

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL  
SANTIAGO - CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA  
FEDERICO SANTA MARIA

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN  
MODELO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS CON ENFOQUE  
DE BASURA CERO EN LA COMUNA DE RECOLETA

MARÍA ISABEL PÉREZ ALCATRUZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL QUÍMICO

PROFESOR GUÍA: RODRIGO BENAVIDES  
CO - REFERENTE: DRA. CAROLYN PALMA  
CO - REFERENTE: EDUARDO GIESEN

2018

“Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución”

## Agradecimientos

Agradezco a mi familia, quien me acompañó y apoyó en el camino que me llevó hasta acá y a mis amigos por apoyarme en momentos difíciles.

A mi compañero de vida Isaías, quién desde que compartimos caminos ha apoyado y entendido mis decisiones, me ha acompañado en mis locuras y maneras de ver la vida y ha alegrado cada día con su compañía.

A la ONG Valpo Interviene, por mostrarme el camino del activismo medio ambiental, a Francisco Durán por recibirme y confiar en mí para trabajar en esta organización, además de su apoyo al presentarme la Alianza Basura Cero Chile.

A la Alianza Basura Cero Chile, por demostrar con hechos que podemos crear un mundo más amigable con el medio ambiente y por devolverme la esperanza con las acciones que realizan.

A Eduardo Giesen, por la confianza depositada al presentar el tema de la memoria, y dejar en mis manos el trabajo realizado, por su apoyo y entendimiento en todo este proceso.

A los profesores que apoyaron este trabajo, Andrea Carvajal por partir con el trabajo, a Rodrigo Benavides por recibirme y acompañar el trabajo en el final de este, y todos aquellos que me formaron en la carrera.

## Resumen

En Chile, la generación de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) para 2009 tuvo un aumento de un 28% respecto del año 2000, y se observó una variación en la composición, presentando un incremento de plásticos, vidrios, papeles y cartones, siendo significativa la presencia de materia orgánica. La generación y composición de RSD, depende de factores como el nivel de vida y consumo, la zona de residencia, entre otros. Los planes de gestión de residuos actualmente consideran distintas metodologías: valorización, disposición en rellenos sanitarios y/o vertederos e incineración de éstos. Sin embargo, la tendencia actual se basa en el enfoque de Basura Cero y se relaciona con el concepto de Economía Circular.

El presente trabajo tiene como objetivo, realizar un estudio de prefactibilidad técnica económica de la implementación de un modelo de gestión de residuos sólidos domiciliarios y/o asimilables con enfoque de Basura Cero, en la municipalidad de Recoleta. Para ello, se analizaron casos nacionales e internacionales de implementación de Basura Cero en comunidades, el mercado de los residuos y se utilizó la metodología propuesta por Paul Connett. La propuesta metodológica, incorpora los recursos actuales de la municipalidad y se desarrolla en 7 escenarios, analizando la factibilidad técnica y económica para cada escenario.

Como resultado del estudio de casos internacionales y nacionales, se desprende que es necesario establecer metas realistas de desviación de residuos, implementar políticas que apoyen la propuesta y adaptarlo a la realidad de la comunidad.

Los productos que se pueden valorizar, son compost, humus y energía eléctrica (a partir de materia orgánica), papeles, cartones, plásticos, metales y vidrios, que corresponden al 84% de los RSD. Se considero para el análisis los precios de los productos de empresas compradoras y comercializadoras de estos, así como suponer que la demanda es igual a la capacidad productiva.

Del estudio técnico, se obtiene que es factible implementar la metodología propuesta en Recoleta, pero se destaca la importancia de educar y capacitar a los habitantes, para el correcto funcionamiento del plan.

El estudio económico muestra que los escenarios “Inorgánico”, “Humus”, “Biodigestión”, “Inorgánico + Humus” e “Inorgánico + Biodigestión” tienen VAN positivo en el plazo de evaluación, mientras que “Compost” e “Inorgánico + Compost” no. Además, se obtiene que independiente del escenario evaluado, existe un ahorro en los costos municipales al manejar los RSD de la manera propuesta en estos.

Por otra parte, el análisis de sensibilidad de precios muestra que, para los casos “Inorgánico” e “Inorgánico + Biodigestión” la disminución de precios de uno de los productos no afecta la rentabilidad del proyecto, mientras que para los otros casos puede disminuir hasta en un 90%, para que la rentabilidad se vuelva negativa. En el análisis de sensibilidad de costos, se observa que esta variable no es de gran riesgo para el proyecto. Por último, el análisis de sensibilidad de pérdidas, indica que esta variable es la de más cuidado, ya que vuelve negativa la rentabilidad en todos los escenarios estudiados, en diferentes porcentajes de aumento.

En conclusión, la implementación de un plan de Basura Cero, presenta indicadores económicos positivos y entregaría beneficios sociales, ambientales y económicos a la Municipalidad de Recoleta.

## **Glosario**

|           |                                                                                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANIR      | Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje                                                              |
| CEPAL     | Comisión Económica Para América Latina y el Caribe                                                             |
| CNE       | Comisión Nacional de Energía                                                                                   |
| CONAMA    | Comisión Nacional de Medio Ambiente                                                                            |
| EIA       | Energy Information Administration/ Administración de Información Energética                                    |
| EMPA      | Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt/Instituto Federal de Ciencia de Materiales y Tecnología |
| ENAP      | Empresa Nacional de Energía                                                                                    |
| FAO       | Food and Agriculture Organization/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura    |
| GAIA      | Global Alliance for Incinerator Alternatives                                                                   |
| HDPE      | Polietileno de Alta Densidad (PEAD)                                                                            |
| INE       | Instituto Nacional de Estadísticas                                                                             |
| INN       | Instituto Nacional de Normalización                                                                            |
| ISWA      | International Solid Waste Association                                                                          |
| LDPE      | Polietileno de Baja Densidad                                                                                   |
| MMA       | Ministerio del Medio Ambiente                                                                                  |
| NMP       | Número Más Probable                                                                                            |
| OCDE/OECD | Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico                                                        |
| ODEPA     | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias                                                                       |
| ONG       | Organización No Gubernamental                                                                                  |
| PET       | Polietileno Tereftalato                                                                                        |
| PP        | Polipropileno                                                                                                  |
| REP       | Responsabilidad Extendida al Productor                                                                         |
| RSD       | Residuos Sólidos Domiciliarios                                                                                 |
| RSM       | Residuos Sólidos Municipales                                                                                   |
| RSU       | Residuos Sólidos Urbanos                                                                                       |

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| SEA    | Servicio de Evaluación Ambiental     |
| SMA    | Superintendencia del Medio Ambiente  |
| SOREPA | Sociedad Recuperadora de Papel       |
| TIR    | Tasa Interna de Retorno              |
| UF     | Unidad de Fomento                    |
| UNEP   | United Nations Environment Programme |
| VAN    | Valor Actual Neto                    |
| ZWIA   | Zero Waste International Alliance    |

