de economía circular. Actualmente trabaja con 20 de los 100 mayores minoristas en Estados Unidos, ayudándolos a vender su exceso de inventario y a reducir los desechos generados por devoluciones y excesos en un 75%”
Neptuno Pumps	El 60% de las bombas manufacturadas por esta compañía chilena usa materiales reciclados, logrando que el comprador obtenga un producto 30% más barato con una garantía de un año. El desierto de Atacama, donde tiene su sede la empresa, es uno de los lugares más sucios del mundo y la base de la multimillonaria industria minera del país sudamericano. A través de su diseño, Neptuno afirma que las empresas mineras pueden reciclar hasta el 70% del agua, reduciendo así el uso de energía en un 30%.
Miniwiz	Con sede en Taiwán, esta compañía de ingeniería, manufactura, diseña y convierte la basura (plásticos y desechos electrónicos y de arquitectura) en materiales de construcción. Entre sus clientes se encuentra Nike, ya que creó el interior de sus tiendas de lujo en siete ciudades.

Fuente: (Evia H., 2016)

Si las organizaciones consideran conceptos como reutilización, reparación, reacondicionamiento y como último recurso reciclaje de materiales y productos ya existentes, reintegrándolos en la cadena de valor de los productos de forma que todo residuo sea transformado en un recurso, lograrán reducir gastos en la gestión de residuos y

materia prima, reducir costos energéticos y sustituir la venta de bienes y productos por la oferta de servicios. Esto llevará a que las organizaciones aumenten su utilidad y eficiencia, obtengan un mayor retorno económico por bien producido y dinamicen sinergias, es decir, “lo que para uno es residuo para otro es materia prima”.

La economía circular es una propuesta para cambiar el modo de producción a largo plazo, con el fin de lograr que el fin de un producto alimente el comienzo de otro, es decir, que al convertirse los recursos en productos y los productos en residuos, estos residuos se conviertan en recursos, para que de esta forma todo se transforme y nada se pierda.

Para garantizar los flujos de ida y regreso de los materiales que constituyen bienes y productos, que alargan sus usos y que a la vez se constituyen en materiales para regenerarse en productos y bienes, o también de los servicios en sus diferentes formas de energía e información, para la generación de sensaciones o satisfacción de necesidades, se deben estructurar redes de suministros integrada por las Cadenas de Abastecimiento Circulares.

Gutierrez P., (2015), Hace referencia sobre los principales procesos de la “Gestión de las Cadenas de Abastecimiento Circulares”, los cuales son relevantes al momento de gestionar e implementar dicha cadena cuya importancia no solo se debe a la implicancia social y ambiental que tiene, sino también a la implicancia económica con un énfasis especial en los accionistas quienes al final recibirán la relación de valor de sus inversiones de cara a los retornos de la reducción, recuperación y reciclaje, al igual que por los beneficios agregados a la corporación y a la marca, a partir del compromiso que se tenga con sus postulados. A continuación, señalamos los principales procesos de la Gestión de las Cadenas de Abastecimiento Circulares:

Formulación de estrategias para el diseño en función de la desfragmentación mecánica y reutilización parcial o total de los componentes y materiales, que puedan ser dispuestos en dispositivos de fácil y económica ubicación y transportación.

- Formulación de estrategias de diseño para garantizar la disminución del desperdicio de materiales de embalaje y empaque de mercancías.
- Diseño de la red de nodos para los flujos inmigrantes y emigrantes de suministros del abastecimiento y del retorno de los efluentes a reciclar o reutilizar.
- Estudio, análisis y formulación de planes para reducir las emisiones nocivas para el medioambiente y las personas, a lo largo del proceso global del suministro y retorno y/o reutilización de productos.
- Formulación de planes para implementar la autogeneración y cogeneración de energías en el proceso global de abastecimiento, a partir de fuentes de energía renovables tales como eólica, solar, mareomotriz, biomasas, etc.

Planeación de la reducción del consumo de energía a lo largo del proceso cíclico del suministro, considerando nuevas formas de movimentación como el polimodalismo o sincromodalismo (movimiento de carga a partir de la conformación de sistemas que la desplazan por medio de infraestructuras y superestructuras dinámicas como rodillos, canastas, ductos, bandas, etc.), que aprovechan la gravedad, la aerodinámica, la inercia, cantidad de movimiento, etc., para reducir la utilización de energías generadas directa o

indirectamente a partir de combustibles y fuentes que impactan negativamente el medioambiente.

Elaboración, monitoreo y cumplimiento de la métrica del ciclo, que se puede dividir en los indicadores del proceso, (que miden el nivel de innovación, mejoramiento y sostenimiento de las estrategias, planes y acciones para garantizar los procesos del abastecimiento cíclico) y los indicadores de resultado, que se deben reflejar en el tablero de mando de la organización y en los indicadores de impacto socio ambiental universalmente establecidos (huella de carbono, huella hídrica, estimación del valor intrínseco ambiental, coeficientes de impacto socioeconómico, etc.).

Los procesos de la gestión de las cadenas de abastecimiento circulares son un gran aporte a la economía circular considerando el impacto en la reformulación del cómo se están realizando, evaluando y monitoreando constantemente los procesos dentro de una empresa, en otras palabras, promueve la mejora en la gestión de los procesos y aún mejor, el replanteamiento del cómo se están haciendo las cosas internamente en la organización y como se podrían mejorar para aumentar la rentabilidad y aportar en el cuidado de los recursos limitados que ofrece el planeta.

Por otro lado podemos extraer lo expresado por el profesor Pere Fullana, Director de la cátedra Unesco de Ciclo de Vida y Cambio Climático (ESCI) de la Universitat Pompeu Fabra, en el foro para estrategias europeas 2020, publicado por el diario la Vanguardia el 26 de abril del 2015 (Tintoré, 2015), donde advierte de la gran trascendencia que tiene para la supervivencia del mundo la rápida adopción de los criterios que incluye la economía circular, por lo que dijo *“No podemos crecer y consumir como lo hemos hecho hasta ahora. El sistema es finito. Un crecimiento mundial del 3% anual, tal*

*como se plantean los políticos, es un crecimiento exponencial insostenible. Supone un 3% más cada año de energía, de contaminación, de residuos, de tensión en el mercado de las materias primas... A este ritmo, en los próximos 23 años la Humanidad consumiría tanto como en toda su historia. La población, asimismo, registra un aumento constante, a razón del 1,5% anual, lo que nos llevará hasta los 9.000 millones de habitantes justo a mitad del siglo, con grandes consumidores emergentes. Hay, por tanto, que desacoplar el desarrollo del uso de materia y energía. El agotamiento de algunos recursos es evidente”.*

En la actualidad somos más de 7.3 mil millones de habitantes en el mundo y se estima que para 2050 ya seremos más de 9,000 millones de habitantes, en base a esto se estima que la demanda aumentará en un 25%, pero no así la oferta de recursos, al contrario considerando que el 80% de lo que usan las personas hoy en día es empleado y posteriormente desechado. Es ante este panorama que urge un cambio global y que líderes empresariales sean protagonistas del cambio que propone la economía circular que viene de la mano con mejoras, rentabilidad, innovación entre otros factores.

Residuos sólidos, Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Residuos Sólidos (RS). -

Es importante definir claramente que entendemos por residuo sólido; según la definición de Residuo dada por la Real Academia Española RAE este se define en:

“Parte o porción que queda de un todo.”

“Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo.”

“Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación.”

Un RS se define como cualquier objeto o material de desecho que se produce tras la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo y que se abandona después de ser utilizado (Christensen, 2011), estos son susceptibles o no de aprovechamiento o transformación para darle otra utilidad o uso directo. El origen de estos residuos se debe a las diferentes actividades que se realizan día a día, pero la mayor parte de ellos es generada en las ciudades, concretamente en los domicilios donde se producen los llamados residuos sólidos urbanos (RSU), que proceden de las actividades domésticas en casas y edificios públicos como los colegios, oficinas, la demolición y reparación de edificios.

De acuerdo a (Rodríguez L., Pico G., González P., & Acoltzi M., 2014), la generación de RSU está rebasando la capacidad de poderlos reciclar y reutilizar, convirtiéndose esto en un problema medio ambiental, por otro lado los depósitos de basura a cielo abierto son cada vez más grandes y requieren mayor espacio, el problema de la recolección y tratamiento de los RSU, se hace más grande a medida que las ciudades crecen y que la economía se industrializa. Los RSU, según Aglanu & Appiah, 2014) está definido como, los desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, además de los producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público, dentro de los RSU están incluidos los residuos industriales y los hospitalarios, siempre y cuando no tengan características tóxicas ni peligrosas, en cuyo caso constituyen corrientes de residuos de otro tipo que deben ser manejadas según lo establecen las normativas específicas.

Guijarro, (2016), basándose en el informe del Banco Mundial (BM) manifiesta que “...los países que más basura producen del planeta son

*los de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), aportando el 44% de la generación total. Medio Oriente, África subsahariana y Asia Sur son las regiones que menos aportan al nacimiento de nuevos desperdicios mundiales con menos del 18% entre las tres". Aunque hoy en día los países de la OCDE son los que más generan basura, en un tiempo más se espera que China, India e Indonesia pasen a ser los pioneros en generación de basura.*

Esta situación se debe además a que los países de la OCDE son los más eficientes cuando hablamos de reciclaje. Según el informe del Banco Mundial "What a Waste: A global review of solid waste management" (2012), España está en la discreta posición 21 dentro de los 34 países que integran la OCDE, con un 30% de residuos urbanos recuperados. "Alemania ocuparía el primer puesto del ranking mundial, ya que ha demostrado que un 65% de todo el desperdicio municipal fue reciclado y convertido en abono en 2013". Según Eurostat (Comisión Europea de estadísticas), de 353 millones de toneladas de residuos producidos en Alemania en 2012, 152.8 millones se reciclaron, 34 millones fueron a la recuperación de energía, 11 millones fueron incinerados y 63,8 millones fueron a vertederos.

También se puede establecer, que muy de cerca le sigue Corea del sur con un 59% y Eslovenia junto con Austria empatadas con un 58%. En este listado la mayoría de las primeras posiciones son para las económicas europeas.

Estados Unidos es el primer país del continente americano con el 35% de reciclaje de sus desperdicios municipales, seguido de Canadá con 24% y México con apenas el 5%.

Los diez últimos de la lista serían Canadá y la República Checa con un 24%; Israel, Grecia y Japón, un 19%, Eslovenia un 11%; México un 5%;

Chile y Turquía un 1%, de acuerdo con los datos de la organización, el peor resultado lo tiene Nueva Zelanda, cuyos cálculos apuntan a un 0% de residuos reciclados, aunque las autoridades neozelandesas insisten en que se trata de un y los parámetros de medición europeos son distintos a los suyos. Por otra parte, Nueva Zelanda es uno de los impulsores del concepto basura cero.

*Según la fuente y actividad generadora*

### ***Residuos no peligrosos***

Son aquellos producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad, que no presentan riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

### ***Biodegradables***

Son aquellos restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En estos restos se encuentran los vegetales, residuos alimenticios no infectados, papel higiénico, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.

### ***Reciclables***

Son aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre estos residuos se encuentran: algunos papeles y plásticos, chatarra, vidrio, telas, radiografías, partes y equipos obsoletos o en desuso, entre otros.

### ***Inertes***

Son aquellos que no se descomponen ni se transforman en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. Entre estos se encuentran: el icopor, algunos tipos de papel como el papel carbón y algunos plásticos.

### ***Ordinarios o comunes***

Son aquellos generados en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.

### ***Residuos peligrosos***

Es aquel residuo que, en función de sus características de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad, Volátil y Patogenicidad (CRETIVP), puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con residuos o materiales considerados como peligrosos, cuando dichos materiales, aunque no sean residuos, exhiban una o varias de las características o propiedades que confieren la calidad de peligroso

### ***Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).*** -

Para Velázquez P., (2008) la GIRS se entiende como el conjunto de operaciones encaminadas al aprovechamiento de los materiales y la energía contenida en los residuos de forma ambientalmente segura y la eliminación responsables de la parte no aprovechable.

Para Varón Valencia, Orejuela Cabrera, & Manyoma Velásquez, (2015) como para Saball A., (2005)<sup>3</sup>, la gestión integral de los residuos se refiere a todas las acciones relacionadas con el manejo de los mismo, desde antes de su generación hasta su eliminación, cuestión contraría al hábito tradicional de botar todo residuo que se genera. La gestión integral se inicia con la producción de un producto, siendo

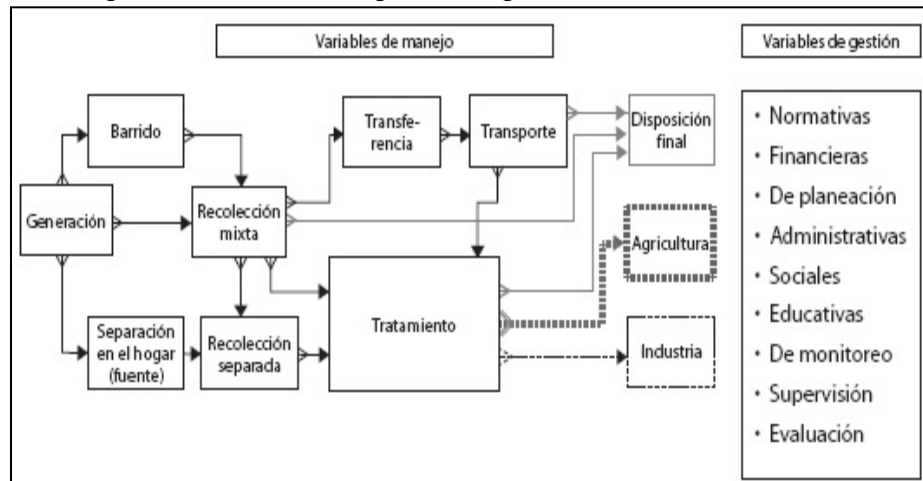
---

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile del año 2005, establecen las políticas para la gestión integral de los residuos sólidos en Chile.

ésta la primera etapa en la cual se debe intervenir para disminuir la cantidad de residuos a generar y por lo tanto a manejar.

Couto & Hernández, (2012), hace referencia a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Mexico (LGPGERS), para definir la GIRS como: “Conjunto articulado e interconectado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (LGPGERS, 2003)”. De igual manera estos autores presentan un diagrama que permite visualizar las distintas variables que interactúan en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos.

Diagrama de variables en la gestión integral de residuos sólidos urbanos



Fuente:(Couto & Hernández, 2012)

## **Diseño Industrial con relación al ciclo de vida de los productos**

Un producto bien diseñado beneficia tanto a quien lo produce como a quien lo utiliza. La preconcepción, etapa previa a la concreción de un producto, es lo que se llama Diseño, actividad en la que se tienen en cuenta todos los aspectos funcionales, en las actividades generales de bienes, procesos y o servicio. Dantas, (2014), cita a Burdeck, (1954), para presentar la primera definición de Diseño como “un boceto concebido por un hombre para algo que se ha de realizar, un objeto de arte aplicado para la ejecución de algo”.

El diseño industrial a lo largo de la historia ha sufrido modificaciones, estas ya sea por aspectos económicos, políticos, ideológicos y hasta ecológicos. De igual manera Dantas, (2014), cita a Van Doren, (1940) para dar la definición de diseño industrial, “se refiere a los productos tridimensionales fabricados exclusivamente por máquinas industriales, diferenciadas de la preparación manual, teniendo como fin exaltar la utilidad a los ojos el consumidor, por medio de una convención y mejor adaptación de forma, adoptando un conocimiento psicológicos del consumidor, en aspectos estéticos de forma, color, tamaño etc.”. Esta definición se mantiene hasta finales de la segunda guerra mundial prolongándose paulatinamente el diseño industrial en las cuestiones estéticas hasta el siglo XX.

Luego la definición diseño industrial fue modificada en 1954 con la reedición del libro de Van Doren, tomando la definición citada por Dantas, (2014) como “Un procedimiento directo para analizar, crear y desarrollar productos para su producción en serie. Su fin es obtener formas cuya aceptación esté garantizada antes que de cualquier aporte de capital y puedan ser fabricadas a un precio que permita una distribución amplia y beneficios razonables”. De aquí se hace

necesario mencionar que estas definiciones fueron creadas en plena época industrial.

El diseño industrial, se puede establecer como una actividad creativa que tiene como objetivo determinar las cualidades formales de los objetos producidos por la industria. Estas cualidades no son solamente las características externas del producto, sino principalmente las relaciones estructurales y funcionales que convierten a un sistema en una unidad coherente desde ambas perspectivas se toman en cuenta ambas perspectivas, la de quien produce y la de quien utiliza el producto. Desde este punto de vista, el diseño industrial abarca todos los aspectos involucrados en el entorno humano que se encuentran condicionados por la producción industrial.

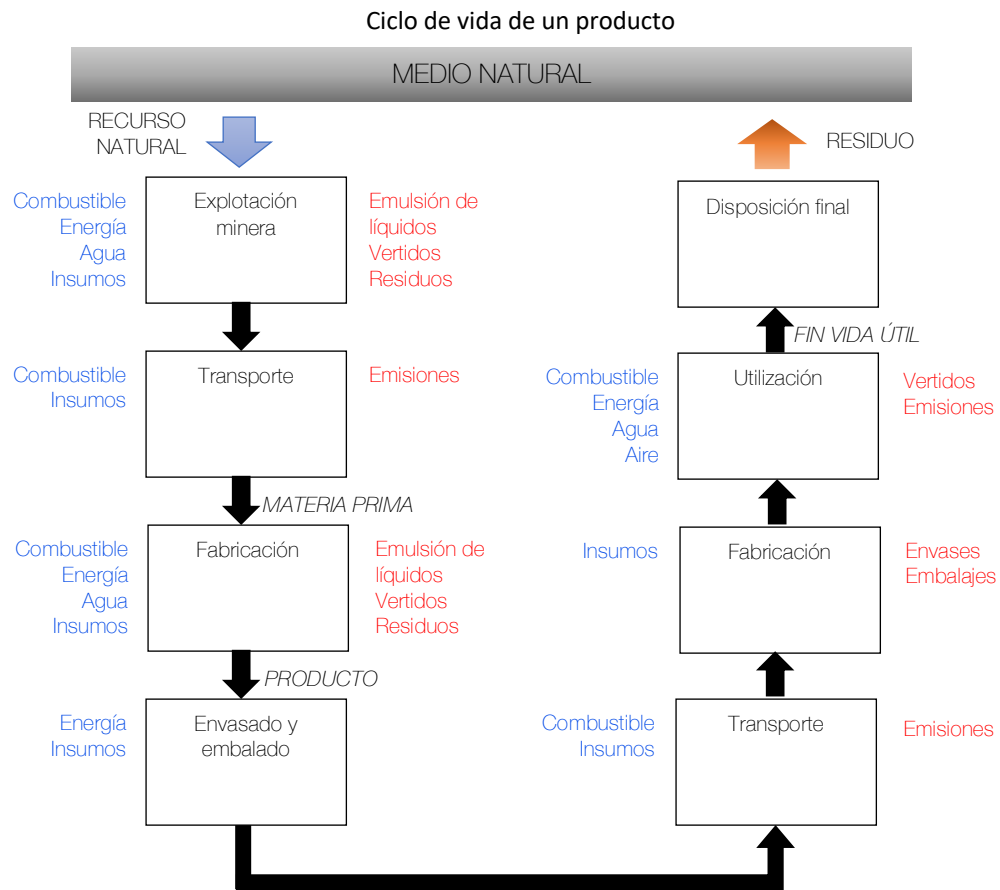
Así el diseño industrial para Gay & Samar, (2004), corresponde a una actividad que tiene relación con el diseño de productos seriados e industriales, estos se pueden diferenciar en dos tipos, bienes de consumo y bienes capitales.

Para Kamp, (2012), el diseño industrial será siempre un mediador entre las necesidades de los usuarios y las necesidades de las industrias y/o empresas, equilibrando el beneficio y las soluciones entre todas las partes. Entre estos equilibrios siempre prima el respeto humano y medioambiental. De tal manera se puede establecer que el diseño industrial, es una de las múltiples herramientas que busca mejorar las cualidades de los productos industriales con un enfoque prioritario de dar respuestas a las necesidades, deseos o aspiraciones que requiere la sociedad y en un segundo plano la forma, funcionabilidad del producto. Esto se relaciona de forma esencial con el ciclo de vida del producto, el uso

racional del producto, los materiales que se utilizan para su fabricación.

El producto se conoce como todo aquello que ha sido fabricado, en este contexto nos referimos específicamente a los productos que son fabricados en una empresa. Para comprender completamente esta dicotomía, se debe conocer de un elemento fundamental como lo es el ciclo de vida de los productos. Cuando nos referimos al ciclo de vida de los productos las mayorías de las definiciones están dadas desde el área del Marketing tiempo de comercialización de un producto (introducción, crecimiento, madurez y declinación); pero existen muy pocas definiciones con relación al tiempo de duración de un producto en mano de un consumidor final o cliente.

Así podemos decir que el ciclo de vida de un producto abarca todas las fases del recorrido que hace un producto desde el origen, la extracción y la transformación de materias primas, la producción, comercialización y uso, disposición final y reúso (entendiendo esto como el reintegro de un producto a la corriente económica). En donde podemos decir, que el diseño industrial es una de las disciplinas, que se encarga a través de métodos de diseño de la proyección del producto, poniendo en consideración los aspectos funcionales, técnicos, productivos, ergonómicos, estéticos, económicos, sociales y ambientales a través de todo su ciclo de vida.



Fuente: (López P., 2010)

### Responsabilidad Extendida del Productor (REP)

Los inicios de la REP en el mundo se dan en la década del 90, en países europeos como Alemania, Suecia o Francia, abordando los temas de gestión de residuos dentro de algunas leyes o normas. En estos últimos años es en donde la REP ha tomado importancia y se ha establecido como tal, para pasar a desarrollarse y aplicarse en varios otros países. Actualmente son 36 los países que cuentan con Ley REP para la gestión de residuos. Se ha establecido una tendencia en la que las economías emergentes están aplicando las políticas de la REP,

además de los países de la OCDE<sup>4</sup>, y también se encuentra en una fase de especificación en varios países en vías de desarrollo como también en África, Asia y Sudamérica.

Para la OCDE, 2016, se trata de un enfoque sobre política ambiental en sentido de que las responsabilidades extendidas de un productor no se limitan a la fase final del ciclo de vida, sino también a otros estados del ciclo de vida del producto donde las responsabilidades convencionales resultan insuficientes para garantizar la óptima protección del medio ambiente.

La REP exige que las empresas que fabrican y/o comercializan productos o envases se hagan responsables financiera o físicamente de aquellos productos una vez agotada su vida útil. Quienes respaldan la extensión de responsabilidad simplemente creen que, para llegar a la causa de origen de los desechos, las comunidades deben dejar de recoger los desechos de los artículos que los fabricantes producen y empezar a exigir que ellos mismos lo hagan.

La responsabilidad extendida del productor es ampliamente aceptada porque constituye una síntesis de enfoques de los sectores políticos de izquierda y derecha. Desde una perspectiva fiscal conservadora, tal extensión de responsabilidad tiene razón de ser, porque elimina los costos de gestión de desechos de la base impositiva y debido a que se basa en el concepto de que la competencia de mercado es más eficiente y eficaz que los programas conducidos por el gobierno. Los más liberales la apoyan porque creen que los productores deberían tener la responsabilidad de prevenir la contaminación. Para ello la empresa requiere de un marco que establezca definiciones y principios que hagan aplicable la introducción de la REP, que

---

<sup>4</sup> La OCDE es la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2001. [www.ocde.org](http://www.ocde.org) .

corresponde a un concepto nuevo que no existe en el ordenamiento jurídico actual en los países que aún no se ha implementado.

### **Estrategias de toma de decisiones en los procesos organizacionales**

Como es sabido cada decisión es el resultado de un proceso complejo que frecuentemente abarca dos tipos diferentes de reflexión: mirar hacia atrás para comprender el pasado y mirar hacia adelante para predecir el futuro. Es por eso, y en base a estos conceptos, que la toma de decisiones se hace importante, ya que si es una decisión acertada puede permitir la mejora de ciertos aspectos, hablando a nivel personal como a gran escala, y a su vez permiten observar donde se erró en caso de que estas decisiones no sean acertadas.

La toma de decisiones en las organizaciones es un aspecto fundamental para lograr que esta llegue a mejorar sus problemas, ya sean de carácter urgentes, mayores e incluso problemas menores. Llegar a estas soluciones sin embargo conlleva analizar meticulosamente los procesos, herramientas y/o modelos que ayudan a las tareas que recaen en administradores, ingenieros, responsables, líderes u otros encargados dependiendo de la organización para así se pueda tomar decisiones respecto de una manera eficaz, es por esto último que las organizaciones no toman las decisiones a la ligera, sino que poseen diversas estrategias estructuradas de manera que se pueda llevar a cabo el objetivo deseado.

La real academia española define las “Decisiones” como **“Determinación, resolución que se toma o se da en una cosa dudosa”**. Por lo general la decisión corresponde a un comienzo o término a una situación, por lo que en otras palabras implica un cambio de estado. Muchos expertos señalan a la decisión como un resultado al proceso mental- cognitivo de una persona o grupo de

individuos, además para completar podemos describir la de toma de decisiones como el proceso que consiste en concretar la elección entre distintas alternativas.

De igual manera la Real Academia Española define a las “Organizaciones” como una **“Asociación de personas regulada por un conjunto de normas en función de determinados fines”**. Las organizaciones hacen referencias a aquellas entidades creadas por personas que comparten similares intereses y que buscan cumplir ciertos objetivos. En una organización cada individuo cumple una función específica y especializada que tiene como finalidad llegar a determinados resultados.

Estrategia: es **“En un proceso regulable, conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento”**. Se utiliza principalmente para hacer referencia a aspectos de la milicia. Los primeros estudios modernos que ligaron el término con los negocios fueron Von Neumann y Morgenstern, en su obra “Teoría del juego”. Definieron la estrategia empresarial como “La serie de actos que ejecuta una empresa, los cuales son seleccionados de acuerdo con la situación concreta” (Mintzberg, Quinn, & Voyer, 1997).

La toma de decisiones es el núcleo de la planeación, y se define como la selección de un curso de acción entre varias alternativas.

Consideramos que el éxito de una organización depende en parte de la rapidez y la habilidad con que se implementen estrategias ya sea en situaciones de crisis o en la implementación de nuevos esquemas modernos que mantengan a las empresas en un nivel competitivo de manera asertiva. Es decir, planear los procesos por los cuales las organizaciones van a lograr el éxito: es elaborar una estrategia que implica la toma de decisiones. (Hernández Romo, 2003)

Las tomas de decisiones en una empresa, tienen que ver con la capacidad de elegir un curso de acción entre varias alternativas, suponiendo un análisis previo que tenga en cuenta cuáles serán los pros y contras de lo elegido. Además de comprender la situación que se presenta, se debe analizar, evaluar, reunir alternativas y considerar las variables, comparar varios cursos de acción y finalmente seleccionar la acción que se va a realizar.

Para aplicar esto se debe tener en cuenta “planes” que permiten concretar las decisiones después de haber determinado e identificados factores que pueden afectar los parámetros de manera de escoger la mejor opción.

Existen 3 tipos de decisiones diferenciables en una organización o empresa:

**Decisiones estratégicas:** estas son adoptadas por los agentes situados en el ápice de la pirámide jerárquica o altos directivos. Estas decisiones se refieren principalmente a las relaciones entre la organización o empresa y su entorno. Son decisiones de una gran trascendencia puesto que definen los fines y objetivos generales que afectan a la totalidad de la organización. Por lo cual son básicamente las fundamentales a la hora de hacer cambios drásticos.

**Decisiones tácticas:** en este caso son decisiones tomadas por directivos intermedios. Tratan de asignar eficientemente los recursos disponibles para alcanzar los objetivos fijados a nivel estratégico. Estas decisiones pueden ser repetitivas y el grado de repetición es suficiente para confiar en precedentes. Sus consecuencias suelen producirse en un plazo no largo de tiempo y son generalmente reversibles.

**Decisiones operativas:** adoptadas por ejecutivos que se sitúan en el nivel más inferior. Son las relacionadas con las actividades corrientes

de la empresa. El grado de repetitividad es elevado: se traducen a menudo en rutinas y procedimientos automáticos, por lo que la información necesaria es fácilmente disponible.

Conocidos por todos es el juego del ajedrez, donde dos jugadores están tomando decisiones de manera constante y tratando de interpretar la jugada de su adversario para así poder ir moviendo sus piezas. La ventaja que presenta este juego, es que sus piezas no todas tienen las mismas habilidades y que su interacción puede beneficiar como perjudicar el transcurso del juego. Tal como define Chávez M., (2003), si el ajedrez se analiza de manera jerárquica, sería muy semejante a un organigrama empresarial.

Según lo que detalla Robbins, Judge, & Brito, (2009) en la toma de decisiones existen dos factores divergentes, los cuales se han mencionado previamente. En el caso de cómo decidir explica que éste consiste de un proceso racional, para el cual, el miembro de la organización encargado de realizar esta actividad, debe ser una persona creativa, ya que comprende mejor los problemas que lo rodean. Este proceso le permite ver de mejor manera las restricciones que existen, lo cual le da un valor a su elección.

La revista Forbes escribe que “Aunque el concepto de desarrollo sustentable o sustentabilidad es fácil de definir, es más difícil de explicar y más complicado de aplicar ya que involucra a todos los sectores de la organización, por lo que las decisiones deben tomarse a los más altos niveles debido a la repercusión que éstas pueden tener en todos sus procesos. De lo que se trata es de realizar acciones, cambiar políticas e involucrar a todos los participantes de la empresa” (Berges, 2013).

## Modelos Generales de logística Reversa e Inversa para la Gestión de Residuos

Para conceptualizar un sistema general aplicado a LI y conocer los procedimientos generales establecidos para la gestión de los residuos sólidos se han revisado autores como, (Giuntini & Andel, 1995), (Matos R., 1997), (Rogers & Tibben-Lembke., 1998), (Schwartz, 2000), (Stock, 2004), (García, 2004), (Knudsen, 2005), (Hevia L., 2008), (Ji, 2008) y (S. Lambert et al., 2011). Con cada uno de estos, se busca describir cronológicamente las contribuciones que han realizado a los sistemas de logística inversa y la fecha en que lo realizaron.

**ETAPAS DE MODELOS GENERALES DE LOGISTICA REVERSA E INVERSA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS**

Autor	1	2	3	4	5	6	7
(Giuntini & Andel, 1995)	Reconocimiento. Identificación	Recuperación	Revisión	Renovación	Eliminación	Reingeniería	
(Matos R., 1997)	Recopilación de datos base	Análisis de la situación actual	Auditoria y diagnóstico	Estudio de alternativas	Selección de alternativas	Implantación y puesta en marcha	Seguimiento y control
(Rogers & Tibben-Lembke., 1998)	Filtro de Entrada	Tiempo de Decisión	Sistema de Información de Logística reversa	Política cero (CRC)	Remanufactura, Restauración, Reciclaje	Negociación y Financiamiento	Externalización
(Schwartz, 2000)	Filtro de Entrada	Colección	Clasificación	Disposición			
(Stock, 2004)	Recepción, Descarga y Distribución	Tratamiento	Clasificación, Inspección y Distribución	Reenvasado, Reparación y Disposición			
(García, 2004)	Evaluación	Reducción de Materiales	Reducción de retornos	Colecta	Clasificación	Colocación	Medición y Control
(Knudsen, 2005)	Diseño Preliminar	Diseño detallado	Planificación	Funcionamiento	Evaluación	Control	
(Hevia L., 2008)	Diagnóstico	Fuentes de generación	Clasificación de los residuos	Identificación de la estrategia a seguir	Determinación del tratamiento o destino	Transporte y Almacenamiento	Medición y Control
(Ji, 2008)	Colección	Producto retornado	Inspección / Clasificación	Evaluación	Tratamiento	Disposición	
(S. Lambert et al., 2011)	Sistema de coordinación productos retornados	Filtro de Entrada	Colección	Clasificación	Procesamiento y Tratamiento	Información Integral	Sistema de eliminación

Fuente: Elaboración propia

Revisando los modelos propuestos por cada uno de estos autores, los cuales dan a conocer las modificaciones planteadas a través del

tiempo a los procesos establecidos como generales para la gestión de los residuos sólidos, podemos apreciar los modelos conceptuales diseñados por algunos de estos precursores de LI.

Autores como Giuntini & Andel, (1995); Rogers & Tibben-Lembke., (1998); Schwartz, (2000); Marcoux, Riopel, & Langevin, (2005) y Stock, (2004), proponen un sistema RL siguiendo cuatro pasos principales: gatekeeping (entrada), recogida, clasificación y eliminación. Cada una de las actividades que se realiza en un sistema de LI están interconectadas y son necesarias para la implementación exitosa de estos pasos. Estos cuatro pasos se discuten a continuación.

Primer paso, entrada al sistema LI (reconocimiento de una devolución del producto). Rogers & Tibben-Lembke., (1998) lo definen como decidir qué productos están autorizados a entrar en el sistema, este paso es esencial para tener éxito en la gestión del sistema y el control de costes. Segundo paso, agrupación preliminar de los productos reconocidos como defectuosos o que hayan terminado su ciclo vida. Tercer paso, decisión detallada para el destino de cada artículo devuelto. En ese momento, la empresa puede decidir qué hacer con el producto, sea objeto de inspección, pruebas, u otras manipulaciones. Cuarto y último paso, selección de la disposición (destino final del producto); por otra parte, Giuntini & Andel, (1995) dan dos alternativas de destino: (1) renovación o retirada del proceso, tales como el retorno al proveedor y la reventa; (2) disposición final en vertedero.

LI gestiona el retorno de las mercancías en la cadena de suministro, de la forma más efectiva y económica posible. Se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos; así como de los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios

estacionales. Se han generados otros modelos operacionales para cada uno de los fines anteriormente descritos, Principalmente modelos que buscan disminuir excesos de los inventarios (devoluciones de los clientes, productos obsoletos, etc).

Revisión de la literatura con respecto a los modelos de logística Reversa e Inversa.

Esta revisión se encuentra limitada a publicaciones en revistas científicas, correspondiente al periodo 2010 hasta enero del 2016, en donde se ha encontrado una variedad de aportaciones respecto al tema de la logística reversa e inversa, para esta revisión se tomó como referencia el estado del arte de las publicaciones de Flórez Calderón et al., (2012) y Peña Montoya et al., (2013)..

Clasificación de Aportes Encontrados

Del 2010 al 2016	TEMAS ENCONTRADOS
16	ESTUDIO TEÓRICO EXPLORATORIO
11	MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA MIXTA
3	MODELO DE ALGORITMO GENÉTICO E HEURISTICO
2	MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE
6	MODELO MATEMÁTICO
1	MODELO DE DECISIÓN POR FALLO.(CAUSA Y EFECTO)
1	MÉTODO DE TOMA DE DECISIONES (DEMATEL)
3	MÉTODO HÍBRIDO USANDO EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) Y LA TÉCNICA FUZZY
1	DIAGRAMA DE SISTEMAS CASUALES
1	MÉTODO DELPHI
1	ANÁLISIS DE REGRESIÓN JERÁRQUICA
1	MODELO DE RED

Fuente: Elaboración propia

## Estudios Teóricos Exploratorios

Describe los aspectos relevantes de las investigaciones de tipo teórico exploratorio. Son una gama de estudio que realizan una revisión y análisis de la evolución de la LI.

Estudios Teóricos Exploratorios

Autores	Aspectos Fundamentales
(Gomez M., 2010)	Enfoque conceptual LI; procesos y aplicaciones en los niveles nacional e internacional, incluyendo la relación con la Gestión de Cadena de Suministro Verde
(Maheut, 2011)	Flexibilidad en la toma de decisiones operacionales en el contexto de planificación y gestión en las cadenas de suministro.
(Genchev, Richey, & Gabler, 2011)	Estado de desarrollo LR; potencializar la identificación de sus diferentes áreas en las diferentes industrias
(Bernon, Rossi, & Cullen, 2011)	Marco conceptual para la gestión de las operaciones LI, para ayudar a los profesionales y académicos en una mejor comprensión de los aspectos claves de la administración de la LR.
(Gómez M., Correa E., & Vásquez H., 2012)	Análisis de la relación entre la LI y la responsabilidad social como estrategia para reducir los impactos en el medio ambiente, aumento de los beneficios sociales, seguridad en los empleados, clientes y comunidad a través del estudio de empresas en la zona metropolitana de Antioquia
(Mihi R., Arias A., & García M., 2012)	Análisis de la implantación de prácticas LI en empresas españolas, estudiando la situación actual con el objetivo de examinar aquellas que están influyendo de manera más significativa en la gestión de las actividades LI.
(Stindt & Sahamie, 2012)	Descripción y análisis de las principales características en la planificación de las cadenas de suministro de ciclo cerrado en la industria de procesos; con el fin de determinar la evolución y dificultades de la investigación actual en el tiempo.
(Valenzo J., Galeana F., & Martínez A., 2013)	Exploración teórica de las principales publicaciones LI en donde se revisan casos exitosos de la industria automotriz, electrónica, comercio al detalle, reciclaje de plásticos y mejora de la competitividad empresarial en México.
(Hall, Huscroft, Hazen, & Hanna, 2013)	Discusión sobre las métricas apropiadas para el proceso LR. A través del análisis de las métricas utilizadas para monitorear y controlar los procesos LR que permiten a las empresas poder identificar las deficiencias, y elegir las métricas que se pueden emplear para alinear los procesos LR con metas claras.