## Índice

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                                 | 10 |
| 1.1. Definición de residuo .....                                      | 10 |
| 1.2. Clasificación de residuo .....                                   | 10 |
| 1.3. Generación y composición de Residuos Sólidos Domiciliarios ..... | 11 |
| 1.4. Problemática de los residuos en el mundo .....                   | 12 |
| 1.5. Gestión de residuos sólidos domiciliarios .....                  | 13 |
| 2. Antecedentes .....                                                 | 15 |
| 2.1. Basura Cero.....                                                 | 15 |
| 2.1.1. Historia .....                                                 | 15 |
| 2.1.2. Organizaciones .....                                           | 16 |
| 2.1.3. Definición de Basura Cero .....                                | 17 |
| 2.1.4. Importancia de sociedad civil .....                            | 20 |
| 2.2. Enfoques de basura cero .....                                    | 20 |
| 2.2.1. Basura Cero en casa.....                                       | 21 |
| 2.2.2. Basura Cero en las comunidades .....                           | 22 |
| 2.2.3. Basura Cero en comercio e industria.....                       | 23 |
| 2.3. Economía circular .....                                          | 24 |
| 2.4. Situación chilena.....                                           | 28 |
| 2.4.1. Problemática de los residuos en Chile.....                     | 29 |
| 2.4.2. Política ambiental en Chile.....                               | 30 |
| 2.4.2.3. Caso de estudio .....                                        | 33 |
| 3. Objetivos .....                                                    | 34 |
| 4. Metodología .....                                                  | 35 |
| 4.1. Recopilación de información .....                                | 35 |
| 4.1.1. Casos de estudio internacional .....                           | 35 |
| 4.1.2. Casos de estudio nacional.....                                 | 35 |
| 4.1.3. Recopilación de datos .....                                    | 37 |
| 4.2. Estudio de prefactibilidad .....                                 | 37 |
| 4.2.1. Estudio de mercado .....                                       | 38 |
| 4.2.2. Estudio técnico .....                                          | 38 |

|         |                                                     |    |
|---------|-----------------------------------------------------|----|
| 4.2.3.  | Estudio económico .....                             | 39 |
| 4.4.    | Conclusiones.....                                   | 42 |
| 5.      | Resultados .....                                    | 43 |
| 5.1.    | Recopilación de información .....                   | 43 |
| 5.1.1.  | Casos de estudio internacional .....                | 43 |
| 5.1.2.  | Casos de estudio nacional.....                      | 45 |
| 5.2.    | Recopilación de datos .....                         | 46 |
| 5.2.1.  | Caracterización de residuos .....                   | 47 |
| 5.2.2.  | Proyección de la población.....                     | 48 |
| 5.2.3.  | Estimación de hogares .....                         | 48 |
| 5.2.4.  | Situación actual del manejo de RSD en Recoleta..... | 49 |
| 5.3.    | Estudio de mercado.....                             | 51 |
| 5.3.1.  | Definición del producto .....                       | 51 |
| 5.3.2.  | Valorización.....                                   | 54 |
| 5.3.3.  | Demanda.....                                        | 56 |
| 5.4.    | Estudio técnico.....                                | 57 |
| 5.4.1.  | Separación en origen .....                          | 58 |
| 5.4.2.  | Recolección puerta a puerta.....                    | 62 |
| 5.4.3.  | Manejo de orgánicos.....                            | 64 |
| 5.4.4.  | Reciclaje .....                                     | 69 |
| 5.4.5.  | Reutilización, reparación y deconstrucción.....     | 72 |
| 5.4.6.  | Iniciativas de reducción de residuos .....          | 72 |
| 5.4.7.  | Incentivos económicos .....                         | 73 |
| 5.4.8.  | Centro de separación e investigación residual.....  | 74 |
| 5.4.9.  | Responsabilidad industrial.....                     | 75 |
| 5.4.10. | Relleno sanitario temporal.....                     | 75 |
| 5.5.    | Estudio económico.....                              | 75 |
| 5.5.1.  | Indicadores económicos .....                        | 77 |
| 5.5.2.  | Sensibilidad .....                                  | 78 |
| 6.      | Análisis de resultados.....                         | 87 |
| 7.      | Conclusiones y recomendaciones.....                 | 91 |
| 8.      | Referencias .....                                   | 93 |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexos.....                                                                                          | 100 |
| ANEXO A. Estimación de tarifa de aseo de la Municipalidad de Recoleta, para 2018.                    | 100 |
| ANEXO B: Resumen comparativo de las respuestas entregadas por las municipalidades entrevistadas..... | 100 |
| ANEXO C: Dimensionamiento de tecnologías de manejo de residuos orgánicos .....                       | 102 |
| ANEXO D: Ejemplo de flujos de caja realizados.....                                                   | 103 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Generación de residuos en países de la Unión Europea, kg per cápita, para el año 2015 (Eurostat, 2017) .....                                | 12 |
| <b>Figura 2.</b> Gráfico de tendencia de reserva y déficit ecológico a) en el mundo b) en Chile (Global Footprint Network, 2017). .....                      | 18 |
| <b>Figura 3.</b> Basura generada por la familia de Bea Johnson durante el año 2016. Créditos de la fotografía Cristovão@Exposed-Image (Johnson, 2017). ..... | 22 |
| <b>Figura 4.</b> Comparación entre economía lineal y economía circular (European Commission, 2014). .....                                                    | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Esquema de una economía circular general de los procesos productivos (Ellen MacArthur Foundation, 2015). .....                              | 27 |
| <b>Figura 6.</b> Generación de RSD en Chile ■ Tasa anual por habitante ➡ Generación país (CONAMA, 2010). .....                                               | 28 |
| <b>Figura 7.</b> Clasificación de los RSD según su valorización. Elaboración propia. ....                                                                    | 47 |
| <b>Figura 8.</b> Proyección de la población de Recoleta (INE, 2017). ....                                                                                    | 48 |
| <b>Figura 9.</b> Proyección de la cantidad de hogares en la comuna de Recoleta (Elaboración propia). .....                                                   | 49 |
| <b>Figura 10.</b> Proyección de costos de manejo y producción de RSD, en la comuna de Recoleta (Elaboración propia). .....                                   | 50 |
| <b>Figura 11.</b> Usuarios del servicio de aseo de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017). .....                             | 50 |
| <b>Figura 12.</b> Distribución de los costos asociados al servicio de aseo (Elaboración propia). ....                                                        | 51 |
| <b>Figura 14.</b> Códigos de identificación de resinas de plástico (Recytrans S.L., 2017). ....                                                              | 53 |
| <b>Figura 14.</b> Variación de precio de la celulosa (Banco Central de Chile, 2017). ....                                                                    | 55 |
| <b>Figura 15.</b> Variación de precios del petróleo en Europa (EIA, 2017). .....                                                                             | 55 |
| <b>Figura 16.</b> Esquema de los puntos estudiados técnicamente (Elaboración propia). .....                                                                  | 58 |
| <b>Figura 17.</b> Integración gradual de la población al plan basura cero propuesto para la comuna de Recoleta (Elaboración propia). ....                    | 60 |
| <b>Figura 18.</b> Fases del compostaje y su relación con la temperatura, pH y oxígeno presente. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013). ....                     | 66 |
| <b>Figura 19.</b> Diagrama de las alternativas de uso del biogás (ODEPA, 2007). ....                                                                         | 68 |
| <b>Figura 20.</b> Pasos de la digestión anaeróbica (Appels, Baeyens, Degre, & Dewil, 2008). .....                                                            | 68 |

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 21.</b> Esquema explicativo de los escenarios analizados económicamente (Elaboración propia).....                                             | 76  |
| <b>Figura 22.</b> Puntos analizados en los flujos de caja realizados (Elaboración propia).....                                                          | 77  |
| <b>Figura 23.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 1 Inorgánico con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....              | 79  |
| <b>Figura 24.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 1 Inorgánico con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....              | 79  |
| <b>Figura 25.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 3 Humus con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....                   | 80  |
| <b>Figura 26.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 3 Humus con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....                   | 80  |
| <b>Figura 27.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 4 Biodigestión con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....            | 81  |
| <b>Figura 28.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 4 Biodigestión con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....            | 81  |
| <b>Figura 29.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 6 Inorgánico+Humus con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....        | 82  |
| <b>Figura 30.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 6 Inorgánico+Humus con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....        | 82  |
| <b>Figura 31.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 7 Inorgánico+Biodigestión con 84% de recuperación final (Elaboración propia)..... | 83  |
| <b>Figura 32.</b> Porcentaje de disminución de precios para Escenario 7 Inorgánico+Biodigestión con 50% de recuperación final (Elaboración propia)..... | 83  |
| <b>Figura 33.</b> Aumento de costos para escenarios con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....                                             | 84  |
| <b>Figura 34.</b> Aumento de costos para escenarios con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....                                             | 84  |
| <b>Figura 35.</b> Aumento de pérdidas para escenarios con 84% de recuperación final (Elaboración propia).....                                           | 85  |
| <b>Figura 36.</b> Aumento de pérdidas para escenarios con 50% de recuperación final (Elaboración propia).....                                           | 85  |
| <b>Figura 37.</b> Simulación realista de pérdidas para escenarios 1 Inorgánico, 3 Humus y 7 Inorgánico+Humus (Elaboración propia).....                  | 86  |
| <b>Figura 38.</b> Tarifa de aseo 2018, de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017).....                                   | 100 |

## Índice de tablas

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Composición de RSD en Nicaragua para 2003 y Cataluña para 2006 (Bonmatí, 2008).....                      | 12 |
| <b>Tabla 2.</b> Composición de los RSD en la región metropolitana según nivel socioeconómico en 2001 (CONAMA, 2006)..... | 29 |

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 3.</b> Evolución de la composición de los RSD en la región metropolitana (CONAMA, 2006).....                                                             | 29  |
| <b>Tabla 4.</b> Tabla comparativa de indicadores demográficos de los casos de estudio analizados, datos tomados de OECD.stat 2014 (Elaboración propia).....       | 45  |
| <b>Tabla 5.</b> Tabla comparativa de las municipalidades chilenas estudiadas (Elaboración propia). .....                                                          | 46  |
| <b>Tabla 6.</b> Composición de los residuos municipales para el año 2009 en Chile (CONAMA, 2010).....                                                             | 47  |
| <b>Tabla 7.</b> Costos asociados al servicio de aseo (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017). 51                                                                |     |
| <b>Tabla 8.</b> Parámetros químicos del humus de lombriz (Astudillo, 2012). .....                                                                                 | 52  |
| <b>Tabla 9.</b> Parámetros bacteriológicos ideales que debe tener el humus de lombriz (Astudillo, 2012).....                                                      | 52  |
| <b>Tabla 10.</b> Precios de materiales reutilizables, utilizados en el estudio (Elaboración propia). .....                                                        | 56  |
| <b>Tabla 11.</b> Empresas recicladoras en Chile (Elaboración propia).....                                                                                         | 57  |
| <b>Tabla 12.</b> Distancia recorrida desde Recoleta a lugar de procesamiento de residuos (Elaboración propia). .....                                              | 64  |
| <b>Tabla 13.</b> Tabla comparativa de los indicadores económicos de cada escenario estudiado (Elaboración propia). .....                                          | 78  |
| <b>Tabla 14.</b> Indicador económico VAN de los escenarios evaluados y costo municipal de manejo de residuos para cada caso (Elaboración propia).....             | 78  |
| <b>Tabla 15.</b> Indicadores económicos para porcentaje de pérdida variable, en escenarios 1 Inorgánico, 3 Humus y 7 Inorgánico+Humus (Elaboración propia). ..... | 86  |
| <b>Tabla 16.</b> Comparativa de respuestas a entrevistas realizadas. Elaboración propia. ....                                                                     | 100 |
| <b>Tabla 17.</b> Dimensionamiento de las pilas y área necesarias para compostaje, para los casos de recuperación de 84% y 50% del total. ....                     | 102 |
| <b>Tabla 18.</b> Dimensionamiento de las camas y área necesarias para lombricultura, para los casos de recuperación de 84% y 50% del total.....                   | 102 |
| <b>Tabla 19.</b> Evaluación económica del escenario “Inorgánico + Biodigestión” (Elaboración propia).....                                                         | 103 |

## 1. Introducción

En el presente capítulo, se abordan los principales conceptos asociados a la temática a tratar, junto con la descripción de la problemática y la solución planteada en el estudio.

### 1.1. Definición de residuo

Existen variadas definiciones para el concepto de residuo, las que en algunos aspectos son similares a las de desecho, basura o desperdicio, entre otras. Sin embargo, se puede definir desecho como un material u objeto resultante de una actividad cualquiera, que no es útil para su poseedor o para aquél que lo genere, ni se visualiza otra eventual utilidad para él. En cambio, un residuo, es una sustancia, objeto o material resultante o sobrante de una actividad, que ya no tiene utilidad en ésta y del cual, su poseedor o generador tiene la intención de desprenderse, lo que no implica que no pueda tener otra utilidad y pueda incluso llegar a ser un elemento de valor para otra persona (CONAMA; Instituto del Medio Ambiente Gylania, 2001).

### 1.2. Clasificación de residuo

Es posible clasificar los residuos según varios criterios, los que dependen del tipo de material, su estado físico, su origen o su impacto en la salud de las personas y en el medio ambiente, entre otros (CONAMA; Instituto del Medio Ambiente Gylania, 2001). En particular, en este estudio se analizarán los residuos en estado sólido y de origen domiciliario.

Los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) se definen en la Ley de rentas municipales chilena, Decreto 2385 de 1996, de la siguiente manera: “se consideran residuos sólidos domiciliarios a las basuras de carácter doméstico generadas en viviendas y en toda otra fuente cuyos residuos presenten composiciones similares a los de las viviendas” (Decreto 2385, 1996).

Por otra parte, también se utiliza el término de Residuos Sólidos Municipales (RSM), los que se definen como los generados en los hogares y sus asimilables, es decir, los residuos generados en vías públicas, el comercio, oficinas, edificios e instituciones tales como escuelas, entre otros. Estos residuos son considerados residuos no peligrosos (CONAMA, 2010). Además, es ampliamente utilizado el término de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los que se definen como los residuos producidos en los domicilios particulares, comercios, oficinas y edificios públicos (Bonmatí, 2008). Debido a la similitud de las definiciones, estos términos se suelen utilizar como sinónimos, y además, dado que la ley chilena sólo reconoce los RSD, y su definición engloba a las otras terminologías mencionadas, se utilizará este último en el presente documento sin distinción.

### 1.3. Generación y composición de Residuos Sólidos Domiciliarios

La generación de RSD depende del nivel de vida de la población, del nivel de consumo, del tipo de zona, rural o urbana, entre otros factores. En general, se puede afirmar que existe mayor generación de residuos en zonas urbanas, con un nivel de consumo elevado y en áreas de gran desarrollo industrial, de esta manera, se observan valores de generación per cápita que van desde  $1,6kghab^{-1}d^{-1}$  en países altamente industrializados hasta  $0,37kghab^{-1}d^{-1}$  en países con bajo nivel de industrialización y población mayoritariamente rural, según datos tomados hasta 2008 (Bonmatí, 2008). Un ejemplo de esto, es la Unión Europea, donde en 2015 se generaron en promedio  $476kghab^{-1}año^{-1}$  aproximadamente, siendo Dinamarca el país con mayor generación de RSD con una producción cercana a los  $800kghab^{-1}$ , en el mismo año. A continuación, en la Figura 1, se muestra la producción de RSD en algunos países de la Unión Europea, para el año 2015.