(Moraes, Rocha, & Ewald, 2014)	Dos escenarios para evaluar LI en teléfonos celulares, utilizando la técnica de análisis de ciclo de vida. En el primer escenario, sólo las baterías son tratados en Brasil, mientras que los otros componentes son tratados en Europa. Este escenario describe el estado actual del tratamiento de residuos de teléfonos celulares en Brasil. En el segundo escenario se presentó una propuesta en la que se lleva a cabo todos los tratamientos en territorio brasileño.
(Govindan et al., 2015)	Revisión de literatura de los trabajos recientes en LI, y de las técnicas utilizadas, que permitan dibujar un marco del pasado, y para arrojar luz sobre las direcciones futuras que se deben aplicar en LI.
(Guarnieri, Sobreiro, Nagano, & Marques Serrano, 2015)	Identificación de criterios principales, sobre los métodos sistemáticos que se pueden utilizar con el fin de seleccionar la más adecuada participación de terceros proveedores en LI - 3PRLP. Proposición de un marco basado en criterios de múltiples enfoques para seleccionar 3PRLP.
(Rezaei, 2015)	Desarrollo de una base de conocimientos fiable a través de la acumulación de conocimientos a partir de estudios anteriores, se realizó una revisión sistemática de las aplicaciones de los diferentes métodos de decisión multicriterio MCDM a diferentes problemas LI.
(Agrawal, Singh, & Murtaza, 2015)	Revisión de la literatura sobre los temas de LI, que permitan delinear las futuras direcciones de investigación basada en el análisis de brecha que se han establecido en la literatura.
(Estrada Jerez et al., 2015)	Revisión de literatura, para establecer la importancia de LI dentro de la industria enfocada a procesos sustentables.
(Bing et al., 2016)	Comparación entre RSU y las prácticas de gestión municipal en varios países de la Unión Europea, para la identificación de las características y aspectos claves de una gestión de residuos y LI. Revisión de literatura para el modelado de la logística de RSU en general. Fuente: Elaboración propia

## **Diseño de Modelos para Logística Inversa**

Con respecto a los diferentes modelos y metodología investigados, relacionados a la LI, los diferentes métodos solución propuestos por algunos autores, para los problemas específicos de la logística inversa, como son las devoluciones, transporte, Inventarios, tipos de proveedores entre otros problemas identificados en la búsqueda exploratoria:

### Modelos y metodologías aplicadas para logística inversa.

Autores	Tipo de Problema	Método de Solución
(Jack, Powers, & Skinner, 2010)	Capacidades de LI y su influencia en las empresas para alcanzar los ahorros de costos.	Modelo Análisis de Regresión Múltiple.
(XiaoYan, Yong, Qinli, & Stokes, 2012)	Diseño de red de LI para hacer frentes a productos devueltos por clientes de empresas que utilizan el comercio electrónico.	Modelo Matemático con Programación Lineal
(Bing, Bloemhof-Ruwaard, & Vorst, 2012)	Diseño de una red de LI para el reciclaje de plástico.	Modelo de Programación Lineal Entera Mixta.
(Huscroft, Hazen, Hall, & Hanna, 2013)	Uso de las tecnologías de información para apoyar los procesos de LI dando como resultado mejoras en el rendimiento del proceso.	Modelo Análisis de Regresión Múltiple
(Hejrani & Ko, 2013)	Gestión eficiente en el manejo de residuos médicos que permitan minimizar los costos de mantenimiento.	Modelo de Algoritmo Genético
(Huscroft, Hazen, Hall, Skipper, & Hanna, 2013)	Identificación de los temas claves que enfrentan los profesionales de la gestión de los procesos de LI y comparación de estos temas con investigación existente.	Método DELPHI
(Turrissi, Bruccoleri, & Cannella, 2013)	Análisis del impacto de LI en orden y amplificación de la varianza inventario en la cadena de suministro de un solo escalón: proposición de un nuevo orden político para amortiguar dicha amplificación.	Modelo Matemático por Ecuaciones Diferenciales
(Lin, Choy, Ho, & Ng, 2014)	Un esquema de transporte ecológico, más completo para cuando se realizan servicios de logística, que permita obtener costos económicos y minimizar los impactos ambientales de la LI.	Modelo de Algoritmo Genético
(Hsueh & Lin, 2014)	Clasificar las alternativas para la implementación del proceso de clasificación de la LI en la industria fotovoltaica aguas abajo.	Modelo de Red
(Niknejad & Petrovic, 2014)	Control de inventario y de optimización de la planificación de la producción.	Modelo de Programación Entera Mixta
(Roghianian & Pazhoheshfar, 2014)	Diseño de una red de LI para satisfacer las demandas de los centros de fabricación y centro de reciclaje a menor costo.	Modelo de Programación Lineal Entera Mixta Probabilística
(Suyabatmaz, Altekin, & Şahin, 2014)	Diseño de la red de distribución de un proveedor de LI para terceros.	Modelo de Programación Entera Mixta.
(Matar, Jaber, & Searcy, 2014)	Reducir la cantidad de botellas de plástico que se desechan en los vertederos.	Modelo Matemático
(Kumar, 2014)	Toma de decisiones para análisis de casos respecto a la retirada de los productos alimentos.	Modelo de Toma de Decisión por Fallo (causa y efecto)
(Shaik & Abdul-Kader, 2014)	Mejorar el rendimiento de la red de LI en la devolución de productos, durante su ciclo de vida.	Modelo o Método (DEMATEL)

(Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014)	Evaluar y seleccionar el mejor contratista de LI.	Método híbrido usando el proceso analítico jerárquico (AHP) y la técnica FUZZY).
(Narayana, Elias, & Pati, 2014)	Análisis sistémico de la compleja interacción de factores que afectan a la LI, en los procesos de la cadena de suministro farmacéutica.	Modelo Diagrama de Sistema Causales
(Huang & Yang, 2014)	Perspectivas en LI utilizadas para el desarrollo de investigaciones: desarrollo sostenible, teoría de recursos naturales y la innovación verde. Estas perspectivas permiten examinar la relación entre la innovación, el desempeño ambiental y económico; al tiempo que incorpora la teoría institucional para verificar cómo las presiones institucionales moderan estas relaciones.	Método Análisis de Regresión Jerárquica
(Hazen, Overstreet, Hall, Huscroft, & Hanna, 2015)	Identificar las métricas de LI con el fin de monitorear el desempeño de estos procesos a lo largo de toda la cadena de valor, en especial la interacción entre proveedor y el cliente en el cumplimiento de la regulación de residuos.	Método Mínimos Cuadrados Parciales Modelos de Ecuaciones Estructurales
(Capraz, Polat, & Gungor, 2015)	Generar mejores decisiones a nivel operativo para recibir y manejar los waste electrical and electronic equipment (WEEE) para las instalaciones de reciclado.	Modelo Programación Lineal Entera Mixta
(Belluco M., Alem, Santos, Lage J., & Moreno, 2015)	Problemas en el tamaño de lotes híbridos (fabricación y refabricación), los productos remanufacturados son tratados como otros nuevos, por lo que ambos productos híbridos compiten para satisfacer las demandas.	Modelo Programación Lineal Entera Mixta
(Sifaleras, Konstantaras, & Mladenović, 2015)	Problema económico en LI, respecto al tamaño de los productos devueltos y recuperados.	Modelo Algoritmo Metaheurístico Variable.
(Bazan, Jaber, & El Saadany, 2015)	Implicaciones ambientales en la cadena de suministro que se presentan en un entorno de LI.	Modelo Matemático Desarrollo de Función de Costo Total que se Minimiza
(Ferri, Diniz Chaves, & Mattos Ribeiro, 2015)	Red de LI que participa en la gestión de los RSU, para resolver esto, la gestión financiera de estos residuos debe tener en cuenta los últimos requisitos legales de la política de gestión de residuos de Brasil.	Modelo Matemático Genérico
(Choudhary, Sarkar, Settur, & Tiwari, 2015)	El diseño de una red óptima de la cadena de suministro juega un papel vital en la determinación de la huella de carbono. Por lo tanto, la red LI debe ser planteada de tal manera que podría minimizar el costo y la huella de carbono total.	Modelo Matemático de optimización cuantitativo
(Zhou & Zhou, 2015)	Modelo de programación entera no lineal para determinar la ubicación, número de plantas y de estaciones de reciclaje con el objetivo de minimizar el coste total.	Modelo de Programación Entera no Lineal
(Moghaddam, 2015)	Desarrollo de un nuevo modelo para la selección de proveedores en un sistema de LI.	Modelo Matemático FUZZY Multiobjetivo

(Yadegari, Najmi, Ghomi-Avili, & Zandieh, 2015)	Importancia en los costos de transporte y la satisfacción del cliente, impulsan el interés de los investigadores para el desarrollo de un modelo de diseño de red flexible con diferentes líneas de suministro.	Modelo de Programación Entera Mixta. Algoritmo Memético
(Kilic, Cebeci, & Ayhan, 2015)	Diseño de redes de LI para los residuos eléctricos y electrónicos en Turquía.	Modelo de Programación Lineal Entera Mixta.
(Bouzon, Govindan, Taboada Rodriguez, & Campos, 2016)	Identificación y evaluación de las barreras para la implementación de LR en Brasil.	Método FUZZY DELPHI y proceso analítico jerárquico AHP
(Demirel, Demirel, & Gökçen, 2016)	Modelo mixto lineal entera de programación (MILP) para el diseño de la red LI, incluidos los diferentes actores que participan en el sistema de recuperación de vehículos al final de su vida útil (VFU).	Modelo de Programación Lineal Entera Mixta

Fuente: Elaboración propia

A través del análisis de 47 artículos seleccionados entre los años 2010 y enero del 2016, se ha identificado que 34,04% corresponde a estudios exploratorios sobre LR y el 65,96% restante de los artículos analizados, son aplicaciones de modelos y métodos para solucionar problemas específicos de la logística en mayor parte a retornos por devoluciones. En función de los resultados se puede afirmar que el método de solución más utilizado son los modelos de programación lineal entera mixta, también se puede expresar que la logística inversa, cada vez más constituye un motivo de interés científico y práctico para la ciencia de las cadenas de suministro y la logística. Se resalta así, otros problemas que todavía son motivos de investigación como el manejo de la incertidumbre en la cantidad y la calidad de los productos y materiales recuperados, así como la demanda, precios y la generación de los mismos, la inclusión de estos procesos en las decisiones del ciclo de vida de los productos, la medición de los impactos ambientales, económicos y sociales derivados de los procesos de la logística inversa y su utilización en los modelos cuantitativos para apoyar la toma de decisiones.

## **Prácticas internacionales de logística inversa**

Como bien lo explica Rubio Lacoba, (2003), en su tesis doctoral de Sistema de Logística Inversa en la empresa: Análisis y Aplicaciones diciendo “Desde hace ya algunos años, las empresas han ido tomando conciencia de las oportunidades que plantean los productos desechados por los consumidores: envases y embalajes, aparatos eléctricos y electrónicos, vehículos, neumáticos, etc. La recuperación de estos productos fuera de uso estaría generando un beneficio para las empresas y, simultáneamente, se estaría dando solución al problema de la adecuada eliminación de los residuos resultantes en el consumo.”

## **Procesos de los flujos inversos de papel fuera de uso**

Todos en algún momento de la vida hemos utilizado el papel de una u otra forma. Pero muy pocos saben sobre sus inicios y mucho menos saben sobre si este material posee logística inversa en las empresas que lo fabrican. El papel en términos generales es un material delgado que se fabrica por medio del entretrejido de fibras de celulosa vegetal, papel reciclado, residuos de caña, entre otros materiales.

La primera vez que se fabricó papel, fue en el año 105 por Cai Lun, un eunuco de la corte Han oriental del emperador chino Hedi. El papel más antiguo conservado se fabricó con trapos cercanos al año 150. Durante más o menos 500 años, la técnica de cómo fabricar papel estuvo sólo en conocimiento de China (Curley, 2010). El papel en Europa fue incorporado por los árabes, quienes en el siglo VIII hicieron prisionero en el Turquestán a soldados chinos, los cuales

conocían la fabricación de éste. Los musulmanes mejoraron la técnica de producción del papel, utilizando materiales como algodón, lino y cáñamo. Así las características del material del papel a simple vista tenían aspecto algodonoso, poseía menos cuerpo y se desgarraba con facilidad. El papel era más ligero, suave y de superficie (Castillo V., 2003).

En el siglo XIII los holandeses inventaron una máquina que entregaba una pasta de mejor calidad, más refinada y en menos tiempo. Hasta el siglo XVII, la fabricación del papel podía ser considerada como una labor individualizada y artesanal, que no alteraba mayormente en la estabilidad y la salud ecológica de los ecosistemas naturales, debido al escaso volumen de demanda y de producción (Castillo V., 2003).

Desde el año 1660, la industria papelera comienza un acelerado crecimiento, con un ritmo bastante apresurado, de la mano de descubrimientos de la ciencia y avances técnicos, claro ejemplo de ello lo es la creación de la imprenta Gutenberg, que para Caballero, (2016) este invento aportó con lo referente a la calidad y texturas que debe tener el papel. El desarrollo y la expansión de la cultura, catapultaron al papel como un material usado de soporte comunicacional de masas en el ámbito mundial, lo que trajo consigo un alza en el consumo del papel de fibra vegetal y con ello el abuso y el desgaste de los bosques del planeta. Alrededor de 1840, se inventó la primera máquina que tenía por objetivo triturar la madera para luego generar una pulpa. Unos diez años después, se conoció el proceso químico para este fin.

La industria papelera centra sus investigaciones en la explotación racional de los bosques, utilizando un proceso de fabricación en el que intervienen factores como la física de superficie, la mecánica de fluidos y de materiales compuestos, la termodinámica y sobre todo la

química. Luego de añadir aditivos químicos, se consigue una pasta química que es la materia prima o base para la fabricación del papel blanco normal o de fibra virgen (Jódar, 1998).

Cada proceso en la producción del papel aporta elementos no deseables en la industria, como lo son el derroche de recursos, tanto en materiales como también en el ámbito energético y la contaminación ambiental. Por lo que, si se estudia el sistema de fabricación con papel reciclado, se puede observar que este proceso es similar al del papel blanco, pero en este caso la materia prima es el residuo de papel.

En América Latina la fabricación del papel tuvo sus inicios en las últimas dos décadas del siglo XIX, con empresas como Companhia Melhoramentos de São Paulo, la sociedad anónima La Argentina y la papelería San Rafael, fueron los principales establecimientos dotados de maquinaria moderna contando con buena capacidad de producción en toneladas (Badoza & Belini, 2013).

La industria papelería siempre ha estado en constante desarrollo y durante el siglo XX alcanzó elevados niveles de producción. Países como Estados Unidos y Canadá son unos de los mayores productores mundiales de papel, pulpa y productos papeleros.

Es debido a factores económicos y también ambientales, que rápidamente ha ido aumentando cada año la utilización de fibras secundarias o recicladas para la producción del papel. Ambientalmente, la producción de papeles reciclados tiene una importante participación ya que disminuye el impacto ambiental de producción de basura, tomando toneladas de lo que sería residuo y convirtiéndolas en un importante producto en la industria a nivel mundial. Utilizando el método del reciclaje se obtienen varias ventajas, claro ejemplo de ello es la menor cantidad de energía y

recursos hídricos que se requiere, así como también la disminución de la contaminación atmosférica, que actualmente es un tema discutido mundialmente y en donde se tiene como objetivo disminuir cada vez más la emisión de gases del efecto invernadero y la reducción o estancamiento del calentamiento global (Ziglio, 2002). Específicamente si se reciclara la mitad del papel que se utiliza en La Tierra se salvarían más de 80.000 kilómetros cuadrados de árboles, esto equivale a casi el total de la superficie de Austria. Además, por cada tonelada de papel que se reutilice se salvan 17 árboles aproximadamente, se ahorran más de 30.000 litros de agua y se reducen alrededor de un 60% menos de energía que si se fabricara papel nuevo.

### **Prácticas Internacionales**

De modo de detallar y resaltar factores que se destacan en lo que se refiere a la logística inversa del papel, existen varios países los cuales tienen un cierto grado de desarrollo en esta materia.

### **Colombia**

El porcentaje de utilización de papel reciclado en toda la Industria de cartón y papel en Colombia es del 62% del total de las fibras requeridas para la producción, cada día se torna más complejo, ya que lo recuperado retorna con diferentes materiales, tales como adhesivos, tintas, metales, etc. La industria Papelera en Colombia ha realizado inversiones importantes en tecnología para permitir limpiar estas fibras de los elementos mencionados anteriormente.

La materia prima básica para la producción de papeles y cartones es la celulosa, que se puede obtener como pulpa de fibras vegetales y en el papel reciclado. En este país, las fibras más usadas son el papel reciclado con un 59%, la pulpa de madera con un 27% (incluyendo la pulpa para productos absorbentes y la pulpa de bagazo de caña de

azúcar con un 14%). Igualmente se usa pulpa de fibras especiales, como linteles de algodón, pero en cantidades inferiores al 0,5% del total de fibras (Castellón Vallejo, Ramírez Guerrero, & Jarrin Quintero, 2012).

### **Suiza**

Suiza ha logrado ser uno de los países que más recicla a nivel mundial, y eso es gracias a fuertes iniciativas que promueven esta práctica. Dentro de los principales logros es posible destacar que Suiza recicla el 51% del total de sus residuos urbanos, de los cuales más del 80% del papel se recicla, lo que equivale a 160 kilos de papel usado por persona al año (Mouthon, 2016). Pero Suiza para llegar a estas cifras creó medidas para elevar los resultados de recolección, entre sus medidas dos son las que destacan:

Ubicar contenedores en diversos lugares, especialmente en zonas transitadas como supermercados.

Quien tira basura no reciclable paga e infringe la ley, mientras que reciclar es gratis y obligatorio.

Es importante destacar que desde el año 2000 lo que no puede ser reciclado o usado como abono se quema en unos modernos incineradores que producen una polución ambiental mínima y generan electricidad para aproximadamente 250.000 hogares.

### **México**

Por su parte, en México la recuperación de materiales reciclables parece haberse masificado durante las décadas previas respecto de otros países latinoamericanos, en reciclaje de papel, México es uno de los líderes mundiales.

En México se producen cerca de 22 millones de toneladas de papel al año, de las cuales más del 88% provienen de papel reciclado, ya sea de residuos de maderas como astillas y ramas. El restante 12% se

obtiene de árboles nacionales y extranjeros, así como de fibra de madera virgen.

El nivel de reciclado de fibra secundaria únicamente nacional también ha mejorado en los últimos años. Las estadísticas refieren que por cada tonelada de papel que se consume en México se recolecta cerca de 57%, cuando en 2006 era 45% (Zarrabal, 2014).

### **Estados Unidos**

La American Forest & Paper Association ha anunciado que el año 2009, Estados Unidos alcanzó una tasa de reciclado de papel de 63,4%, superando cómodamente el objetivo de la industria de reciclar el 60% del papel consumido tres años antes de lo previsto (Aspapel, 2010).

Debido a que los productos de papel y cartón representan la mayor parte de su flujo de residuos sólidos, en el año 2010 los productos de papel y cartón representaron cerca de 71 millones de toneladas o el 29% de todos los materiales en el centro de basura municipal. En ese mismo año, se reciclaron casi el 63% o casi 45 millones de toneladas de todo el papel que los estadounidenses han utilizado.

Sin embargo, la asociación comercial dijo que la cantidad total de papel que se consume cada año y con la demanda de fibra recuperada en aumento, la mayor inversión en programas de recogida de papel y las instalaciones de reciclaje sigue siendo una prioridad para la industria estadounidense.

### **Argentina**

En los últimos tiempos se ha tomado conciencia de que la industria papelera utiliza recursos renovables y que su producto es reciclable. En Argentina se produjo un crecimiento del consumo de material reciclado en la última década, llegando ya al 50 % sobre el material consumido. El material reciclado es usado como materia prima

especialmente en los papeles para embalaje, los que corresponden a cerca del 60% del papel total consumido.

### **Brasil**

El mercado brasileño en los últimos años comenzó a mirar el papel diferente. Además de ser un material renovable, el papel es uno de los productos que tienen una mayor tasa de reciclaje en Brasil. Según datos de la Asociación Brasileña de celulosa y papel, 45,5% de todos los documentos que circularon en el país en 2011, fueron enviados a reciclaje.

El reciclaje de papel en Brasil hoy en día es algo muy importante, ya que promueve la reducción del consumo de recursos naturales y reduce además el volumen de residuos que actualmente se depositaron en el suelo.

La cadena de producción que implica esta actividad genera puestos de trabajo y renta en la economía. Bajo el punto de vista económico, la actividad reduce los costos de producción, distribuye riqueza y promueve la recuperación de materias primas que se incluirán de nuevo en el ciclo de consumo.

### **Alemania**

En Alemania, la capacidad industrial le permite reciclar anualmente 16,5 millones de toneladas de papel usado, siendo líder en reciclaje del papel. Acá el aporte de la ciudadanía es bastante beneficioso a la hora de reciclar, ya que en la mayoría son empresas externas que están encargadas del reciclaje. Cada casa o edificio de departamentos dispone y gestiona sus propios contenedores que se encuentran generalmente a pie de la calle o en un patio interior comunitario. En cualquier pueblo o ciudad alemana se pueden observar grandes contenedores, llamados "Papiercontainer", destinados al reciclaje de todo tipo de papel.

El país germano posee el mejor sistema de separación de residuos de toda Europa e incluso del mundo, siendo de los primeros países en ranking de reciclaje. Todo ello, logrado mediante fuertes campañas de reutilización y reciclaje, creando una gran conciencia medioambiental (Tapia Z., 2014).

En lo que comprende al continente europeo, en primer lugar se posiciona Alemania con alrededor de 16,5 millones de toneladas de papel reciclado anualmente, según boletín informativo de ASPAPEL<sup>5</sup>, seguido por Francia, Italia y España con más de 5 millones cada una, en un tercer puesto se encuentra Reino Unido quien recicla 3,7 millones de toneladas de papel, le siguen Austria (2,7) Países Bajos (2,2) Suecia (1,8) Polonia (1,5) y Bélgica (1,2). Lo que sitúa a dicho continente como la región líder a nivel mundial en la materia debido a la gran capacidad recicladora de la industria continental.

### **España**

De los 135 kilos de papel que un español consume al año como media, se recoge un 71,9% (96 kilos) del papel usado y se reciclan aproximadamente 5,1 millones de toneladas de papel, evitando la emisión de 4,1 millones de toneladas de CO2 a la atmósfera.

Por cada 10 kilos de papel que se fabrica en España se utilizan como materia prima 8,4 kilos de papel usado, a simple vista parece un número bajo, pero en comparación a otros países del mundo, es un número bastante favorable, y que año a año va en aumento.

En este país el 99% de la población tiene acceso a la recogida selectiva, existe alrededor de 1 contenedor por cada 239 habitantes.

En el año 2014 cada habitante depositó 14 kilos de papel y el resto fue aportado por empresas, tanto públicas como privadas.

---

<sup>5</sup> ASPAPEL (Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón) es una organización profesional de ámbito estatal, que agrupa a las empresas del sector de la celulosa y el papel. <http://www.aspapel.es/>

Dado que algunos papeles no entran en el ciclo de reciclaje porque algunos se guardan (como los libros en las bibliotecas) o porque se destruyen con su uso, se estima que el potencial real de recogida de papel para reciclar está actualmente en torno al 85% del consumo. Además, existe una instancia denominada REPACAR, Congreso Nacional de Reciclaje de Papel de la Asociación Española de Recuperadores de Papel y Cartón, en donde expertos internacionales analizan nuevas oportunidades y potencial del crecimiento de empleo que relaciona este sector.

### **Chile**

Existen diversas empresas en Chile en la industria papelera que realizan el reciclaje del papel tales como Eco-lógica, Comercial Ecobas Ltda., Recupac S.A., Sociedad de Servicios Industriales Ltda, Reciclados Industriales Ltda, siendo las más importante la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, CMPC. Esta última en un comienzo compraba el material, pero debido a los grandes volúmenes de materia con la que trabajaba, decidió crear una empresa subsidiaria SOREPA<sup>6</sup>, la cual se encarga de recolectar la mayor parte de papel y cartón para su posterior reciclaje en CMPC (Lange & Urrutia, 2007). Las actividades que lleva a cabo SOREPA y en general las empresas chilenas en el proceso de reciclaje del papel se clasifican en cinco partes principalmente:

Recolección: Empresas intermediarias (por ejemplo, SOREPA) compran papel o materia recolectada por personas.

Clasificación: Las empresas clasifican el papel en distintas categorías, por ejemplo, papel de diario, papel café y blanco, cada papel tendrá un valor monetario distinto.

---

<sup>6</sup> Sociedad Recuperadora de Papeles S.A., creada en el año 1972 con el objetivo de desarrollar el mercado de la recolección de papeles y cartones, y su reciclaje.

Enfardado: Los papeles ya clasificados por tipo de papel son enfardados y posteriormente pesados.

Almacenamiento: Los fardos son almacenados en las empresas clasificadoras.

Transporte: Los fardos de papel reciclado son transportados a las empresas fabricadoras de papel.

Ya finalizadas éstas actividades la materia (papel) entregado por las empresas recolectoras a las empresas que fabrican papel, está listo para utilizarse como materia prima de nuevos productos.

Con el papel reciclado se producen en Chile 320 mil toneladas anuales de papeles de embalaje, cuya materia prima son cajas de cartón corrugado usadas y diarios viejos. También son fabricados con papel reciclado los papeles tissue, cartulinas, algunos papeles de impresión, y papeles de envolver.

Según el Secretario General de empresas CMPC, el año 2013 CMPC consumió 739.000 toneladas de papeles reciclados, lo que implicó que un 43% de la producción total de papeles de la compañía estuvo basada en fibras recicladas.

Otra industria importante en el proceso de reciclaje de papel y cartón es empresas COIPSA S.A., la cual es un holding chileno creado el año 1969 y se encarga de la fabricación de papel, generación de energía renovable, reciclaje de residuos y la elaboración del producto terminado a través de sus filiales RECUPAC, Compañía de Papeles del Pacífico y CORRUPAC. Estas empresas se preocupan de los residuos que cada una produce por medio de proyectos, los cuales contribuyen al reciclaje por parte de los proveedores y clientes.

Cabe mencionar que el reciclaje chileno ha ido en aumento. En el año 2013 hubo 474.650 toneladas de papel y cartones en el año, de los cuales el 82% fueron reciclados, de ellos solo el 8% correspondía a

reciclaje domiciliario, porcentaje bajo debido a la poca conciencia e incentivos que posee la sociedad para realizarlo.

Chile está muy alejado a las cifras que manejan países como Alemania o España en cuanto a la recuperación del papel, por lo que se debe incentivar más a la comunidad a recolectar el papel usado y por supuesto otros materiales que puedan ser reutilizados, para así disminuir los impactos ambientales que estos pueden causar al medio ambiente. Es de gran importancia que en Chile se implementen medidas en materia de reutilización y gestión de los residuos más sostenibles.

### **Procesos de los flujos inversos de vidrios fuera de uso**

Además del papel que ha desempeñado en la vida cotidiana, el vidrio ha tenido una trascendental participación en el desarrollo de la tecnología y de nuestra concepción de la naturaleza. Gracias a él sabemos cómo son los microorganismos, a través del microscopio; cómo es el Universo, con el uso de los telescopios; cuál es la naturaleza del átomo y el dinamismo de una célula viva. La variedad de usos que se le ha encontrado solamente está limitada por la capacidad y el ingenio del hombre. Su versatilidad es difícilmente sustituible, por lo que su estudio se vuelve más interesante (López & Martínez, 2012).

El vidrio es un material inorgánico, que tiene una gran dureza, es frágil, generalmente transparente y se le puede dar un gran número de usos. Su proceso es bastante modificable y dependiendo de la técnica utilizada se puede obtener una infinidad de formas, por consecuencia de esto se puede aplicar en diversos campos por su opción de formarlo a gusto.

El vidrio es un material proveniente de la mezcla de arena sílice, Carbonato Sódico, Piedra caliza, Feldespato, Ácido Bórico, óxido de

calcio y oxido de sodio, entre otros, dependiendo de las características que se desee serán las materias primas que lo componen. Luego de mezclados, la nueva mezcla es ingresada a hornos de alta temperatura, donde se funden a 1500°C, luego de este punto el material se encuentra listo para ser formado, puede pasar por procesos de inyección - soplado (elaboración de botellas), por flotación en estaño (vidrio plano), estiramiento (para dar formas un poco más complejas), entre otros, estos procesos son trabajados entre 800°C y 1100°C, según el artículo y el producto final, luego pasa al proceso de Recocido, lugar donde se impide la tensión del material (Gutiérrez A., 2015).

El vidrio es un material 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero (Gutiérrez A., 2015).

Uno de los mayores usos del vidrio es en forma botellas para contener líquidos, y tenemos dos tipos de botellas, una de ellas son las botellas de vidrio retornable, estas botellas luego de ser usadas pasan a ser tratadas químicamente, es decir, se les aplica un líquido químico que las limpian de impurezas, o son lavadas con agua y otros solventes para que el envase esté en condiciones de inocuidad, desinfección y calidad con el propósito de volver a utilizar. El segundo agente de reutilización del vidrio es reprocesarlo en la elaboración de envases o que sea parte de un nuevo vidrio. El vidrio posee una característica altamente provechosa, y es que el vidrio puede ser reprocesado infinitas veces sin perder o verse deterioradas sus principales características mecánicas.

Otra ventaja al ser reprocesado es que disminuye el uso de materias primas extraídas directamente de la naturaleza, el punto de fundición se logra a los 1200°C, esto aporta una disminución de energía ya que

al ser elaborado sin reproceso se logra a los 1500°C, es decir que el reciclaje del vidrio necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesita unas 4.200 kilocalorías de energía. Además, el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica que provocaría por el proceso habitual y disminuye en un 40% la contaminación del agua (Gutiérrez A., 2015), esto se traduce a una contribución al ambiente, puesto que hay menos emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

### **España**

España ha alcanzado la quinta posición en el ranking de los países que más vidrio reciclan en la UE, los españoles contribuyen al volumen total de reciclado en Europa con más del 8,5%, lo que significa que cada español deposita una media de 75 botellas y tarros al año en los contenedores de reciclado de vidrio, según Anfevi<sup>7</sup>.

En el 2001, la industria vidriera española utilizó como materia prima para la fabricación de nuevos envases, 1.602,2 millones de botellas y tarros de vidrio provenientes de los contenedores, acción realizada por los ciudadanos. Esta cifra corresponde al 70% del total de envases introducidos en los hornos vidriero. Según la Agencia EFE, (2015)<sup>8</sup>, los españoles depositaron en los iglús verdes 2.650 millones de envases de vidrio, 30 millones más que en 2013, pero hay marcadas diferencias entre autonomías que van de los 31 kilos por habitante de Baleares, a los seis de Extremadura y los apenas doce de Madrid.

En las islas Baleares (26,5 kilogramos de vidrio por habitante), País Vasco (25) y Navarra (24,1) fue donde más se recicló

---

<sup>7</sup> ANFEVI, es la Asociación nacional de los fabricantes de envases de vidrio en España. Está asociación esta constituida por siete empresas que abarcan el 95% de la producción nacional en ese país.

<sup>8</sup> Agencia EFE de Madrid, es una prensa Española:

porcentualmente el pasado año. Por detrás, Cataluña, La Rioja, Cantabria, Castilla y León, Comunidad Valenciana, Aragón y Murcia, todas ellas por encima de la media estatal de reciclado de vidrio por ciudadano en 2013, situada en 14,6 kilogramos por habitante (C. Fernández, 2014)

### **Alemania**

Una experiencia exitosa de logística inversa, la podemos encontrar en Alemania y su ya famoso “pfand” a los envases de bebestibles (“einwegpfand” es el depósito por envase desechable y “mehrwegpfand”, el por envase reutilizable). El sistema de recolección alemán, fue lanzado con el fin de definir y establecer la base organizacional y judicial de la ley de envasados alemana dictada en 1991 “Verpackungsverordnung”, formalizada posteriormente en 1996, con la “Ley de Reciclaje y Gestión de Residuos”.(Steffens, 2016)

El sistema consiste en un depósito en dinero que se carga adicionalmente a la compra de un recipiente de cristal, plástico o lata, y que se devuelve una vez se lleve el envase a un punto o máquina de reciclado –generalmente en supermercados-, o a una botillería o “Getränkemarkts” (Steffens, 2016).

Si bien es cierto el sistema es tremendamente complejo, (y que por cierto ha incluido extensas batallas legales entre el gobierno alemán y la industria embotelladora de dicho país, además de una serie de sucesivas reformas), actualmente el 98,5% de los envases en Alemania son reciclados, el triple de lo que se conseguía anteriormente a la implementación de “Ley de Reciclaje y Gestión de Residuos” (Steffens, 2016).

### **Suiza**

De acuerdo a la publicación de Planeta Recicla, (2015), el vidrio en Suiza se recicla por colores, y es el consumidor el que debe separarlo.

La razón es sencilla: el vidrio coloreado (por ejemplo, el verde o el marrón) no puede volver a ser transparente tras su reciclado. Por eso, el ciudadano deposita el vidrio en distintos contenedores dependiendo del color de la botella o tarro. Otra curiosidad del país helvético es que cada ciudadano compra etiquetas para marcar sus bolsas de basura para el reciclaje, facilitando así la recogida y evitando una multa por no hacerlo bien.

### **Noruega**

De acuerdo a la publicación de Planeta Recicla, (2015), en Noruega los productos también deben llevar un etiquetado especificando en qué contenedor deben depositarse una vez consumidos. En este país se producen unas 510.000 toneladas de envases al año, de los que se reciclan en torno a 460.000 toneladas.

### **Irlanda**

De acuerdo a la publicación de Planeta Recicla, (2015), los irlandeses tienen dos opciones: comprar unas bolsas específicas para reciclar o unas pegatinas que pones en las bolsas para indicar lo que contienen. Además, separan el vidrio por colores en contenedores específicos: transparente, verde y marrón.

### **Francia**

De acuerdo a la publicación de Planeta Recicla, (2015), en Francia todos los envases reciclables llevan un símbolo en su etiquetado para que el consumidor sepa a primera vista que debe depositarlos en contenedores específicos para su reciclaje. Los franceses reciclan más de dos tercios de los envases usados, nada menos que 3.190 millones de toneladas de envases domésticos al año. Para cerrar el ciclo del reciclaje, este país tiene 247 centros de clasificación y cerca de 2.000 empresas recicladoras.

### **Chile**

Cristalerías Chile y Cristalerías Toro son las dos grandes recicladoras de vidrio en Chile. La primera inició el proceso de reciclaje de vidrio en Chile. Ambas se asociaron con diferentes organizaciones (COANIQUEM y CODEFF) para instalar campanas en la vía pública e incentivar la recuperación de vidrio desde la comunidad (Silva Lobo, 2012).

### **Procesos de los flujos inversos de latas de aluminio fuera de uso**

Las latas de aluminio son uno de los mejores materiales para reciclar por muchas razones diferentes. El proceso de reciclaje de las latas se denomina circuito cerrado ya que viejas latas pasan a formar parte de otras nuevas una y otra vez. Una gran ventaja del Aluminio, es que es reciclable en un 100% y no pierde sus propiedades físicas, y usando para ello sólo el 5% de la energía que se usaría para extraer el Aluminio de la Bauxita.

En la práctica, la tasa promedio de reciclaje de latas de aluminio en Europa es de un 67%; esto significa que 67 de cada 100 latas que han sido utilizadas y desechadas por los consumidores son recicladas (la tasa mencionada incluye el aluminio recuperado desde las cenizas que quedaron después de la incineración). Lo anterior implica que el aluminio producido en Europa contiene aproximadamente un 52% de aluminio reciclado (Van der Harst, Potting, & Kroeze, 2016). Durante el mes de julio del año 2015 la unión europea inicio una campaña llamada “cada lata cuenta”, la cual tenía como fin principal concientizar a las personas sobre la importancia de reciclar latas y de cómo podría afectar negativamente al planeta tierra el hecho de no reciclar este material.

Van der Harst et al., (2016), describe los porcentaje de latas de aluminio reciclado en los países de Europa.

Tasa de Reciclaje de Aluminio en Europa	
País	Tasa de reciclaje de latas de aluminio
Europa (EU-27)	67%
Finlandia	95%
Francia	57%
Alemania	96%
Reino Unido	54%
Grecia	38%
Noruega	93%
Países Bajos	88%

Fuente: (Van der Harst et al., 2016)

En Chile, actualmente, hay empresas como Ecobas, Copasur, Recupac, entre otras, que llevan a cabo el reciclaje de latas de aluminio, permitiendo que cerca del 60% de las latas de aluminio sean recicladas (Lange & Urrutia, 2007), con el punto a favor de que son de los materiales reciclables mejor pagados en el país, lo cual, en cierta forma, incentiva esta práctica.

### **Procesos de los flujos inversos de productos eléctricos y electrónicos fuera de uso**

Usando como referente la Unión Europea, se puede tomar la definición dada por ellos, sobre los e-waste, como aquellos equipos eléctricos o electrónicos de los cuales el usuario ha decidido deshacerse, incluyendo todos los componentes, sub ensambles y artículos de consumo que forman parte del producto en el momento que se desechan y que están determinada y clasificados por la, Directiva de Desechos Eléctricos y Equipamiento Electrónico “Waste

Electrical and Electronic Equipment o WEEE” (Espinoza, Villar, Postigo, Villaverde, & Martínez, 2011).

Esta directiva define y clasifica este tipo de desecho de la siguiente forma:

**Equipos domésticos grandes:** como maquinas lavadoras, secadoras de ropa, refrigeradores, etc.

**Equipos domésticos pequeños:** aspiradoras, maquinas cafeteras, planchas para ropa, tostadoras, etc.

**Equipamiento de oficina, información y de comunicaciones:** incluyendo computadoras personales, de escritorio y portátiles, teléfonos celulares, máquinas de fax, fotocopiadoras e impresoras, etc.

**Entretenimiento y electrónica de consumo:** televisores, videograbadoras, reproductores de CD, DVD, Bluray y similares, dispositivos de sonido, radios, etc.

**Equipamiento de iluminación:** tubos fluorescentes, lámparas de sodio, etc. (excepto lámparas incandescentes de filamento y tubos halógenos)

**Herramientas eléctricas y electrónicas:** taladros, sierras eléctricas, máquinas de coser, maquinas podadoras de césped, etc. (Excepto equipamiento estacionario fijo grande, sean máquinas o herramientas)

**Juguetes, relajación, deportes y equipos recreacionales:** trenes eléctricos, consolas de video juegos, máquinas de ejercicios, etc.

**Otros:** instrumentos y equipamiento médico, equipamientos de control y vigilancia, máquinas automáticas.

Los e-Waste son los desechos electrónicos que son producidos en su totalidad por acción humana, ya que son necesidades propias las que nos llevan a la fabricación de estos artículos. Pero no solo es

preocupante la cantidad de desperdicios electrónicos acumulados, sino además los impactos que estos producen al medioambiente y a la salud. Los equipos electrónicos contienen plomo, cadmio, arsénico y mercurio, elementos que son altamente nocivos para la salud de los seres vivos.

Otro término usado para este tipo de residuos en la literatura hispana es el de RAEE, como abreviación a “Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos”, término que no ha despegado tanto en la literatura española debido tal vez a la naturaleza de escribir gran cantidad de publicaciones en inglés.

Los residuos electrónicos y eléctricos, son un problema a nivel mundial que hace pocos años comenzó a ser abordado, motivo por el cual existe tanta desinformación y despreocupación al respecto. A nivel mundial las cantidades que se reciclan son mínimas para el universo total de basura electrónica existente, las plantas de reciclaje no dan abasto y en muchos países estas ni siquiera existen lo que genera un problema más a este asunto, las grandes potencias envían sus desperdicios a naciones de tercer mundo convirtiéndolas en receptoras de contaminación.

Según el primer informe de monitoreo de basura electrónica realizado por la Universidad de Naciones Unidas (UNU, mismas siglas en inglés, organismo vinculado a las Naciones Unidas), la cantidad de desechos electrónicos al 2014 sobrepasaba las 41 mil toneladas métricas, de las cuales, para contextualizar, era al menos un 9% generado por América Latina, siendo Chile el líder de la producción per cápita de esta región, con 9,9 kilogramos de desechos electrónicos por habitante (Baldé, Wang, Kuehr, & Huisman, 2015).

Se han discutido las legislaciones en algunos países vecinos con respecto a los residuos eléctricos y electrónicos de donde se puede visualizar que en:

Bolivia sancionó su ley número 755 en el año 2015, llamada “Ley de gestión integral de Residuos”<sup>9</sup>, en la que clasifica los residuos y define las competencias para cada uno de ellos a partir de un régimen jurídico que permita vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Argentina realiza desde el 2009 un plan de reciclado de baterías de celulares en desuso, administrado por la compañía “Telecom Personal”, en la campaña bajo el nombre Conciencia Celular, en la que busca promover un uso adecuado de los celulares, partiendo con un énfasis en las baterías, que pueden contener muchos componentes peligrosos, como ácidos y metales pesados muy dañinos. A partir del año 2012 también se incluyó a este sistema el acopio y recolección de artefactos que no habían sido vendidos por la compañía y se encontraban en sus depósitos de tal manera que permitan dar soluciones con estos residuos electrónicos (Román, 2014).

En Perú existe el Decreto Supremo N° 001-2012-MINAM, del Ministerio del Medioambiente, titulado “Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos”, que se logró aprobar el 27 de junio del 2012. Similar a lo que se logró hace poco en Chile, define qué tipo de desechos se considerarán residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, además de establecer las responsabilidades y alcances de los participantes del mundo de la basura electrónica (Ministerio del Ambiente Perú, 2012). En el senado de Estados Unidos de América, está en progreso un proyecto de ley del Desarrollo e Investigación de Reciclaje de

---

<sup>9</sup> Ley de Gestión Integral de Residuos. Ley N° 755: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/bol150721.pdf>

Dispositivos Electrónicos, que aunque no contiene a todos los RAEE; pero sí trata de hacer un aporte a la investigación sobre el reciclaje de estos, tratando de llevarlos de manera formal a la ley y no simplemente por incentivo voluntario de los actores involucrados en este proceso (Senate of the United States of America, 2010).

En cuanto al otro gran poder en el mundo desarrollado, la Unión Europea, ya cuenta con normativas exigibles para todos sus miembros, con la Directiva del Parlamento Europeo y Consejo sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. Esta entró en operación en febrero del 2003 y ha recibido actualizaciones diversas, siendo la última en entrar a efectividad el año 2013 (Parlamento y Consejo de la Unión Europea, 2011).