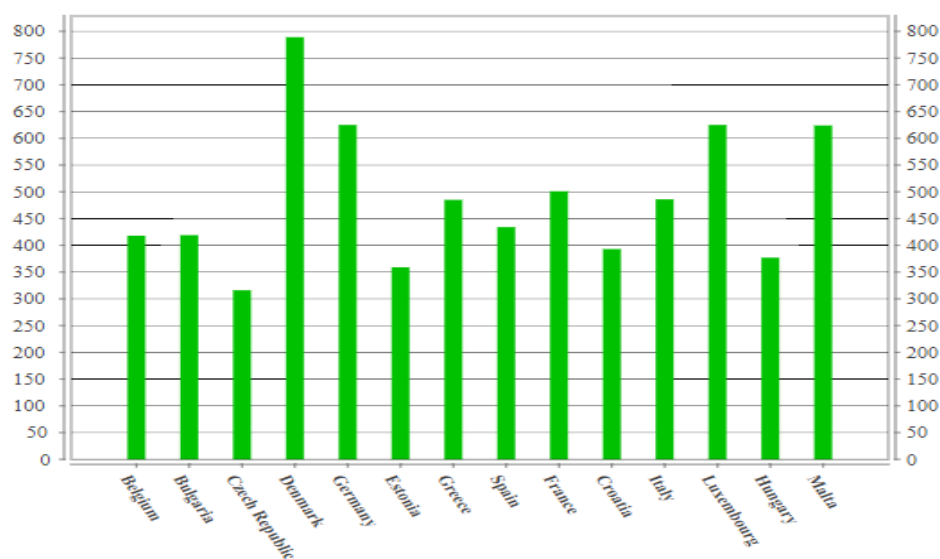


**Figura 1.** Generación de residuos en países de la Unión Europea, kg per cápita, para el año 2015 (Eurostat, 2017)

Por otra parte, la composición de los RSD se ve influida por los mismos factores antes mencionados. La mayor diferencia se observa en la fracción orgánica de estos, presentando un porcentaje más grande en países o zonas con menos industrialización, que en los más desarrollados, mientras que la fracción inorgánica presenta la tendencia opuesta. Un ejemplo comparativo de esto, se muestra a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición de RSD en Nicaragua para 2003 y Cataluña para 2006 (Bonmatí, 2008).

| Componente       | Nicaragua | Cataluña |
|------------------|-----------|----------|
| Materia orgánica | 82,3%     | 45,0%    |
| Papel y cartón   | 4,0%      | 25,0%    |
| Plástico         | 8,5%      | 7,0%     |
| Metales          | 1,0%      | 4,0%     |
| Vidrio           | 1,2%      | 8,0%     |
| Otros residuos   | 3,0%      | 11,0%    |

#### 1.4. Problemática de los residuos en el mundo

Cada año se generan alrededor de 2.000 millones de toneladas de residuos en el planeta, lo que se ha convertido en una de las mayores problemáticas en materia ambiental, sanitaria y económica a nivel mundial (ISWA & UNEP, 2015).

La problemática de la generación de residuos se ve acrecentada por el tipo de consumo actual de la sociedad, ya que el modelo imperante de economía lineal, es decir, extraer-producir-comprar-usar-botar, relaciona directamente el crecimiento económico con el aumento de los residuos generados, y además, pone en peligro la capacidad de la naturaleza para regenerarse y mantener las necesidades humanas actuales y futuras, debido al agotamiento de recursos y al daño ambiental que provoca su extracción y procesamiento. (Leonard, 2010).

Por otra parte, existen graves problemas con el manejo de la basura en el mundo, que genera impactos sanitarios y ambientales, debido a la presencia de vectores y a focos infecciosos que se presentan en lugares donde se acumula desecho sin cumplir los estándares mínimos de sanidad, afectando particularmente a las comunidades aledañas a estos (CONAMA, 2005). Esta problemática ha provocado la búsqueda de alternativas de gestión de RSD, de lo que se habla en el siguiente punto.

#### 1.5. Gestión de residuos sólidos domiciliarios

La gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios, se define como el conjunto de operaciones encaminadas a darles el destino final más eficiente y adecuado a los RSD, considerando aspectos ambientales, sanitarios y económicos. Comprende las etapas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

Para enfrentar el problema que trae el manejo inadecuado de los residuos, se han desarrollado metodologías de gestión que buscan minimizarlo, las que se diferencian principalmente en las etapas de tratamiento y disposición final. Las más utilizadas son el relleno sanitario o vertedero, la valorización de residuos y, por último, la incineración de éstos. En la Unión Europea se estima que en 2012, el 48,3% de los residuos fueron sometidos a operaciones de eliminación, como vertederos, el 45,7% se enviaron a operaciones de valorización, como reciclaje, y el 6% restante se envió a incineración (Eurostat, 2015).

Es importante mencionar que los métodos de disposición final de residuos, como vertederos y rellenos sanitarios, generan en la sociedad la sensación de desaparición de los residuos, lo

que ayuda a la invisibilización del problema detrás de estos, y además, generan problemas sociales en las cercanías de las instalaciones y dependencia del modelo lineal de producción debido a la pérdida de recursos valiosos. Este fenómeno, también se aprecia en métodos de eliminación, como la incineración, donde además se observan problemas de generación de tóxicos en estado gaseoso, sólido y efluentes líquidos; y de salud de las comunidades aledañas a este tipo de instalaciones (Connett, 2013). Además, existe una relación entre estos métodos, con disposiciones de orden económico, regulatorio y espacial de cada ciudad. Es por esto, que el presente estudio se basa en el enfoque Basura Cero, particularmente en lo expuesto por Paul Connett en su libro *“The Zero Waste Solution”*, y también en el concepto de Economía Circular, por lo que se presenta a continuación una noción general de estos términos.

## 2. Antecedentes

A continuación, se presentan los antecedentes de la forma en que algunos países están intentando solucionar los problemas que se les han presentado.

### 2.1. Basura Cero

De modo general, Basura Cero es un concepto que busca eliminar la basura, entendida como el material inservible que resulta de las actividades humanas, y que no se puede reaprovechar, por lo que comprende cambios en la manera que fluyen los materiales a través de la sociedad, involucrando todo el proceso de producción y consumo. Tanto al final de este, recuperando y reciclando materiales; como al inicio, diseñando los productos para evitar los residuos en la fuente; lo que implica un cambio en la industria actual, y un rediseño del presente modelo productivo unidireccional para transformarse en uno circular. Por otra parte, este modelo también envuelve cambios culturales, políticos y sociales, asociados a que las actividades cotidianas de la población deben contribuir a alcanzar el objetivo (Snow & Dickinson, 2001). Para conocer más sobre Basura Cero, a continuación, se presenta la historia, se define y se describen las implicancias que este tiene.

#### 2.1.1. Historia

A principios de la década de los 80, un pequeño grupo de expertos en reciclaje comenzó a hablar acerca de la idea del “reciclaje total”. De estas deliberaciones surgió el concepto de “Basura Cero”. En 1990, activistas de Filipinas ya utilizaban este término. Por otra parte, una de las primeras políticas formales fue creada en 1995, cuando en Canberra, Australia, se promovió el objetivo “Ningún desecho en el 2010”. Desde ese año, la propuesta “Basura Cero” ha sido impulsada como objetivo por gobiernos nacionales, regionales o comunales, en Nueva Zelanda; Dinamarca; Seattle, Washington; el condado Del Norte, San Francisco y el condado de Santa Cruz en California; Edmonton, Alberta; Ottawa, Ontario; y Nova Scotia. Asimismo, una serie de empresas nacionales y multinacionales adoptaron algunos de los principios de “Basura Cero” (Odriozola, 2004).

### 2.1.2. Organizaciones

La creación del enfoque Basura Cero, se desarrolla bajo el alero de ciertas organizaciones internacionales, las que fueron de gran importancia para la difusión y el éxito de este en el mundo, por lo que, se detallan a continuación:

#### a) *Zero Waste International Alliance*

En 2003, se realizó la primera reunión oficial del Grupo de Planificación de la ZWIA, en el marco de una serie de conferencias organizadas por el Instituto Federal Suizo de Ciencia de Materiales y Tecnología (EMPA), donde se establecieron los principios y metas de esta alianza (Anthony, 2015).