Esta normativa exige la eliminación de circulación de varios elementos dañinos o considerados potencialmente dañinos, como metales pesados, siendo estos: plomo, mercurio, cadmio y cromo hexavalente. También retardantes de llamas como bifenilos polibromados o polibromodifenil éteres, debido a que son contaminantes orgánicos persistentes, es decir, no pueden ser degradados por el cuerpo fácilmente, o simplemente no pueden ser degradados. La Unión Europea exige que sean reemplazados por alternativas seguras.

Estos reglamentos benefician a la humanidad, ya que tanto la Unión Europea como los Estados Unidos, son los mayores productores y consumidores de productos eléctricos y electrónicos, por lo que los fabricantes de estos productos para no verse expuestos a grandes multas deberán sustituir los elementos vetados por la normativa, favoreciendo de forma indirecta a los países en desarrollo que también adquieren los mismos productos fabricados.

Países del primer mundo, como Estados Unidos y Alemania, obtienen más del 70% de su acero y más del 35% de su cobre y aluminio de chatarras generadas de manera interna, generando un ciclo de recuperación y reutilización benéfico importante (Román, 2014).

La capital de Colombia, Bogotá está considerada a nivel mundial dentro de las 10 ciudades con la mejor gestión sobre sus residuos y es precisamente en este lugar donde se encuentra o se sitúa el proyecto “Red Verde”, el primer Programa de post consumo para refrigeradores, que se originó en el año 2014, trabajando bajo la idea de la REP (Responsabilidad Extendida del Productor) y fue desarrollada e implementada por la Asociación de Empresarios de Colombia (ANDI) en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), (Zilliacus, 2014).

El proyecto consiste en generar una red de recolección y tratamiento de los refrigeradores fuera de uso con el objetivo de trabajar correctamente los residuos generados por estos productos y así evitar la alta contaminación que estos producen y que permita evitar los efectos nocivos que pueden tener para el ambiente los refrigerantes que estos aparatos contienen (Zilliacus, 2014).

Colombia se considera uno de los pioneros a nivel de Latinoamericano, frente a la protección de la capa de Ozono y manejo de las SAO<sup>10</sup>, incluso fue escogido por Alemania, junto 4 países más, para cooperar en la implementación de un proyecto de gestión y destrucción de los Bancos de SAO, con el que se pretende generar conciencia en el resto del mundo sobre el tratamiento de los refrigerantes y otros compuestos que tengan efectos dañinos sobre la capa de Ozono y el medio ambiente

---

<sup>10</sup> Sustancias que Agotan el Ozono.

En Chile también se ha empezado a tomar acciones respecto a la e-waste, como no se cuenta aún con la tecnología necesaria para poder reciclar dentro del país, se elevan los costos de poder reciclar ya que se hace necesario tener que exportar los residuos electrónicos a países europeos que cuentan con estas plantas de reciclaje, como lo hizo la empresa recicladora chilenter exportando 17 toneladas de e-waste a una planta de reciclaje en Holanda.

Además de esta práctica existe la de reutilizar estos componentes, arreglándolos y utilizando sus piezas para que esto vuelva a estar en uso, un ejemplo de esto también está a cargo de chilenter que reacondiciona computadoras y otros artefactos para ser donados en escuelas de pocos recursos.

Otra gran iniciativa en Chile, con respecto al reciclaje de los e-waste estuvo a cargo de la compañía de telefonía celular Entel, la cual el año 2007 creó una campaña de recolección de teléfonos celulares en desuso y además concientizar sobre la problemática de la basura electrónica, esta famosa campaña llevó el nombre de “plan Gonzalo, el celular que no ocupo lo regalo”, entre los años 2009 y 2010 se logró recolectar 75 mil equipos que posteriormente fueron enviados a diferentes plantas de reciclaje en el mundo para poder ser reciclados, esta venta fue de 113 millones de pesos aproximadamente los cuales fueron donados al hogar de Cristo (Román, 2014, p. 18).

### **Procesos de los flujos inversos de plásticos fuera de uso**

Muchos modelos de logística inversa en lo que se refiere al plástico consideran un sin número de factores ambientales, como el consumo de energía y la contaminación, pero ya son varias las empresas que comienzan a desarrollar procesos de recuperación de estos residuos.

Los plásticos cumplen un rol importante para la fabricación eco-eficiente de productos envasados y dispositivos electrónicos, esto

permite tener una mayor seguridad y soluciona la eficiencia en automóviles y aviones. Los plásticos son un efecto real en la protección del ambiente, ya que por ejemplo en un automóvil del 12% a un 15% se utilizan plásticos, por lo que reduce el peso del vehículo, como consecuencia ayuda a ahorrar combustibles, disminuyendo las emisiones de gases invernaderos; esto también se puede aplicar en aviones con el mismo fin de proteger el ambiente (Graczyk & Witkowski, 2011).

Un estudio realizado en junio del 2010, por Plastic Europe, institución que se encarga del impacto de los plásticos en materia de energía de ciclo de vida, las emisiones y el consumo de gas de efecto invernadero en Europa, informa que, si no existieran los envases plásticos, los efectos invernaderos aumentarían en un 61% y el consumo de energía en un 57%. Por lo que es de real importancia tener conciencia del efecto positivo que hacen los plásticos en nuestro ecosistema (Graczyk & Witkowski, 2011).

En el caso de Europa, hay estados que son miembros de la Unión Europea (UE) que buscan llegar a un 80% de la recuperación de plásticos en el año 2020; por lo que hoy en día en promedio anual, sólo aumenta en un 2%, por esto se necesita fortalecer con mayor esfuerzo el concepto de ciclo de vida, con el fin de que los productos convertidos en residuos sean diseñados de manera ambiental creando una mejor conciencia medioambiental y disminuir la generación de desechos plásticos (Graczyk & Witkowski, 2011).

En Chile hay una asociación de industrial del plástico, conocida como ASIPLA, la cual, desde hace más de 62 años, representa a la industria del plástico que incorpora a materias primas, convertidores o transformadores, recicladores, proveedores de maquinaria y servicios. Actualmente, ASIPLA cuenta con más de 90 empresas

asociadas líderes del mercado, que representan más del 85% de la industria del plástico y reciclaje y, en conjunto, aportan el 1,4% del PIB total (ASIPLA, 2016).

Se estima que en Chile el consumo del plástico es muy alto llegando a una tasa de 51 Kilógramos per cápita por persona, El consumo para el país es de novecientas trece mil toneladas en 2015, un dos como cinco por ciento más que en año 2014.

Según las cifras establecidas por AISPLA, (2016). Desde la fecha del primer sondeo, en 2010, la frecuencia del uso del plástico ha aumentado 5 Kilógramos per cápita y así se ha mantenido estos últimos años, el uso de material reciclado ha alcanzado un crecimiento del 24% promedio los últimos años.

### **Procesos de los flujos inversos de medicamentos fuera de uso**

Para visualizar un poco el problema en números, veremos algunas cifras. Para el año 2009, el gasto total en salud se registra en los Estados Unidos de América en US\$ 2,5 trillones, traducándose en US\$8.086 per cápita o 17,6% del producto interno bruto (PIB), de 16,6% en 2008. En Canadá, estas cifras se observan como \$ 182,1 billones para el 2009, que se traducen a \$4.519 per cápita o el 11,4% de su PIB. Países de la Unión Europea, Australia y Japón respectivamente dedican 8.3, 9.1 y 9.5% de su PIB para la salud en 2009. Esto nos dice que los gastos en la industria farmacéutica son bastante altos y también se estima que solo entre un 3% y un 6% de los productos son retornados al productor por lo que hay mucho trabajo por realizar sobre esto (Kongar, Haznedaroglu, Abdelghany, & Bahtiyar, 2015).

Para el caso particular del transporte de medicamentos, es necesario tener en cuenta quienes serán los encargados de realizar este

transporte, ya que no son materiales inocuos los cuales puedan ser manipulados sin un cuidado específico. Por esto es que los encargados de realizar el transporte deberán ser trabajadores capacitados para esta labor, quienes además deben estar familiarizados con los distintos medicamentos los cuales son transportados, conociendo sus composiciones y su tratamiento.

Además, es de suma importancia señalar que la forma en la que se hace la destrucción de medicamentos es un proceso importante para la sociedad actual, ya que anualmente se deben eliminar toneladas de medicamentos por diversos motivos como el vencimiento, el deterioro, el mal estado o estado de deterioración en el que se pueden encontrar, y si se utiliza un método inadecuado de destrucción se corre el riesgo de que sustancias muy peligrosas pasen a través del subsuelo a las aguas subterráneas y que al reaccionar generen otro tipo de compuestos que posteriormente pueden interactuar con especies animales por las reacciones y generen como consecuencia las degradaciones físicas y químicas en ellos mismos.

La legislación en Europa, específicamente en España asimila a los restos de medicamentos como residuos urbanos, a pesar de que estos necesitan otro tipo de tratamiento, el cual es diferenciado de los otros por sus componentes químicos, y porque se debe favorecer el cuidado y conservación del medio ambiente. La distribución farmacéutica constituye un importante eslabón de la cadena del medicamento al asegurar que el producto puesto en el mercado mantiene las características de calidad, seguridad y eficacia certificadas por el laboratorio.

Otra técnica de impacto medio ambiental han sido los planes de prevención de envases (PEP), los cuales consisten en delimitar las medidas y características de los envases, consiguiendo con esto

facilitar la tarea de la eliminación o reutilización de estos. Es una forma de atacar desde el inicio la generación de desechos ya que se puede estudiar este antes de ser producido, evitando un impacto de difícil solución. Fuera de ser una solución que ha alcanzado su tope, en España (SIGRE, 2016)<sup>11</sup>, mostró su compromiso con seguir mejorando cada vez más estas medidas PEP las cuales alcanzaron en 2016 la cantidad de 237 medidas, aplicadas en 41 laboratorios y afectando a 15 millones de unidades. Además de las medidas aplicadas buscan compartir en su página web contenidos sobre los planes de prevención, entregan un boletín de información con la actualidad del SIG en el campo medioambiental, realizan reuniones entre los principales responsables del cuidado medioambiental en los laboratorios, entre otras iniciativas. Demostrando así que la generación de conciencia no se presente solo en los medicamentos. El transporte en la recogida de medicamentos en el caso de España es realizado por los mismos distribuidores de medicamentos, esto garantiza un manejo adecuado de los desechos que cumpla con las medidas de seguridad. Este sistema reduce además los gases de efecto invernadero, debido a que no se hace necesario realizar viajes solamente dirigidos a recoger los medicamentos, si no que se aprovecha al máximo el trayecto, en España el ahorro de gases estimado por esta propuesta es de 1.200 toneladas de CO2 anuales. El reciclado de envases genera otro de los impactos ambientales más importantes, este comienza con la participación del cliente al depositar los envases en el punto destinado por la farmacia, el mayor impacto identificado por SIGRE en España se produce en el reciclaje

---

<sup>11</sup> SIGRE (Sistema Integrado de Gestión y Recogida de Envases). Medicamento y Medio Ambiente es una entidad sin ánimo de lucro creada para garantizar la correcta gestión medioambiental de los envases y restos de medicamentos de origen doméstico. SIGRE está constituida por las principales entidades que representan a los agentes que forman la cadena del medicamento.

de papel y cartón, ya que se ha evitado la emisión de 42.000 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En España los procesos de logística inversa en medicamentos han generado impactos medioambientales positivos, gracias al sistema de integrado de gestión y recogida de envases del sector farmacéutico (SIGRE). La SIGRE es el sistema de recogida selectiva de envases de medicamentos, que funciona actualmente en la industria farmacéutica española, esto en busca de que los ciudadanos puedan desprenderse de envases vacíos, o con restos de medicamentos, además de medicamentos vencidos, de una manera que no genere un impacto negativo al medio ambiente. El impacto que genera esta iniciativa se traduce principalmente en que estos desechos no se mezclaran con otros de carácter doméstico, evitando que así terminen en el desagüe contaminando ríos, o el mismo suelo en el cual puedan degradarse. El sistema funciona catalogando los desechos recogidos entre los reutilizables y los que no, esto contribuye al medio ambiente con el reciclaje que se produce, pudiendo reutilizar plástico, vidrio, cartón, entre otros como materia prima. Además, se aprovechan restos de medicamentos con un posible uso como combustibles en la generación de energías. Dentro del impacto ambiental del sistema está el generar conciencia social, lo cual trasciende el tema de los medicamentos fuera de uso, esto debido a que los clientes tienen una participación directa en el sistema. La recogida de medicamentos se produce en puntos seleccionados ubicados en las farmacias en los cuales los clientes pueden depositar sus desechos, para que luego estos sean transportados a la planta de clasificación.

Así en Chile podemos decir que el aporte por parte de las distintas farmacias a nivel del país ha sido más bien discreto a la hora del

reciclaje de medicamentos fuera de uso. Las farmacias en Chile no se han manifestado más que en campañas de corto alcance, las cuales no se han masificado del todo, como fue la campaña de puntos celestes en el caso de Salcobrand, la cual consiste en puntos en los cuales la ciudadanía puede depositar sus medicamentos fuera de uso, ya que estos al ser calificados como desechos peligrosos, no pueden ser desechados con la basura común, o generarán consecuencias graves en aguas, suelo, o tanto en animales como seres humanos directamente.

### **Procesos de los flujos inversos de neumáticos fuera de uso**

A lo largo de las décadas, las empresas han logrado aumentar sus ingresos empresariales, pero han utilizado el medioambiente como un recurso gratuito para eliminar sus residuos generados, trasladando así un coste de la actividad empresarial a la sociedad. El mercado de los neumáticos, es uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades modernas, tan dependientes del automóvil (Sánchez Juan, 2012). Se puede observar que su fabricación se genera para hacerlo un material resistente, de larga duración y con materiales artificiales que tardan mucho en degradarse, lo que hace de vital importancia implementar un sistema de logística que permita recuperar estos desperdicios y darles un segundo uso.

A nivel internacional ya se está ocupando la logística inversa para productos como el neumático, en la unión europea se han dictado ciertas leyes para preocuparse del post uso de los productos, las cuales a nivel estatal están siendo ocupadas para prevenir y reducir el impacto sobre el medio ambiente. Si analizamos algunos hechos concretos de esta técnica para ayudar al medio ambiente que están ocurriendo en el extranjero, tenemos el caso de España que para el

año 2010, procesó cerca de 314.000 toneladas de neumáticos, donde un 70% es reciclado o reutilizado; el 30% es ocupado como combustible alternativo junto con varias aplicaciones del caucho reciclado (Pozo, Rueda, & Quiroz, 2013).

La estadística nacional como internacional, confirma que los neumáticos de buses se recauchan en un 20% anual y los neumáticos de camiones se recauchan en un 35% anual; permitiéndose realizar esto hasta 3 veces siempre y cuando la calidad del neumático lo permita. Países como Italia o Dinamarca recauchan alrededor de un 22 % del total de los NFU que generan, Holanda recaucha alrededor del 2 %. En España se recaucha un porcentaje muy alto de los NFU de camión; por término medio, un mismo neumático es recauchado unas dos veces, lo que hace que pueda tener unos tres ciclos de vida. Se estima que en España se recaucha un 14% del total de NFU. Lo anterior, da una media en el continente europeo está en el 17 %. Si se evalúa la situación chilena, la tasa actual de bordea el 5% (CONAMA & GTZ, 2008) .

En Colombia, debido a que los neumáticos fuera de uso tienen alta capacidad calorífica superior a la del carbón, la convierte en un buen combustible para empresas que necesitan un gran consumo para sus procesos, por ejemplo, las industrias cementeras. La empresa Argos ubicada en Colombia, la cual utilizará las llantas usadas como combustible en sus hornos para la producción del cemento. Argos, reemplazará el carbón que emplea actualmente para la fabricación de esta mezcla por los neumáticos viejos, con lo cual busca garantizar un proceso más amigable con el medio ambiente. Esta iniciativa arrancará con la planta de Rio claro, donde se producen 2 millones de toneladas de cemento al año. Según Camilo Restrepo vicepresidente de Innovación de Argos, estiman que pueden aplicar este concepto no

solo en Rio claro, sino en la planta de Cartagena y en otras en el interior del país, con lo cual estiman dar solución al 75% de los 7 millones de neumáticos que anualmente llegan al final de su vida útil. Pero inicialmente creen que pueden utilizar alrededor de las 25 mil toneladas año, esta técnica ya la vienen utilizando en las plantas que poseen Estados Unidos y Honduras (Portafolio, 2014).

El uso de llantas en hornos cementeros es una tecnología ampliamente difundida y probada en el mundo. En países como Noruega, Alemania, Austria y Holanda se tienen porcentajes de sustitución de combustibles fósiles por alternativos en la industria cementera superiores al 60%, de acuerdo con un reporte de Oficem (Agrupación de fabricantes de cemento de España). que contiene información sobre el contenido de energía y las emisiones de CO2 de los distintos combustibles.

Contenido de energía y emisiones de CO2

Combustibles	Energía (GJ/t)	Emisiones	
		kgCO <sub>2</sub> /t	kgCO <sub>2</sub> /GJ
Neumático	32.0	2,720	85
Carbón	27.0	2,430	90
Pet coke	32.4	3,240	100
Diesel oil	46.0	3,220	70
Gas Natural	39.0	1,989	51
Madera	10.2	1,122	110

Fuente: (CONAMA & GTZ, 2008)

En Chile, la cantidad de NFU aumenta anualmente debido a que cada año el universo de vehículos se incrementa. El Ministerio de Medio

Ambiente identifico que para el año 2008<sup>12</sup>, había 47.593 toneladas de NFU, de los cuales, 22.016 toneladas corresponden a vehículos de carga, 16.537 toneladas a vehículos livianos y 9.040 toneladas a vehículos de transporte público. La proyección para el año 2015 estima en 65.795 toneladas de NFU y para el año 2020 en 80.046 toneladas. Por ende, se puede confirmar que aquí se está generando un grave problema a través del tiempo.

Se muestran los sistemas de gestión de la recogida y clasificación de neumáticos que han sido implementados en algunos países actualmente a nivel mundial:

Sistemas de Gestión Implementados en países a nivel mundial.

Sistema Responsabilidad del productor	Sistema basado en impuestos	Sistema de libre mercado
Europa (Bélgica, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Holanda, Noruega Polonia, Portugal, Rumania, España, Suecia, República Checa), Brasil, México, Costa Rica	Europa (Dinamarca, República eslovaca, Latvia) Canadá, Estados Unidos (la Mayoría de los estados)	Europa (Austria, Alemania, Irlanda, Suiza, Reino Unido), Estados Unidos (Algunos estados), Australia

Fuente: (CONAMA & GTZ, 2008)

Hace algunos años, en Chile no existía una regulación que estableciera medidas para el manejo adecuado de los neumáticos desechados. Aunque debemos destacar que hoy en día la CINC (Cámara de la Industria del Neumático Chileno) está considerando desarrollar unas leyes que promulguen reglamentos específicos para establecer un sistema de gestión y de información para regular y cumplir el control de residuos que deberán catalogarse como prioritarios debido al tiempo que llevamos sin considerar este problema y lo avanzado que está en el ámbito nacional. También señalar la creación del Consejo

<sup>12</sup> Evaluación económica, ambiental y social de la implementación de la REP en Chile, [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55497\\_EvaluacionEconomicaAmbientaSocial\\_REP\\_Chile.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55497_EvaluacionEconomicaAmbientaSocial_REP_Chile.pdf)

Nacional de Producción Limpia (CPL), iniciativa del gobierno para llevar a la mesa temas tan preocupantes como el caso de los NFU, por supuesto también a otros elementos altamente contaminantes.

Según los datos entregados por CINC, en 2010 se recuperó y valorizó en la planta de Polambiente, en Lampa, un total de 3.800 toneladas de NFU, 5.000 toneladas al 2011 y 5.700 toneladas en 2012, totalizando 14.500 toneladas durante el período de implementación del APL, y además incorporó una cultura ambiental en los puntos de venta en la Región Metropolitana.

### **Análisis de empresas Chilenas**

El estudio de análisis de algunas empresas de la Región Metropolitana, con relación a sus procesos internos y externos relacionados con su cadena de suministro y la logística, para esto tomaremos como base la guía de entrevista.

Las empresas que han sido analizadas en esta investigación presentan las siguientes características:

Un requisito indispensable para la selección de las empresas ha sido que estén realizando su actividad en territorio chileno.

Se ha tratado de contar con empresas pertenecientes a diferentes sectores de actividad. En definitiva, la intención es tratar de comprender las pautas de acción seguidas tanto en sectores tradicionales como en sectores más innovadores.

Se ha procurado, en la medida de lo posible, incorporar al estudio organizaciones de distinta dimensión; no obstante, las empresas de menor dimensión tienen un comportamiento bastante homogéneo con respecto a su estructura organizativa.

Para esta etapa se ha utilizado una muestra intencional (Alaminos C. & Catejón C., 2006, p. 50; Scharager & Reyes, 2001)<sup>13</sup>, donde el investigador puede realizar la selección directa e intencionadamente de las empresas que se pretenden analizar. El caso más frecuente para este procedimiento es para utilizar como muestras a empresas que se tiene fácil acceso, puesto que, dado el limitado número de empresas que normalmente pueden estudiarse, se justifica que se seleccione escogiendo aquellas en las que el fenómeno objeto de análisis sea “transparentemente observable”, asumiendo que es difícil conseguir un diseño perfecto puesto que la estrategia de selección debe ajustarse no solo al propósito del estudio y a las preguntas planteadas, sino también a los recursos disponibles y a las limitaciones existentes (Eisenhardt, 1989). Con el análisis de estas empresas se busca conocer las estructuras internas de las cadenas de suministro y sus logísticas aplicadas para la recogida de los residuos generados.

Para el levantamiento de la información se utilizó un tipo de entrevista semiestructurada descrito, en el que se diseñó una lista de preguntas o aspectos que se desean ser explorados durante la entrevista. El gran inconveniente que este tipo de recogida de datos genera es la gran cantidad de información a analizar por su relevancia o utilidad en la investigación a satisfacer.

El diseño de la entrevista, está constituido por algunas partes, la primera etapa está destinada a la verificación de alguna información relativa a la empresa –obtenida a partir de fuentes secundarias- que requieren alguna aclaración o sobre la cual pudiese existir algún tipo

---

<sup>13</sup> A través de este enlace (<http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>), se amplía mejor la comprensión sobre el muestreo intencional.

de duda. A partir de ahí se ha estructurado la entrevista en diferentes bloques.

Bloques de la entrevista
<b>Datos de identificación del entrevistado(s)</b>
<b>Datos y perfil de la empresa</b>
<b>Descripción del Producto(s)</b>
<b>Descripción del mercado(s)</b>
<b>La cadena de valor</b>
<b>La cadena logística</b>
<b>Logística inversa</b>
<b>Recuperación de activos</b>
<b>Estructura organizativa</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el levantamiento de datos, se trabajó con los estudiantes de pregrado del ramo de Procesos Industriales, las entrevistas en profundidad se llevaron a cabo entre el primer semestre del 2016 y parte del segundo semestre del 2016, siendo su duración media, habitualmente, de entre 1 y 2 horas. Las entrevistas se realizaron a diferentes personas en las empresas, partiendo del Director General de la empresa para después ser transferido a la persona adecuada en el tratamiento de la información, de tal manera que se pueda obtener una visión más completa de las diferentes actividades que se ejecutan en la empresa.

Dado el carácter subjetivo de toda investigación cualitativa, puede cuestionarse la credibilidad de la misma. Por ello, se han aplicado

algunas estrategias, con el fin de garantizar la propiedad de la información analizada, entre ellas tenemos:

**Triangulación.** En este análisis por empresa la credibilidad se deriva, en buena parte, de la triangulación de las fuentes de datos. Mediante el uso de diversos documentos y publicaciones y a través de observación directa (visita a la planta en los casos que ha sido posible) se ha podido confirmar, ampliar o corregir la información obtenida a través de la entrevista.

**Revisión de la información por los entrevistados.** La información analizada fue reenviada a las personas entrevistadas para su revisión.

**Juicio crítico de colegas.** La posibilidad de intercambiar opiniones y contrastar puntos de vista supone un enriquecimiento del trabajo realizado.

**Levantamiento de información referencial.** Memorias de la empresa, publicaciones en páginas web, documentación interna, transcripción de la entrevista, a lo largo del proceso.

Se presentan las empresas analizadas, las cuales se detallarán más adelante. Con el fin de ofrecer una composición de las empresas analizadas, recoge algunos datos referidos a su tamaño (volumen de facturación y número de empleados) y a su ámbito geográfico de implantación en Chile. En relación al tamaño de las empresas seleccionadas, tal como se comentó con anterioridad, los tamaños de las empresas analizadas son de distintas dimensiones con la finalidad de aumentar la diversidad del estudio; pero los datos de los nombres de las empresas, entrevistados y ubicación de las organizaciones no se muestran por la confidencialidad de la información.

Empresas Nacionales Analizadas  
Ambito geográfico de actuación y dimensión.

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
1	242200	Fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimiento.	Santiago, RM	1.73 Exportaciones	1200
2	332010 512240 519000 521111 521112 523912 523999 659920 671990 701009 712900	Retail  RUT: 76042014-k	Santiago, RM	6041.5	49.063 31/03/2016
3	252090 519000	Fabricación de otros artículos de Plástico.  Venta al por mayor de otros productos C.C.P  RUT: 76174546-8	Santiago, RM	6.5	5000
4	242300 519000	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales  Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 96581370-5	Santiago, RM	70	460

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
5	659920 701001	Sociedades de inversión y rentista de capitales mobiliarios en general Arriendo de inmuebles amoblados o con equipos y maquinarias  RUT: 76012676-4	Santiago, RM	0	40000
6	020010 210129 401019 513940 519000	Explotación de Bosques Fabricación de papel t cartón N.C.P Generación en otras centrales N.C.P. Venta al por mayor de papel y cartón. Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 96853150-6	Santiago, RM	202	500
7	241300	Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho sintético  RUT: 79554920-k	Santiago, RM	0	50
8	252090 289990	Fabricación de otros artículos de plástico. Fabricación de otros productos elaborados de metal N.C.P.	Santiago, RM	80	7
9	241190 241300	Fabricación de sustancias químicas básicas, excepto abonos y compuesto. Fabricación de plásticos en formas primarias y de caucho sintético  RUT: 83019500-9	Santiago, RM	15	65

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
10	242400 252090 519000	Fabricaciones de jabones y detergentes, preparados para limpiar, perfumerías. Fabricación de otros artículos de plástico. Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 96681470-5	Santiago, RM	2.15	5000
11	154990 242400 512130 519000	Elaboración de otros productos alimenticios no clasificados en otra pa. Fabricaciones de jabones y detergentes, preparados para limpiar, perfumerías. Venta al por mayor de materias primas agrícolas. Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 92091000-9	Santiago, RM	0	200
12	252010 749990	Fabricación de planchas, laminas, cintas, tiras de plástico Otras actividades empresariales n.c.p.  RUT: 76410317-3	Santiago, RM	206.7	12
13	289990 515009	Fabricación de otros productos elaborados de metal N.C.P. Venta al por mayor de maquinaria, herramientas, equipo y materiales N.  RUT: 76217648-3	Santiago, RM	600	17

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
.14	210200 519000	Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón.  Venta al por mayor de otros productos n.c.p.  RUT: 89996200-1	Santiago, RM	44.3	529
15	513990 519000	Venta al por mayor de otros enseres domésticos N.C.P.  Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 76071355-4	Santiago, RM	53	1500
16	512130 521900 523130 523999	Venta al por mayor de materias primas agrícolas.  Venta al por menor de otros productos en pequeños almacenes no especial.  Venta al por menor de artículos ortopédicos  Ventas al por menor de otros productos en almacenes especializados N.C  RUT: 99593170-2	Santiago, RM	70.9	40
17	210900 519000	Fabricación de otros artículos de papel y cartón  Venta al por mayor de otros productos N.C.P.  RUT: 96529310-8	Santiago, RM	108	50
18	155410 512240	Elaboración de bebidas no alcohólicas  Mayoristas de vinos y bebidas alcohólicas y de fantasía.  RUT:	Santiago, RM	258	3806

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
		91144000-8			
19	210200 210900 513940	Fabricación de papel y cartón ondulado y de envases de papel y cartón. Fabricación de otros artículos de papel y cartón. Venta al por mayor de papel y cartón. RUT: 96810510-8	Santiago, RM	15	120
20	153110 153190 154400 154990 519000	Elaboración de harinas de trigo. Elaboración de otras molineras y alimentos a base de cereales. Elaboración de macarrones, fideos, alcuzcuz y productos farináceos sim. Elaboración de otros productos alimenticios no clasificados en otra pa. Venta al por mayor de otros productos N.C.P. RUT: 90060000-3	Santiago, RM	800	327
21	289200 289990 514200 519000	Tratamientos y revestimientos de metales; obras de ingeniería mecánica. Fabricación de otros productos elaborados de metal N.C.P. Venta al por mayor de metales y minerales metalíferos. Venta al por mayor de otros productos N.C.P. RUT: 84716400-k	Santiago, RM	0	1600
22	154320 519000	Fabricación de productos de confitería. Venta al por mayor de otros productos N.C.P. RUT: 84476300-K	Santiago, RM	0	2000

Empresa	CIU	Sector de actividad	Localización	Facturación año fiscal 2015	Número de empleados 2016
			en Chile	(Millones de pesos)	
23	151300 154990	Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas.  Elaboración de otros productos alimenticios no clasificados en otra pa.  RUT: 92279000-0	Santiago, RM	0	700

Fuente: Elaboración propia

### **Residuos Sólidos Municipales en Chile**

La Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana – CONAMA de Chile en el 2005 realizó una Estrategia de Reciclaje de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana de Santiago de Chile, algunos de los aspectos más relevantes de esta actividad son las siguientes:

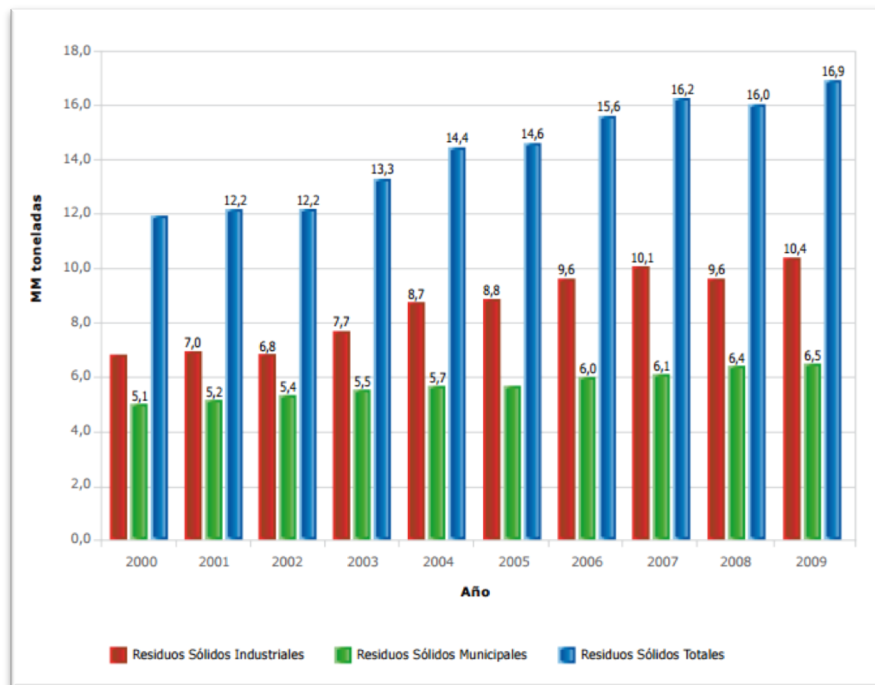
En Chile el tratamiento de los residuos sólidos está reglamentado por un conjunto heterogéneo de Leyes y Decretos, teniendo competencia sobre su gestión y control un conjunto de Ministerios y Entidades Públicas. La responsabilidad de la gestión completa de los residuos sólidos domiciliarios (RSD), así como los generados por el comercio y en las vías públicas y en lugares de esparcimiento colectivos, recae de manera privativa en los municipios.

Es así como la política para la gestión integral de residuos sólidos, establece como objetivo general, lograr que el manejo de los residuos sólidos se realice sin riesgos para la salud de la población y para el medio ambiente, asegurando un desarrollo sustentable y eficiente del sector. Dicha gestión integral está encaminada en primera instancia a evitar la generación de residuos mediante la cultura del reciclaje, la

minimización de los residuos generados, seguido con el tratamiento, para culminar con la disposición final adecuada de estos.

(CONAMA, UDT, & Universidad de Concepción, 2010), presenta el reporte del manejo de residuos sólidos, a través la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), donde establece que la cantidad de residuos sólidos generados en Chile, según estimaciones para el período 2000-2009, presenta un crecimiento variable, debido principalmente, al aumento de la población, crecimiento en la producción industrial y tasas de valorización de residuos aún incipientes.

Generación de residuos sólidos en Chile, año 2000 al 2009



Fuente: (CONAMA et al., 2010)

La cantidad generada de residuos sólidos en el período 2000-2009 ha experimentado un crecimiento estimado del 42%, pasando de 11,9 a 16,9 millones de toneladas. Para el año 2009, la generación estimada de residuos sólidos municipales (RSM) correspondió a 6,5 millones de toneladas (38,5% del total de residuos sólidos), en tanto los residuos

sólidos generados por los diferentes sectores industriales del país fue estimado en 10,4 millones de toneladas (61,5% del total de residuos sólidos). La generación de RSM aumenta año a año, debido al crecimiento de la población y al incremento en el nivel de vida, pasando de 326 kg por habitante el año 2000 a 384 kg por habitante el año 2009, cifra menor a la que presentan en promedio los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) que corresponde a 550 kg por habitante por año. (CONAMA et al., 2010)

CONAMA et al., 2010, p. 40, proporciona una estimación de la composición de los residuos sólidos municipales a nivel nacional para el año 2009. Estos datos son utilizados por el Ministerio del Medio Ambiente, para proyectar la posible generación de basura para el año 2020.

Composición de los residuos municipales para el año 2009, Chile

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICIÓN (%)
Papeles y Cartones	12,4
Textiles	2,0
Plásticos	9,4
Vidrios	6,6
Metales	2,3
Materia Orgánica	53,3
Otros	14,0

Fuente: (CONAMA et al., 2010)

A pesar que Chile con los datos mostrados en la tiene un comportamiento similar a los países en desarrollo con respecto a los residuos orgánicos que se mostró, también podemos apreciar que está entre los países que generan mayor porcentaje de residuos

inorgánicos, encontrándose al nivel de México en la generación de estos residuos.

Como plan piloto a nivel de la Región Metropolitana, se busca dar inicio y poner en marcha un sistema y manejo de residuos sólidos, con un mejoramiento de las condiciones económicas, tecnológicas y ambientales; que incluya la participación y el compromiso de la gente para mejorar la gestión de los RSM, entre otras prioridades. La intención es que este sistema se pueda ser aplicado a nivel de todo el país.

Por otra parte (CONAMA et al., 2010), también establece para la Región Metropolitana una estimación de generación de RSM en el año 2009 de 2.807.247 toneladas, con un crecimiento durante los últimos tres años del 6%. En este reporte no se establece los indicadores de la composición de los residuos sólidos en la región Metropolitana por lo que tomaremos como base los indicadores que fueron establecidos por Arrieta Bernate, (2008) a partir del CONAMA 2005. Con relación a la composición de los residuos en la Región Metropolitana de Santiago.

Indicadores promedio de la caracterización de residuos sólidos municipales a nivel de la ciudad Santiago de Chile

TIPO DE RESIDUO	COMPOSICIÓN (%)
Restos Orgánicos	49,3
Papeles y Cartones	18,8
Plásticos	10,2
Textiles y Cuero	4,3
Vidrios	1,6
Latas de hojalata	2,1
Latas de aluminio	0,2
Cenizas, escorias y lozas	6,0
Residuos especiales	0,1
Otros	7,4

Fuente: (Arrieta Bernate, 2008; CONAMA, 2005).

A través del estudio dentro del contexto de la presentación de la Política para el Manejo de los Residuos Sólidos Domiciliarios, Szanto N., 2006, p. 13, presenta los siguientes valores de composición establecidos por estrato socioeconómico para la Región Metropolitana.

Indicadores promedio de la caracterización de residuos sólidos municipales a nivel de la ciudad Santiago de Chile

COMPONENTE	VALOR PROMEDIO	ALTO (20,5%)	MEDIO ALTO (34,1%)	MEDIO BAJO (31,65%)	BAJO (14,7%)
Restos Orgánicos	49,3	48,8	41,8	54,7	56,4
Papeles y Cartones	18,8	20,4	22,0	17,0	12,9
Escoria y cenizas	6,0	4,9	5,8	6,1	7,6
Plásticos	10,2	12,1	11,5	8,6	8,1
Textiles	4,3	2,3	5,5	3,5	6,0
Metales	2,3	2,4	2,5	2,1	1,8
Vidrios	1,6	2,5	1,7	1,3	1,0
Huesos	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4
Otros	6,9	6,1	8,7	6,1	5,8
PPC (Kg/hab/día)	0,77	1,07	0,85	0,65	0,57

Fuente: (Arrieta Bernate, 2008; Szanto N., 2006).

Se puede observar que en los estratos altos la materia orgánica presenta valores inferiores, con relación a los de los estratos más bajos, en tanto que los papeles y cartones tienen mayor peso en los estratos altos, estas diferencias se deben en gran medida a los hábitos de consumo de los diferentes estratos socioeconómicos, donde tienen relevancia los ingresos y el nivel sociocultural de estos mismos. En general se puede señalar que respecto de los estudios analizados se observa que las diferencias principales entre los distintos estratos socioeconómicos corresponden a la fracción del contenido de materia orgánica y al contenido de papeles, cartones y plásticos en sus residuos, lo cual obedece principalmente a la cultura de consumo de cada estrato.

La tendencia general corresponde a un aumento en la producción per cápita debido a los mayores niveles de ingreso y al consecuente

cambio en los hábitos de consumo de la población, marcando una preferencia por los productos envasados.

*PPC por extracto socioeconómico en la R.M. de Santiago de Chile*

NIVEL SOCIOECONOMICO	PORCENTAJE (%)	PPC (Kg/hab/día)
ALTO	20,5	1,07
MEDIO ALTO	34,1	0,85
MEDIO BAJO	31,6	0,65
BAJO	13,7	0,57
VALOR MEDIO		0,77

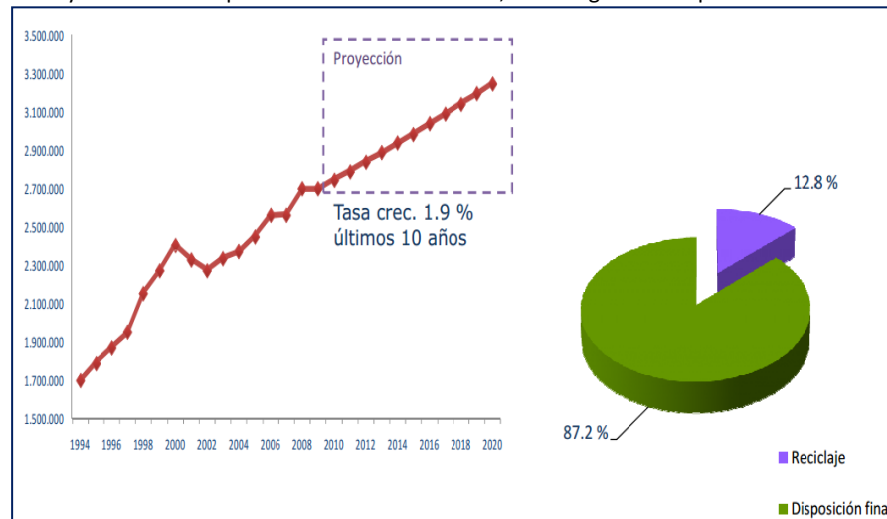
**Fuente:** (Arrieta Bernate, 2008).