Además, en su sitio web, la ZWIA expresa que fue creada para promover alternativas positivas al relleno sanitario e incineración y para concientizar a la comunidad sobre los beneficios sociales y económicos que se obtendrán cuando los residuos se consideren como una base de recursos sobre la cual se pueden construir tanto oportunidades de empleo como de negocio, con el objetivo de trabajar hacia un mundo sin desechos, mediante la educación pública y la aplicación práctica de los principios de Basura Cero. Por otra parte, se asegura que la tecnología y métodos necesarios para lograr la implementación de basura cero existen en todas las comunidades del mundo (ZWIA, 2015).

#### b) *Zero Waste Europe*

Zero Waste Europe se define como una red de conocimiento y un grupo de defensa, que representa a las comunidades activas en los países de la Unión Europea. Además, pretende rediseñar la sociedad para que todos los residuos sean eliminados y que todo lo que se produzca pueda ser reutilizado, reparado, compostado o reciclado en el sistema, mientras que lo que no esté en ese grupo, se rediseñe y reemplace o se prohíba su entrada al mercado. Para lograrlo, se compromete a apoyar a los grupos locales con conocimientos independientes y

herramientas simplificadas, con la finalidad de impulsar el cambio de manera más eficiente, y también, se compromete a estructurar el movimiento internacionalmente, para representar mejor los intereses de las comunidades a nivel de la Unión Europea e involucrar a los responsables políticos con una voz unificada (Zero Waste Europe, About, 2017).

### 2.1.3. Definición de Basura Cero

La definición formal del concepto Basura Cero, entregada por la Zero Waste International Alliance, es la siguiente: “Basura Cero es una meta ética, económica, eficiente y visionaria, para guiar a la gente a cambiar sus estilos de vida y prácticas para emular ciclos naturales sostenibles, donde todos los materiales desechados están diseñados para convertirse en recursos para que otros los utilicen. Significa diseñar y gestionar productos y procesos para evitar sistemáticamente y eliminar el volumen y la toxicidad de los residuos y materiales, conservar y recuperar todos los recursos, y no quemarlos ni enterrarlos. La implementación de Basura Cero eliminará todas las descargas a tierra, agua o aire que son una amenaza para la salud planetaria, humana, animal o vegetal” (Liss, 2009), la que además fue adoptada por Zero Waste Europe.

En la práctica, esta definición implica (Zero Waste Europe, 2017):

- a) Cambio cultural. Se refiere principalmente a los patrones de producción, consumo y disposición de hoy en día, los que asumen una disponibilidad infinita de recursos y se ha convertido en la fuente primordial de la presión que ejercemos sobre el medio ambiente. Esto ha llevado al mundo a un déficit ecológico, el que se ha ido incrementando en el tiempo, el que actualmente se mide por la huella ecológica, la que se muestra en la Figura 2, para los casos del mundo y de Chile. Por lo anterior, se hace necesario un cambio de paradigma, para lo que la Comisión Europea propone de manera urgente, crear formas de consumo sostenibles que tomen en cuenta tanto la eficiencia económica como el beneficio social y ambiental, junto con desarrollar productos y servicios que utilicen menos recursos (Comisión Europea, 2007), y para

lo cual Zero Waste Europe plantea adoptar la reducción del uso de materiales y energía, para convertirse en una sociedad de Basura Cero.

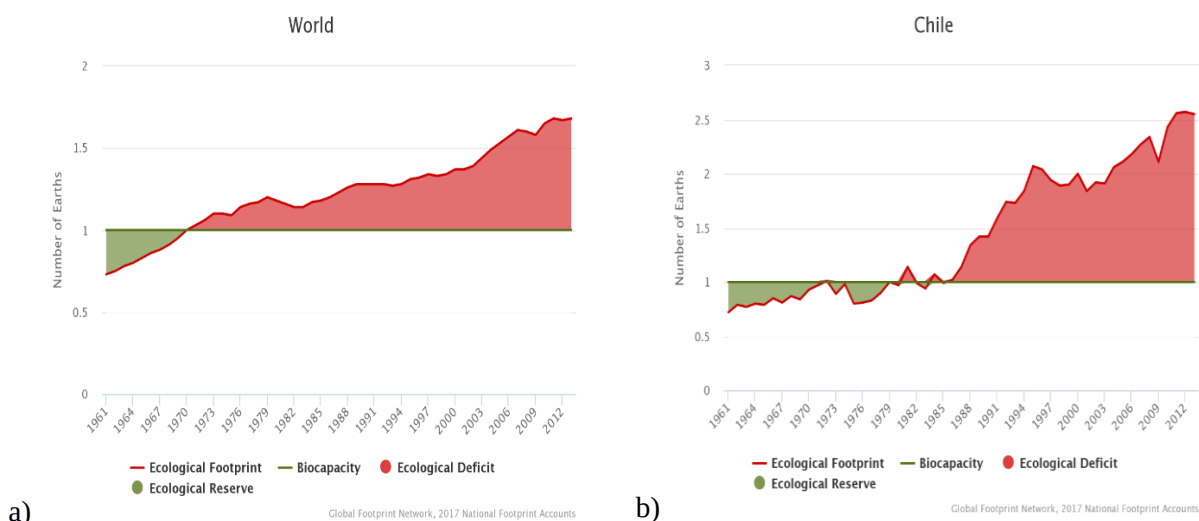


**Figura 2.** Gráfico de tendencia de reserva y déficit ecológico a) en el mundo b) en Chile (Global Footprint Network, 2017).

- b) Participación ciudadana. La educación y participación de la ciudadanía es indispensable para asegurar la efectividad y la sustentabilidad de un plan de gestión integral de residuos sólidos urbanos, ya que se debe lograr que la gente separe en origen, colabore con el servicio de recolección diferenciada y asuma y acepte la importancia de la adecuada disposición final, es decir, comprenda cómo hacerlo correctamente y esté convencida de los beneficios sanitarios, ambientales y sociales que supone un adecuado manejo de los RSU (Cereceda Payret, 2002). Por otra parte, *Zero Waste Europe* señala en su página web, que los ciudadanos deben ser invitados a inventar y adoptar prácticas libres de residuos y participar activamente en el diseño del sistema de gestión de los recursos para la reducción de estos. Además, deben emprenderse campañas de educación pública para alentar la participación pública, y deben contar con recursos suficientes y sostenidos a lo largo del tiempo.
- c) Cambio de infraestructura. Según propone Zero Waste Europe en su sitio web, el sistema de producción y la infraestructura de gestión de residuos debe diseñarse de modo que se reflejen las siguientes prioridades:

c.1.Prevencción de residuos: donde se destacan los planes locales y sectoriales con el objetivo de desencadenar acciones a nivel nacional, junto con la responsabilidad industrial, asociada a los “empleos verdes”, el diseño de productos duraderos, fáciles de mantener y reparables, la reducción de embalajes y el rediseño de productos, que no pueden ser reutilizados, reciclados y compostados con seguridad, en consonancia con una economía circular, la que se define más adelante, además de la educación y la formación de profesionales, responsables políticos y ciudadanos para cambiar el paradigma y eliminar progresivamente los residuos.

c.2.Recogida separada: este punto es importante debido a que mantiene la utilidad de los materiales, siempre que se realice una separación limpia de los materiales en la fuente, por lo que, la recolección separada de residuos debe ser promovida y así evitar aumentos en los residuos que van al vertedero. Por otra parte, es importante potenciar los centros de reutilización y reparación, para aquellos bienes desechados cuyos materiales no sean reciclables y tengan este potencial.

c.3.Reducción de fracción residual: esta porción corresponde a los residuos que no son reciclables, reutilizables o compostables, la que debe ser reducida tanto como sea posible, pero manteniéndola visible para promover los esfuerzos en su eliminación, el que debe realizarse en el inicio de la cadena productiva para dejar de producirlos o convertirlos en un nuevo producto capaz de ser valorizado al final de su uso. Además, como la fracción residual se debe visibilizar para dejar de producirlos, la infraestructura de eliminación, como vertederos o incineradores, son contrarias a la propuesta de basura cero.