Se puede observar que el nivel socioeconómico influye directamente en la producción per-cápita, se muestra claramente que a mayor estrato socioeconómico mayor es la producción de residuos sólidos. Lo anterior se puede explicar debido a que en gran medida los niveles socioeconómicos al tener mayores ingresos, presentan mayores niveles de consumo y por tanto mayor porcentaje de generación de residuos sólidos.

Al observar, sobre los Indicadores promedios de generación de residuos en los diferentes países, tantos desarrollados como los que se encuentran en vías de desarrollo, podemos inferir del análisis de las estadísticas presentadas, que mientras mayor es el desarrollo económico de un país, mayor es la proyección en crecimiento de residuos sólidos inorgánicos. Por tal razón se debe considerar que los países que actualmente se encuentran en vías de desarrollo, están caminando también hacia un crecimiento en la generación de residuos sólidos inorgánicos, por lo que se debe pensar en estrategias adecuadas que permitan disminuir los impactos que generan en el medio ambiente el crecimiento de los residuos sólidos en las ciudades y el mundo; las proyecciones de disposición de residuos

sólidos establecidos hasta el año 2020, por la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) de Salud de la Región Metropolitana.

Proyección de la disposición de RSD al año 2020, en la Región Metropolitana



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente a partir del SEREMI de Salud RM, [http://www.sinia.cl/1292/articulos-49815\\_PlanAccionStgoRecicla2009.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articulos-49815_PlanAccionStgoRecicla2009.pdf)

### **Proyecto de Ley Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor**

En Chile, desde hace décadas, el manejo de los residuos se plantea como preocupación en los distintos sectores sociales, aunque no se hayan planteado soluciones efectivas, en especial dada la complejidad del tema, a patrones de producción y consumo que favorecen la generación cada vez mayor de residuos.

Se precisa, además, que los residuos son sustancias u objetos que su poseedor desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente. El manejo de residuos y su disposición final generan altos costos ambientales, sociales y también un elevado costo económico para los Municipios, quienes, en su gran mayoría, contratan a empresas privadas o mediante manejo propio deben gestionar su recolección, transporte y disposición final. Se puede observar los diferentes contratos de la basura que se generan

en 34 comunas de la Región Metropolitana y los montos pagados por los municipios<sup>14</sup>.

El Centro de Investigación Periodística de Chile CIPER, publicó a través de un reportaje investigativo que más de \$ 6 mil millones mensuales suman los recursos destinados a pagar los servicios de recolección de basura de las capitales regionales y de las comunas del Gran Santiago. En total, cada año se transfieren cerca de \$73 mil millones a las empresas que se hacen cargo de los residuos en estos 48 municipios. El total de los fondos públicos que se gastan en la recolección de la basura es aún mayor, pues las municipalidades no sólo pagan por la recolección de los residuos, sino también por la disposición de la basura en rellenos sanitarios y el aseo de calles.

Así mismo, se hace presente que, un gran porcentaje de residuos son dispuestos en vertederos y micro basurales ilegales que en su mayoría se ubican en la periferia de la zona urbana, afectando principalmente a comunas de bajos ingresos e impactando negativamente sus presupuestos, debiendo éstas asignar recursos económicos, equipamiento y personal para clasificar, extraer, transportar y eliminar los residuos dispuestos ilegalmente en el espacio público.

El marco normativo en Chile asociado a residuos sólidos, data desde el año 1968 con el Código Sanitario, el cual rige todas las cuestiones relacionadas con el fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes, y regula aspectos específicos asociados a higiene y seguridad del ambiente y de los lugares de trabajo. En el año 1992 comienza a regir el D.S. N° 685 en que Chile ratifica el Convenio de Basilea.

---

<sup>14</sup> Información proporcionada por el Centro de Investigación Periodística de Chile (CIPER), Recuperado el 26 de marzo del 2017 de <<http://ciperchile.cl/2015/05/26/el-mapa-de-chile-del-millonario-negocio-de-la-basura/>>.

En el año 1992 entra en vigencia, el principal instrumento jurídico que regula las materias ambientales en Chile, esta es la Ley sobre bases generales del Medio Ambiente (Ley 19.300), que contempla 88 artículos cuyo objetivo es asegurar a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección, preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

En enero del 2010 también se promulgó la Ley 20.417, la cual crea el Ministerio de Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente.

El marco regulatorio que actualmente se refiere al manejo de residuos sólidos en Chile ha ido evolucionando a través del tiempo es así que tenemos algunos proyectos que se han ido germinando en este propósito.

Evolución de los proyectos de ley de residuos sólidos en Chile

AÑO	PROYECTO	APROBADO POR
2005	Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos	CONAMA
2006	Estudio Evaluación Jurídica Ley de Residuos	CONAMA
2008	Proyecto de Cooperación con GTZ (Cooperación Técnica Alemana)	CONAMA
2010	Programa del Gobierno (LEY 3R)	MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
2016	Ley Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor	MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Fuente: Elaboración propia, a partir del documento, <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49567\\_01.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49567_01.pdf)>

Junto con estas leyes se encuentra la norma de calidad ambiental ISO 14.000, norma Internacional que está enfocada a reducir los impactos en el ambiente y cumplir con la legislación en materia ambiental.

Dentro de otros instrumentos jurídicos que regulan las materias ambientales están:

- Ley N°19.880 sobre Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado.
- DFL N° 1-19.653 Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases de la Administración del Estado.
- Decreto Supremo N° 95 del año 2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Decreto Supremo N° 40 del año 2012, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Normas de calidad ambiental - preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental.
- Normas de emisión
- Planes de manejo, prevención o descontaminación.
- Normativa Sectorial.

Se puede mencionar algunos países donde por su naturaleza y economía interna, se ha logrado avanzar con respecto a la gestión de residuos sólidos, implantando algunas políticas públicas que le han permitido estructurar su gestión con respecto a esta temática.

Países con aplicación de Gestión de Residuos Sólidos

PAIS	PROYECTO
ESPAÑA	Ley N° 10, de Residuos , 1998, establece responsabilidad para los productores
UNIÓN EUROPEA	Directiva 2008/98/CE, incluye los conceptos “subproducto” y “fin de condición de residuo”
NUEVA ZELANDA	Ley de minimización de residuos, 2008, establece el concepto producto prioritario.
COSTA RICA	Ley de gestión integral de residuos, mayo 2010
COLOMBIA	Regulaciones REP medicamentos vencidos, envases plaguicidas. Regulaciones REP ampollitas, pilas agosto 2010
BRASIL	Política Nacional de Residuos Sólidos, agosto 2010

Fuente: Elaboración propia, a partir del documento, <[http://www.sinia.cl/1292/articles-49567\\_01.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49567_01.pdf)>

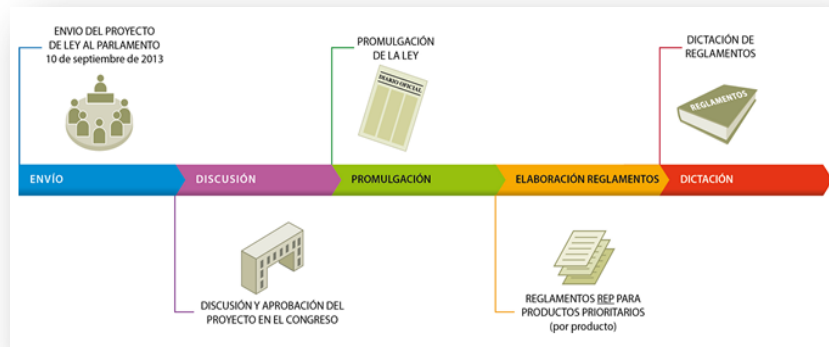
La Ley Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor, en Chile, tiene por *objetivo* incorporar la valorización de los residuos como un elemento primordial en la gestión de los residuos sólidos e introducir en la regulación existente en la materia, un instrumento económico que busca generar mecanismos que permitan aumentar los niveles de reciclaje de los residuos que actualmente se disponen en rellenos sanitarios o son depositados en vertederos ilegales.

De esta forma, la iniciativa legal en tramitación establece algunos instrumentos de gestión ambiental en materia de residuos, destacando entre ellos la REP, -Responsabilidad Extendida del Productor, la que se traduce en que el fabricante o importador deberá hacerse cargo del producto una vez terminada su vida útil, debiendo cumplir metas de reciclaje establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente. La REP, según lo expresa el mensaje, “implica que los productores de productos prioritarios deben cumplir con ciertas obligaciones tales como registrarse, organizar y financiar la gestión de

residuo, cumplir metas de recolección y valorización a través de alguno de los sistemas de gestión y asegurar que el tratamiento de los residuos recolectados se realice por gestores autorizados”.

La ley debió cumplir algunas etapas para su promulgación, en la actualidad se encuentra en la fase de elaboración de reglamentos para los productos prioritarios.

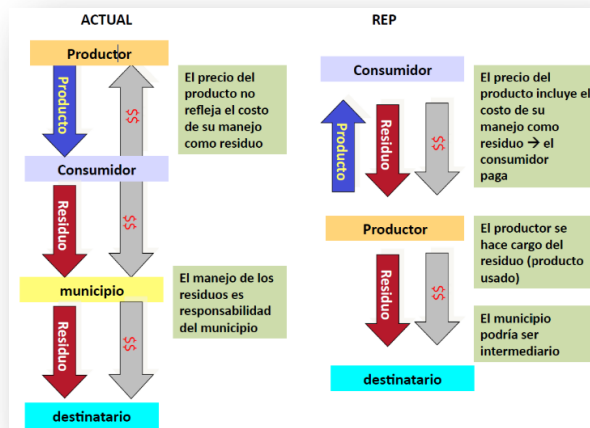
#### Etapas para la promulgación de la Ley.



**Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente, <<http://www.mma.gob.cl/1304/w3-propertyvalue-16542.html>>.

La ley consta de 37 artículos permanentes y dos transitorios, agrupados en ocho títulos, en los que se regulan el marco para la gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor. Asimismo, modifica la ley N° 19.300, Bases Generales del Medio Ambiente, buscando establecer el siguiente esquema representado.

### Finalidad del proyecto de la Ley REP.

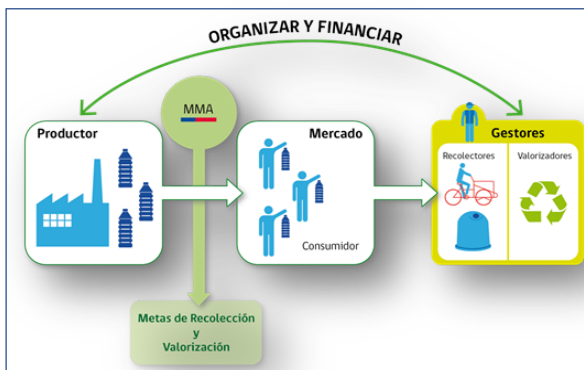


**Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente, <[http://www2.inia.cl/medios/tamelaike/LODOS2011/proyecto\\_leyCoyhaique110324](http://www2.inia.cl/medios/tamelaike/LODOS2011/proyecto_leyCoyhaique110324)>.

Para poder llevar a cabo esta Ley REP, se ha podido identificar algunos actores, además, estos deben hacer sinergia en el momento de actuar, de tal modo que se pueda alcanzar los fines esperados, entre estos actores tenemos los siguientes:

- Productor- Proveedor- Generador-Empresa
- Gobierno- MMA- CONAMA-Municipalidad
- Consumidor- Mercado- Sociedad
- Gestores- Emeres- Recicladores

### Actores definidos por el proyecto de Ley



**Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente, <[http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/06/Presentacion-LEY-REP-20920\\_Junio\\_2016.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/06/Presentacion-LEY-REP-20920_Junio_2016.pdf)>.

***Obligaciones y Responsabilidades de los Actores. -***

**Productores.** - En cuanto a las obligaciones de los productores, serían las siguientes:

Registrarse;

Organizar y financiar la recolección y tratamiento de residuos a través de un sistema de gestión;

Cumplir con las metas de recolección y valorización de residuos, así como con otras obligaciones asociadas; y

Asegurar que el tratamiento de los residuos recolectados se realice por gestores autorizados.

Etiquetado;

Información a distribuidores, gestores y consumidores, incluyendo la desagregación del costo de gestión de los residuos en la boleta o factura -este costo deberá mantenerse en toda la cadena de comercialización;

Diseño e implementación de estrategias de comunicación y sensibilización; y

Diseño e implementación de medidas de prevención en la generación de residuos.

Procedimientos de licitación, con mecanismos de seguimiento y control de servicios contratados

**Gobierno - MMA.** - En cuanto a las obligaciones del Gobierno a través del Ministerio del Medio Ambiente o a su vez a través de sus representantes como son la Comisión Nacional de Medio Ambiente CONAMA o las diferentes Municipales de cada comuna, serían las siguientes.

Cumplir y hacer cumplir lo establecido en la Ley de Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor.

Verificar que se cumplan las metas de Recolección y Valorización de los residuos sólidos.

Otorgar licencia de funcionamiento a los sistemas gestión, como Gestores Autorizados.

**Gestión de los Gestores.** - En cuanto a las obligaciones del Gobierno a través del Ministerio del Medio Ambiente o a su vez a través de sus representantes como son la Comisión Nacional de Medio Ambiente CONAMA o las diferentes Municipales de cada comuna, serían las siguientes.

Creación de persona jurídica sin fines de lucro.

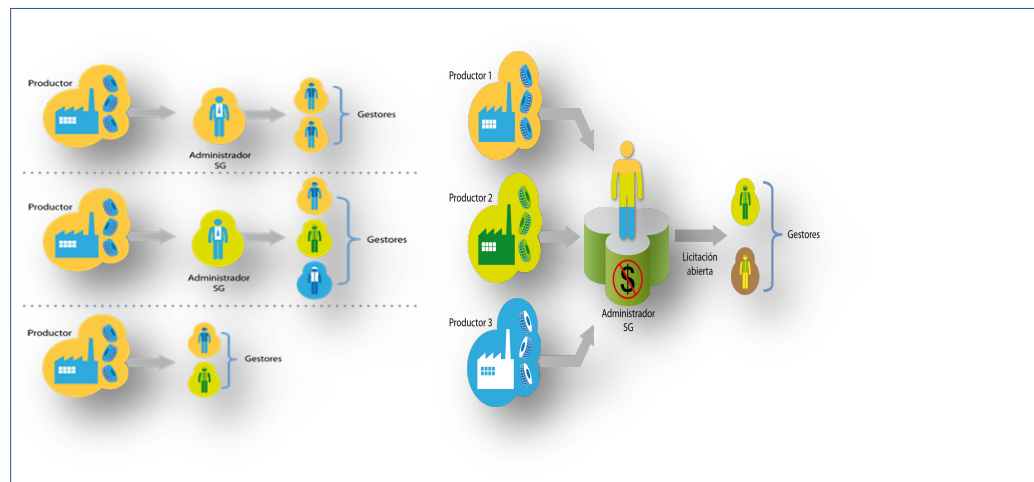
Estatutos deben garantizar la libertad de incorporación y equidad de participación de productores.

Licitación abierta para contratar a gestores.

Informe del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia.

Los respectivos sistemas de gestión propuesto por el Proyecto de Ley:

Sistemas de gestión propuesto por el proyecto de Ley  
**Sistemas Individuales de Gestión      Sistemas Colectivos de Gestión**



**Fuente:** Ministerio del Medio Ambiente, <[http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/06/Presentacion-LEY-REP-20920\\_Junio\\_2016.pdf](http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/06/Presentacion-LEY-REP-20920_Junio_2016.pdf)>.

**Consumidor – Mercado.** - La Responsabilidad Extendida del Productor (REP) es una gran herramienta para promover el reciclaje, pero por si sola no será capaz de incentivarlo, pues se requiere la participación de todos los actores de la cadena entre estos la del Consumidor que juega un rol primordial en la separación en el origen para los cuales debemos ofrecerles incentivos y obligaciones para poder lograr los cambios de hábitos requeridos para este proyecto.

***Sistema de Gestión.*** -

El sistema de Gestión, es un organismo que permite que los productores den cumplimiento a sus metas de recolección establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente, de tal forma que se constituyan un nexo entre productores y gestores de residuos. Estos sistemas de gestión pueden ser individuales o colectivos, los mismos que deben ser autorizados por la autoridad ambiental (Ministerio del Medio Ambiente). Además, deben ser integrados exclusivamente por productores de los productos prioritarios. Los sistemas colectivos de gestión tienen restricciones para evitar distorsiones de mercado, entre las restricciones que debe tener el sistema es mantener una personalidad jurídica sin fines de lucro, garantizar la libertad de incorporación y equidad de participación de productores e informe del tribunal de defensa de la libre competencia.

No obstante, lo anterior, la ley se encuentra en una fase de implementación y a la espera de la publicación de cuatro reglamentos y dos modificaciones normativas, los que, en su conjunto, darán vida al nuevo sistema de gestión de los residuos en Chile.

Cabe señalar que las obligaciones y las metas de reciclaje, a ser establecidas en el marco de la ley, deberán cumplirse a través de los

sistemas de gestión, individual o colectivo, los que pasarán a ser entidades que administrarán y financiarán la recuperación y valorización de los productos prioritarios ingresados al mercado y al final de su ciclo de vida. Además, deben celebrar convenios con recicladores de base, municipalidades / asociaciones municipales o con los gestores registrados, a través de licitación abierta o licitación por separado, que debe ser informada al Ministerio de Ambiente.

Los productores de los productos prioritarios, son los que decidirán el régimen al que quedarán sujetos, previa aprobación de los sistemas de gestión por parte del Ministerio del Medio Ambiente. La cadena de abastecimiento, financiada por los sistemas de gestión, estará compuesta por los gestores autorizados e inscritos en los registros del Ministerio, los que accederán a estos sistemas vía licitación abierta.

Cada sistema de gestión deberá presentar un plan que contemplará a lo menos lo siguiente:

- Identificación de los productores.
- Identificación de persona jurídica.
- Reglas y procedimientos.
- Estimación de las cantidades de productos prioritarios puestos en el mercado.
- Estrategia para lograr el cumplimiento de las metas.
- Procedimientos de licitación.
- Mecanismos de seguimiento y control de los servicios contratados.
- Procedimientos para recolección y entrega de información al Ministerio del Medio Ambiente.
- Sistema de verificación de cumplimiento del Plan

De acuerdo a los antecedentes aportados en la búsqueda de información con respecto a esta problemática, se puede hacer las siguientes apreciaciones:

La situación actual de la producción de residuos sólidos es crítica en muchos países como lo demuestra el alarmante deterioro ambiental y los problemas sanitarios asociados al precario manejo de los residuos sólidos, que aún representa uno de los retos más importantes que enfrentan las distintas instancias de los diferentes gobiernos.

Según el Banco Mundial, las ciudades del planeta producen más de 1,3 mil millones de toneladas anuales de residuos sólidos. La generación de basura per cápita prácticamente se duplicó en los últimos años, llegando en la segunda década del milenio a 1,2 kilos por persona por día. La basura crece mucho más que el índice de urbanización, en números globales. El ritmo de ese aumento debe ser frenado, pero, con el aumento de la población y de los ingresos, se estima que en 2025 se alcancen las 2,2 mil millones de toneladas anuales de residuos sólidos (World Bank, 2016).

El estudio sobre la evaluación de residuos sólidos que realizó el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el año 1997, con carácter investigativo sobre América Latina, además de confirmar los vacíos de información existentes en el tema de residuos sólidos, pudo ratificar que el tamaño de las ciudades y el ingreso per-cápita son factores determinantes en la generación de residuos sólidos. Así las estadísticas presentadas por CEPAL, sobre el crecimiento del PIB en los diferentes países con respecto a los años 2013, 2014 y 2015, muestran el crecimiento económico que se está generando en Chile, como en toda América Latina y el Caribe.

Al observar los Indicadores promedios de generación de residuos que se alcanzan en los diferentes países, tantos desarrollados como los que se encuentran en vías de desarrollo, podemos inferir del análisis de las estadísticas presentadas por la CEPAL con respecto al crecimiento del PIB, que mientras mayor es el desarrollo económico de un país, mayor es la proyección de crecimiento en generación de residuos sólidos inorgánicos. Por tal razón se debe considerar que los países que actualmente se encuentran en vías de desarrollo, están caminando también hacia un mayor crecimiento de generación de residuos sólidos inorgánicos, por lo que se debe pensar en estrategias o alternativas adecuadas que les permitan a las empresas poderse hacer cargo de sus residuos una vez que estos han culminado su ciclo de vida útil y se encuentra en manos del consumidor, de tal manera que las empresas puedan obtener beneficios económicos por el retiro de los mismos, esto a través de modelos de logística inversa que les permitan poder cumplir una adecuada gestión de los residuos sólidos, ya que estos residuos están afectando en gran medida al medio ambiente en la actualidad, además con una buena implementación de estos sistemas de gestión, le permitirá a las empresas poder cumplir con su responsabilidad exigida por los residuos producidos a partir de la finalización del ciclo de vida de los mismos.

Uno de los problemas presentados en el diseño de redes y modelos generales de logística inversa, se han centrado principalmente en la gestión de residuos, recuperación de materiales (reciclaje), recuperación de productos o de partes (remanufactura o reusó) y retornos comerciales (Pokharel & Mutha, 2009).

Además, la falta de una adecuada logística inversa por parte de las empresas les genera:

- Una Reducción de sus beneficios económicos (ahorros en adquisición de materia prima, reducción costo de producción)
- Consumo de energía y materiales que se utilizan para elaborar envases y productos que después desecharemos. Esta energía y estos materiales con frecuencia provienen de recursos que no son renovables, por ejemplo, del petróleo y de minerales. Cuando nos deshacemos de lo que consideramos basura, en realidad estamos tirando recursos naturales.
- La contaminación del agua. El agua superficial se contamina por la basura que tiramos en ríos y quebradas. Pero el problema principal que no vemos, es que en los lugares donde se concentra la basura se filtran líquidos, conocidos como lixiviados, que contaminan el agua del subsuelo de la que, en la ciudad, todos dependemos. Cabe aclarar que en los rellenos sanitarios los lixiviados no contaminan el agua ni el suelo porque están controlados y debidamente tratados.
- La contaminación del suelo. La basura que arrojamos al campo cambia la composición química del suelo y obstruye la germinación y crecimiento de la vegetación.
- La contaminación del aire, por la descomposición de la materia orgánica, los frecuentes incendios y por los residuos y bacterias que son dispersados por el viento.
- Mal cumplimiento a las normas ambientales
- Una mala filosofía de la responsabilidad social
- Un decrecimiento de la ventaja competitiva
- Bajas garantías para el cliente

De esta manera podemos identificar, que la estructura organizativa como agente estratégico y ejecutor de las prácticas medioambientales de las empresas, tiene una alta responsabilidad al

ser el equipo humano el que debe, con sus decisiones, alcanzar que la empresa se alinee con las necesidades de protección ambiental, por medio de un adecuado manejo de los desechos sólidos que se encuentran introduciendo en la sociedad.

La basura en general, hoy en día no se financia, la basura es un gasto para el país, en algunos productos que hay un valor posterior; podría financiarse porque hay poder comprador de estos residuos, que es lo que ocurre con la chatarra, el cartón, con los vidrios, en los neumáticos lamentablemente no hay poder comprador, entonces, también es un costo hoy en día y frente a eso los municipios se ven complicados, de ahí que los que comercializan el producto, llámese; canal de ventas y el que los importó o fabricó, tomen alguna responsabilidad es una de las opciones más viables y que podría sustentarse.

También debe tenerse en cuenta que en nuestra sociedad se está introduciendo, cada vez en mayor medida, la necesidad de un entorno sostenible, un planeta limpio y una reducción del consumo de los recursos naturales. Se desea legar a las próximas generaciones un entorno mejor que el que actualmente tenemos. Esta presión social, hace que las empresas deban tener en cuenta esta situación y actuar en consecuencia con relación al problema que se está generando y que está consumiendo al planeta actualmente. Las empresas deberían incluir modelos de Análisis de Inversiones sobre logística inversas en sus cadenas de suministro que les permita poder realizar una mejor reducción, reutilización, reciclaje, valorización energética, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos que se encuentran generando. En la actualidad las mayorías de las empresas no poseen ningún tipo de modelo que les permita

identificar los beneficios de una buena logística inversa en sus cadenas de suministro.

A través de esta investigación, se intenta contribuir con información sobre los distintos niveles de una misma problemática relacionada con el manejo de los residuos sólidos, que, por su grado de importancia y urgencia, envuelve responsablemente a todas las personas, las organizaciones y también al Estado que integra nuestra sociedad, abordando la problemática desde una triangulación de roles.

Existen diversos factores y actores que participan, para identificar los productos ambientalmente responsables dentro de un sistema complejo. Entre los factores involucrados en esta problemática se ubican el consumo de materia prima, de recursos hídricos y energéticos, generación de residuos, contaminación del agua, aire y suelo, por último, la contaminación electromagnética, lumínica, olfativa y acústica. Así mismo, entre los actores se ubican centralmente los Estados que por su volumen de compra pueden intervenir en el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías para las industrias proveedoras (Del Giorgio Solfa, Lagunas, & Lasala, 2011).

A medida que el proceso de recuperación y reciclado sea más completo y eficaz, menos habrá que acudir a los recursos naturales primarios y menor será la recuperación de los residuos finales sobre el medio ambiente. La recuperación perfecta y el reciclado ideal serían los que no produjeran residuo alguno, algo que, evidentemente resulta por hoy imposible (Pardavé Livia, 2006).

Para (Byrne & Deeb, 1993), el gran obstáculo al que se enfrentan las organizaciones en la implementación de la logística inversa es la economía, donde los contribuyentes son los que pagan la gestión de residuos, mediante las tasas impuestas por el gobierno o

incrementos de precios de productos. A pesar de estos podemos decir que la logística inversa permite realizar una mejor reducción, reutilización, reciclaje, valorización energética, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos que se generan. Con el fin de mejorar los procesos en la cadena de abastecimiento y reducir el problema de la contaminación.

Se puede indicar que la logística inversa busca gestionar los retornos, procesos de remanufactura, reproceso, reciclaje y disposición de los productos, buscando reducir los impactos en el medio ambiente y aumentar la recuperación del valor económico de los productos. Con la utilización de algunos principios de la Responsabilidad Social Empresarial, la logística inversa puede aumentar el alcance de los impactos en la cadena de suministro, ya que no sólo se genera reducción en los impactos medioambientales, sino que también se establecen beneficios para los empleados, la comunidad y los clientes en aspectos como ética, derechos humanos, seguridad, salud y responsabilidad financiera.

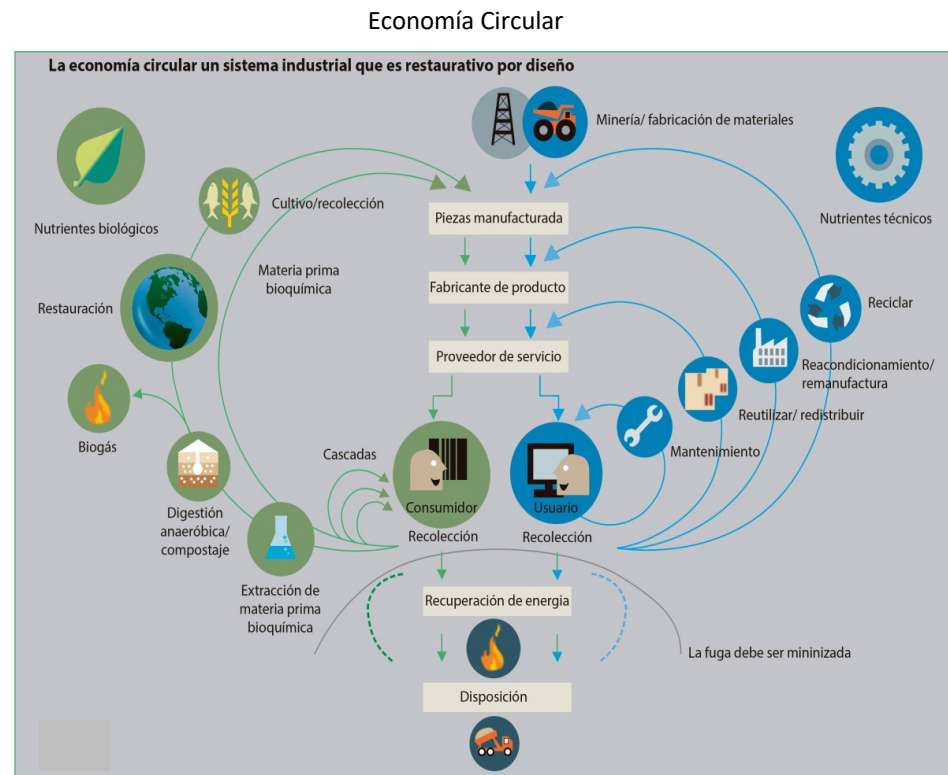
Se busca, en definitiva, proponer un modelo de logística inversa para las empresas con el propósito de analizar los costos de los procesos inversos y como las empresas adaptan su estructura organizativa a las nuevas necesidades derivadas de la legislación en el componente medioambiental, una vez que estas han asumido la extensión de su responsabilidad más allá de la vida útil de los productos que fabrican.

Con esta investigación se busca permitir a las empresas fijar el camino futuro que deberán transitar, en este ámbito. Tanto el mercado como la Administración Pública deberán observar cada vez más las acciones que las empresas tomen para ofrecer productos “verdes”, fabricados con materias primas y medios que sean respetuosos con el medio ambiente. Los clientes en un tiempo no muy lejano establecerán sus

expectativas de compra en las organizaciones que realicen métodos innovadores en el aspecto medioambiental, por lo que se considerará una ventaja competitiva para las empresas.

Cuando una organización añade a su cadena de suministro tradicional los procesos de la logística inversa, dicha cadena se puede llamar cadena de suministro circular (Economía Circular), ya que el flujo inverso cierra el ciclo (García, 2004).

Una cadena de suministro circular mejora el aprovisionamiento de los productos, servicios e información mejor de lo que haría una cadena de suministro tradicional ya que reduce costos a la vez que reduce el impacto ambiental.



**Fuente:** Diseñado a partir de (Ellen Macarthur Foundation, 2013)

De esta forma se pretende disminuir los impactos ambientales negativos que se generan por la mala disposición final de los desechos

sólidos y generar ingresos para una organización, a partir de los productos considerados como residuos.

### **Modelo de logística inversa: Estudio de caso en Chile**

Se seleccionó de entre los diferentes productos considerados como prioritarios dentro de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor, promulgada por el Gobierno Chileno, a los neumáticos fuera de usos (NFU), para diseñar un modelo logístico de recuperación y valorización de estos residuos a través de la logística inversa en una cadena de suministro, que permita la maximización del beneficio del sistema, por un modelo de localización, donde se determinan los centros de acopio y las plantas de reprocesamiento óptimos del sistema, así como la proporción de la cantidad de producto reciclado que se deben enviar a los centro de acopio, planta de reprocesamiento y las fuentes de generación de energía de tal forma que permita cumplir la demanda, optimizando los costos de operaciones y la utilización de las capacidades de los diferentes centros, adicionalmente permite determinar, la cantidad de producto reciclado que hace falta para cumplir con las metas de reciclajes establecidas por el Gobierno.

#### **Los Neumáticos Fuera de Uso (NFU).**

Los NFU en este contexto, no generan ningún peligro inmediato pero su eliminación de manera incorrecta o su exagerada producción se transforma en un foco de contaminación grave para el medioambiente y puede ocasionar serios problemas a la hora de eliminarlos, puesto que su diseño ha sido realizado para soportar las debacles climáticas y mecánicas más duras, además sus propiedades fisicoquímicas como la resistencia al ozono, a la luz y a las bacterias, hace que este residuo sea prácticamente indestructibles por el paso

del tiempo (Sánchez Juan, 2012). Los neumáticos son flexibles y difíciles de compactar debido a la forma y tamaño que poseen, y almacenados en vertederos o lugares no autorizados, se transforman en el lugar ideal de roedores e insectos, acumulan gases tóxicos y son grandes focos de infección; Además se puede considerar que los neumáticos no son degradables en un corto tiempo, ya que su degradación promedio está determinada en un lapso de 500 años o más (Minerbi, 2015).

Para (Corchero, 2012; Vignart L., 2010), cada neumático fabricado requiere de una gran cantidad de energía, es decir la huella de carbono para la producción de un neumático es demasiado alta, en promedio se requiere alrededor de medio barril de petróleo crudo para producir un neumático de camión. Por esta razón es que es de vital importancia aprovechar al máximo la vida útil de los neumáticos y, cuando termine su ciclo de vida estos se puedan transformar en un material provechoso para la humanidad y no en un problema medioambiental como lo es en la actualidad.

Existen métodos que se utilizan para conseguir tratar o eliminar este residuo, uno de los métodos empleados para eliminar los NFU es la quema directa, método que provoca graves daños al medio ambiente debido a las fuertes emisiones de gases y partículas nocivas que se emanan. Otro método utilizado es la reutilización de NFU en parques infantiles como implementos de juegos para niños, también estos residuos son usados como defensa en muelles o embarcaciones donde tienen la finalidad de amortiguar impactos entre las embarcaciones y muelles, en otras ocasiones se los utiliza también como barreras anti ruido, como taludes de carretera, para la estabilización de zonas anegadas o en pistas de carreras, etc.

Un proceso interesante es el de recauchado de los neumáticos, que es un proceso en el que se reutiliza la carcasa del neumático y se le coloca una nueva banda de rodadura por medio de un proceso de pegado a altas temperaturas dentro de un autoclave, que funciona como horno de cocción. Eso hace que se conserven las cualidades del neumático y se puede volver a utilizar el producto como si fuera nuevo. Por último con este residuo NFU terminado su ciclo de vida, se puede producir una serie de pellets de diferentes granometrías que se pueden utilizar en la producción de diferentes productos, así podemos ver los diferentes tratamientos que pueden estar sometidos estos NFU antes de darle un uso significativo.

#### **Sistemas de tratamientos para los NFU.**

Encontrar soluciones útiles para los neumáticos desechados es una continua preocupación para los grupos que luchan por la preservación del medio ambiente. Los índices de reciclaje están aumentando, pero no lo suficiente para evitar que los neumáticos aparezcan abandonados en cualquier sitio o depositados en los vertederos (Vignart L., 2010). Hay diversos métodos que es posible emplear en el reciclaje de los neumáticos, entre los cuales se encuentran: Trituración mecánica, termólisis, pirolisis, incineración, trituración criogénica y producción de energía eléctrica, que están descritos a continuación:

***Trituración mecánica:*** Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad, limpios de todo tipo de impureza, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de residuos de neumáticos.

**Termólisis:** Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. De esta forma, se obtiene la recuperación total de los componentes originales del neumático, tales como metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales ya sea de producción de neumáticos o de otras actividades.

**Pirolisis:** La descomposición química que se obtiene por acción del calor. Aun esta poco extendido, debido a problemas de separación de compuestos carbonados que ya están siendo separados. Los productos obtenidos después del proceso de pirolisis son principalmente: gas similar al propano que se puede utilizar para uso industrial, aceite industrial líquido que se puede refinar en diésel y acero.

**Incineración:** Es un proceso costoso y, además, presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de depuración de los residuos, por lo que no resulta fácil de controlar y, además, es contaminante. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un procedimiento exotérmico. Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana. También conlleva el peligro de que muchos de estos compuestos sean solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

**Trituración criogénica:** Este método consiste en introducir los residuos en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en

vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una turbina, que, acoplada a un generador, produce la electricidad.

Aplicaciones del caucho de los NFU.

En Chile solo existe una empresa de reciclaje de neumáticos llamadas “Polambiente”, esta empresa recibe una gran cantidad de neumáticos fuera de uso, que son utilizados como materia prima para transformándolos en pellets y en derivados de polvo de caucho de NFU. Se muestra las posibles aplicaciones de reutilización de estos NFU; además se puede citar ejemplos de reutilización neumáticos enteros en:

- Arrecife artificiales.
- Defensa de muelles o embarcaciones.
- Barreras sonoras y como elementos de seguridad vial.
- En trozos o tiras se pueden utilizar en:
- Rellenos ligeros.
- Drenaje de gases en vertederos y rellenos.
- Recogida de lixiviados en vertederos y aislamientos térmicos.
- Como polvo granulado tiene aplicación en:
  - Carreteras.
  - Campos de futbol.
  - Campos de juegos o gimnasia.
  - Pistas de atletismo.
  - Pistas ecuestres.
  - Relleno de césped artificial
  - Calzado.
  - Baldosas.
  - Rellenos de cables.
  - Decoración.

- Mezcla de caucho crudo.
- Elastómeros termoplásticos.

Además, el neumático tiene un poder calorífico que fluctúa entre (6800 kcal/kg a 7800 kcal/kg) que es superior al del carbón y menos contaminante que este, ya que el neumático tiene un menor contenido de azufre, contribuyendo a un buen combustible, y puede ser valorizado energéticamente en centrales eléctricas, cementeras, industrias papeleras, cerámicas de producción de vapor.

#### Aplicaciones del caucho de los NFU



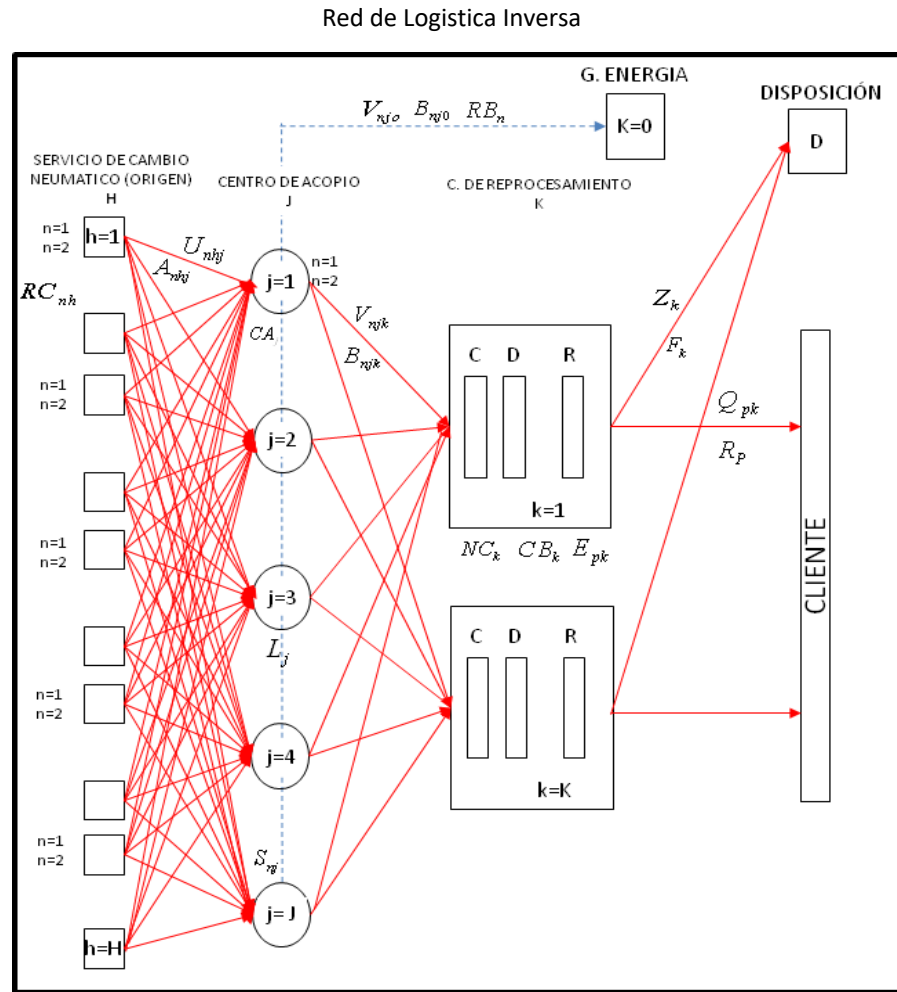
Fuente: Elaboración propia.

Se describe por medio de una imagen ilustrativa el ciclo de uso y de reuso de los neumáticos.

### Formulación del Modelo

El Modelo de optimización de Programación Lineal Entera Mixta, para el diseño de cadenas de suministro de reciclaje de múltiples productos fuera de uso, consiste en determinar los centros de acopio y las plantas de reprocesamiento óptimos, así como la proporción de la cantidad de producto que se debe distribuir entre los diferentes centros de acopios, plantas de reprocesamiento y hacia las fuentes de

generación de energía, de tal forma que permita cumplir la demanda, optimizando los costos de operaciones y la utilización de las capacidades de los diferentes centros permitiendo establecer el beneficio del sistema.



Fuente: Elaboración propia

La generación de los residuos en las fuentes (centro de servicios de cambio de neumáticos) tiene un comportamiento determinista, de ahí se transportan a los centros de acopios para su agrupación, los mismos que después son transportados a los centros de

reprocesamiento, desde donde se distribuye a los clientes, cuya demanda tiene también un comportamiento determinista y el material que no se puede aprovechar en el reprocesamiento es enviado a los vertederos, haciendo una buena disposición del residuo. El modelo para resolver este problema tiene las siguientes asunciones:

- El modelo contempla un tipo de residuo (Neumáticos) y este a su vez pueden ser de diferente tamaño, grande o pequeños.
- La localización de los servicios de cambios de neumáticos es conocida generando un radio de acción con relación a los centros de acopios.
- La posible localización de los centros de acopio y centro de reprocesamientos es conocida.
- Las capacidades de los centros de acopios son conocidas.
- Las capacidades de los centros de reprocesamientos son conocidas.
- La cantidad de centro de acopio y centro de reprocesamiento son restringidas.
- La generación de los residuos y la demanda de las materias primas recuperadas tienen comportamientos deterministas.
- La cantidad y capacidad de los medios de transporte potenciales son conocidas.
- Los costos unitarios de transportación de las toneladas de residuos son conocidos.
- Los flujos solamente son permitidos entre dos eslabones consecutivos de la cadena y no se permiten flujos entre elementos del mismo eslabón, ni saltarse eslabones.
- Los costos fijos y variables de producción, transportación, las inversiones de los centros de acopio y de reprocesamiento, son

conocidos y su comportamiento es determinístico para un periodo de tiempo.

**Conjuntos:**

**N:** Conjunto de tipo de neumáticos reciclados (  $n = 1, 2, \dots, N$  )

**H:** Conjunto de locales proveedores generadores de residuos reciclables "Centro de servicio de recambio de neumáticos (origen)", donde se entregan los NFU (  $h = 1, 2, \dots, H$  ).

**J:** Conjunto de locales potenciales de centro de acopios (  $j = 1, 2, \dots, J$  )

**K:** Conjunto de centro de reprocesamiento potenciales (  $k = 1, 2, \dots, K$  ); para  $k = 0$  se ha designado la planta de generación de energía, las demás plantas se consideran para el reprocesamiento.

**P:** Conjunto de productos comercializados (  $p = 1, 2, n$  ), donde "1" es el pellets, "2" el acero contenido en el neumático y "n" neumáticos enteros para generación de energía.

**Variables:**

$U_{nhj}$  = Toneladas de neumáticos reciclado del tipo "n", enviado desde el origen "h", al centro de acopio "j".  $n \in N, h \in H, j \in J$

$V_{nj k}$  = Toneladas de neumático reciclado del tipo "n", enviado desde el centro de acopio "j", al centro de reprocesamiento "k".  $n \in N, j \in J, k \in K$

$Z_k$  = Toneladas de residuo de neumático generado en el centro de reprocesamiento "k".  $k \in K$

$Q_{pk}$  = Producción del producto "p", en el centro de reprocesamiento "k".  $k \in K$

S. = Sobrante por recoger de neumático en el centro de acopio "j" o faltante para completar la meta de recolección

$X_j$  = Variable binaria de decisión para el centro de acopio "j".  $j \in J$

$$\begin{cases} 1 & \text{Si el centro de acopio "j" se abre.} \\ 0 & \text{Si el centro de acopio "j" no se abre} \end{cases} \quad X_j \in \{0,1\}$$

$Y_k$  = Variable binaria de decisión para el centro de reprocesamiento "k",  $k \in \{1, \dots, K\}$

$$\begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Si el centro de reprocesamiento "k" se abre.} \\ \text{Si el centro de reprocesamiento "k" no se abre} \end{array} \right. \quad Y_k \in \{0,1\}$$

**Parámetros:**

- $L_j$  = Capacidad del centro de acopio "j" en toneladas.  $j \in J$
- $NC_k$  = Capacidad del centro de reprocesamiento "k" en toneladas.  $k \in K$
- $\Omega_{np}$  = % del producto "p", en el neumático de tipo "n".
- $RC_{nh}$  = Oferta de neumáticos de tipo "n", recogidos en los servicios de cambios de neumáticos "h".  $n \in N, h \in H$
- $\alpha_{nk}$  = % de aprovechamiento de los neumáticos tipo "n", que ingresan al centro de reprocesamiento "k".  $n \in N, k \in K$
- $RP_p$  = Precio de venta unitario de una tonelada del producto "p".
- $RB_n$  = Precio de venta unitario del neumático reciclado de tipo "n" en la fuente de generación de energía.
- PO = % de residuo recogido en el servicio de cambio de neumático.
- m = Multa por no cumplimiento del porcentaje de la meta de recolección.

**Costos:**

- CA<sub>j</sub>** = Costo fijo anualizado de operar el centro de acopio "j".  $j \in J$
- CB** = Costo fijo anualizado de operar el centro de reprocesamiento "k".  $k \in K$
- $A_{nhj}$  = Costo unitario de transporte de una tonelada del neumático reciclado de tipo "n", desde el origen "h", al centro de acopio "j". ( $\$/Tn.$ ).  $n \in N, h \in H, j \in J$

$B_{njk}$  = Costo unitario de transporte de una tonelada del neumático reciclado de tipo “n”, desde el centro de acopio “j”, al centro de reprocesamiento k. ( $\$/\text{Tn.}$ ).  $n \in N, j \in J, k \in K$

$F_k$  = Costo unitario de transporte de una tonelada de residuo, generado desde el centro de reprocesamiento “k”, a la disposición en vertedero “d”. ( $\$/\text{Tn.}$ ).  $k \in K$

$E_{pk}$  = Costo unitario de producción en centro de reprocesamiento “k”, ( $\$/\text{Tn.}$ ).  $k \in K$

### **Función objetivo:**

El modelo matemático de programación lineal entera mixta propuesto, tiene como función objetivo la relación de los ingresos y costos que se involucran en un proceso de logística inversa. Dado que se busca maximizar el beneficio para una organización que implemente un programa de logística inversa.

Los ingresos económicos serán determinados por la cantidad de residuos que se puedan vender a las fuentes de generación de energía y por los productos obtenidos del reprocesamiento de los residuos que generen ingresos económicos por su comercialización. Los costos estarán dados por, los diferentes costos asociados a la transportación de los residuos desde centro de origen hasta el centro de reprocesamiento y por los costos involucrados en el reprocesamiento de los residuos, estos ingresos vs costo son utilizados para determinar la función objetivo.

### **Ingresos:**

- Venta de neumáticos a la fuente de generación de energía.
- Venta de los productos obtenidos del reprocesamiento de los neumáticos “pellet, acero, etc.”.

**Costos:**

- Transportar los neumáticos reciclados desde el origen hasta el centro de acopio.
- Transportar los neumáticos reciclados desde el centro de acopio a las plantas reprocesamiento.
- Transportar los neumáticos reciclados desde el centro de acopio a la fuente de generación de energía.
- Transportar los residuos del reprocesamiento al vertedero (Disposición)
- Costo unitario de reprocesamiento
- Costo fijo anualizado de funcionamiento del centro de acopio.
- Costo fijo anualizado de funcionamiento del centro de reprocesamiento.

$$Max f(X_j, Y_k, U_{nhj}, V_{njc}, Z_k, Q_{pk}, S) = \sum Ingresos - \sum Costos$$

Dado lo anterior es posible definir el modelo de programación lineal entera mixta por la ecuación (1.1):

$$\begin{aligned}
 &Max f (X, Y, U, V, Z, Q, S) \\
 = &\sum_{k \in K \setminus \{0\}} \sum_{p \in P} (RP_p - E_{pk}) \cdot Q_{pk} + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} RB_n \cdot V_{njo} - \sum_{n \in N} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} A_{nhj} \cdot U_{nhj} \\
 &- \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} B_{njc} \cdot V_{njc} - \sum_{n \in N} \sum_{k \in K \setminus \{0\}} \left[ (1 - \alpha_{nk}) \sum_{j \in J} V_{njc} \cdot f_k \right] \quad (1.1) \\
 &-(m \cdot S) - \left( \sum_{j \in J} CA_j \cdot X_j + \sum_{k \in K \setminus \{0\}} CB_k \cdot Y_k \right)
 \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_{h \in H} \sum_{n \in N} U_{nhj} \leq X_j \cdot L_j \quad \forall j \in J \quad (1.2)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} V_{njc} \leq Y_k \cdot NC_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.3)$$

$$S \geq PO \sum_{n \in N} \sum_{h \in H} RC_{nh} - \sum_{n \in N} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} U_{nhj} \quad (1.4)$$

$$\sum_{j \in J} U_{nhj} \leq RC_{nh} \quad \forall n \in N, h \in H \quad (1.5)$$

$$\sum_{h \in H} U_{nhj} = \sum_{k \in K} V_{njc} \quad \forall j \in J, n \in N \quad (1.6)$$

$$\sum_{n \in N} \left[ \Omega_{np} \cdot \alpha_{nk} \cdot \sum_{j \in J} V_{njc} \right] = Q_{pk} \quad \forall 1 \leq k, p \quad (1.7)$$

$$\sum_{n \in N} \left[ (1 - \alpha_{nk}) \cdot \sum_{j \in J} V_{njc} \right] = Z_k \quad \forall 1 \leq k \quad (1.8)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (1.9)$$

$$Y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (1.10)$$

$$U_{nhj} \geq 0 \quad \forall n \in N, h \in H, j \in J \quad (1.11)$$

$$V_{njc} \geq 0 \quad \forall n \in N, j \in J, k \in K \quad (1.12)$$

$$Z_k \geq 0 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.13)$$

$$Q_{pk} \geq 0 \quad \forall p \in P, k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.14)$$

$$S \geq 0 \quad (1.15)$$

El conjunto de restricciones dada por la ecuación (1.2), garantiza que para todos los centros de acopios “ $j$ ”, los neumáticos que se envíen desde los servicios de cambio de neumáticos “ $h$ ”, a los centros de acopios “ $j$ ”, no sean mayores a la capacidad de cada uno de los centros de acopios, si este se encuentra operando.

El conjunto de restricciones dada por la ecuación (1.3), garantiza que para todos los centros de reprocesamiento “ $k$ ”, los neumáticos que se envíen desde los centros de acopios “ $j$ ”, a los centros de reprocesamientos “ $k$ ”, no sean mayores a la capacidad de cada uno de los centros de reprocesamiento, si este se encuentra operando.

El conjunto de restricciones dadas por la ecuación (1.4), establecen el sobrante o faltante para cumplir la meta de recolección con relación a la oferta de neumático establecida por el mercado y la meta establecida a reciclar.

El conjunto de restricciones dadas por la ecuación (1.5), establece el mínimo de neumáticos de tipo “ $n$ ” a reciclar, con respecto a la oferta y metas de recolección.

El conjunto de restricciones dada por la ecuación (1.6), establece que todos los neumáticos de tipo “ $n$ ” que se envía de los servicios de cambio de neumáticos “ $h$ ”, hacia los centros de acopios “ $j$ ”, son distribuidos entre los centros de reprocesamientos “ $k$ ”, se debe especificar que “ $ko$ ”, está dado para la fuente de generación de energía.

El conjunto de restricciones dada por la ecuación (1.7), determina que para todo centro de reprocesamiento “ $k$ ”, su producción del producto “ $p$ ”, es igual o menor al producto del porcentaje del producto “ $p$ ” en el neumático “ $n$ ”, por el porcentaje de aprovechamiento del total de residuos que ingresan a la planta de reprocesamiento “ $k$ ”.

El conjunto de restricciones dada por la ecuación (1.8), establece la cantidad de residuos que se generan en el centro de reprocesamiento “ $k$ ” y que son enviados a la disposición final.

El conjunto de restricciones dadas por las ecuaciones (1.9) y (1.10), establecen la decisión binaria de abrir o cerrar el centro de acopio como el de reprocesamiento.

El conjunto de restricciones dadas por las ecuaciones (1.11) y (1.15), establecen las naturalezas de las variables.

### **Análisis del caso**

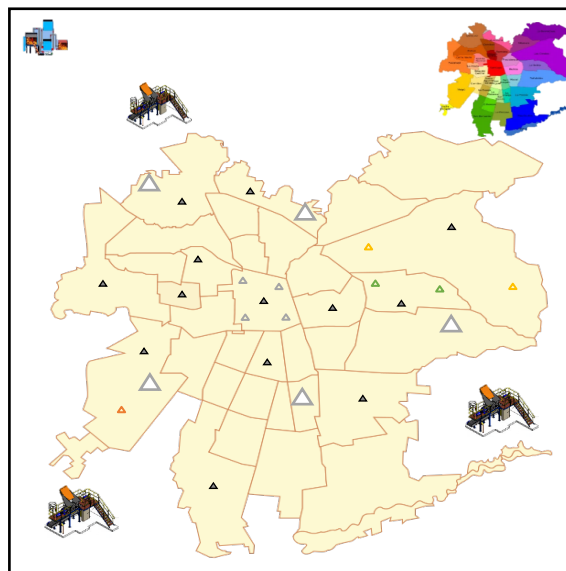
Para el caso de estudio, este modelo de logística inversa (LI), es aplicado en el diseño de una red de LI para la recolección y reprocesamiento de dos tipos de neumáticos fuera de uso (NFU), neumáticos grandes y neumáticos pequeños que se dan en la Región Metropolitana de Chile (RM). Estos neumáticos poseen estructuras muy complejas; pero básicamente están compuestos por caucho natural y sintético, además de materiales metálicos, textiles y otros componentes necesarios para el proceso de vulcanización.

Para la configuración de la red, se ha tomado ciertos datos proporcionados por el Acuerdo de Producción más Limpia y otros datos han sido ajustados de tal manera que permita realizar la configuración y validación del modelo diseñado. A pesar de que los neumáticos es uno de los rubros que cuenta con mayor cantidad de información con respecto a estos residuos, las empresas en la actualidad mantienen cierta reserva de su información por la aplicación de la Ley 20.920, a pesar de ya está aprobada aún no se han presentados los reglamentos en los cuales se va a regir, lo que genera un cierto clima de hermetismos sobre los datos de su información.

Es así, que los elementos que hemos considerado presentes en la red para la Región Metropolitana de Santiago, para lo cual se consideró lo

siguiente: 13 posibles centros de servicios de cambio de neumáticos (origen), estos fueron considerados de acuerdo a la información presentada por el acuerdo de producción más limpia, de los centros que se afiliaron a este acuerdo, de todos los centros afiliados se tomaron los centros de mayor dimensión y que se encuentran en la RM. Para los centros de acopios se establecieron 5 posibles centros de acopios, estos fueron distribuidos alrededor de la RM en puntos estratégicos de tal manera que se pueda cubrir la generación de residuo. Para las plantas de reprocesamientos se establecieron 3 posibles planta de reprocesamiento, en la actualidad solo existe una sola planta de reprocesamiento, para esta simulación se agregado dos posibles plantas de reprocesamientos adicionales distribuidas estratégicamente en la RM. Se cuenta con 1 planta para cogeneración de energía que se encuentra fuera de la RM. Además, se considera 2 posibles clientes a los cuales se les podría comercializar los residuos reprocesados (pellets y acero recuperado). Un grupo de medio de transporte que establece un costo por toneladas transportadas y que se considera para todos los niveles en la distribución de los residuos.

Distribución de los Centros de Servicios, de Acopios y de Reprocesamiento en la R.M.



Fuente: Elaboración propia

Descripción de los Centros de Servicios, de Acopios y de Reprocesamientos en la R.M.

GRANDES CS "H"			CENTROS DE ACOPIOS "J"		
1	Santiago	5	1	Quilicura	1
2	Las Condes	3	2	La Granja	1
3	La Reina	3	3	Peñalolén	1
4	Maipú	2	4	Huechuraba	1
5	Pudahuel	1	5	Maipú	1
6	Quilicura	1			
7	Lo Prado	1			
8	La Florida	1			
9	Huechuraba	1			
10	Ñuñoa	1			
11	Quinta Normal	1			
12	San Miguel	1			
13	San Bernardo	1			
			CENT. DE REPROCE. "K"		
			0	Calera	1
			1	Lampa	1
			2	Posible Peñaflores	1
			3	Los maitenes	1

Fuente: Elaboración propia

A partir de las consideraciones establecidas, se generan los siguientes grupos de datos iniciales con los cuales se procede alimentar al modelo matemático y proceder al análisis del comportamiento del mismo, los datos que son utilizados en la simulación son los siguientes.

**Datos:**

**"L" Capacidad del centro de acopio.** - Para establecer la capacidad de cada uno de los posibles centros de acopios descritos se analizó la proyección futura de generación de NFU, dada en el Acuerdo de Producción más Limpia, donde la proyección de este residuo asciende a 80046 ton. para el año 2020, por lo que estableció ciertas capacidades a los centros de acopio con el cual se espera analizar el comportamiento del modelo en base a los datos generados.

**“L” Capacidad del CA**

J	Tn
j1	20000
j2	15000
j3	20000
j4	15000
j5	20000

Fuente: Elaboración propia

**“NC” Capacidad del Centro de Reprocesamiento.** – Para establecer las capacidades de cada una de las plantas de reprocesamiento, se consideró el mismo criterio de crecimiento de la generación de los residuos, además debemos declarar que se estableció que “k0” representa la planta de generación de energía a partir de los NFU, planta que tiene que cumplir con la estructura y características de cogeneración exigidas para este proceso, siendo la empresa de fabricación de cemento Melón la única con estas características. Para las demás “k” “1, 2 y 3” en el sistema representa el reprocesamiento de los residuos a los cuales se les estableció una capacidad igual en la simulación de tal manera que el modelo nos establezca cuales deben permanecer en funcionamiento: así tenemos los siguientes datos.

**“NC” Capacidad del CR**

<b>K</b>	<b>Tn</b>
<b>k0</b>	6000
<b>k1</b>	25000
<b>k2</b>	25000
<b>k3</b>	25000

Fuente: Elaboración propia

**“RP” Precio de venta de los productos.** – Para establecer el precio de venta de los productos que se obtienen del reprocesamiento. Primero se analizó el tipo de producto que se puede obtener del residuo, en este caso de los NFU, podemos obtener como productos brutos, dos tipos que son el grano de caucho (pellets) y chatarra (alambre), los cuales pueden ser comercializados en diferentes mercados, en base a los datos de referencia dado en el Acuerdo de Producción más Limpia *pg. 54*, establece un precio promedio de comercialización por el grano de caucho de US\$400/ton y de US\$163/ton para la chatarra de estos productos obtenidos del residuo. Con esta información realizamos la conversión a moneda chilena y establecer el precio promedio de venta de los productos.

**“RP” Precio de venta**

		<b>Dolares</b>	<b>Pesos</b>	<b>Pesos</b>
<b>p1</b>	Pellets	400	640	<b>256000</b>
<b>p2</b>	Acero	163	640	<b>104320</b>

Fuente: Elaboración propia

**“RB” Precio de venta NFU para la generación de energía.** – En la actualidad la entrega de los NFU en las fuentes de generación de energía representa un costo adicional para las empresas de reciclaje, ya que para poder entregarlos a la empresa de generación de energía cobran por su recepción. Para esta simulación se ha establecido un precio de venta por toneladas, es decir que la empresa deberá cancelar por la recepción de los residuos, como sucede con los demás residuos que se entregan para la cogeneración, se establece un precio por tonelada probable por la venta de los NFU a las fuentes de generación, haciendo una diferencia entre el precio de los neumáticos chico y grandes.

**“RB” Precio para generación de energía**

		Pesos
n1	Pequeños	41000
n2	Grandes	46000

Fuente: Elaboración propia

**“CA” Costo fijo anualizado de operar el centro de Acopio “j”.** – Para establecer el costo fijo de operación del centro de acopio, se tomó de referencia el costo establecido en el Acuerdo de Producción más Limpia pg. 52, donde se establece un costo de US\$50/ton (dólar por tonelada), con respecto a la utilización u operación del centro de acopio. Este valor fue convertido a pesos chilenos, una vez determinado el valor en peso chileno, este se lo multiplico por las capacidades de utilización que se ha fijado en los centros de acopios, estableciendo que los centros de acopios se ocuparan un 90% de su capacidad.

**“CA” Costo fijo de operación centro de acopio.**

j	Dólar/Ton	Cambio /peso	Pesos/ton	Utiliza Ton/año	Costo Fijo
1	50	640	32000	18000	576000000
2	50	640	32000	13500	432000000
3	50	640	32000	18000	576000000
4	50	640	32000	13500	432000000
5	50	640	32000	18000	576000000

Fuente: Elaboración propia

**“CB” Costo fijo anualizado de operar el centro de reprocesamiento**

**“k”.** – Para establecer el costo fijo de operación del centro de reprocesamiento, se tomó de referencia el costo establecido en el *Acuerdo de Producción más Limpia pg. 54*, donde se establece un costo de US\$190/ton (dólar por tonelada), con respecto a la utilización u operación del centro de reprocesamiento. Este valor fue convertido a pesos chilenos, una vez determinado el valor en peso chileno, este se lo multiplicó por las capacidades de utilización que se ha fijado en los centros de reprocesamiento, estableciendo que los centros de reprocesamientos se ocuparan un 80% de su capacidad. Para el caso de “k0”, no se genera un costo operacional porque solo se venden los NFU sin generar un costo operativo por su transformación en energía.

**“CB” Costo fijo de operación centro de reprocesamiento.**

k	Dólar/Ton	Cambio /peso	Pesos/ton	Ton/año	Costo Fijo
0	0	640	0	4800	0
1	190	640	121600	20000	2432000000
2	190	640	121600	20000	2432000000
3	190	640	121600	20000	2432000000

Fuente: Elaboración propia

**“E” Costo de producción por tonelada del producto “p” en el centro de reprocesamiento “k”.** – Debido a que no contamos con los datos específicos con relación a los costos de producción de los productos que se obtienen de los residuos NFU, se estableció un costo para la producción de los diferentes productos que se obtienen, estos van relacionados con el consumo de energía, agua y materiales que se utilizan para el procesamiento de los residuos hasta llegar a ser productos (pellets y acero), es así que hemos establecido un costo de producción por tonelada procesada. Para “k0” no se establece un costo de producción por que como se comentó en otros apartados, “k0” fue designado para la generación de energía por lo tanto no se genera un costo de producción o de procesamiento del residuo dentro del centro.

**“E” Costo de producción por tonelada del producto “p”.**

K/p	0	1	2	3
p1	0	24530	24530	24530
p2	0	17626	17626	17626

Fuente: Elaboración propia

**“Ω” porcentaje del producto “p” en el neumático de tipo “n”.** – En base a su composición promedio de materias primas por tipos de neumáticos, se realiza el análisis de los porcentajes de los productos a obtener de los NFU, donde se describe el tipo de producto que se obtiene en cada tipo de neumático, es decir (n1 = neumático Pequeño, n2 = neumáticos grande, p1 = pellets y p2 = alambre).

Composición promedio de materias primas por tipos de neumáticos.

Material	Automóvil	Buses y Camiones	Automóviles	Camiones
Caucho natural	14%	27%	48%	45%
Caucho sintético	27%	14%		
Negro de humo	28%	28%	22%	22%
Acero	14 - 15%	14 - 15%	15%	25%
Fibra textil,	16-17%	16-17%	5%	-
Óxido de zinc			1%	2%
Aditivos			8%	-
Sulfuro			1%	1%
Peso promedio	8,6 Kg.	45,4 Kg.		
Volumen	0.06 m <sup>3</sup>	0.36 m <sup>3</sup>		

**Fuente:** Acuerdo de producción mas limpia 2013.

**“Ω” Porcentaje del producto “p” en el neumático de tipo “n”.**

Residuo	p1	p2
n1	0,85	0,15
n2	0,75	0,25

**Fuente:** Elaboración propia

**“α” porcentaje de aprovechamiento de los neumáticos de tipo “n” que ingresan al centro de reprocesamiento “k”.** – Por cada tonelada de NFU que ingresa al centro de reprocesamiento, se puede recuperar teóricamente 0,7 toneladas de caucho para los neumáticos chicos y 0,75 toneladas de caucho para los neumáticos grandes. Para el caso de “k0” el aprovechamiento del residuo es del 100%.

“α” Porcentaje de aprovechamiento de los neumáticos.

<b>Residuo</b>	0	1	2	3
n1	1	0,7	0,7	0,7
n2	1	0,75	0,75	0,75

Fuente: Elaboración propia

**“F” Costo de transportar los residuos al vertedero de “k” a “D”.** – Para este parámetro se consideró un costo estándar para la transportación de las toneladas generadas en las plantas de reprocesamiento de 15000 Pesos/Ton.

**“A” Costo de transportar los NFU de tipo “n” desde “h” hasta “j”.** – Para este parámetro se consideró un costo promedio de 2400 Pesos/Ton-Km, además se determinó las distancia de recorrido de cada uno de los centros de servicios “h”, hasta los centros de acopios “j”, utilizando la herramienta de google map. Determinadas las distancias de recorrido, se multiplicaron por el costo promedio que son los costos por toneladas utilizados en la simulación.

Distancia de recorrido desde los centros “h” hasta los “j”.

Residuo	C. Servicio	CENTRO DE ACOPIOS "J" en Km					
		Quilicura	La Granja	Peñalolen	Huechuraba	Maipu	
		1	2	3	4	5	
n1	h1	Santiago	17	19	13,3	18,2	18,6
n1	h2	Las Condes	23,5	18	10,6	15,6	33,3
n1	h3	La Reina	29	16	6,8	16,5	39
n1	h4	Maipu	30,1	17,3	30,9	33,2	4
n1	h5	Pudahuel	18,2	25,8	37,3	27	11,9
n1	h6	Quilicura	6	34,5	27,3	14,9	33,9
n1	h7	Lo Prado	17,9	25,9	37,4	21,3	16
n1	h8	La Florida	35,7	6,1	9,5	33,8	20,4
n1	h9	Huechuraba	15,3	41,5	17,1	6	33,2
n1	h10	Ñuñoa	22,5	13,4	5,9	13,7	25,8
n1	h11	Quinta Normal	13,9	23,9	30,7	19,4	18,6
n1	h12	San Miguel	20,3	12	23,5	23,5	16,2
n1	h13	San Bernardo	33,5	15,9	25,7	35	15,4
n2	h1	Santiago	17	19	13,3	18,2	18,6
n2	h2	Las Condes	23,5	18	10,6	15,6	33,3
n2	h3	La Reina	29	16	6,8	16,5	39
n2	h4	Maipu	30,1	17,3	30,9	33,2	4
n2	h5	Pudahuel	18,2	25,8	37,3	27	11,9
n2	h6	Quilicura	6	34,5	27,3	14,9	33,9
n2	h7	Lo Prado	17,9	25,9	37,4	21,3	16
n2	h8	La Florida	35,7	6,1	9,5	33,8	20,4
n2	h9	Huechuraba	15,3	41,5	17,1	6	33,2
n2	h10	Ñuñoa	22,5	13,4	5,9	13,7	25,8

n2	h11	Quinta Normal	13,9	23,9	30,7	19,4	18,6
n2	h12	San Miguel	20,3	12	23,5	23,5	16,2
n2	h13	San Bernardo	33,5	15,9	25,7	35	15,4

Fuente: Elaboración propia

1: "A" Costo de transportar los NFU de tipo "n" desde "h" hasta "j".

Residuo	C. Servicio	CENTROS DE ACOPIOS en Pesos/Ton-Km				
		j1	j2	j3	j4	j5
n1	h1	40800	45600	31920	43680	44640
n1	h2	56400	43200	25440	37440	79920
n1	h3	69600	38400	16320	39600	93600
n1	h4	72240	41520	74160	79680	9600
n1	h5	43680	61920	89520	64800	28560
n1	h6	14400	82800	65520	35760	81360
n1	h7	42960	62160	89760	51120	38400
n1	h8	85680	14640	22800	81120	48960
n1	h9	36720	99600	41040	14400	79680
n1	h10	54000	32160	14160	32880	61920
n1	h11	33360	57360	73680	46560	44640
n1	h12	48720	28800	56400	56400	38880
n1	h13	80400	38160	61680	84000	36960
n2	h1	40800	45600	31920	43680	44640
n2	h2	56400	43200	25440	37440	79920
n2	h3	69600	38400	16320	39600	93600
n2	h4	72240	41520	74160	79680	9600
n2	h5	43680	61920	89520	64800	28560
n2	h6	14400	82800	65520	35760	81360

n2	h7	42960	62160	89760	51120	38400
n2	h8	85680	14640	22800	81120	48960
n2	h9	36720	99600	41040	14400	79680
n2	h10	54000	32160	14160	32880	61920
n2	h11	33360	57360	73680	46560	44640
n2	h12	48720	28800	56400	56400	38880
n2	h13	80400	38160	61680	84000	36960

Fuente: Elaboración propia

**“B” Costo de transportar los NFU de tipo “n” desde “j” hasta “k”. –**

Para este parámetro también se consideró un costo promedio de 2400 Pesos/Ton-Km, también se determinó las distancia de recorrido de cada uno de los centros de acopios “j”, hasta los centros de reprocesamientos “k”, utilizando la herramienta de Google map. Determinadas las distancias de recorrido, se multiplicaron por el costo promedio.

Distancia de recorrido desde los centros “j” hasta los “k”.

			CENTRO DE REPROCESAMIENTOS “K” en Km.			
			La Calera	Lampa	Peñaflor	Los Maitenes
Residuo	C. Acopio “J”		0	1	2	3
	n1	j1	Quilicura	131,00	26,90	45,20
n1	j2	La Granja	158,00	48,60	33,60	46,30
n1	j3	Peñalolén	127,00	60,10	48,10	49,10
n1	j4	Huechuraba	111,00	28,70	49,30	80,20
n1	j5	Maipú	133,00	41,40	21,60	67,50
n2	j1	Quilicura	131,00	26,90	45,20	78,50
n2	j2	La Granja	158,00	48,60	33,60	46,30
n2	j3	Peñalolén	127,00	60,10	48,10	49,10

n2	j4	Huechuraba	111,00	28,70	49,30	80,20
n2	j5	Maipú	133,00	41,40	21,60	67,50

Fuente: Elaboración propia

: “B” Costo de transportar los NFU de tipo “n” desde “j” hasta “k”.

		CENTROS DE REPROCESAMIENTOS en Pesos/Ton-Km			
Residuo	C. Acopio	0	1	2	3
n1	j1	314400	64560	108480	188400
n1	j2	379200	116640	80640	111120
n1	j3	304800	144240	115440	117840
n1	j4	266400	68880	118320	192480
n1	j5	319200	99360	51840	162000
n2	j1	314400	64560	108480	188400
n2	j2	379200	116640	80640	111120
n2	j3	304800	144240	115440	117840
n2	j4	266400	68880	118320	192480
n2	j5	319200	99360	51840	162000

Fuente: Elaboración propia

**“RC” Oferta de neumáticos de tipo “n” en el centro de servicio “h”. –**

Para determinar la oferta de neumáticos que llegan a los diferentes centros de servicios “recambio”, hemos tomados como referencia los datos publicados por el Acuerdo de Producción más Limpia del año 2013 pg. 8, donde se establece una proyección de generación de NFU a nivel de Chile para el año 2020 en 80046 toneladas de este residuo, se describe los datos consultados, de lo cual se ha utilizado los datos del índice de generación por toneladas con la finalidad de homogenizar las unidades utilizadas en la modelación.

Proyección de recambio y generación de NFU

Año	Unidades NFU	Toneladas NFU
2008	3.094.000	47.593
2015	3.662.151	65.795
2020	4.455.340	80.046

Fuente: Elaboración propia

Debido a que, para la modelación necesitamos la posible generación de residuos por cada año, de los datos proporcionados por el Acuerdo de Producción más Limpia, se realizó una regresión lineal para establecer la posible generación que se puede presentar por cada año del periodo considerado del 2015 al 2020, se pudo determinar que el crecimiento anual por la generación de los NFU está en orden de un 4%. Con este porcentaje de crecimiento determinado se proyectó un año adicional, estableciendo la generación de NFU para el año 2021, esta proyección anual representa la generación de NFU a nivel nacional es decir en todo Chile. Se debe aclarar que, para la conformación de los diferentes escenarios, solo se tomara la información relacionada desde el año 2017 al 2021, y que correspondan a la zona centro (región metropolitana) del país.

Regresión lineal de la generación de NFU en Chile

Año	Ton. NFU	%
2015	65795	0,04
2016	68645,2	0,04
2017	71495,4	0,04

2018	74345,6	0,04
2019	77195,8	0,04
2020	80046	0,04
2021	82896,2	0,04

Fuente: Elaboración propia

El Acuerdo de Producción más Limpia del 2013 en su pg. 8, considera que el 77% de los neumáticos son comercializados en la zona centro, por lo que para este estudio tomaremos el 77% de la generación nacional de NFU de los años proyectados para formular los escenarios.

Generación de NFU para la Zona Centro

Año	Ton. NFU	%	Ton. NFU
2015	65795	0,77	<b>50662,2</b>
2016	68645,2	0,77	<b>52856,8</b>
2017	71495,4	0,77	<b>55051,5</b>
2018	74345,6	0,77	<b>57246,1</b>
2019	77195,8	0,77	<b>59440,8</b>
2020	80046	0,77	<b>61635,4</b>
2021	82896,2	0,77	<b>63830,1</b>

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecida la generación anual de residuos que corresponde a la zona centro del país, se procede a realizar una distribución de la generación de cada año entre los diferentes centros de servicios “h”,

esta distribución de la generación y con estos datos se diseñaron los escenarios con los cuales se sustentara la simulación.

Distribución de la generación de NFU entre los centros de servicios.

<b>PROBABLE</b>		<b>Año 2017</b>													
n / h		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
n1		2200	2100	2200	2000	2000	1900	2100	1900	2200	2300	2200	2100	2100	55100
n2		2200	2200	2000	2300	2200	2000	2100	2200	2100	2200	2100	2000	2200	
<b>PROBABLE</b>		<b>Año 2018</b>													
n / h		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
n1		2300	2000	2200	2100	2400	2200	2200	2000	2100	2300	2400	2100	2100	57300
n2		2400	2100	2200	2400	2100	2300	2300	2200	2000	2000	2200	2300	2400	
<b>PROBABLE</b>		<b>Año 2019</b>													
n / h		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
n1		2400	2300	2100	2400	2100	2200	2200	2400	2100	2400	2400	2100	2100	59500
n2		2300	2500	2500	2200	2500	2300	2100	2200	2300	2300	2400	2500	2200	
<b>PROBABLE</b>		<b>Año 2020</b>													
n / h		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
n1		2600	2100	2300	2500	2500	2400	2500	2600	2300	2300	2200	2300	2200	61600
n2		2500	2200	2200	2400	2500	2300	2300	2200	2500	2500	2600	2400	2200	
<b>PROBABLE</b>		<b>Año 2021</b>													
n / h		h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	
n1		2300	2400	2200	2600	2500	2500	2300	2500	2300	2600	2300	2500	2500	63800
n2		2300	2500	2600	2500	2300	2600	2500	2700	2500	2300	2300	2700	2500	

Fuente: Elaboración propia

Con los parámetros establecidos se procederá a realizar la configuración de los escenarios sobre los cuales se hará la validación y comprobación del modelo diseñado.

### **Diseño de escenario para la modelación**

Para el diseño de los escenarios sobre los cuales se modelará con respecto a los datos establecidos, se ha considerado dos factores para este diseño, por un lado, el intervalo de año desde el 2017 al 2021, designando para el año 2017 como año “0”, para el 2018 como año “1”, para el 2019 como año “2”, para el 2020 como año “3” y para el 2021 como año “4”. El segundo factor considerado para el diseño de estos escenarios es la generación de los residuos en los centros de servicios “RC”, para este factor se ha establecido una incertidumbre de un más / menos, dos por ciento (+ / - 2%), por la generación de NFU, de la que se pueden obtener por cada año que se ha proyectado, teniendo una configuración de probable (**P**) con respecto al cumplimiento de la proyección establecida de generación de NFU, una configuración baja (**B**), si se dan una proyección con un menos dos por ciento con respecto al año proyectado como probable y por último una configuración alta (**A**), si se da una proyección con un más dos porcientos con relación al año proyectado como probable, de esta misma manera se configuro para los demás años analizados en la simulación. Con esta configuración de escenarios se simulará para dos tipos de metas de recolección que se pueden establecer, 60 % de recolección y un 80% de recolección, obteniendo un total de 30 escenarios a simular en el programa.

## Escenarios para Modelación

META DE RECOLECCIÓN DEL 60% Y 80%

GENERACIÓN NFU \ AÑO	0 (2017)	1 (2018)	2 (2019)	3 (2020)	4 (2021)
BAJA (B) (- 2%P)	B (0)	B (1)	B (2)	B (3)	B (4)
PROBABLE (P)	P (0)	P (1)	P (2)	P (3)	P (4)
ALTA (A) (+ 2%P)	A (0)	A (1)	A (2)	A (3)	A (4)

Fuente: Elaboración propia

## Justificación

Las condiciones ambientales que se encuentra viviendo el planeta en la actualidad, por la falta de una adecuada gestión de residuos, preocupación que debe formar parte de las organizaciones que generan una variedad de productos, los cuales terminado su ciclo de vida no tienen una adecuada disposición final.

La recuperación de productos y materiales usados se ha convertido en un campo que posee cada vez más importancia en la sociedad y en el mundo. En Chile, la Ley para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Productor (Ley N° 20920) ha sido recientemente promulgada y se encuentra en la fase de su reglamentación para la aplicación. Bajo esta ley, se obliga a que un productor (o importador) debe hacerse cargo, de un producto una vez terminada su vida útil. La ley es especialmente aplicable a los productos prioritarios de consumo masivo, tales como envases, neumáticos, lubricantes, equipos informáticos, desechos electrónicos, refrigeradores, baterías, pilas entre otros. Una de las principales ventajas que se aprecian para establecer el concepto bajo el cual opera la ley, es la posibilidad de

eliminar distorsiones en el mercado, ya que actualmente entre los costos de muchos productos no se considera el de manejo y de conversión del residuo. Con la incorporación de los costos de logística inversa, en los costos totales de todo el ciclo de vida del producto hasta su fin como residuo, se cumple con el principio de “quien contamina paga”.

Diversos estudios (Peña Montoya, Torres Lozada, Vidal Holguín, & Marmolejo Rebellón, 2013), reflejan la preocupación por el desarrollo sostenible que ha hecho replantear varios aspectos organizacionales a nivel estratégico, buscando contribuir a la minimización de los impactos negativos al ambiente, para mitigarlos. Las cadenas de suministro son responsables de garantizar que su gestión contemple estrategias como la reducción de residuos en la producción de bienes de consumo, las operaciones amigables con el ambiente, el manejo de los mercados secundarios y el cumplimiento de normas ambientales (Kocabasoglu, Prahinski, & Klassen, 2007). Los impactos ambientales están presentes en toda la cadena de suministro, desde la gestión logística de las materias primas hasta que los bienes llegan al consumidor final.

Así mismo, la gestión de productos o materiales que pueden regresar a la cadena de suministro tiene asociados impactos ambientales que representan un reto para la misma. Para enfrentar estos retos, existen estrategias como la logística reversa e inversa (LR) que integra una serie de operaciones para valorizar los residuos sólidos (RS) o disponerlos adecuadamente una vez éstos han disminuido su valor o cumplido su ciclo de vida (Prahinski & Kocabasoglu, 2006). La gestión sostenible de los RS implica la consideración de múltiples criterios, para que los involucrados de los sectores público, privado y la comunidad tomen decisiones en un marco temporal y espacial que es

altamente dinámico y depende de las condiciones propias de las comunidades (Gasparatos, El-Haram, & Horner, 2009).