Por último, se espera que la implementación de un plan de basura cero genere empleos adicionales, debido a las nuevas formas de producción y recuperación de materiales; ayude a cerrar el bucle (ciclo) de material, al considerar los residuos como materias primas de otros

procesos; devuelva los nutrientes al suelo, con la recuperación de residuos orgánicos; reduzca el impacto medioambiental, asociado a la eliminación de residuos y extracción de materias primas; entre otros (Zero Waste Europe, 2017).

#### 2.1.4. Importancia de sociedad civil

En el proceso de creación de movimientos que impulsan el enfoque de Basura Cero, han estado presentes las organizaciones de la sociedad civil promoviendo cambios concretos que lleven a obtener resultados positivos en la implementación de este modelo. Como el caso de Global Alliance for Incinerator Alternatives (GAIA), que participó activamente en la creación de la Zero Waste International Alliance (Anthony, 2015), junto con otros activistas y científicos. Además, tiene presencia mundial, y sigue aportando a promover la idea de Basura Cero, sobre todo con la organización, el intercambio de información y la creación de redes a nivel mundial (GAIA, 2017).

En Chile, existen variadas organizaciones que abordan el tema de Basura Cero, las que en su mayoría se reúnen en la Alianza Basura Cero Chile, que tiene la visión de promover y trabajar activamente por el manejo sustentable de los residuos sólidos urbanos, bajo los enfoques de Basura Cero y Economía Circular (Alianza Basura Cero Chile, 2017).

Por esto es fundamental el rol que cumple la sociedad civil en estos procesos, ya que participan como agentes impulsores de cambios, promueven nuevas formas de pensar la realidad actual de los residuos y su manejo, ayudan a la educación de la población, entre otras labores, que influyen efectivamente para alcanzar el objetivo.

#### 2.2. Enfoques de basura cero

Dependiendo de dónde se quiera implementar, existen distintos enfoques del concepto de basura cero, los que dependen de los distintos actores involucrados: personas individuales, comunidades o empresas. Estos enfoques son independientes entre sí, sin embargo, si se

logran aplicar en conjunto, los resultados podrían abarcar a la mayoría de las fuentes de generación de basura.

### 2.2.1. Basura Cero en casa

Para implementar Basura Cero, el primer paso es comenzar por casa, es decir, realizar un cambio personal y familiar, de hábitos y de la manera en que se relaciona cada individuo con el consumo, con la finalidad de no producir desechos que vayan a rellenos sanitarios o que sean incinerados. Según comenta Zero Waste Europe en su sitio web, alcanzar este objetivo es cuestión de realizar compras conscientes y una separación adecuada de residuos en el hogar. Realizar compras conscientes, se refiere a las elecciones que realizan los consumidores a la hora de comprar, siendo esencial, evitar productos de un solo uso, productos tóxicos, o no reciclables ni compostables, buscando alternativas a estos, por lo que, la principal actividad a realizar, es la de observar y cuestionar antes de comprar, para así evitar generar residuos, tanto los propios del producto como los que vienen con él (embalajes). Una separación adecuada, consiste en devolver al ciclo, los residuos generados en casa, para lo que debe ser desarrollada correctamente, es decir, separar lo orgánico, inorgánico y restos, manteniendo limpios los residuos, para no disminuir su capacidad de ser reciclado o compostado, junto con no aumentar sus costos de procesamiento.

Por otra parte, existen personas que siguen esta ideología y que además promueven sus prácticas para que otras las sigan y puedan adoptar una vida Basura Cero, una de las principales exponentes es Bea Johnson, quien propone un kit básico de inicio y un guía simple de 5Rs, “Rechazar lo que no se necesita, reducir lo que es necesario, reutilizar lo que se consume, reciclar lo que usted no pudo rechazar, y compostar (*rot* en inglés) el resto”. Además, da consejos en su libro *Zero Waste Home*, su blog y charlas (Johnson, 2017). También existen casos chilenos de personas que se acogieron a esta filosofía de vida y la llevaron a la práctica, adoptando nuevos hábitos hasta transformarlos en rutina y compartiendo su experiencia, como Camila Silva, que comunica sus consejos en su instagram NoMeDaLoMismo, entre otras (Sánchez Jiménez, 2017). Todas las que siguen esta filosofía saben lo importante que es visualizar la basura residual que producen, para así evitarla o

repensarla, por lo que, muchas veces tienen frascos donde la almacenan, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Basura generada por la familia de Bea Johnson durante el año 2016. Créditos de la fotografía Cristovão@Exposed-Image (Johnson, 2017).

#### 2.2.2. Basura Cero en las comunidades

*Zero Waste Europe* define a las Municipalidades de Basura Cero como las que tienen un compromiso firme y verificable de avanzar hacia el objetivo de cero residuos, el que se considera un proceso más que una meta. Además, esta organización reúne y representa a los municipios europeos que buscan implementar planes de Basura Cero, y que cumplen con algunas normas establecidas por la ZWIA. Estas dos organizaciones entregan reconocimiento a las comunidades que optan por este camino, en dos categorías denominadas “Comunidades que trabajan por Basura Cero” y “Comunidades de Mejores Prácticas de Basura Cero”, ambas con distintas pautas de medición. Este reconocimiento se le ha entregado a 364 municipalidades de Europa, lo que equivale a 7.807.542 personas que están aportando a este modelo (Zero Waste Europe, 2017).

Por otra parte, existen distintos libros de Basura Cero en las comunidades, como *Creating Wealth from Waste* (Murray, 1999), el que propone una metodología de implementación de Basura Cero para el Reino Unido; *Zero Waste* (Murray, Zero Waste, 2002), en el que trata aspectos técnicos generales de la implementación de un plan Basura Cero; *Zero Waste*

*Solution* (Connett, 2013) en el que propone diez pasos para alcanzar la meta de basura cero, basados en experiencias de comunidades que ya han comenzado con el compromiso de eliminar sus residuos (separación en origen, recolección puerta a puerta, orgánicos, reciclaje, centros comunitarios de reutilización y reparación, incentivos económicos, iniciativas de reducción de residuos, centros de separación e investigación residual, responsabilidad industrial, vertedero temporal); *On the Road to Zero Waste: Successes and Lessons from Around the World* (GAIA, 2012) en donde se presentan casos de estudio de implementación de basura cero en nueve comunidades diferentes.

Además, es importante mencionar que este tipo de planes necesitan voluntades políticas, para facilitar su realización, junto con el compromiso de todos los actores que participan de esto, para asegurar un funcionamiento apropiado.

### 2.2.3. Basura Cero en comercio e industria

Este punto se refiere principalmente a la reducción de residuos, y el desvío de los que van a los vertederos o incineradores, por parte del comercio y las industrias. Se sustenta en la base de que la basura es una ineficiencia de un proceso, por lo que, las empresas tienden a optimizarlos y así evitar los residuos (Zero Waste Europe, 2017). También implica un desafío para la industria, ya que, como propone Triciclos, empresa B que busca un cambio cultural a través del reciclaje (Triciclos, 2017), “la basura es un error de diseño”, es decir, el objetivo de Basura Cero en negocios, involucra un rediseño de los productos o de la manera de pensar el modelo productivo, dando paso a lo que se denomina Economía Circular.