En este sentido, la LR se articula con la gestión de los RS mediante las opciones de reprocesamiento más usadas en la industria como la remanufactura y el reciclaje (Dowlatshahi, 2005); la remanufactura es el proceso en el cual los productos usados se reparan como nuevos, mientras que el reciclaje es un proceso para recuperar contenidos de los productos usados sin conservar la identidad de sus componentes. Estas opciones de reprocesamiento vinculan a LR con el desarrollo sostenible, si se asume que la sociedad debería utilizar todo el valor que tienen los productos (De Brito & Dekker, 2004; Peña Montoya et al., 2013).

Para Flórez Calderón et al., (2012), los problemas presentados en el diseño de redes de LR, se han centrado principalmente en la gestión de residuos, recuperación de materiales (reciclaje), recuperación de productos o de partes (remanufactura o reuso), retornos comerciales y en la redistribución de los bienes recuperados o nuevos que han sido elaborados a partir de los residuos. Con el fin de apoyar a la toma de decisiones en el ámbito de la gestión de residuos, autores como (Giuntini & Andel, 1995), (Matos R., 1997), (Rogers and Tibben-Lembke., 1998), (Schwartz, 2000), (Stock, 2004), (García, 2004), (Knudsen, 2005), (Hevia L., 2008), (Ji, 2008) y (S. Lambert, Riopel, & Abdul-Kader, 2011), realizaron diseños de modelos generales de logística reversa para la gestión de residuos sólidos, que permitan estandarizar el proceso de gestión de los residuos sólidos.

Partiendo del análisis general sobre lo que pasa en el mundo, con relación a los RS y la LR, se ha analizado el caso de Chile, con respecto a cómo se encuentran estructuradas y organizadas las empresas para enfrentar las nuevas políticas pública relacionada a la Ley N° 20920,

donde se requiere que las empresas cuenten con un sistema de LR, acorde a lo requerido por la Ley, y que permita dar cumplimiento lo exigido por la política pública establecida. Existiendo esta problemática se realizó un análisis de las empresas asentadas en la ciudad de Santiago con respecto a la LR; además se diseñó un modelo de logística inversa acorde al contexto de la política pública chilena. Como resultado de las diferentes actividades productivas que desarrollan las sociedades, se generan una serie de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden tener efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. Ejemplo de ellos son los residuos sólidos municipales (RSM), éstos son generados en las casas, departamentos, también provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y además son los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole como es el caso de los peligrosos (Cámara de Diputados del H. Congreso de los Estados Unidos Mexicano, 2015)<sup>15</sup>.

Estudios relevantes realizados en diversos países de América Latina han determinado que el tamaño de las ciudades y el ingreso per cápita son factores determinantes en la generación de residuos sólidos. El Estudio de Diagnóstico de la Situación de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y del Caribe realizado por CEPIS/OPS/OMS<sup>16</sup> (Acurio, Rossin, Teixeira, & Zepeda, 1997; Arrieta Bernate, 2008), establecieron la siguiente generación de residuos sólidos en función de los ingresos de los países.

---

<sup>15</sup> Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LEY DE ESTADOS UNIDOS MEXICANO).

<sup>16</sup> Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente/ Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud.

Generación per cápita de basura en América Latina y del Caribe.

DIVEL DE DESARROLLO	PPC (Kg/hab/día)
Ingresos bajos	0.4 - 0.6
Ingresos medios	0.5 – 0.9
Ingresos altos	0.7 – 1.8

Fuente: (Acurio et al., 1997; Arrieta Bernate, 2008)

Algunos países de la región han cuantificado las características y composición de sus residuos sólidos, lo que puede interpretarse como un indicador del ingreso medio familiar y del grado de consumo existente. La caracterización de los residuos también permite estimar el espacio e infraestructura requeridos para los rellenos sanitarios.

El Ministerio de Desarrollo Social, 2013, pp. 15–17, describe que para la generalidad de las localidades pequeñas y medianas de Chile, el sector residencial y comercial representa la principal fuente de generación de residuos sólidos que requieren disposición final y su tasa de crecimiento se puede proyectar considerando los siguientes aspectos:

Variación de la población: Además de la tasa de crecimiento vegetativo, se debe considerar otros antecedentes que influyan en el crecimiento de la población de la localidad en estudio; por ejemplo, planes de construcción de nuevas viviendas que impliquen un aumento de la población en el sector.

Variación del ingreso de la población.

Cobertura de recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD).

Efecto de campañas de educación ambiental o de reciclaje en origen.

Para el Ministerio de Desarrollo Social, 2013, uno de los factores que más influye en la generación de residuos, después del crecimiento de

la población, es el factor económico, el cual se puede medir a través del nivel de ingreso de la población. En este sentido existen dos métodos que permiten calcular la producción per cápita (PPC) futura de residuos en función de este factor. El primero utiliza información histórica de PPC de RSD y la relaciona con el ingreso bruto per cápita (IBP), obtenido del Ministerio de Desarrollo Social/ Metodología Residuos Sólidos per cápita (IBP)<sup>17</sup>, donde se obtiene una relación del siguiente tipo:

$$PPC = a + b x Ln( IBPre ) \quad (1.16)$$

Donde **a** y **b** son los coeficientes obtenidos de la regresión e **IBPre** corresponde al ingreso bruto per cápita regional. De esta forma, si se dispone de una estimación del IBP regional para cada año del horizonte de evaluación, reemplazando este valor en la ecuación se obtiene un valor de PPC para cada uno de los años. Sin embargo, en el caso de pequeñas y medianas localidades, por lo general no existe información histórica confiable sobre la PPC de residuos, por lo que este método no es aplicable.

El segundo método de proyección considera un análisis de la PPC según los diferentes estratos socioeconómicos de las comunas en estudio, proyectando los residuos por medio de un modelo basado en las tendencias de PPC presentadas en cada estrato. Para este análisis de este método el Ministerio de Desarrollo Social, utilizo de forma conjunta la información del año 2000, de la Empresa Metropolitana de Residuos Sólidos (EMERES) sobre la producción de RSD de las comunas de la Región Metropolitana y la información de ingreso

---

<sup>17</sup> Esto fue sustentado por el estudio realizado por MIDEPLAN 1997(Residuos Sólidos: Estudios y Planes de Manejo), para las ciudades de Antofagasta, Concepción, Talcahuano y Penco, con la finalidad de determinar la producción percapita de residuos en estas ciudades analizadas.

promedio del hogar de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN 2000, MIDEPLAN).

Clasificación socioeconómica por comunas en Chile.

ESTRATO SOCIOECONÓMICO	NIVEL DE INGRESO* (I)
Nivel Alto (A)	I > \$1.800.000
Nivel Medio (M)	\$850.000 < I < \$1.800.000
Nivel Bajo (B)	I < \$850.000

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Social, 2013)

Para el caso de las comunas que se deseen estudiar, y que no se encuentren dentro de las comunas que fueron encuestadas por la CASEN, el Ministerio de Desarrollo Social, sugiere que se utilice los valores de las comunas con las características similares a la comuna que se desee estudiar.

Con esta información se debe decidir sobre cuál es la tasa que más se ajusta a la realidad de la localidad en estudio.

Determinación de la tasa de crecimiento media anual de generación per cápita de RSD

ESTRATO SOCIOECONÓMICO	GENERACIÓN (KG/HAB/DIA)	RANGO TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL (%)	TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL SUGERIDA (%)
Nivel Alto (A)	1,38	0 – 1%	0,5%
Nivel Medio (M)	1,05	1 – 2,5%	1,8%
Nivel Bajo (B)	0,88	2,5 – 4,5%	3,5%

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Social, 2013)

De esta manera el Ministerio de Desarrollo Social, 2013, determinó que la generación per cápita de residuos está estrechamente relacionada con el consumo per cápita, el cual depende, a su vez, del ingreso disponible de las personas. Además, se identifica que en el nivel socioeconómico alto es mayor la generación per cápita de residuos sólidos y este va decreciendo hacia los niveles inferiores. A cada nivel se le asignó un rango de tasa de crecimiento media efectiva

en el horizonte de evaluación de la instalación. Si bien, en estricto rigor, la tasa es variable en el tiempo, no se comete (o el no es significativo) al aplicar una tasa de crecimiento.

Con el objeto de tener una mejor idea acerca de la composición promedio de los residuos sólidos, se ha elaborado una tabla comparativa con los porcentajes de generación de residuos sólidos urbanos de 7 países. Esta información fue estructurada a partir de Turriago Hoyos & Arrieta Bernate, (2010); Arrieta Bernate, (2008); Jiménez, (2001) y ratificada por a través de la página del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México, (2007), donde se identifica la generación y composición de los RSM en ese México. Además en este documento se hace una comparación de la generación de los RSM en 3 países (EE.UU, Francia y Colombia) con relación a la generación de residuos en México. Para complementar este análisis se procedió agregar 3 países adicionales de Sudamérica a esta comparación como lo es; Argentina, tomando los datos del Grupo Arrayanes (2011), Perú tomando los datos de Pulgar-Vidal O. (2014) y Brasil tomado los datos de Poletto & Da Silva, (2009), de tal manera que con estos datos se permita identificar la brecha de generación de residuos entre los países desarrollados y los que están en vía de desarrollo.

Indicadores promedio de la caracterización de residuos sólidos municipales a nivel Internacional

Subproducto	EE.UU	Francia	México	Colombia	Argentina	Perú	Brasil
Papel y cartón	40%	35%	14%	22%	9%	7,44%	24,5%
Plástico	8%	7%	6%	5%	12%	10,5%	2,9%
Metales	9%	5%	3%	1%	2%	2,64%	2,3%
Textiles	-	5%	1%	4%	-	1,6%	-
Vidrio	7%	12%	7%	2%	5%	3,05%	1,6%
R. Alimenticios	18%	21%	32%	56%	51%	50,4%	52,5%
R. Jardinería	7%	-	10%	10%	9%	2,97%	-
Otros	11%	15%	27%	-	12%	21,4%	16,2

Fuente: Elaboración propia a partir de (Turriago Hoyos & Arrieta Bernate, 2010; Grupo Arrayanes, 2011; Pulgar-Vidal O., 2014; Poletto & Da Silva, 2009)

En los datos mostrados, se observa que los valores de generación entre los países son muy variables, lo que se podría explicar por la diferencia presentada en cuanto a los aspectos culturales, los patrones de consumo y el grado de desarrollo de cada uno en particular. Se puede observar que países como Estados Unidos y Francia presentan una composición de residuos similar, los cuales tienen un alto grado de desarrollo. Colombia presenta un comportamiento similar al de países en desarrollo en el cual los residuos alimenticios y de jardinería (orgánicos) representan el 66% de los residuos generados.

### **Situación y análisis enfocado desde la metodología**

La logística inversa para la gestión de residuos sólidos representa un área de investigación en la que se manifiestan distintas dimensiones de interés. Esta multiplicidad de dimensiones requiere del concurso de diversas estrategias metodológicas, que contribuyan información relevante para explicar los diferentes aportes que se desean alcanzar

con la investigación. La perspectiva de investigación de los diseños combinados o mixtos (Creswell & Plano C., 2007; Teddlie & Tashakkori, 2009), que se originó en los años sesentas y que adquirió fuerza a finales de los noventas del siglo XX, ofrece en la actualidad una opción cada vez más reconocida para integrar las múltiples dimensiones del problema de investigación. Este tipo de diseños da a los investigadores un enfoque riguroso para responder sus preguntas de investigación (Creswell & Plano C., 2007). Desde hace relativamente muy poco tiempo, estos diseños están disponibles para el investigador en ciencias junto con los experimentos, las investigaciones a través de encuestas, las etnografías, los estudios de caso, entre otras opciones.

Para poder responder los objetivos de esta investigación se definio y considero relizar un diseño metodológico mixto que permita desarrollar tanto una investigación cualitativa como cuantitativa.

En la parte cualitativa se realizará una investigación exploratoria en algunas de las cadenas de suministros, con la finalidad de identificar el funcionamiento de estas, con relación a sus estrategias competitiva, como están compuestas su cadena de valor, sus flujos inversos si los poseen, identificar la ampliación de la cadena de suministro que posee, observar si hay una utilización de productos reciclados que permitan la recuperación de activos en las diferentes áreas. Además de la investigación exploratoria en la empresa se podrá obtener información de sus actividades desarrollas con relación a la logística inversa, para lo cual tomaremos como campo de convergencia los temas que están vinculados a esta problemática de investigación tales como, “Logística Inversa, Residuos Sólidos, Desechos Sólidos Domiciliarios, Diseño Industrial Ciclo de Vida de los Productos, Impacto Ambiental, Desarrollo Sostenible,

Responsabilidad Extendida del Productor, Estrategia de Toma de Decisiones, Reciclaje y Reutilización de Residuos”.

El objetivo que perseguirá esta etapa del trabajo será analizar (en parte) la postura, la cuota de participación y responsabilidad que tienen los profesionales de la organización (disciplinas complementarias) y en especial el área de diseño, en el desarrollo de productos sustentables a base de los residuos sólidos recolectados o a su vez, darle un uso complementario a los residuos, que permitan a los empresarios optar por modelos de logística inversa en sus cadenas de suministro.

Para esta etapa se utilizará una muestra intencional (Alaminos C. & Catejón C., 2006, p. 50; Scharager & Reyes, 2001)<sup>18</sup>, donde el investigador puede realizar la selección directa e intencionadamente de las empresas que se pretenden analizar. Por otro lado la técnica para la realización de las entrevistas será a través de la redacción de una pauta de preguntas, las mismas serán enviadas previamente vía Internet para luego abordar la entrevista personal y si en caso se requiere se estableció un documento de confidencialidad, donde se establece el fin de la información obtenida de la institución.

Las pautas abordarán preguntas relacionadas a temas como: perfil de la empresa, detalle de los producto que fabrican, la cadena de suministro, la estructura organizativa, el rol y el alcance de los profesionales del diseño dentro de la industria, la importancia del desarrollo de un buen producto, los nuevos materiales y tecnologías disponibles para desarrollar productos a partir de residuos sólidos que se han generados, el rol del Estados, sus políticas y planes de incentivo, las conductas de los consumidores.

---

<sup>18</sup> A través de este enlace (<http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>), se hace un alcance a la explicación de lo que se trata el muestreo intensional.

Para la parte cuantitativa se seleccionará de uno de los rubros de los productos prioritarios, un rubro en específico, en este caso los neumáticos fuera de uso NFU, de donde se recogerán los datos que se requieren, para la alimentación del modelo de toma de decisión establecido en esta investigación, que permita determinar el beneficio que puede percibir una organización a través de la logística inversa en una cadena de suministro.

Se propone desarrollar un modelo que permita maximizar el beneficio de una cadena logística inversa, se busca una relación matemática que relacione todos los costos inmersos en el proceso de producción, como los de transportación y los posibles ingresos generados por el reproceso de los residuos recogidos. Se definirá como función objetivo la relación de los ingresos y costos involucrados en el proceso de logística inversa maximizando el beneficio para la organización, dadas ciertas restricciones.

El modelo permite simular una red de logística inversa, con características iniciales de diferente tipo de productos. El hecho de poder modelizar el comportamiento de la red reversa con una determinada distribución de los residuos entre los centros de acopios "CA" y centro de reprocesamientos "CR", permite simular las condiciones que se dan en el proceso de logística inversa para los residuos, además establece los costos e ingresos involucrados dentro del proceso permitiendo analizar la rentabilidad del sistema operativo. La componente determinista nos permite establecer el comportamiento del modelo para el proceso de logística inversa produciendo las salidas requeridas a partir de las condiciones y parámetros iniciales dadas al mismo.

El modelo matemático estático y determinista, para los residuos de los NFU, permite tomar decisiones a nivel estratégico como la

apertura de los CA y CR, analiza la rentabilidad del sistema permitiendo establecer los subsidios requeridos para balancear su funcionamiento, de igual manera en el nivel táctico, permite tomar decisiones con respecto a la asignación o distribución de residuos entre los diferentes CA y CR.

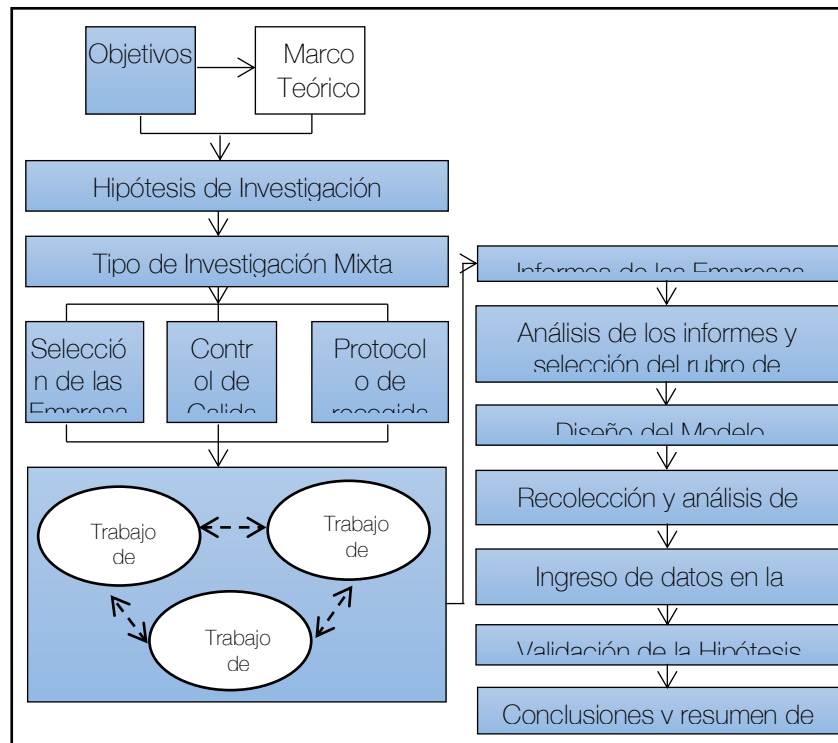
Para resolver la optimización se selecciona la herramienta GAMS (abreviatura de General Algebraic Modeling System, "Sistema General de Modelaje Algebraico") es un software diseñado específicamente para modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales o de enteros mixtos. Es una herramienta utilizada para problemas que sean grandes y complejos, además contiene un entorno de desarrollo integrado (IDE) y está conectado a un grupo de optimización de terceros que resuelven. Entre estos solucionadores son BARON, CONOPT, CPLEX, DICOPT, Gurobi, Mosek, SNOPT y XPRESS. Dentro del grupo de restricciones establecidas para el modelo está la meta de recolección establecida por el gobierno para cada tipo de producto prioritario. Finalmente se procederá a realizar la validación del modelo de toma de decisión, realizando su aplicación en el sector relevante o de interés, permitiendo analizar y evaluar el impacto económico de los ingresos, gastos e inversiones que representa para las organizaciones, la medida de mitigación de los daños ambientales generados al final del ciclo de vida de los productos. Los datos utilizados para la validación del modelo será la información proporcionado por la organización en estudio los mismos que deben ser relacionados a la logística inversa. Dado que el principal objetivo de esta investigación es proponer un modelo decisional atinente a la valorización de los residuos de productos prioritarios establecidos en la REP, a través de la identificación de variables intervinientes en la formulación de una función de costo de logística inversa para reducir

las pérdidas no valorizadas y/o aprovechar costos de oportunidades no identificados en la gestión de residuos sólidos. El método de aplicación será por medio de un levantamiento de información en el sector productivo seleccionado, de tal manera que se pueda validar el modelo propuesto. Este diseño de investigación mixta es, especialmente útil cuando un investigador necesita desarrollar y probar un instrumento, que aún no está disponible o identificar las variables importantes para estudiarlas cuantitativamente, también cuando las variables son desconocidas. De igual manera se puede decir que es conveniente cuando un investigador desea generalizar los resultados a los diferentes grupos, para poner a prueba los aspectos de una teoría emergente o la clasificación, o para explorar un fenómeno en profundidad y luego medir su prevalencia (Creswell & Plano C., 2007).

### **Diseño Metodológico de la Investigación**

De igual forma como se describió en la discusión metodología, se presenta un esquema grafico, de las etapas que poseerá la investigación. Donde partiendo de una revisión de literatura sobre modelos conceptuales y metodologías para la LI en cadenas de suministro sustentables, así como los diferentes modelos matemáticos aplicados para la solución de esta problemática sobre los cuales se pueda proponer un modelo matemático que permita tomar decisiones sobre los aspectos relevantes en la Logística Inversa en las cadenas de suministros.

### Etapas de la Investigación

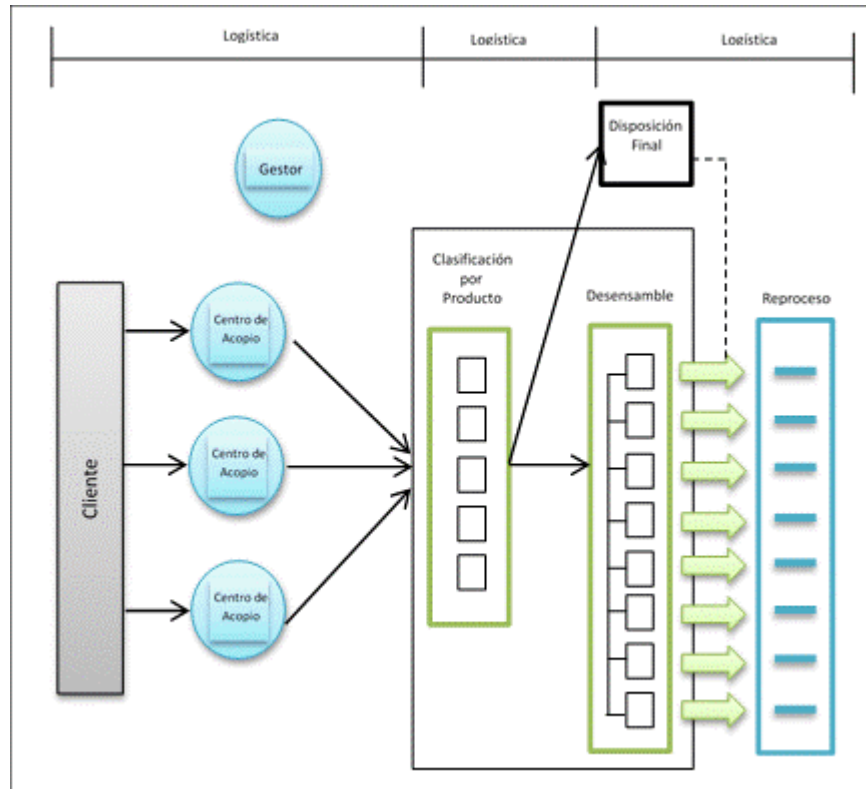


Fuente: Elaboración propia

### Estructura del Modelo Conceptual

Partiendo de la revisión de los diferentes modelos conceptuales que se han establecidos, se configuro un modelo conceptual general, que se pueda ajustar a las exigencias requeridas para una organización en la implementación de un proceso de logística inversa, para cualquier tipo de residuo que se desee hacerle un buen uso o una adecuada disposición final.

### Estructura del Modelo Conceptual



Fuente: Elaboración propia

Este modelo conceptual está configurado por el proceso de logística inversa, analizando solo el flujo inverso de estos residuos que se constituirían como materia prima para el proceso inverso, esta materia prima se la obtendría desde el cliente que entrega o desecha los diferentes productos que han terminado su ciclo de vida a un centro de acopio y que después sean enviado a una planta de reprocessamiento donde se le realizan la debida clasificación,

desensamblable y el reproceso para que este pueda ser comercializado o introducido a la misma cadena de suministro, generando un valor comercial para los productos que antes eran considerados como residuos.

Lo que se busca con este modelo conceptual es poder identificar los diferentes costos logísticos de transportación, costos de clasificación, costos de desensamblable, y los costos de reprocesamientos, que actúan en la logística inversa. A más de identificar las inversiones que se deben realizar y sus futuros ingresos por el reprocesamiento de los diferentes productos procesados.

Para poder establecer esta relación de Costo, Inversión e Ingresos de un proceso de logística inversa, utilizaremos la relación de los diferentes costos e ingresos involucrados en el proceso de logística inversa, que permita poder maximizar el beneficio para la organización en la implementación de un programa de logística inversa. Los ingresos serán determinados por la cantidad de residuos que puedan reprocesar y puedan generar ingresos económicos por su comercialización, adicionalmente se agrega los ingresos por el proceso de licitación que se debe adjudicar para la buena recolección de los residuos, según lo establecido por la normativa nacional. Los costos son establecidos por lo que se generen en los centros de acopios y los demás centros de reprocesamiento de los residuos.

### **Modelo Matemático**

Con la función Objetivo de la relación de costo e ingresos que se determinó, se pretende desarrollar un *modelo matemático*, para el diseño de cadenas de suministro de reciclaje de múltiples productos.

El diseño de la cadena de suministro para el reciclaje consiste en determinar los centros de acopio para recolección y los centros de reprocesamiento, así como las necesidades de transporte que

permita cumplir con la demanda, optimizando los costos de operaciones y la utilización de las capacidades de sus instalaciones.

Una vez identificada la generación de los residuos en las fuentes, debe ser transportado hacia a los centros de acopio para recolección, y después a las plantas de reprocesamiento desde donde se debe distribuir a los diferentes clientes. El desarrollo del modelo se lo realizará en el caso de estudio, donde se identificarán las variables que intervienen en el mismo. El modelo matemático será aplicado en un rubro de empresas que fabriquen o comercialicen unos de los productos prioritarios que se encuentran establecidos en la Ley REP, con la finalidad de validar su aplicación.

### **Recolección y Análisis de Datos**

En esta etapa se estructuro de tal forma que permita poder recoger los datos útiles de la empresa, que sirvan para satisfacer los objetivos establecidos y la alimentación del modelo de toma de decisión, esta se realizará de la siguiente forma:

Fase 1: Elaboración del formato de encuesta que se aplicará en la empresa:

Para la identificación de la parte cualitativa de la empresa, se ha elaborado una encuesta que permitió realizar una investigación exploratoria de su cadena de suministro, abordando los temas que están vinculados a esta problemática de investigación tales como, “Logística Inversa, Residuos Sólidos, Desechos Sólidos Domiciliarios, Diseño Industrial Ciclo de Vida de los Productos, Impacto Ambiental, Desarrollo Sostenible, Responsabilidad Extendida del Productor, Estrategia de Toma de Decisiones, Reciclaje y Reutilización de Residuos”. Una vez realizada la encuesta se procederá a realizar la sensibilización de la información a través de los representantes de la institución, con la finalidad de validar la información extraída de la investigación exploratoria.

Fase 2: Recolección de datos para alimentar el modelo propuesto. Se realizó la toma de datos, a través de una hoja de cálculo de Microsoft Excel, que permitirá ingresar los datos correspondientes que se necesitan para alimentar el modelo de toma de decisión, de tal forma que se pueda identificar los requerimientos necesarios para establecer los costos que involucra la puesta en marcha de una modelo de logística inversa en una institución. Está definido el esquema que se utilizará para la toma de datos, estos datos serán sensibilizados por los representantes de la organización y permitirán identificar tanto las actividades como la mano de obra, la materia prima, los insumos, materiales, herramientas maquinas necesarias en cada actividad del proceso logístico.

Esquema para la toma de datos.

IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN EN LA LOGÍSTICA INVERSA							
SUBPROCESO	ACTIVIDAD	MANO DE OBRA	MATERIA PRIMA	INSUMOS	MATERIALES	MAQUINAS Y EQUIPOS	HERRAMIENTAS
CENTRO DE ACOPIO	Actividad Inicio						
CLASIFICACIÓN POR PRODUCTO							
DESENSAMBLE							
REPROCESO							
	Actividad Fin						

Fuente: Elaboración propia

Los datos recogidos de la organización con relación a los elementos necesarios para la producción en la logística inversa, serán requeridos

para establecer los costos de funcionamientos de cada uno de los centros de acopios y la inversión que se requieren para su funcionamiento.

Flujo de Costo de Inversión y Producción

COSTOS DE INVERSIÓN PARA LOS CENTROS DE ACOPIO						
--	--	--	--	--	--	--

CENTROS						
COSTOS	1	2	3	4	5	6
TERRENO						
CONSTRUCCIÓN						
MAQUINARÍA						
EQUIPO/MATERIALES						

COSTOS DE PRODUCCIÓN PARA LOS CENTROS DE ACOPIO						
---	--	--	--	--	--	--

CENTROS						
COSTOS	1	2	3	4	5	6
MATERIA PRIMA E INSUMOS						
MANO DE OBRA						
SALARIOS DEL PERSONAL						
GESTOR						
MATERIALES						
DE LIMPIEZA						
GASTOS GENERALES						
DEPRECIACIÓN DE MAQ. Y EQUIPO						
MANTENIMIENTO DE MAQ. Y EQUIPO						
SERVICIOS BASICOS						
ENERGIA ELÉCTRICA						
AGUA POTABLE						
TRANSPORTE/LOGISTICA						
ALQUILER						
ÚTILIES DE OFICINA						
REMUNERACION Y CONTRIBUCION SOCIAL						
INTERES FINANCIEROS						

Fuente: Elaboración propia

Toda esta información se sensibilizará y validará, a través de los representantes de la organización.

Fase 3: Funcionabilidad del Modelo de Toma de Decisión prueba piloto.

Una vez recogido, analizados y sensibilizados los datos, se procede ingresar los datos en el software de GAMS, que nos arrojará los resultados de los centros de acopios y centro de reprocesamientos más óptimos, permitiendo tomar la decisión sobre estos.

Fase 4: Análisis de resultados.

Implica consolidar la información obtenida a través del instrumento de medición en el caso de aplicación, con la finalidad de realizar los ajustes que se requieren para el mejor funcionamiento del modelo diseñado.

Fase 5: Diagnóstico del Modelo.

De acuerdo a lo anterior, se realizará un diagnóstico del estado actual de los procesos y procedimientos que rigen la logística inversa de la empresa objeto de estudio con la finalidad de llegar a la estandarización del modelo.

### **Selección de la herramienta para resolver el modelo**

En la presente investigación, se busca una herramienta que permita realizar una relación entre las variables definidas en la función objetivo. Por lo tanto, hemos considerado que, GAMS es un entorno de computación técnico que posibilita la ejecución del cálculo numérico y simbólico de forma rápida y precisa, adicionalmente presenta la ventaja de plantear un lenguaje de modelización que permite el poder escribir en un editor la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” o programas de resoluciones aptos para el trabajo científico y la ingeniería.

GAMS es un lenguaje de modelado algebraico (AML) y es formalmente similar a la utilizada comúnmente lenguajes de programación de cuarta generación. GAMS contiene un entorno de desarrollo integrado (IDE) y está conectado a un grupo de optimización de terceros que resuelven. Entre estos solucionadores son BARON, CONOPT, CPLEX, DICOPT, Gurobi, Mosek, SNOPT y XPRESS. Por lo tanto, GAMS, es un entorno interactivo para el análisis y el modelado que implementa múltiples funciones para el trabajo en distintos campos de la ciencia, por lo cual hemos considerado como adecuado para procesar el modelo diseñado.

GAMS permite implementar una especie de algoritmos híbridos que combinan diferentes solucionadores. Los modelos se describen en las declaraciones algebraicas concisas y legibles. GAMS es uno de los formatos de entrada más populares para el servidor NEOS para la optimización.

También podemos establecer que el GAMS, es un software en continuo crecimiento y muy adaptable a los avances científicos y al trabajo en laboratorios I+D, que resuelve los problemas que presenta la ingeniería en el desarrollo de productos innovadores, además es aplicado en el campo de las Finanzas cuantitativas, pudiendo utilizarse como un entorno de cálculo para el análisis de datos, para la valoración y análisis de opciones e instrumentos financieros, para la optimización de carteras y análisis de riesgos, como para el desarrollo de modelos y su validación. Asimismo, GAMS se puede utilizar como un entorno de desarrollo de aplicaciones de renta fija, de opciones derivadas, de distribución de activos/gestión de cartera y de gestión de riesgo, entre otras aplicaciones. Proporciona diversos algoritmos y técnicas para solucionar problemas de optimización no lineales, tanto generales como a gran escala.

Debido a todas estas características que tiene este software, lo hemos seleccionado como herramienta para la solución del modelo de tomo de decisión generado.

### **Análisis de los Resultados**

Inicialmente podemos decir, que este modelo matemático puede ayudar a disipar las inquietudes de los diferentes actores (Gobierno, Industria productiva y los Gestores de residuos), que están inmersos dentro de esta problemática con respecto a la Ley de REP aplicada en Chile.

**GOBIERNO.** - Le permite poder establecer el valor probable de la multa que se debe aplicar a las empresas, para que por medio de su sistema de gestión de cumplimiento con las metas de recolección establecidas por la Autoridad Ambiental. Es necesario establecer un costo adecuado de la multa, de tal manera que el sistema de gestión no prefiera pagar la multa, antes que instalar un sistema de recolección de sus residuos. En este caso se determinó que la multa conveniente es de **\$270.000.00** pesos chilenos. Para establecer el valor de esta multa, se realizó una experimentación con los datos para determinar por prueba de cual sería el valor adecuado que se debe aplicar el Gobierno, de tal manera que permita obligarlo al sistema a cumplir con las metas establecidas.

**INDUSTRIA PRODUCTIVA.** - Las empresas están vinculadas al sistema de gestión que debe realizar la licitación de los gestores que realizaran la logística inversa del residuo. Con este modelo se puede establecer el monto probable que se debe licitar a los gestores de tal manera que estos puedan cumplir con lo establecido por la ley; además permite poder establecer cuál puede ser el valor probable del incremento en el precio final del producto que se le va aplicar este sistema de recolección.

**GESTORES.** - Les permite conocer la rentabilidad del sistema y ver cuánto es lo que se requieren para el sistema no tenga pérdida, llegando a un equilibrio económico, además permite conocer las diferentes configuraciones que se pueden realizar en función de la logística inversa que se desea implementar desde la recolección hasta el reprocesamiento de los residuos, los flujos en cada nivel del sistema logístico, los centros de acopios y de reprocesamiento que se deben habilitar.

Para la ejecución de este modelo matemático se establecieron un grupo de escenarios, con la finalidad de visualizar la configuración más óptima en el sistema, estos escenarios fueron estructurados de la siguiente forma; por un lado la proyección en años que se quiere analizar y por otro lado el incremento secuencial de la oferta de NFU en cada año, dando un total de 15 escenarios para ser analizados. Una vez establecidos los escenarios se les agrego la configuración por el análisis de las metas de recolección que podría exigir el Gobierno (60% y 80%). De tal manera que de los escenarios establecidos (15 escenarios), estos fueron analizados con las metas de recolección dadas, teniendo un total de 30 escenarios constituidos por dos configuraciones las cuales analizaremos a continuación.

#### **Primera configuración (60%). -**

Para esta configuración los resultados obtenidos se debe recordar que el software utilizado para esta modelación es GAMS, este software posee una interfaz que permite que los resultados sean presentado en Excel, de los cuales hemos resumidos los resultados para ser analizados en este documento; podemos visualizar el resultados de la función objetivo con respecto a los costos e ingresos, los centros de acopios y de reprocesamientos que el modelo ha decidido abrir, las toneladas de residuos que se envían en cada nivel de sistema, el

faltante para el cumplimiento de la meta, la oferta de residuos modelada y la meta que debe cumplir el sistema. Se hace un ordenamiento de los escenarios en base a la función objetivo, de menor a mayor pérdida para el sistema.

Resultados de los escenarios con la configuración del 60% de recolección.

Fuente:  
Elaboración propia

MULTA DE 270000										
	Escenarios	F. OBJETIVO	CENTRO DE ACOPIO "j"			U , V	S	k	RC	Tn a Recoger por la meta
1	Esc. B (0)	-\$ 4.100.417.616,00	j4	j5		31000	1400	0 , 2	54000	32400
2	Esc. P (0)	-\$ 4.177.102.760,00	j2	j5		25000	8060	2	55100	33060
3	Esc. A (0)	-\$ 4.195.994.120,00	j2	j4	j5	33600	0	1 , 2	56200	33720
4	Esc. B (1)	-\$ 3.905.515.964,00	j1	j5		33500	0	1 , 2	56100	33660
5	Esc. P (1)	-\$ 3.883.549.808,00	j1	j5		35300	0	1 , 2	57300	34380
6	Esc. A (1)	-\$ 4.090.699.300,00	j1	j2	j5	45000	0	1 , 2	58400	35040
7	Esc. B (2)	-\$ 4.101.293.352,00	j1	j2	j5	45000	0	1 , 2	58300	34980
8	Esc. P (2)	-\$ 4.023.048.444,00	j1	j4	j5	45000	0	1 , 2	59500	35700
9	Esc. A (2)	-\$ 3.861.487.652,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	60600	36360
10	Esc. B (3)	-\$ 3.879.770.120,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	60400	36240
11	Esc. P (3)	-\$ 3.852.990.016,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	61600	36960
12	Esc. A (3)	-\$ 3.860.724.172,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	62900	37740
13	Esc. B (4)	-\$ 3.854.567.860,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	62600	37560
14	Esc. P (4)	-\$ 3.839.803.964,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	63800	38280
15	Esc. A (4)	-\$ 3.842.695.652,00	j1	j5		40000	0	1 , 2	65100	39060

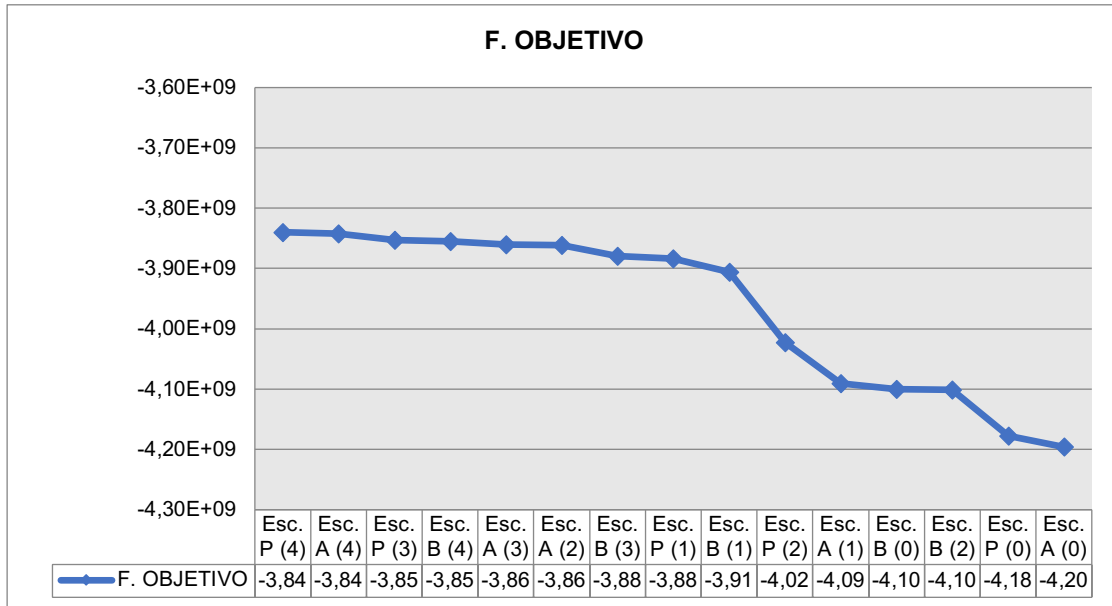
Resultados de los escenarios con la configuración del 60% de recolección.

MULTA DE 270000		META DE RECOLECCIÓN 60%								
Escenarios	F. OBJETIVO	CENTRO DE ACOPIO			U , V	S	k	RC	Tn a Recoger	
1	Esc. P (4)	-3,84E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	63800	38280
2	Esc. A (4)	-3,84E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	65100	39060
3	Esc. P (3)	-3,85E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	61600	36960
4	Esc. B (4)	-3,85E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	62600	37560
5	Esc. A (3)	-3,86E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	62900	37740
6	Esc. A (2)	-3,86E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	60600	36360
7	Esc. B (3)	-3,88E+09	j1	j5		40000	0	1, 2	60400	36240
8	Esc. P (1)	-3,88E+09	j1	j5		35300	0	1, 2	57300	34380
9	Esc. B (1)	-3,91E+09	j1	j5		33500	0	1, 2	56100	33660
10	Esc. P (2)	-4,02E+09	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	59500	35700
11	Esc. A (1)	-4,09E+09	j1	j2	j5	45000	0	1, 2	58400	35040
12	Esc. B (0)	-4,10E+09	j4	j5		31000	1400	0, 2	54000	32400
13	Esc. B (2)	-4,10E+09	j1	j2	j5	45000	0	1, 2	58300	34980

14	Esc. P (0)	-4,18E+09	j2	j5		25000	8060	2	55100	33060
15	Esc. A (0)	-4,20E+09	j2	j4	j5	33600	0	1, 2	56200	33720

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la Función Objetivo por Escenarios en la configuración del 60%



de recolección.

Fuente: Elaboración propia

El escenario óptimo para esta configuración es el “Esc. P(4)”, debido a que el comportamiento de la función objetivo genera una menor pérdida del sistema en su funcionamiento para el cumplimiento de las exigencias requeridas. Además, podemos analizar que el modelo ha decidido abrir 2 centros de acopios de los 5 que se han introducido para el análisis, siendo estos “j1” y “j5”, que corresponde a los centros de acopios de Quilicura y Maipú, decidiendo que los centros de acopios de La Granja Peñalolén y Huechuraba deben estar cerrados. El flujo de los residuos entre los diferentes niveles de la red, es de 40.000 toneladas de NFU, la meta establecida para este escenario es de 38.280 toneladas, aquí se puede observar que el sistema ha recogido más de la meta que se ha impuesto por recoger, por lo tanto, no se genera multa por este proceso.

Con respecto al número de plantas de reprocesamientos que se deben instalar para el cumplimiento de la meta de recolección,

podemos analizar lo siguiente, el sistema en la actualidad cuenta con una planta para la generación de energía “K 0” en la ubicación de la Calera y otra para el reprocesamiento de los residuos “K 1” en la ubicación de Lampa. La planta de generación de energía “K 0” se encuentra muy alejada de la Región Metropolitana, por lo que hace que sus costos de transportación sean más elevados. Desde este análisis el modelo decide que es más conveniente abrir o instalar otra planta de reprocesamiento “K 2” de igual capacidad que “K 1”, ubicada en el punto estratégico de Peñaflores, de la región metropolitana. Con la instalación de las Plantas de reprocesamientos “K 1” y “k 2”, el sistema se encuentra con la capacidad de cumplir con las metas de recolección establecidas y exigida por el gobierno, además no se generan multas por el incumplimiento de recolección y no es necesario enviar residuos a “K 0”, porque por la capacidad instaladas de las plantas “K 1” y “k 2” cubren las metas de recolección establecidas, también decide que no es necesario habilitar la posible planta de reprocesamiento “k3” que se ubicaría en los maitenes.

El sistema en su último año de proyección debe recoger 39.060 toneladas de residuos que representan el 60% de la generación total de la Región Metropolitana (65.100 toneladas), el sistema en su modelación recoge toda la generación de residuo de acuerdo a las capacidades instaladas de las plantas, que es de 50.000 toneladas de residuos entre los dos centros de reprocesamientos; además queda la disponibilidad del centro “k0” de generación de energía con una capacidad de 6.000 toneladas para cubrir algún excedente por reprocesar en alguna emergencia. Dado esto se puede establecer que no se genera una multa para el sistema de gestión por incumplimiento en base a la solución dada por el software.

Permite poder analizar el valor o porcentaje que se debe incrementar en el precio final del producto que se comercializa antes que se termine su ciclo de vida. Esto se lo puede analizar visualizando el monto licitado con relación a las toneladas que se generan.

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = F. Obj / Oferta o generación de NFU.

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = (\$ 3.839.803.964,00) / (65.100 Tn)

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = **\$ 58.983,16 Pesos Chilenos x Tn de resid.**

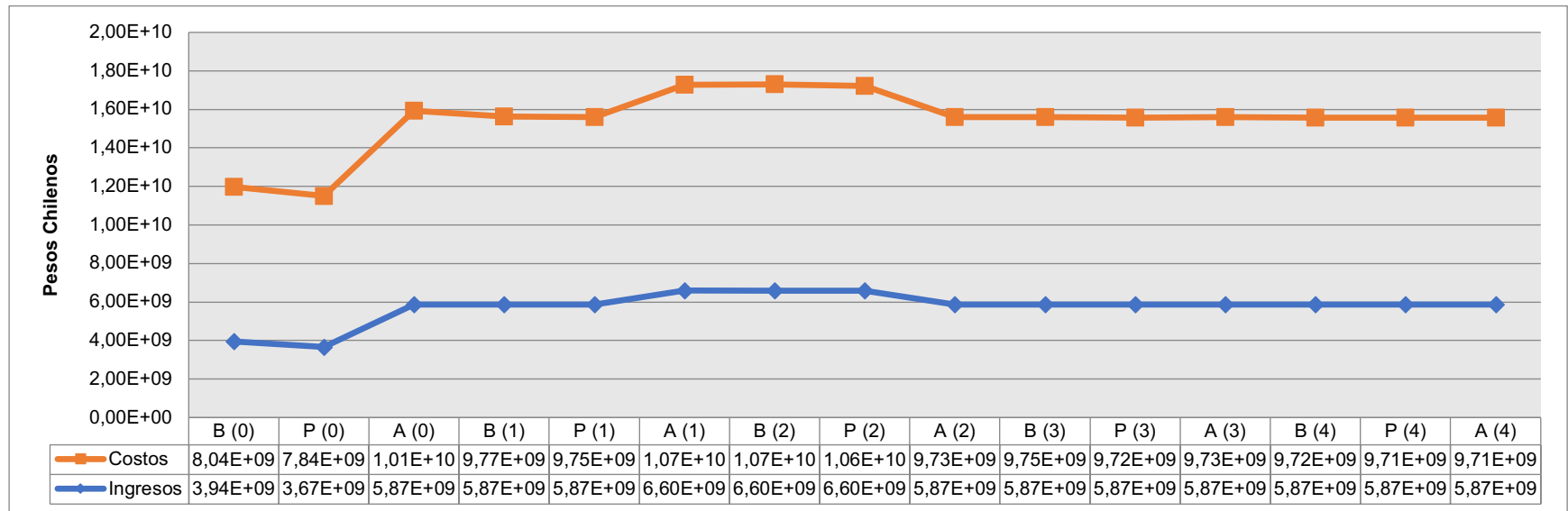
Analizando los escenarios que se modelaron en esta configuración del 60% de la meta a recoger de residuo, se analiza el comportamiento de los ingresos y costos generados en cada uno de estos escenarios, de tal manera que se pueda establecer la relación entre la variable ingreso y costo que intervienen en el sistema, como se muestra. Se puede observar que la curva de los ingresos se encuentra más baja con respecto a los costos, denotando que los ingresos obtenidos por el sistema no superan a los costos que se requieren para que pueda mantener y funcionar el sistema.

: Relación de ingresos y costos de los escenarios en la configuración del 60% de recolección.

Esc	B (0)	P (0)	A (0)	B (1)	P (1)	A (1)	B (2)	P (2)	A (2)	B (3)	P (3)	A (3)	B (4)	P (4)	A (4)
Ingresos	3,94E+09	3,67E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09	6,60E+09	6,60E+09	6,60E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09	5,87E+09
Costos	8,04E+09	7,84E+09	1,01E+10	9,77E+09	9,75E+09	1,07E+10	1,07E+10	1,06E+10	9,73E+09	9,75E+09	9,72E+09	9,73E+09	9,72E+09	9,71E+09	9,71E+09

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la Función Objetivo por Escenarios en la configuración del 60% de recolección.



Fuente: Elaboración propia

## **SEGUNDA CONFIGURACIÓN (80%). -**

Para esta configuración los resultados obtenidos se muestran, se debe recordar que el software utilizado para esta modelación es GAMS, este software posee una interfaz que permite que los resultados sean presentado en Excel, de los cuales hemos resumidos los resultados para ser analizados en este documento;, podemos visualizar el resultado de la función objetivo con respecto a los costos e ingresos, los centros de acopios y de reprocesamientos que el modelo ha decidido abrir, las toneladas de residuos que se envían en cada nivel de sistema, el faltante para el cumplimiento de la meta, la oferta de residuos modelada y la meta que debe cumplir el sistema. Se hace un ordenamiento de los escenarios en base a la función objetivo.

Fuente:

		MULTA DE 270000									
	Escenarios	F. OBJETIVO	CENTRO DE ACOPIO "j"			U , V	S	k	RC	Tn a Recoger por la meta	
1	Esc. B (0)	-\$ 4.054.457.664,00	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	54000	43200	
2	Esc. P (0)	-\$ 4.060.545.872,00	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	55100	44080	
3	Esc. A (0)	-\$ 4.048.127.820,00	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	56200	44960	
4	Esc. B (1)	-\$ 4.045.301.976,00	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	56100	44880	
5	Esc. P (1)	-\$ 4.043.780.667,20	j1	j4	j5	45840	0	1, 2	57300	45840	
6	Esc. A (1)	-\$ 4.046.843.712,00	j1	j4	j5	46720	0	1, 2	58400	46720	
7	Esc. B (2)	-\$ 4.049.190.859,20	j1	j4	j5	46640	0	1, 2	58300	46640	
8	Esc. P (2)	-\$ 4.043.393.204,00	j1	j4	j5	47600	0	1, 2	59500	47600	
9	Esc. A (2)	-\$ 4.039.199.708,00	j1	j4	j5	48480	0	1, 2	60600	48480	
10	Esc. B (3)	-\$ 4.050.090.148,00	j1	j4	j5	48320	0	1, 2	60400	48320	
11	Esc. P (3)	-\$ 4.028.980.368,00	j1	j4	j5	49280	0	1, 2	61600	49280	
12	Esc. A (3)	-\$ 4.121.410.076,00	j1	j4	j5	50320	0	0, 1, 2	62900	50320	
13	Esc. B (4)	-\$ 4.058.985.172,00	j1	j4	j5	50080	0	0, 1, 2	62600	50080	
14	Esc. P (4)	-\$ 4.290.924.164,00	j1	j4	j5	51040	0	0, 1, 2	63800	51040	
15	Esc. A (4)	-\$ 4.558.410.392,00	j1	j4	j5	52080	0	0, 1, 2	65100	52080	

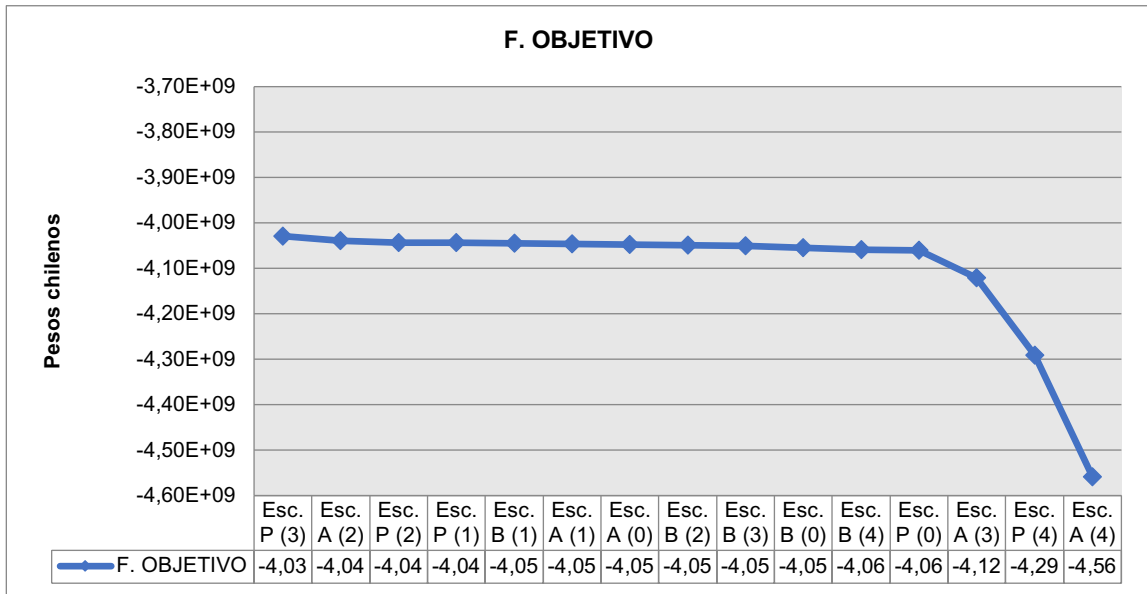
Elaboración propia

Resultados de los escenarios con la configuración del 80% de recolección.

MULTA DE 270000		META DE RECOLECCIÓN 80%								
Escenarios	F. OBJETIVO	CENTRO DE ACOPIO			U , V	S	k	RC	Tn a Recoger	
1	Esc. P (3)	-4,03E+09	j1	j4	j5	49280	0	1, 2	61600	49280
2	Esc. A (2)	-4,04E+09	j1	j4	j5	48480	0	1, 2	60600	48480
3	Esc. P (2)	-4,04E+09	j1	j4	j5	47600	0	1, 2	59500	47600
4	Esc. P (1)	-4,04E+09	j1	j4	j5	45840	0	1, 2	57300	45840
5	Esc. B (1)	-4,05E+09	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	56100	44880
6	Esc. A (1)	-4,05E+09	j1	j4	j5	46720	0	1, 2	58400	46720
7	Esc. A (0)	-4,05E+09	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	56200	44960
8	Esc. B (2)	-4,05E+09	j1	j4	j5	46640	0	1, 2	58300	46640
9	Esc. B (3)	-4,05E+09	j1	j4	j5	48320	0	1, 2	60400	48320
10	Esc. B (0)	-4,05E+09	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	54000	43200
11	Esc. B (4)	-4,06E+09	j1	j4	j5	50080	0	0, 1, 2	62600	50080
12	Esc. P (0)	-4,06E+09	j1	j4	j5	45000	0	1, 2	55100	44080
13	Esc. A (3)	-4,12E+09	j1	j4	j5	50320	0	0, 1, 2	62900	50320
14	Esc. P (4)	-4,29E+09	j1	j4	j5	51040	0	0, 1, 2	63800	51040
15	Esc. A (4)	-4,56E+09	j1	j4	j5	52080	0	0, 1, 2	65100	52080

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la Función Objetivo por Escenarios con la Configuración 80% de recolección.



Fuente: Elaboración propia

El escenario óptimo para esta configuración es el “**Esc. P(3)**”, debido a que el comportamiento de la función objetivo genera una menor pérdida del sistema en su funcionamiento para el cumplimiento de las exigencias requeridas; pero este escenario está dado para el año 2020 probable, si analizamos para el año 2021 en el escenario “**ESC. A(4)**” la oferta y la meta de recolección aumenta, y las capacidades de las plantas de reprocesamientos están a su tope por lo que se debe habilitar para el siguiente año la planta de generación de energía con lo que se espera cumplir las metas establecidas, generando un aumento en los costos y por ende en la función objetivo. Además, podemos analizar que el modelo ha decidido abrir en todos sus escenarios los 3 mismos centros de acopios de los 5 que se han introducido para el análisis, siendo estos “**j1**”, “**j4**” y “**j5**”, que corresponde a los centros de acopios de Quilicura, Huechuraba y Maipú, decidiendo que los centros de acopios de La Granja y Peñalolén deben estar cerrados para todos los periodos simulados. El flujo de los residuos entre los diferentes niveles de la

red, para el escenario más óptimo está dado por 49.280 toneladas de NFU, la meta establecida para este escenario es de 49.280 toneladas, aquí se puede observar que el sistema ha recogido la meta que se ha impuesto por recoger, por lo tanto, no se genera multa en este proceso. Se puede ver además que en todos los escenarios simulados para esta configuración el sistema cumple la meta de recolección establecida y los flujos van de acuerdo a la meta que está establecida.

Con respecto al número de plantas de reprocesamientos que se deben instalar para el cumplimiento de la meta de recolección, podemos analizar lo siguiente, el sistema en la actualidad cuenta con una planta para la generación de energía “**K 0**” en la ubicación de la Calera y otra para el reprocesamiento de los residuos “**K 1**” en la ubicación de Lampa. La planta de generación de energía “**K 0**” se encuentra muy alejada de la Región Metropolitana, por lo que hace que sus costos de transportación sean más elevados. Desde este análisis el modelo decide que es más conveniente abrir o instalar otra planta de reprocesamiento “**K 2**” de igual capacidad que “**K 1**”, ubicada en el punto estratégico de Peñaflor, de la región metropolitana. Con la instalación de las Plantas de reprocesamientos “**K 1**” y “**k 2**”, el sistema se encuentra con la capacidad de cumplir con las metas de recolección establecidas y exigida por el gobierno hasta el año 2020, sin generar multas al sistema por el incumplimiento de recolección; pero para el año 2021, se debe enviar una gran cantidad de los residuos a la planta de energía “**K 0**”, porque la capacidad instaladas de las plantas “**K 1**” y “**k 2**” ya no abastecerían con las metas de recolección establecidas; para este periodo de tiempo el modelo decide que no es necesario habilitar la posible planta de

reprocesamiento "**k3**" que se ubicaría en los maitenes, porque con las "**k0, k 1 y k 2**", se cubre las metas establecidas para el sistema.

El sistema en su último año de proyección debe recoger 52.080 toneladas de residuos que representan el 80% de la generación total de la Región Metropolitana (65.100 toneladas), el sistema en su modelación recoge toda la generación de residuo de acuerdo a las capacidades instaladas de las plantas, que es de 50.000 toneladas de residuos entre los dos centros de reprocesamientos; además queda la disponibilidad del centro "**k0**" de generación de energía con una capacidad de 6.000 toneladas para cubrir algún excedente por reprocesar en alguna emergencia. Dado esto se puede establecer que no se genera una multa para el sistema de gestión por incumplimiento en base a la solución dada por el software.

El modelo permite poder analizar el valor o porcentaje que se debe incrementar en el precio final del producto que se comercializa antes que se termine su ciclo de vida. Esto se lo puede analizar visualizando el monto licitado con relación a las toneladas que se generan.

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = F. Obj / Oferta o generación de NFU.

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = (\$ 4.028.980.368,00) / (65.100 Tn)

Valor  $\sigma$  % de incremento al PVP = **\$ 61.889,10 Pesos Chilenos x Tn de resid.**

Analizando los escenarios que se modelaron en esta configuración del 80% de la meta a recoger de residuo, se analiza el comportamiento de los ingresos y costos generados en cada uno de estos escenarios, de tal manera que se pueda establecer la relación entre la variable ingreso y costo que intervienen en el sistema. Se puede observar que la curva de los ingresos se encuentra más baja con respecto a los costos, denotando que los ingresos obtenidos por

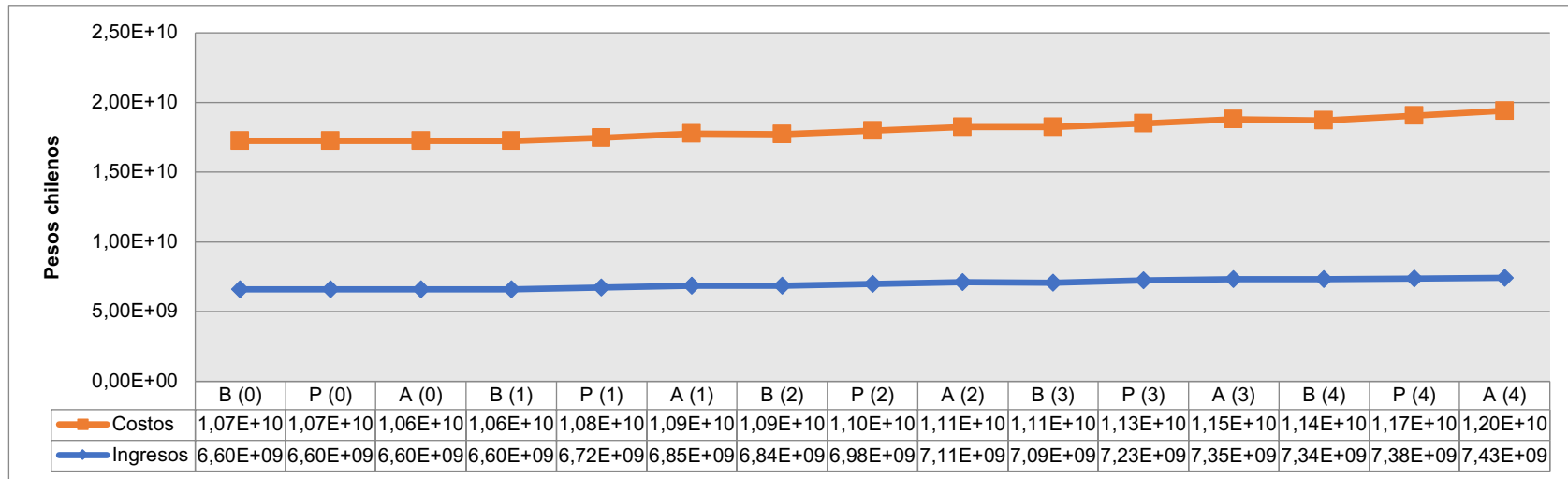
el sistema no superan a los costos que se requieren para que pueda mantener y funcionar el sistema.

Relación de ingresos y costos de los escenarios en la configuración del 80% de recolección.

Esc	B (0)	P (0)	A (0)	B (1)	P (1)	A (1)	B (2)	P (2)	A (2)	B (3)	P (3)	A (3)	B (4)	P (4)	A (4)
Ingresos	6,60E+09	6,60E+09	6,60E+09	6,60E+09	6,72E+09	6,85E+09	6,84E+09	6,98E+09	7,11E+09	7,09E+09	7,23E+09	7,35E+09	7,34E+09	7,38E+09	7,43E+09
Costos	1,07E+10	1,07E+10	1,06E+10	1,06E+10	1,08E+10	1,09E+10	1,09E+10	1,10E+10	1,11E+10	1,11E+10	1,13E+10	1,15E+10	1,14E+10	1,17E+10	1,20E+10

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de la Función Objetivo por Escenarios en la configuración del 80% de recolección.



Fuente: Elaboración propia

## Perspectivas para Ecuador

En el Ecuador, el (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015), define a los desechos como las sustancias o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable. A pesar de la obligación de la normativa existente, en el país solo el 37% de los Municipios cumplen con la separación en la fuente y de las 11.203,24 toneladas de residuos sólidos recogidos por día, apenas el 10% se recolecta de forma diferenciada desde la fuente (INEC y AME, 2015). (<http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.08>).

Según el análisis realizado, a la estructura legal, social y ambiental en el país, al igual que en la mayoría de los países de Latinoamérica, no existe en la actualidad una normativa sobre la gestión de residuos sólidos, similar a la que se aplican en los países que conforman la OCDE, donde se establece una ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) como política gubernamental, que permite potenciar la Economía Circular de estos países y fomentar la revalorización de los productos una vez que estos han terminado su ciclo de vida.

Para las empresas situadas en el Ecuador, al igual que para las empresas situadas en los demás países que no tienen aún establecido estas políticas gubernamentales con relación a la REP, se genera un gran desconocimiento de algunas definiciones con respecto a los procesos de logística inversa que son necesarios para promover la economía circular de sus organizaciones. Por tanto se hace necesario empezar a crear conciencia del daño que le estamos causando al planeta y sobre las medidas que debemos empezar a ejecutar con este fin.

Es verdad que el país aún cuenta con una gran cantidad de recursos naturales y que nuestra actividad económica se centra en el primer sector de la economía del país; pero así también debemos tener en cuenta que estamos creciendo en un ritmo acelerado en la globalización por lo que es necesario crear medidas que permitan mitigar el incremento de los residuos sólidos.

Las externalidades negativas que crean los desechos en general, ocasionan daños que al momento son irreparables en el ámbito ambiental (calentamiento, contaminación, etc.) y en la sustentabilidad de la naturaleza. Existe pues, necesariamente el compromiso mundial de mitigar y contener sus efectos.

La Organización de las Naciones Unidas, ONU, refleja datos inquietantes en el “Taller Regional: Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo” (CEPAL-ONU, 2019). Por ejemplo, para Ecuador que se ubica como país en un sector de ingresos per-cápita medio alto, se refleja la inquietante observación de que no existe visibilidad del país y de sus ciudades más importantes en cuanto a resultados de políticas ambientales no existiendo datos del país; esto no implica el hecho de que, de alguna manera se desarrollan planes de gestión de residuos a nivel municipal; sin embargo, es obvio, si comparamos con otros países, el pobre éxito obtenido por los municipios del Ecuador en la conciencia ciudadana que desconoce la importancia del adecuado manejo de los desechos sólidos orgánicos (con una tasa del 50% de los residuos totales), los cuales ocasionan externalidades negativas, tales como: Afectación de la salud, afectación en el Turismo, deterioro del medio ambiente como ríos, suelos, y el más importante, el aire que respiramos. Es entonces, el momento de generar indicadores de gestión, tanto para el debido

manejo de los desechos, como de la conciencia social-familiar, basados en un protocolo estricto para obtener resultados positivos para las generaciones futuras, como otros países de la región que ya han dado pasos en esa dirección.

### **Conclusiones**

A lo largo de este texto se han expuesto los principales conceptos que relacionan las disciplinas de la logística y la gestión de la cadena de suministros con la sustentabilidad y la sostenibilidad de los negocios. Como se ha tratado en los diferentes capítulos, la situación ambiental del planeta llama a los gobernantes, empresarios y consumidores a realizar un cambio drástico de las políticas y prácticas de producción y consumo con el fin de mitigar y en lo posible reducir al máximo la disposición final de desechos en vertederos legales o ilegales, y aprovechar los productos fuera de uso con el fin de ir disminuyendo la necesidad de extraer materiales de la naturaleza. En un inicio, la reducción, el reciclaje y la reutilización (3R) son una respuesta viable pero el objetivo a largo plazo es lograr una verdadera Economía Circular.

Se trataron temas de la llamada logística verde, la logística inversa, y en general el concepto de la cadena de suministros sustentable. Un aspecto esencial para el logro de una Economía Circular es la incorporación de las mejores prácticas del Diseño Industrial con relación al ciclo de vida de los productos. Los productos como sus envases y embalajes requieren incorporar los conceptos de biodegradación, reutilización y reciclaje, según corresponda.

Si bien el caso expuesto sobre el modelo de gestión de los neumáticos se refiere a Chile y en particular a ese tipo de residuo, aplicaciones similares del modelo con las adaptaciones correspondientes pueden ser realizadas en sistemas de gestión de otros desechos, tales como el papel y cartón, el vidrio, latas de

aluminio, desechos eléctricos y electrónicos, medicamentos expirados, así como aceites y lubricantes usados, en general o en industrias específicas, tal como se presentó en secciones del texto. Como acción gubernamental concreta, un marco legal para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) es aplicable en cualquier sistema económico.

En el plano de la teoría, en el libro se ha presentado un conjunto de trabajos de la literatura científica, que desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones y la Teoría de Decisiones han abordado variados problemas de la logística inversa mediante modelos matemáticos de sus respectivos sistemas industriales y/o logísticos.

Los modelos de investigación de operaciones han demostrado ser una herramienta útil para estudiar el desempeño de un sistema actual de gestión de la recolección y valorización de los residuos, en este caso de los neumáticos fuera de uso, permitiendo determinar flujos óptimos en diferentes escenarios de crecimiento de demanda. También para sistemas aún sin construcción para validar diferentes diseños a nivel de ingeniería conceptual.

A partir de la revisión de la literatura, con respecto a los modelos conceptuales establecidos para la logística inversa, se puede tener que la estructura de este proceso debe estar constituido por cuatro etapas principales necesarias dentro del proceso: gatekeeping (entrada), recogida, clasificación y eliminación, de tal manera que el sistema pueda cumplir con la finalidad diseñada. Los estudios exploratorios analizados, han revisado diferentes diseños, metodologías y modelos matemáticos para resolver problemas relacionados con la complejidad del retorno de los productos, la gestión inventarios y la toma de decisiones. Del análisis del 100% de los artículos seleccionados entre el 2010 y enero del 2016, se observa

que el 32,6% corresponden a estudios exploratorios sobre logística inversa, 67,4% son aplicaciones para resolver problemas logísticos específicos, principalmente para el manejo de las devoluciones en las empresas. En base a la revisión bibliográfica, se puede afirmar que el método de resolución más aplicado en esta área es el modelo de Programación Lineal Entera Mixta (MILP en inglés). A pesar de que los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato a la sociedad, su eliminación de manera incorrecta o su descontrolada producción se puede transformar en un foco de contaminación grave para el medio ambiente y puede ocasionar problemas a la hora de eliminarlos puesto que su diseño no ha sido realizado para soportar los desastres derivados del cambio climático. Por otra parte, sus propiedades físico-químicas como la resistencia al Ozono, la luz y las bacterias hace que su tiempo de degradación sean muy altos (500 años o más).

El modelo matemático expuesto permite establecer la configuración óptima de una red de logística inversa de este residuo, así como los ingresos y costos asociados al proceso de tal manera de poder analizar la rentabilidad del sistema gestor; además de establecer las multas probables por el incumplimiento de las metas establecidas. El modelo matemático puede ayudar a disipar las inquietudes de los diferentes actores (Gobierno, Industria productiva y los Gestores de residuos), que están inmersos dentro de esta problemática con respecto a la Ley de REP aplicada en Chile. Al Gobierno, le permite poder establecer el valor probable de la multa que se debe aplicar a las empresas, para que por medio de su sistema de gestión dé cumplimiento con las metas de recolección establecidas por la autoridad ambiental. La Industria manufacturera, con este modelo puede establecer el monto probable que se debe licitar a los gestores

de tal manera que estos puedan cumplir con lo establecido por la ley. En cuanto a los Gestores, les permite conocer la rentabilidad del sistema y ver cuánto ingreso monetario se requiere para que el sistema no tenga pérdidas económicas y arriesgue su viabilidad. De esta forma, llegar a un equilibrio y además permitir conocer las diferentes configuraciones que se pueden realizar en función de la logística inversa que se desea implementar desde la recolección hasta la valorización de los residuos. Con esto, medir los flujos en cada nivel del sistema logístico, los centros de acopios y de reprocesamiento que se deban habilitar.

La logística inversa se ha vuelto muy relevante en la comunidad científica por sus capacidades para optimizar la cadena de suministro y la logística. Sin embargo, hay temas que todavía representan una oportunidad para nuevas investigaciones, como, por ejemplo: a) cómo manejar la incertidumbre sobre la cantidad y calidad de los productos y materiales recuperados por las empresas, b) los modelos de precios de acuerdo con la demanda y la cantidad de residuos generados, c) modelos para entender el comportamiento del consumidor con respecto a la disposición a reciclar, o d) modelos para entender la economía de la gestión de RSU.

En cuanto al caso específico de estudio expuesto sobre la red logística inversa para la gestión de los neumáticos usados, los datos de Indicadores sobre la caracterización de la generación de los residuos sólidos de Chile, se encuentran establecidos por la información proporcionada por CONAMA (2005) y por lo tanto trabajos futuros deberán considerar realizar una actualización o un estudio sobre los indicadores tal que permitan poder analizar la brecha existente de los residuos que se están generando; además de

analizar su comportamiento en el tiempo tal que permita diseñar mejores estrategias de mitigación.

A partir del análisis de los Indicadores promedios de generación de residuos sólidos en diferentes países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, se puede establecer que mientras mayor es el desarrollo económico de un país, mayor será la proyección del crecimiento de sus residuos sólidos inorgánicos, por lo que se deben establecer estrategias adecuadas que permitan disminuir el nivel de impacto que éstos causaran al medio ambiente. La REP es una de las mejores estrategias públicas que se ha aplicado en los países de la OCDE y que se deben aplicar en demás países en vía de desarrollo, con la finalidad de que las empresas tomen conciencia sobre el verdadero concepto de economía circular, el cual debe ser aplicado bajo normativa gubernamental para la iniciación y funcionamiento de los sistemas de gestión, sean éstos individuales o colectivos.

Es necesaria la difusión de la definición de logística inversa, que en cierta manera, aunque las empresas declaran tener un compromiso con el medio ambiente con respecto a sus diferentes procesos de fabricación, no tienen una política clara y establecida para la recolección de los residuos una vez que estos han terminado su ciclo de vida. Esta afirmación se desprende del análisis de la encuesta realizada a las diferentes empresas de la Región Metropolitana durante la investigación.

Con la aprobación de la Ley 20.920 en Chile, se requiere implementar con suma urgencia diferentes estrategias de logística inversa para que las empresas puedan contribuir a una economía circular y además cumplir con las metas establecidas en la Ley o en los reglamentos que la rigen.

## Referencias bibliograficas

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. [en línea] Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado 12 de septiembre de 2017, de <http://www.iadb.org/es/publicaciones/detalle,7101.html?id=18827>
- Aglanu, L. M., & Appiah, D. O. (2014). The Korle Lagoon in Distress: The Stress of Urban Solid Waste on Water Bodies in Accra, Ghana. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7(2), 717–728.
- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009>
- Asociación de Industriales del Plástico (2016). Que hacemos [En línea]. ASIPLA. Recuperado 21 de septiembre de 2017, de <http://www.asipla.cl/que-hacemos/>
- Alamillo R., K. (2013, abril 24). La logística inversa en las mejores prácticas empresariales [En línea]. Gestipolis.com. Recuperado 25 de febrero de 2016, de <http://www.gestipolis.com/logistica-inversa-en-las-mejores-practicas-empresariales/>
- Alaminos C., A., & Catejón C., J. (2006). *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. [en línea] Alicante Universidad de Alicante: Editorial Marfil, S. A. Recuperado 22 de septiembre 2016, de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20331/1/Elaboraci%C3%B3n,%20an%C3%A1lisis%20e%20interpretaci%C3%B3n.pdf>

Arrieta Bernate, G. (2008). *Análisis de la producción de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, determinación de factores de producción de residuos sólidos de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforo de residuos sólidos en Colombia*. (Análisis de la Producción de Residuos Sólidos No. Fase I - II). [en línea] Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Republica de Colombia. Recuperado 15 de septiembre 2016, de [http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion\\_digital/Metabolismo\\_Socioecologico\\_Norte/Analisis\\_Produccion\\_Residuos-Min\\_Vivienda-2008.pdf](http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Metabolismo_Socioecologico_Norte/Analisis_Produccion_Residuos-Min_Vivienda-2008.pdf)

Arroyave R., J. A., & Garcés G., L. F. (2006). Tecnologías ambientalmente sostenibles. *Producción + Limpia*, 1(2), 78–86.

Aspapel. (2010, abril 1). Aumento de la recuperación de papel en EEUU. [en línea] Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://www.aspapel.es/content/aumento-de-la-recuperacion-de-papel-en-eeuu>

Ayres, R. U., & Ayres, L. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. Massachusetts, [en línea] USA: Edward Elgar Publishing. Recuperado 28 de marzo del 2016, de <http://www.e-elgar.com/shop/eep/preview/book/isbn/9781843765479/>

Badoza, S., & Belini, C. (2013). Origen, desarrollo y límites estructurales de la industria del papel en la Argentina, 1880-1940. *Revista de Historia Industrial*, 0(53), 109–141.

Baldé, C. P., Wang, F., Kuehr, R., & Huisman, J. (2015). *THE GLOBAL E-WASTE MONITOR 2014*. United Nations University, IAS - SCYCLE, [en línea] Bonn, Germany: Institute for the advanced study of sustainability. Recuperado 27 de julio del 2016, de <http://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-large-optimized.pdf>

Ballesteros R., D. P., & Ballesteros S., P. P. (2007). Importance of the Reverse Logistic one in rescue of environment / Importancia de la logística inversa en el rescate del medio ambiente. *Scientia Et Technica*, 37(1), 315–320.

Bazan, E., Jaber, M. Y., & El Saadany, A. M. A. (2015). Carbon emissions and energy effects on manufacturing–remanufacturing inventory models. *Computers & Industrial Engineering*, 88, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.07.002>

Belluco M., P., Alem, D., Santos, M., Lage J., M., & Moreno, A. (2015). Hybrid manufacturing and remanufacturing lot-sizing problem with stochastic demand, return, and setup costs. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(5–8), 1241–1257. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7445-z>

Berges, G. (2013, agosto 29). Ser sustentable, el futuro de las empresas exitosas [en línea]. Forbes México. Recuperado 19 de septiembre de 2017, de <https://www.forbes.com.mx/ser-sustentable-el-futuro-de-las-empresas-exitosas/>

Bernon, M., Rossi, S., & Cullen, J. (2011). Retail reverse logistics: a call and grounding framework for research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5), 484–510. <https://doi.org/10.1108/09600031111138835>

Bing, X., Bloemhof, J. M., Ramos, T. R. P., Barbosa-Povoa, A. P., Wong, C. Y., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Research challenges in municipal solid waste logistics management. *Waste Management* 48, 584–592. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.025>

Bing, X., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Vorst, J. G. A. J. van der. (2012). Sustainable reverse logistics network design for household plastic waste. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1–2), 119–142. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9149-0>

Boix, M., Montastruc, L., Azzaro-Pantel, C., & Domenech, S. (2015). Optimization methods applied to the design of eco-industrial

parks: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.032>

Bouzon, M., Govindan, K., Taboada Rodriguez, C. M., & Campos, L. M. S. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 182–197. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.021>

Byrne, P. M., & Deeb, A. (1993). Logistics must meet the “Green” Challenge. *Transportation & Distribution*, 34(2), 33–37.

Caballero, A. (2016, mayo 30). Imprenta de Gutenberg: la invención que revolucionó la cultura [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <https://www.factoriadeingenieros.com/imprenta-de-gutenberg/>

Calderón S., J. H. (2013, agosto 23). Logística Verde (Green Logistics) [en línea]. Recuperado 19 de septiembre de 2017, de <https://logistweb.wordpress.com/2013/08/23/logistica-verde-green-logistics/>

Cámara de Diputados del H. Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (2015). *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos Ley de Estados Unidos Mexicano No. 263\_220515* [en línea] México D.F. Recuperado 11 de septiembre del 2016, de [https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi61szO253WAhXIDpAKHfvjCZUQFggqMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.diputados.gob.mx%2FLeyesBiblio%2Fdoc%2F263\\_220515.doc&usg=AFQjCNEmQC4UjfqhDxjId\\_jrHXaUaZVf9g](https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi61szO253WAhXIDpAKHfvjCZUQFggqMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.diputados.gob.mx%2FLeyesBiblio%2Fdoc%2F263_220515.doc&usg=AFQjCNEmQC4UjfqhDxjId_jrHXaUaZVf9g)

Capraz, O., Polat, O., & Gungor, A. (2015). Planning of waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling facilities: MILP modelling and case study investigation. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(4), 479–508. <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9217-3>

Carrillo González, G. (2009). Una revisión de los principios de la ecología industrial. *Argumentos*, 22(59), 247–265.

Castellón Vallejo, F. A., Ramírez Guerrero, P. A., & Jarrin Quintero, J. A. (2012, noviembre 14). *Análisis y caracterización de la logística inversa en el sector de papel en Colombia* (Caso de Estudio). [en línea] Chía Colombia, Universidad de la Sabana. Recuperado 21 de julio del 2016, de <http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/3939>

Castillo V., M. A. (2003). *Parámetros autofines en la propagación de grietas en papel*. Tesis para Maestro en ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en materiales. [en línea] México. Nuevo León – Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado 19 de febrero del 2017, de <http://eprints.uanl.mx/1245/1/1020149257.PDF>

Chamorro M., A., & Rubio L., S. (2004). Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: su desarrollo en España. *Distribución y consumo*, 14(76), 59–73.

Chávez M., G. (2003). *El pensamiento del estratega*. [en línea] México: Plaza y Valdés. Recuperado 14 de julio del 2017, de [https://books.google.cl/books?id=LtpqrJPEd2oC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=LtpqrJPEd2oC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Chertow, M. R. (2000). INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>

Chile. Ministerio de Desarrollo Social. (2013). *Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables*. [en línea] Santiago -Chile: División de Evaluación Social de Inversiones. Recuperado 12 de septiembre del 2017, de <https://es.scribd.com/document/338789941/Residuos-Solidos-2013>

Choudhary, A., Sarkar, S., Settur, S., & Tiwari, M. K. (2015). A carbon market sensitive optimization model for integrated forward–reverse logistics. *International Journal of Production Economics*, *164*, 433–444. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.08.015>

Christensen, T. H. (Ed.). (2011). *Solid Waste Technology & Management*. [en línea] New York. John Wiley & Sons, Ltd. Recuperado 19 de abril del 2016, de [https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=4gxbMOhpxEC&oi=fnd&pg=PT8&dq=Christensen+\(2011\),Solid+Waste+Technology+%26+Management&ots=dCFV5ti6pA&sig=Kjhl43J7If69uq-5-tEwqV5nQfw#v=onepage&q=Christensen%20\(2011\)%2CSolid%20Waste%20Technology%20%26%20Management&f=false](https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=4gxbMOhpxEC&oi=fnd&pg=PT8&dq=Christensen+(2011),Solid+Waste+Technology+%26+Management&ots=dCFV5ti6pA&sig=Kjhl43J7If69uq-5-tEwqV5nQfw#v=onepage&q=Christensen%20(2011)%2CSolid%20Waste%20Technology%20%26%20Management&f=false)

Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2005). *Estrategia de reciclaje de residuos sólidos domiciliarios de la Región Metropolitana*. Región Metropolitana: [en línea] Santiago. CONAMA. Recuperado 25 de febrero del 2016, de [http://www.sinia.cl/1292/articles-39506\\_pdf\\_reciclaje.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-39506_pdf_reciclaje.pdf)

Comisión Nacional del Medio Ambiente & GTZ. (2008). *Diagnostico fabricación, importación y distribución de neumáticos y manejo de neumáticos fuera de uso*. (Final). [en línea] Santiago., Chile, CONAMA – GTZ. Recuperado 31 de julio del 2016, de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Diagnostico-neumaticos-2008.pdf>

Comisión Nacional del Medio Ambiente, & Universidad de Concepción. (2010). *Reporte del manejo de Residuos Sólidos en Chile* (Informativo). [en línea] Santiago -Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente - y Universidad de Concepción. Recuperado 30 de mayo del 2016, de [http://www.hidronor.cl/wp-content/uploads/2014/05/1\\_Primer%20Reporte%20del%20Manej](http://www.hidronor.cl/wp-content/uploads/2014/05/1_Primer%20Reporte%20del%20Manej)

o%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos%20en%20Chile\_Conama  
%202010.pdf

Corchero, S. (2012). ¿Cuál es la eficiencia de los neumáticos recauchutados? [en línea]. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado 28 de julio de 2017, de <http://www.catedraecoembes.upm.es/category/huella-de-carbono/>

Cousins, J. J., & Newell, J. P. (2015). A political–industrial ecology of water supply infrastructure for Los Angeles. *Geoforum*, 58, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.10.011>

Couto, I., & Hernández, A. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México - Estados Unidos. *Gestión y política pública*, 21(1), 215–261.

Creswell, J. W., & Plano C., V. L. (2007). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. [en línea]. United States of America: SAGE Publications. Recuperada fecha 18 de julio del 2016, de [https://books.google.cl/books?id=FnY0BV-q-hYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=FnY0BV-q-hYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Curley, R. (2010). *The 100 Most Influential Inventors of All Time* (Manager, Science and Technology). [en línea] United States of America: The Rosen Publishing Group. Recuperado 19 de junio del 2017, de <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=VDltobqOBrEC&oi=fnd&pg=PA17&dq=The+first+time+paper+was+made,+it+was+in+the+year+105+by+Cai+Lun,+a+eunuch+of+the+Eastern+Han+court+of+the+Chinese+emperor+Hedi.+The+oldest+paper+preserved+was+made+with+rags+close+to+the+year+150.&ots=Ezo6Gkzls9&sig=zFCcsEKKL1PRrOcTGoZWgLIQ63c#v=onepage&q&f=false>

Curran, T., & Williams, I. D. (2012). A zero waste vision for industrial networks in Europe. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.122>

Dantas, D. (2014). Diseño centrado en el sujeto: una visión holística del diseño rumbo a la responsabilidad social. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (49), 51–61.

De Brito, M. (2004, febrero 12). *Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?* (Tesis doctoral). Rotterdam Erasmus University Rotterdam.

De Brito, M., & Dekker, R. (2004). A Framework for Reverse Logistics. In: D. M. Fleischmann, P. D. K. Inderfurth, & P. D. L. N. V. Wassenhove (Eds.), *Reverse Logistics* (pp. 3–27). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24803-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24803-3_1)

Del Giorgio Solfa, F., Lagunas, F. E., & Lasala, A. I. (2011). *Informe Científico Final: Diseño sustentable: la industria, los consumidores y los profesionales del diseño industrial en el desarrollo de productos y en la preservación del medio ambiente. [en línea]* La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata. Recuperado 15 de junio del 2016, de <https://www.academica.org/del.giorgio.solfa/94>

Demirel, E., Demirel, N., & Gökçen, H. (2016). A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 112, Part 3, 2101–2113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.079>

Dewulf, J., & Van Langenhove, H. (2005). Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability indicators for technology assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 43(4), 419–432. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.09.006>

Díaz López, F. J., & Montalvo, C. (2015). A comprehensive review of the evolving and cumulative nature of eco-innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 102, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.007>

Dowlatshahi, S. (2005). A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3455–3480. <https://doi.org/10.1080/00207540500118118>

Dyckhoff, H., Lackes, R., & Reese, J. (Eds.). (2004). *Supply Chain Management and Reverse Logistics*. [en línea] Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Recuperado 24 de febrero del 2016, de [https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=FNoACAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Supply+Chain+Management+and+Reverse+Logistics&ots=HG7Di\\_d6\\_k&sig=Wzc8SxzO68RxMbTS1Gbpr4Mbg00#v=onepage&q=Supply%20Chain%20Management%20and%20Reverse%20Logistics&f=false](https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=FNoACAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Supply+Chain+Management+and+Reverse+Logistics&ots=HG7Di_d6_k&sig=Wzc8SxzO68RxMbTS1Gbpr4Mbg00#v=onepage&q=Supply%20Chain%20Management%20and%20Reverse%20Logistics&f=false)

Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories From Case Study Research. *Academy of Management. The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.

El reciclaje de vidrio en España, una radiografía con enormes desigualdades. (2015, abril 15). [En línea]. Agencia EFE. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/el-reciclaje-de-vidrio-en-espana-una-radiografia-con-enormes-desigualdades/10004-2587281>

Ellen Macarthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy*. Economic and business rationale for an accelerated transition [en línea] European Commissioner for the environment. Recuperado 18 de septiembre del 2016, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>

Ellen Macarthur Foundation. (©2017). Economía Circular [en línea]. UK. Recuperado 5 de julio de 2016, de <http://www.circulareconomy.com/es/economia-circular/concepto>

Erkman, S. (2001). Industrial ecology: a new perspective on the future of the industrial system. *Industrial Ecology*, 131, 531–538.

Escarria Parra, E. L. E., & Giraldo, E. G. (2014). Desarrollo de un sistema eficiente de logística inversa para el sector lácteo. *Colección Académica de Ciencias Estratégicas*, 1(2), 2–15.

Espinoza, O., Villar, L., Postigo, T., Villaverde, H., & Martínez, C. (2011). *Diagnóstico del manejo de los residuos electrónicos en el Perú*. [en línea] Lima - Perú: Promoción del Desarrollo Sostenible (IPES). Recuperado 21 de septiembre del 2016, de [http://raee-peru.pe/pdf/Diagnostico\\_del\\_manejo\\_de\\_Residuos\\_Electronicos\\_actualizado\\_2010.pdf](http://raee-peru.pe/pdf/Diagnostico_del_manejo_de_Residuos_Electronicos_actualizado_2010.pdf)

Estrada Jerez, K., Torres Argüelles, V., Máynez, A., & Escobedo Portillo, M. T. (2015). Reverse logistics and sustainability: literature review / Logística inversa y sustentabilidad: revisión de literatura. *Cultura Científica y Tecnológica*, 55(1), 34–45.

Evia H., M. J. (2016). 10 ejemplos de economía circular [en línea]. Recuperado 11 de julio de 2016, de <http://www.expoknews.com/10-ejemplos-de-economia-circular/>

Feitó Cespón, M., Cespón Castro, R., Rodríguez, R., & Alejandro, M. (2016). Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(1), 135–148. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052016000100013>

Fernández A., J. M. (2015). The principles of circular economy in product engineering. In: 19th International Congress on Project Management and Engineering, [en línea] Granada. (pp. 721–733). Recuperado 5 de julio del 2016, de <http://www.aepro.com/files/congresos/2015granada/03004.4386.pdf>

Fernández, C. (2014). La vida eterna del vidrio [en línea]. Recuperado 22 de julio de 2016, de <http://www.ecoavant.com/es/notices/2014/10/la-vida-eterna-del-vidrio-2174.php>

Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información tecnológica*, 24(2), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200013>

Ferri, G. L., Diniz Chaves, G. de L., & Mattos Ribeiro, G. (2015). Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. *Waste Management*, 40, 173–191. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.036>

Flórez Calderón, L. Á., Toro Ocampo, E. M., & Granada Echeverry, M. (2012). A network design for a reverse logistics: a review and a practical application / Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(2), 153–177.

García, A. (2004). *Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje*. Editorial Eumed. net.

Gasparatos, A., El-Haram, M., & Horner, M. (2009). The argument against a reductionist approach for measuring sustainable development performance and the need for methodological pluralism. *Accounting Forum*, 33(3), 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.accfor.2008.07.006>

Gattorna, J. (2003). *Gower Handbook of Supply Chain Management*. Gower Publishing, Ltd.

Gay, A., & Samar, L. (2004). *El diseño industrial en la Historia*. Cordoba -Argentina: Centro de Cultura Tecnológica. Ediciones Tec.

Genchev, S. E., Richey, R. G., & Gabler, C. B. (2011). Evaluating reverse logistics programs: a suggested process formalization. *The*

*International Journal of Logistics Management*, 22(2), 242–263.

<https://doi.org/10.1108/09574091111156578>

Giuntini, R., & Andel, T. (1995). Master the six R's of reverse logistics. *Transportation & Distribution*, 36(3), 93–98.

Glavič, P., & Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.12.006>

Gomez M., R. A. (2010). Inverse logistics a process with environmental and productivity impacts. *Producción + Limpia*, 5(2), 63–76.

Gómez M., R. A., Correa E., A. A., & Vàsquez H., L. S. (2012). Reverse logistics, a social corporate responsibility approach / Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial. *Criterio Libre*, 10(16), 143–158.

Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>

Graczyk, M., & Witkowski, K. (2011). Reverse logistics processes in plastics supply chains. *Total Logistic Management*, 4, 43–55.

Grupo Arrayanes. (2011). *Estudio sobre generación de residuos sólidos urbanos en Argentina -2011* (No. BIRF 7362-AR) [en línea] Buenos Aires - Argentina: Observatorio Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. 156 p. Recuperado 18 de septiembre del 2017, de <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/estadisticas/2/datos-nacionales>

Guarnieri, P., Sobreiro, V. A., Nagano, M. S., & Marques Serrano, A. L. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: a Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, 96, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040>

Guijarro, L. (2016, junio 22). Los países que más basura generan y los que más reciclan del mundo [en línea]. Huffington Post. Política. Recuperado 1 de octubre de 2017, de [http://www.huffingtonpost.es/2016/06/22/paises-contaminan-recicla\\_n\\_10509726.html](http://www.huffingtonpost.es/2016/06/22/paises-contaminan-recicla_n_10509726.html)

Gutiérrez A., M. A. (2015). *Cristalería ecológica a base de botellas de vidrio recicladas*. Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Diseño Industrial. [en línea] Quito - Ecuador, Universidad Central del Ecuador. Recuperado 11 de julio del 2016, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5444/1/T-UCE-0011-24.pdf>

Gutiérrez P., R. (2015). Gestión de cadenas de abastecimiento circulares [en línea]. Revista de Logística (31). Recuperado 11 de julio de 2016, de <http://revistadelogistica.com/actualidad/gestion-de-cadenas-de-abastecimiento-circulares/>

Hall, D. J., Huscroft, J. R., Hazen, B. T., & Hanna, J. B. (2013). Reverse logistics goals, metrics, and challenges: perspectives from industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(9), 768–785. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2012-0052>

Hazen, B. T., Overstreet, R. E., Hall, D. J., Huscroft, J. R., & Hanna, J. B. (2015). Antecedents to and outcomes of reverse logistics metrics. *Industrial Marketing Management*, 46, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2015.01.017>

Hejrani, S., & Ko, H. S. (2013). A Reverse Logistics Model for Medical Waste Management. In *IIE Annual Conference. Proceedings. Institute of Industrial Engineers, Inc.* [en línea] San Juan. Puerto Rico. Recuperado 29 de septiembre del 2014, de <https://www.highbeam.com/doc/1P3-3169575671.html>

Hernández Romo, M. A. (2003). *Subjetividad y cultura en la toma de decisiones empresariales: tres estudios de caso en*

*Aguascalientes*. [en línea] México: Plaza y Valdés. Recuperado 14 de julio del 2016, de [https://books.google.cl/books?id=Ry8RLYvdTHgC&pg=PA1&hl=es&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=Ry8RLYvdTHgC&pg=PA1&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

Hevia L., F. (2008). *Metodología de diseño de la cadena de suministro inversa. Una contribución a la logística reversa*. Tesis presentada en opción del grado científico de doctor en ciencias técnicas. [en línea] La Habana – Cuba, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Recuperado 23 de febrero del 2016, de <http://catedragc.mes.edu.cu/download/Tesis%20de%20Doctorado/Ingeniera%20Industrial%20-%20Nacionales/FrancisEviaLanierTESIS.pdf>

Hsu, C. C., Tan, K. C., Zailani, S. H. M., & Jayaraman, V. (2013). Supply chain drivers that foster the development of green initiatives in an emerging economy. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(6), 656–688. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2011-0401>

Hsu, C.-C., Tan, K.-C., & Zailani, S. H. M. (2015). Strategic orientations, sustainable supply chain initiatives, and reverse logistics: Empirical evidence from an emerging market. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(1), 86–110. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2014-0252>

Hsueh, J.-T., & Lin, C.-Y. (2014). Constructing a network model to rank the optimal strategy for implementing the sorting process in reverse logistics: case study of photovoltaic industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1), 155–174. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0770-3>

Huang, Y.-C., & Yang, M.-L. (2014). Reverse logistics innovation, institutional pressures and performance. *Management Research Review*, 37(7), 615–641. <https://doi.org/10.1108/MRR-03-2013-0069>

Hurtado León, I., & Toro Garrido, J. (2007). *Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambios*. [en línea] Caracas - Venezuela: Los libros de El Nacional. Recuperado 06 de junio del 2016, de [https://books.google.cl/books?id=pTHLXXMa90sC&pg=PA3&hl=es&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=pTHLXXMa90sC&pg=PA3&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)

Huscroft, J. R., Hazen, B. T., Hall, D. J., & Hanna, J. B. (2013). Task-technology fit for reverse logistics performance. *The International Journal of Logistics Management*, 24(2), 230–246. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2012-0011>

Huscroft, J. R., Hazen, B. T., Hall, D. J., Skipper, J. B., & Hanna, J. B. (2013). Reverse logistics: past research, current management issues, and future directions. *The International Journal of Logistics Management*, 24(3), 304–327. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2012-0024>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). Generación y composición de los residuos sólidos municipales México [en línea]. México. Gobierno de México. Recuperado 12 de septiembre de 2017, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/128/cap3.html>

Jack, E. P., Powers, T. L., & Skinner, L. (2010). Reverse logistics capabilities: antecedents and cost savings. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(3), 228–246. <https://doi.org/10.1108/09600031011035100>

Ji, G.-J. (2008). Reverse Logistics Operation Management Based on Virtual Enterprises and Complaint Service Management. *Journal of Service Science and Management*, 01(01), 51–65. <https://doi.org/10.4236/jssm.2008.11005>

Jiménez, B. E. (2001). *La Contaminación Ambiental en México*. Editorial Limusa.

Jódar, M. (1998). EL PAPEL [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://www.manueljodar.com/pua/pua3.htm>

Kamp, B. (2012). Reverse Innovation: Inversing the International Product Life Cycle Model and Lead Market Theory/Innovación Inversa: Invirtiendo El Modelo Internacional De Ciclo De Vida Del Producto Y La Teoría Del Mercado Líder. *Boletín de Estudios Económicos*, 67(207), 481–504.

Kapetanopoulou, P., & Tagaras, G. (2011). Drivers and obstacles of product recovery activities in the Greek industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(2), 148–166. <https://doi.org/10.1108/01443571111104746>

Kilic, H. S., Cebeci, U., & Ayhan, M. B. (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 95, 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.010>

Kiser, B. (2016). Circular economy: Getting the circulation going. *Nature*, 531(7595), 443–446. <https://doi.org/10.1038/531443a>

Knudsen, J. A. (2005). *Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Aplicación a los residuos agrícolas cañeros, el bagazo y las mieles*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. [en línea]. Santa Clara - Colombia Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Recuperado 22 de febrero del 2016, de <http://www.gestiopolis.com/disenio-gestion-cadena-suministro-residuos-agroindustriales-cana-azucar/>

Kocabasoglu, C., Prahinski, C., & Klassen, R. D. (2007). Linking forward and reverse supply chain investments: The role of business uncertainty. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1141–1160. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.015>

Kongar, E., Haznedaroglu, E., Abdelghany, O., & Bahtiyar, M. O. (2015). A novel IT infrastructure for reverse logistics operations of

end-of-life pharmaceutical products. *Information Technology and Management*, 16(1), 51–65. <https://doi.org/10.1007/s10799-014-0195-z>

Kumar, S. (2014). A knowledge based reliability engineering approach to manage product safety and recalls. *Expert Systems with Applications*, 41(11), 5323–5339. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.03.007>

Lambert, D. M. (2008). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*. Supply Chain Management Inst.

Lambert, S., Riopel, D., & Abdul-Kader, W. (2011). A reverse logistics decisions conceptual framework. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 561–581. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.04.012>

Lange, N., & Urrutia, V. (2007). El Reciclaje en Chile [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://chilerecicla.blogspot.com/2007/10/desarrollo.html>

Leeuw, S. de, Grotenhuis, R., & Goor, A. R. van. (2013). Assessing complexity of supply chains: evidence from wholesalers. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(8), 960–980. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2012-0258>

Lehni, M. (2000). Eco-efficiency, Creating more value with less impact. World Business Council for Sustainable Develop.

Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista argentina microbiología*, 46(1), 1–2.

Li, H., Dong, L., & Ren, J. (2015). Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: a case study of Guiyang, China. *Journal of Cleaner Production*, 107, 252–266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.089>

Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., & Ng, T. W. (2014). A Genetic Algorithm-based optimization model for supporting green

transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3284–3296. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.11.032>

Loayza Perez, J., & Silva Meza, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrial Data*, 16(1), 108–117.

López P., J. (2010). *Incorporación de la Logística Inversa en la Cadena de Suministros y su influencia en la estructura organizativa de las empresas*. Tesis doctoral. [en línea] Barcelona – España, Universitat de Barcelona. Recuperado 18 de julio del 2016, de <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/35383>

López, T., & Martínez, A. (2012). *El mundo mágico del vidrio*. 3 era. Ed. [en línea]. México, D. F.: Fondo de Cultura Económica. Recuperado 20 de septiembre del 2017, de <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=q4Trnyz6d9IC&oi=fnd&pg=PT159&dq=Adem%C3%A1s+del+papel+que+ha+desempe%C3%B1ado+en+la+vida+cotidiana,+el+vidrio+ha+tenido+una+trascendental+participaci%C3%B3n+en+el+desarrollo+de+la+tecnolog%C3%ADa+y+de+nuestra+concepci%C3%B3n+de+la+naturaleza.+Gracias+a+%C3%A9l+sabemos+c%C3%B3mo+son+los+microorganismos,+a+trav%C3%A9s+de&ots=BxV-U1hp8M&sig=7jKzi26DU4qe5OxH5XL4c2lucGo#v=onepage&q&f=false>

Maheut, J. (2011). Revisión de la literatura sobre la flexibilidad de decisión operacional. *WPOM-Working Papers on Operations Management*, 2(1), 39–48.

Manahan, S. E. (2011). *Fundamentals of Environmental Chemistry*, 3 th. Ed. [en línea], London - New York: CRC Press - Taylor & Francis Group. Recuperado 21 de junio del 2016, de [https://books.google.cl/books?id=vv7KBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=vv7KBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Marco A. Valenzo J., Galeana F., E., & Martínez A., J. A. (2013). Exploration in reverse logistics business competitiveness in México. *Global Conference on Business & Finance Proceedings*, 8(2), 1603–1612.

Marcoux, N., Riopel, D., & Langevin, A. (Eds.). (2005). Re-Engineering of Logistics Activities for Electronic Commerce. In: *Successful Strategies in Supply Chain Management*: (pp. 174–193). [en línea] Hershey: IGI Global. Recuperado 23 de mayo del 2016, de <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-59140-303-6>

Martin, J. W. (2007). *Lean six sigma for supply chain management: the 10-step solution process* /. [en línea] New York: Mc Graw Hill. Recuperado 24 de febrero del 2016, de <https://www.amazon.com/Lean-Sigma-Supply-Chain-Management/dp/B0085AURBO>

Massolin, C. (2016, abril 3). Breve introducción a la Economía Circular [en línea]. Recuperado 5 de julio de 2016, de [http://www.diversidadbioculturalyterritorios.org/pg.base.php?id=12&lang=es&id\\_post=23](http://www.diversidadbioculturalyterritorios.org/pg.base.php?id=12&lang=es&id_post=23)

Matar, N., Jaber, M. Y., & Searcy, C. (2014). A reverse logistics inventory model for plastic bottles. *The International Journal of Logistics Management*, 25(2), 315–333. <https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2012-0138>

Matos R., H. (1997). *Modelo para el diseño o mejoramiento del sistema de reciclaje de residuos de envases en zonas turísticas* Tesis Doctor en Ciencias Técnicas. [en línea] Matanzas. Cuba. Universidad de Matanzas C. Cienfuegos, Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Recuperado 23 de febrero del 2016, de <http://catedragc.mes.edu.cu/download/Tesis%20de%20Doctorad>

o/Ingeniera%20Industrial%20-%20Nacionales/H%C3%A9ctorMatosRodr%C3%ADguezTESIS.pdf

Miñi R., A., Arias A., D., & García M., V. J. (2012). Reverse logistics management in the Spanish firms: Towards practices of excellence. *Universia Business Review*, 1(33), 70–82.

Minerbi, G. (2015, junio 10). Basura, de eso no se habla [en línea]. Recuperado 28 de julio de 2017, de <http://www.noticiasdecruces.com/2015/06/10/basura-de-eso-no-se-habla/>

Perú. Ministerio del Ambiente. (2012). Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, 201216354 [en línea]. Lima – Perú. Recuperado 27 de julio del 2016, de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/REGLAMENTO-RAEE-X5.pdf>

Mintzberg, H., Quinn, J. B., & Voyer, J. (1997). *El proceso estratégico: conceptos, contextos y casos*. México: Pearson Educación.

Moghaddam, K. S. (2015). Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 42(15–16), 6237–6254. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.010>

Moraes, D. da G. e S. V. M. de, Rocha, T. B., & Ewald, M. R. (2014). Life cycle assessment of cell phones in Brazil based on two reverse logistics scenarios. *Production*, 24(4), 735–741. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000011>

Mouthon, J. (2016, mayo 13). Suecia: El país que más recicla en el mundo [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://udceciologia.blogspot.com/2016/05/suecia-el-pais-mas-ecologico-del-mundo.html>

Narayana, S. A., Elias, A. A., & Pati, R. K. (2014). Reverse logistics in the pharmaceuticals industry: a systemic analysis. *The International Journal of Logistics Management*, 25(2), 379–398. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2012-0073>

Ng, R., Yeo, Z., Low, J. S. C., & Song, B. (2015). A method for relative eco-efficiency analysis and improvement: case study of bonding technologies. *Journal of Cleaner Production*, 99, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.004>

Niknejad, A., & Petrovic, D. (2014). Optimisation of integrated reverse logistics networks with different product recovery routes. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.034>

OCDE. (2016). Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management. [en línea] Paris. OECD Publishing. Recuperado 19 de septiembre del 2017, de <https://www.oecd.org/environment/waste/Extended-producer-responsibility-Policy-Highlights-2016-web.pdf>

Orbegozo, U. T., & Molina, A. (2007). Generación de valor mediante prácticas de producción limpia, ecodiseño y logística inversa. *Mediterráneo Económico*, 11, 147–164.

Pardavé Livia, W. (2006). *Reciclado industrial de metales. Una aproximación*. ECOE EDICIONES.

Parlamento y Consejo de la Unión Europea. (2011). *Diario Oficial de la Unión Europea* (Legislativo No. 54). [en línea] Luxemburgo: Unión Europea. Recuperado 27 de julio del 2016, de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2011:174:FULL&from=EN>

Peña Montoya, C. C., Torres Lozada, P., Vidal Holguín, C. J., & Marmolejo Rebellón, L. F. (2013). Reverse logistics and its relationship to the integral and sustainable solid waste management in productive sectors. *Entramado*, 9(1), 226–238.

Petala, E., Wever, R., Dutilh, C., & Brezet, H. (2010). The role of new product development briefs in implementing sustainability: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 27(3–4), 172–182.  
<https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2010.06.004>

Planeta Recicla. (2015, septiembre 17). ¿Cómo se recicla en Europa? [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/como-se-recicla-en-europa>

Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), 175–182.

Poletto, J., & Da Silva, C. (2009). Influencia de la separación de residuos sólidos urbanos para reciclaje en el proceso de incineración con generación de energía, 20(2), 105–112.  
<https://doi.org/doi:10.1612/inf.tecnol.4062it.08>

Portafolio. (2014, noviembre 23). Argos hará cemento con llantas usadas [en línea]. Recuperado 22 de septiembre de 2017, de <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/argos-hara-cemento-llantas-usadas-59368>

Pozo, G., Rueda, D., & Quiroz, A. (2013, diciembre). *LOGISTICA INVERSA EN NEUMATICOS*. [en línea]. Quito - Ecuador. Recuperado 21 de septiembre del 2017, de [https://prezi.com/9wzynlcnr\\_aa/logistica-inversa-en-neumaticos/](https://prezi.com/9wzynlcnr_aa/logistica-inversa-en-neumaticos/)

Prahinski, C., & Kocabasoglu, C. (2006). Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega*, 34(6), 519–532.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.01.003>

Pulgar-Vidal O., M. (2014). *VI Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales 2013* (Evaluación y Gestión Ambiental) [en línea]. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente. 137p. Recuperado 18 de septiembre del 2017, de <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>

Reyes de León, V., Zabala Rio, D., & Gálvez Choy, J. (2008). Una revisión del proceso de la logística inversa y su relación con la logística verde. *Revista Ingeniería Industrial*, 7(2), 85–98.

Rezaei, J. (2015). A Systematic Review of Multi-criteria Decision-making Applications in Reverse Logistics. *Transportation Research Procedia*, 10, 766–776.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.030>

Richards, D. J., Allenby, B. R., & Frosch, R. A. (1994). The Greening of Industrial Ecosystems. In *The Greening of Industrial Ecosystems: Overview and Perspective* [en línea] Washington, D.C.: National Academies Press. pp. 1–19. Recuperado 28 de marzo del 2016, de [https://books.google.cl/books?id=zp3\\_CAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=zp3_CAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Robbins, S. P., Judge, T. A., & Brito, J. E. (2009). *Comportamiento organizacional*. 13va. Ed. [en línea] Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México. Recuperado 14 de julio del 2016, de [https://psiqueunah.files.wordpress.com/2014/09/comportamiento-organizacional-13a-ed-\\_nodrm.pdf](https://psiqueunah.files.wordpress.com/2014/09/comportamiento-organizacional-13a-ed-_nodrm.pdf)

Rodríguez L., M. A., Pico G., B., González P., M., & Acoltzi M., T. (2014). Efficient management of municipal solid waste: A mitigation strategy for climate change. *Global Conference on Business & Finance Proceedings.*, 9(2), 880–887.

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke., R. S. (1998). *Going backwards: Reverse logistics trends and practices*. [en línea] Reno: Reverse Logistics Executive Council. Recuperado 23 de febrero del 2016, de [http://www.abrelpe.org.br/imagens\\_intranet/files/logistica\\_reversa.pdf](http://www.abrelpe.org.br/imagens_intranet/files/logistica_reversa.pdf)

Roghianian, E., & Pazhoheshfar, P. (2014). An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.02.007>

Román, I. (2014). *eWaste en América Latina*. [en línea] Buenos Aires, Argentina: GSMA Latín América. Recuperado 27 de julio del 2016, de <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2014/05/eWaste-Latam-spa-Completo.pdf>

Rubio Lacoba, S. (2003). *El Sistema de Logística Inversa en la Empresa: Análisis y Aplicaciones*. Tesis Doctoral. [en línea]. España, Universidad de Extremadura. Recuperado 26 de marzo del 2017, de <http://biblioteca.unex.es/tesis/8477236135.PDF>

Ruiz M., J. M. (2016, mayo 10). Economía Circular (Primera Parte) [en línea]. Recuperado 11 de julio de 2016, de <http://www.ideyared.es/blog/2016/05/10/economia-circular-primera-parte/>

Saball A., P. (2005). *Política de gestión integral de residuos sólidos*. [en línea]. Santiago -Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente. Recuperado 19 de septiembre del 2017, de [http://www.sinia.cl/1292/articles-26270\\_pol\\_rsd](http://www.sinia.cl/1292/articles-26270_pol_rsd)

Sánchez Juan, R. (2012). Segunda vida de los neumáticos usados. *QuímicaViva*, (1), 1–16.

Scharager, J., & Reyes, P. (2001). *Muestreo No-Probabilístico* (Metodología de la Investigación / Escuela de Psicología) [en línea]. Santiago - Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado 22 de septiembre del 2017, de [https://www.academia.edu/4230919/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_Investigaci%C3%B3n\\_Escuela\\_de\\_Psicolog%C3%ADaAutor\\_Judith\\_Scharager\\_Asistente\\_Pablo\\_Reyes\\_MUESTREO\\_NO\\_PROBABIL%C3%8DSTICO\\_Qu%C3%A9\\_es\\_el\\_Muestreo\\_No\\_Probabil%C3%ADstico](https://www.academia.edu/4230919/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n_Escuela_de_Psicolog%C3%ADaAutor_Judith_Scharager_Asistente_Pablo_Reyes_MUESTREO_NO_PROBABIL%C3%8DSTICO_Qu%C3%A9_es_el_Muestreo_No_Probabil%C3%ADstico)

Schwartz, B. (2000). Reverse Logistics Strengthens Supply Chains. *Transportation & Distribution*, 41(5), 95–100.

Senate of the United States of America. (2010). S. 1397 (111th): Electronic Device Recycling Research and Development Act [en línea]. USA. the Congressional Research Service. Recuperado 27

de julio de 2016, de  
<https://www.govtrack.us/congress/bills/111/s1397/summary>

Senthil, S., Srirangacharyulu, B., & Ramesh, A. (2014). A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 50–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.010>

Serna, A., Darío, M., Cortes, Z., Andrés, J., Montoya, G., & Andrés, R. (2010). Supply chain strategies for the amaga's mining district. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (28), 27–38.

Shaik, M. N., & Abdul-Kader, W. (2014). Comprehensive performance measurement and causal-effect decision making model for reverse logistics enterprise. *Computers & Industrial Engineering*, 68, 87–103.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.008>

Sifaleras, A., Konstantaras, I., & Mladenović, N. (2015). Variable neighborhood search for the economic lot sizing problem with product returns and recovery. *International Journal of Production Economics*, 160, 133–143.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.003>

SIGRE. (2016). Medicamento y Medio Ambiente. Reciclaje de medicamentos [en línea]. Recuperado 21 de septiembre de 2017, de <http://www.sigre.es/>

Silva Lobo, C. (2012). Modelo de encadenamiento productivo para un reciclaje sustentable. [en línea] Gerdau AZA S.A. Recuperado 5 de octubre del 2016, de [http://www.gerdau.cl/files/catalogos\\_y\\_manuales/Modelo\\_Reciclaje\\_Sustentable.pdf](http://www.gerdau.cl/files/catalogos_y_manuales/Modelo_Reciclaje_Sustentable.pdf)

Simpson, D., Power, D., & Samson, D. (2007). Greening the automotive supply chain: a relationship perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(1), 28–48.  
<https://doi.org/10.1108/01443570710714529>

Soto Z., J. P. (2005). *Reverse Logistics: Models and applications*. The doctor of philosophy thesis. [en línea] Barcelona. Universitat Pompeu Fabra, Departament of economics and business. Recuperado 12 de julio del 2016, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7338/tjpsz1de1.pdf?sequence=1>

Steffens, K. (2016, mayo 21). A propósito de la REP: el pfand alemán, una experiencia de logística inversa aplicada al reciclaje [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2016/05/21/a-proposito-de-la-rep-el-pfand-aleman-una-experiencia-de-logistica-inversa-aplicada-al-reciclaje/>

Stindt, D., & Sahamie, R. (2012). Review of research on closed loop supply chain management in the process industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1–2), 268–293. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9137-4>

Stock, J. R. (2004). *Product returns/reverse logistics in warehousing: Strategies, policies and programs*. Warehousing Education and Research Council.

Suyabatmaz, A. Ç., Altekin, F. T., & Şahin, G. (2014). Hybrid simulation-analytical modeling approaches for the reverse logistics network design of a third-party logistics provider. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.01.004>

Szanto N., M. (2006). *Estudio caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana* (Final). [en línea] Valparaíso - Chile: CONAMA - GRS- P.U.C.V. Recuperado 18 de septiembre del 2017, de [http://www.sinia.cl/1292/articles-39508\\_pdf\\_informeF.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-39508_pdf_informeF.pdf)

Tapia Z., P. (2014). Alemania y el reciclaje [en línea]. Recuperado 20 de septiembre de 2017, de

<http://ibalpe.com/Viajes/Costumbres-y-Tradiciones/alemania-y-el-reciclaje.html>

Teddlie, C., & Tashakkori, A. (2009). *Foundations of Mixed Methods Research: Integrating Quantitative and Qualitative Approaches in the Social and Behavioral Sciences*. [en línea]. United States of America: SAGE Publications, Inc. Recuperado 18 de julio del 2016, de [https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=c3uojOS7pK0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Foundations+of+Mixed+Methods+Research:+Integrating+Quantitative+and+Qualitative+Approaches+in+the+Social+and+Behavioral+Sciences&ots=QbnDVicSVL&sig=nIEqGJfZ8EutBoGZqEg\\_0Vbc3vQ#v=onepage&q=Foundations%20of%20Mixed%20Methods%20Research%3A%20Integrating%20Quantitative%20and%20Qualitative%20Approaches%20in%20the%20Social%20and%20Behavioral%20Sciences&f=false](https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=c3uojOS7pK0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Foundations+of+Mixed+Methods+Research:+Integrating+Quantitative+and+Qualitative+Approaches+in+the+Social+and+Behavioral+Sciences&ots=QbnDVicSVL&sig=nIEqGJfZ8EutBoGZqEg_0Vbc3vQ#v=onepage&q=Foundations%20of%20Mixed%20Methods%20Research%3A%20Integrating%20Quantitative%20and%20Qualitative%20Approaches%20in%20the%20Social%20and%20Behavioral%20Sciences&f=false)

Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J. V., & Wassenhove, L. V. (1995). Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*, 37(2), 114–135. <https://doi.org/10.2307/41165792>

Tintoré, E. (2015, abril 25). La economía circular es clave para la sostenibilidad del planeta. *La Vanguardia*. Foro. Barcelona. España. pp. 8–9.

Tukker, A., Emmert, S., Charter, M., Vezzoli, C., Sto, E., Munch Andersen, M., Lahlou, S. (2008). Fostering change to sustainable consumption and production: an evidence based view. *Journal of Cleaner Production*, 16(11), 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.015>

Tukker, A., & Jansen, B. (2006). Environmental Impacts of Products: A Detailed Review of Studies. *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), 159–182.

Turriago Hoyos, Á., & Arrieta Bernate, G. (2010). Análisis de la producción de residuos sólidos y determinación de factores de

producción en tres ciudades colombianas. Propuesta para una nueva metodología de medición. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 6(10), 41–50.

<https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v6i10.1063>

Turrisi, M., Bruccoleri, M., & Cannella, S. (2013). Impact of reverse logistics on supply chain performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(7), 564–585.

<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-04-2012-0132>

Van der Harst, E., Potting, J., & Kroeze, C. (2016). Comparison of different methods to include recycling in LCAs of aluminium cans and disposable polystyrene cups. *Waste Management*, 48, 565–583. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.027>

Van Doren, H. (1940). *Industrial Design: a Practical Guide*. [en línea]. McGraw-Hill Book Company, Inc. Recuperado 13 de julio del 2016, de <https://www.amazon.com/Industrial-Design-Harold-Van-Doren/dp/B000KU9FDI>

Varón Valencia, K. V., Orejuela Cabrera, J. P. O., & Manyoma Velásquez, P. C. M. (2015). Mathematical model for transfer station location of urban solid waste. *Revista EIA*, 12(23), 61–70.

Velázquez P., A. C. (2008). The urban waste management in Hannover City: A successful model. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 28(1), 163–177.

Vignart L., J. M. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso, reciclado y posterior aplicación industrial y comercial*. Tesis de grado en Ingeniería Industrial. [en línea]. Buenos Aires – Argentina, Instituto Tecnológico de Buenos Aires “ITBA”. Recuperado 31 de julio del 2017, de <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/519/V679%20-%20Problem%C3%A1tica%20del%20neum%C3%A1tico%20fuera%20de%20uso%20reciclado%20y%20posterior%20aplicaci%C3%B3n%20industrial%20y%20comercial.pdf?sequence=1>

<https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/519/V679%20-%20Problem%C3%A1tica%20del%20neum%C3%A1tico%20fuera%20de%20uso%20reciclado%20y%20posterior%20aplicaci%C3%B3n%20industrial%20y%20comercial.pdf?sequence=1>

Waage, S. A. (2007). Re-considering product design: a practical “road-map” for integration of sustainability issues. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), 638–649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.026>

Wong, C. W. Y., Lai, K., Lun, Y. H. V., & Cheng, T. C. E. (2016). Closed Loop Supply Chain. In *Environmental Management Hong Kong*: Springer International Publishing. (pp. 127–140). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23681-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23681-0_5)

World Bank. (2016). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management [en línea]. Washington DC. World Bank. Recuperado 1 de junio de 2016, de <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTURBANDEVELOPMENT/0,,contentMDK:23172887~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337178,00.html>

XiaoYan, Q., Yong, H., Qinli, D., & Stokes, P. (2012). Reverse logistics network design model based on e-commerce. *International Journal of Organizational Analysis*, 20(2), 251–261. <https://doi.org/10.1108/19348831211227864>

Yadegari, E., Najmi, H., Ghomi-Avili, M., & Zandieh, M. (2015). A Flexible Integrated Forward/ Reverse Logistics Model with Random Path-based Memetic Algorithm. *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, 8(2), 287–313.

Zarrabal, M. (2014). Es México sexto reciclador mundial. [en línea] Diario La *Reforma México*. D F. Recuperado 21 de julio del 2016, de [http://biblioteca.iiec.unam.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=21966&Itemid=146](http://biblioteca.iiec.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=21966&Itemid=146)

Zhou, X., & Zhou, Y. (2015). Designing a multi-echelon reverse logistics operation and network: A case study of office paper in Beijing. *Resources, Conservation and Recycling*, 100, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.009>

ISBN: 978-9942-814-40-1



9 789942 814401