Los negocios de Basura Cero deben seguir algunos principios básicos. Los que propone Zero Waste Europe son (Zero Waste Europe, 2017):

- a) Las materias primas deben obtenerse, siempre que sea posible, a partir de materiales reciclados y no de nueva extracción (materia prima virgen).
- b) Cualquier nueva extracción sólo debe justificarse cuando procede de una fuente regeneradora.

- c) Una empresa de Basura Cero desviaría el 90% de los residuos, de los vertederos y la incineración.
- d) El sistema lineal de producción necesita ser transformado en un sistema circular en el que el potencial de reciclaje pueda maximizarse.
- e) Los procesos de producción deben ser rediseñados con el fin de evitar la generación de residuos dentro y fuera de la planta.
- f) El consumo de energía y la generación de residuos del producto / máquina deben ser incluidos en los cálculos de optimización.
- g) Aplicar el diseño ecológico y el enfoque integrado de política de productos.
- h) Cambiar el enfoque de la productividad laboral a la productividad de los recursos.

Por otra parte, existen organizaciones que entregan certificaciones a las empresas que demuestren que cumplen los requisitos mínimos que expone cada organismo certificador, los que están presentes en distintos países. A continuación, se presenta un ejemplo internacional y uno nacional:

- a) *U.S. Zero Waste Business Council*: tiene como misión educar, informar y documentar el desempeño de los negocios Basura Cero, para lo que utilizan métodos científicos, ayudando a negocios y comunidades a ser más saludables y sostenibles.
- b) Fundación Basura, Sello Basura Cero: está dirigido a organizaciones latinoamericanas cuyos productos, servicios o eventos prevengan, midan y gestionen su generación de basura de manera sustentable.

### 2.3. Economía circular

La economía circular es un nuevo modelo colaborativo de desarrollo de bienes que beneficia directamente a los proveedores de servicios, optimizando el uso de los recursos naturales, reduciendo las emisiones de carbono y aumentando el reciclaje (Fundación Chile, 2017).

El término "economía circular" fue utilizado por primera vez en la literatura occidental en los años 80 para describir un sistema cerrado de interacciones economía-ambiente (OECD, 2009). Sin embargo, tiene orígenes profundamente arraigados y no se remonta a una única fecha o un único autor, por lo que, el concepto genérico tiene distintas escuelas de pensamiento que lo han perfeccionado, las que son: Diseño regenerativo, planteado por John T. Lyle (1994); Economía del Rendimiento, ideado por Walter Stahel (2010); De la cuna a la cuna (Cradle to Cradle), desarrollado por Michael Braungart y Bill McDonough(2003); Biomímesis, definido por Janine Benyus (2012); Economía azul, impulsada por Gunter Pauli (2012) y Ecología industrial, creada por Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos (1989) (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Por otra parte, la actual economía imperante corresponde a un modelo de consumo lineal de recursos que se puede describir con el patrón “extraer-utilizar-desechar”, es decir, las empresas obtienen materias primas, para utilizarlas en la fabricación de productos, que luego venden al consumidor, quien lo desecha cuando ya no tiene utilidad para él. La Fundación Ellen MacArthur, establece que en 2010, entraron al sistema económico alrededor de 65 mil millones de toneladas de materias primas, y se espera que esta cifra crezca a cerca de 82 mil millones de toneladas en el 2020. Además, estima que con la implementación de proyectos circulares en sectores relevantes de fabricación se podría obtener un ahorro en costo neto de materiales entre USD 340-630 mil millones anuales, solo en la Unión Europea (Ellen MacArthur Foundation, 2014). Por lo anterior, es que se invita a repensar la creación de valor, desde una perspectiva circular. En la Figura 4, se muestra una comparación entre la economía lineal y la circular.

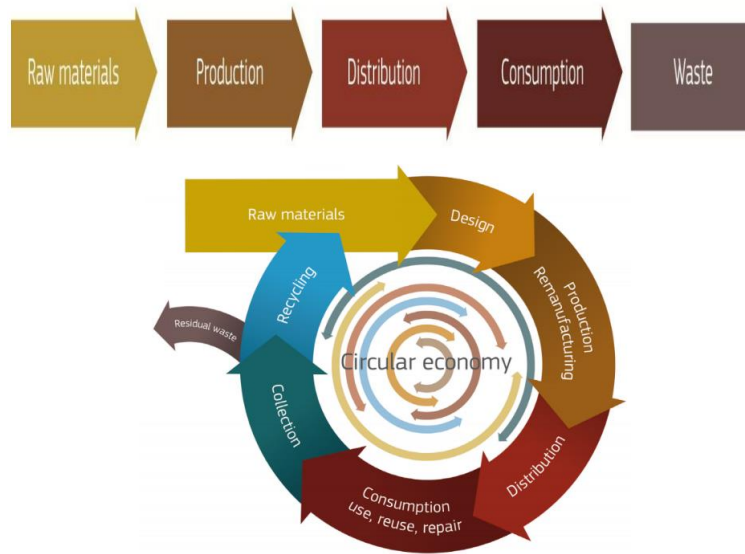


**Figura 4.** Comparación entre economía lineal y economía circular (European Commission, 2014).

Además, la economía circular se basa en tres principios de actuación y se define a partir de ciertas características, que se mencionan a continuación (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Principios:

- a) Preservar y mejorar el capital natural, controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables.
- b) Optimizar los rendimientos de los recursos, distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima, en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos.
- c) Promover la eficacia de los sistemas, detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos.

Características:

- a) Los residuos se eliminan en la etapa de diseño: desde el momento del diseño se piensa en que, al final del uso del producto, se puedan recuperar los materiales, renovados y mejorados, sin que se conviertan en desechos.

- b) La diversidad genera solidez: las economías requieren de un equilibrio entre la variedad de empresas y escalas de actividades para mejorar a futuro.
- c) Las fuentes de energías renovables impulsan la economía: con esto se espera reducir la dependencia de los recursos y aumentar la resiliencia de los sistemas.
- d) Pensar en “sistemas”: se refiere a la capacidad de comprender cómo influyen entre sí las partes dentro de un todo y la relación del todo con las partes.
- e) Los precios u otros mecanismos de retroalimentación deben reflejar los costos reales: debido a que en una economía circular los costos funcionan como mensajes, se deben conocer e incluir los costos asociados a factores externos negativos, ya que el caso contrario actúa como una barrera para alcanzar este tipo de economía.

A continuación, en la Figura 5, se muestra como fluyen los materiales a través de un modelo de economía circular:

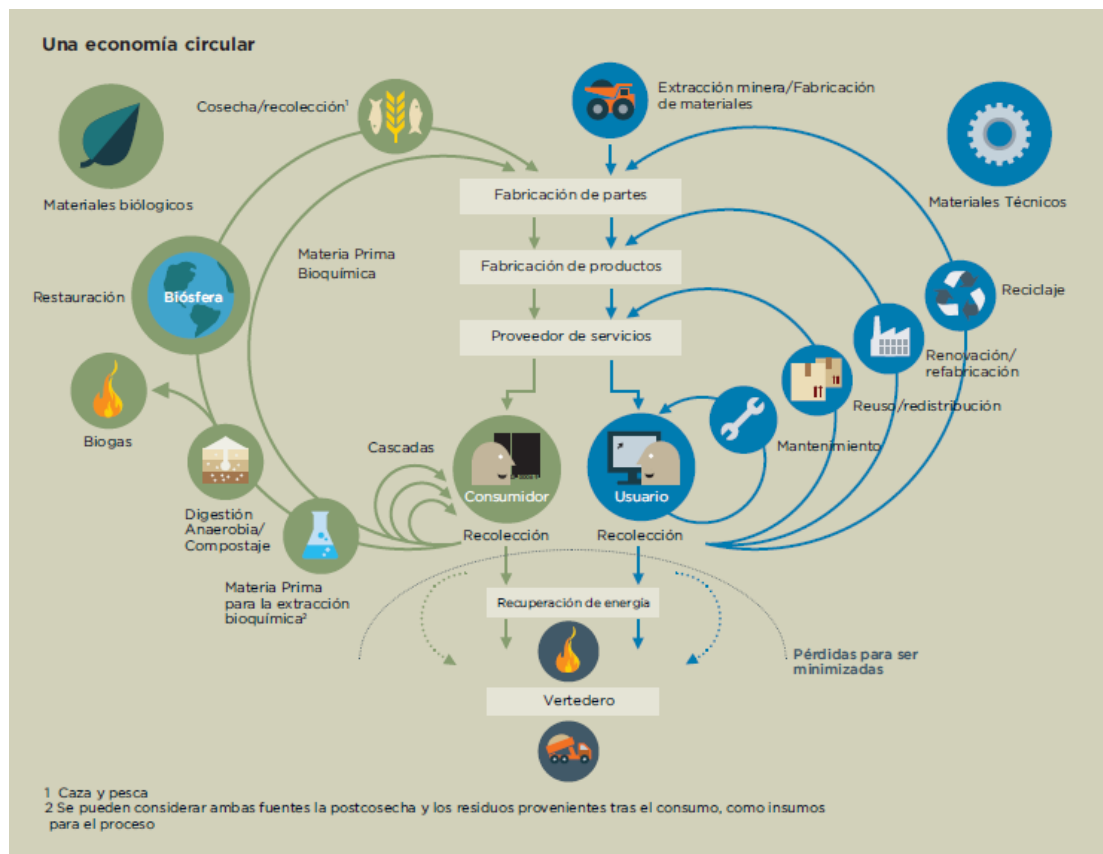


**Figura 5.** Esquema de una economía circular general de los procesos productivos (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

## 2.4. Situación chilena

En Chile, la generación de los RSD ha aumentado con los años, pasando de  $326kghab^{-1}año^{-1}$ , el 2000, a  $384kghab^{-1}año^{-1}$ , el 2009 (ver Figura 6), cifra menor a la de los países miembros de la OCDE, los que en promedio generan  $550kghab^{-1}año^{-1}$ . Por otra parte, se estima que en el año 2009 la generación de RSD fue de 6,5 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 28% respecto del año 2000, donde se generaron 5 millones de toneladas (ver Figura 6). Además, para el año 2009 el índice de generación per cápita de residuos fue de  $1,05kghab^{-1}d^{-1}$  (CONAMA, 2010).

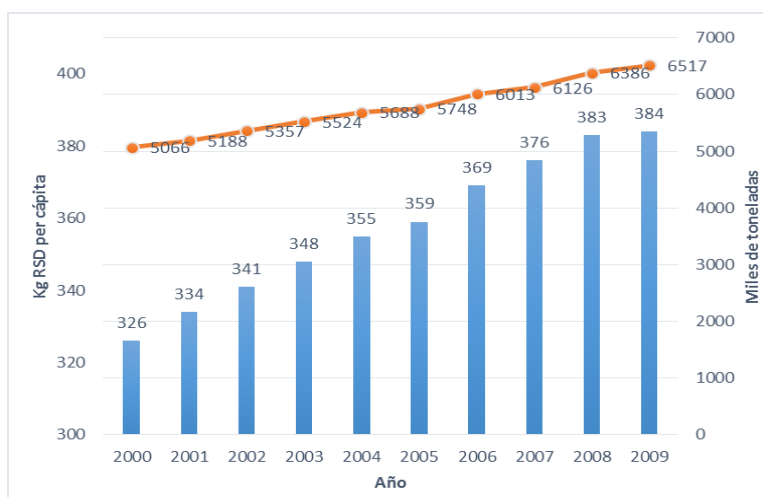


**Figura 6.** Generación de RSD en Chile ■ Tasa anual por habitante — Generación país (CONAMA, 2010).

Por otra parte, la composición de los RSD, se ve influida por distintos factores, en general, se puede señalar que existen diferencias entre los distintos estratos socioeconómicos (ver Tabla 2), los que corresponden principalmente a la fracción del contenido de materia orgánica y al contenido de papeles, cartones y plásticos en sus residuos, esto se relaciona principalmente con la manera en que se alimenta cada estrato. Además, el aumento en el nivel de ingreso de la población, conlleva a cambios en los hábitos de consumo, lo que implica una importante variación en la composición de los RSD (ver Tabla 3). Por otra parte, la composición de los RSD generados sigue siendo en su mayoría materia orgánica, aunque esta cifra va disminuyendo cada año, mientras la cifra para los plásticos, vidrios, papeles y cartones, aumenta muy rápidamente (CONAMA, 2006).

**Tabla 2.** Composición de los RSD en la región metropolitana según nivel socioeconómico en 2001 (CONAMA, 2006).

| <b>Componente identificado</b> | <b>Estrato Socioeconómico</b> |                       |                  |                       |                 | <b>Composición promedio (Total: 55 familias)</b> |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------|
|                                | <b>A (alto)</b>               | <b>B (medio alto)</b> | <b>C (medio)</b> | <b>D (medio bajo)</b> | <b>E (bajo)</b> |                                                  |
| Materia orgánica               | 53,8%                         | 44,9%                 | 63,6%            | 51,8%                 | 55,3%           | 53,9%                                            |
| Papeles y cartones             | 17,5%                         | 17,0%                 | 11,7%            | 10,1%                 | 8,6%            | 13,0%                                            |
| Escombros, cenizas, losas      | 0,0%                          | 0,4%                  | 0,1%             | 9,2%                  | 10,3%           | 4,0%                                             |
| Plásticos                      | 11,7%                         | 12,3%                 | 11,7%            | 12,6%                 | 12,5%           | 12,2%                                            |
| Textiles                       | 6,8%                          | 8,2%                  | 4,4%             | 3,9%                  | 3,8%            | 5,4%                                             |
| Metales                        | 0,2%                          | 2,3%                  | 3,9%             | 3,7%                  | 5,9%            | 3,2%                                             |
| Vidrios                        | 0,0%                          | 0,1%                  | 4,1%             | 2,9%                  | 0,7%            | 1,6%                                             |
| Huesos                         | 0,0%                          | 0,2%                  | 0,3%             | 0,8%                  | 0,2%            | 0,3%                                             |
| Otros                          | 10,1%                         | 14,6%                 | 0,3%             | 5,1%                  | 2,6%            | 6,5%                                             |

**Tabla 3.** Evolución de la composición de los RSD en la región metropolitana (CONAMA, 2006).

| <b>Componente</b>              | <b>1973</b> | <b>1977</b> | <b>1979</b> | <b>1983</b> | <b>1990</b> | <b>1991</b> | <b>1996</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2004</b> |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Materia orgánica               | 73,00       | 68,29       | 63,86       | 62,20       | 68,14       | 55,05       | 44,91       | 42,29       | 53,90       | 54,23       |
| Papel y cartón                 | 16,00       | 19,26       | 16,42       | 18,90       | 14,85       | 16,77       | 20,27       | 21,85       | 13,00       | 18,03       |
| Escombros, cenizas, losas      | 0,60        | 1,58        | 7,26        | 6,50        | 0,00        | 3,75        | 5,47        | 5,07        | 4,00        | 0,87        |
| Plásticos                      | 2,20        | 2,38        | 2,72        | 4,40        | 5,82        | 8,15        | 12,50       | 14,09       | 12,10       | 7,49        |
| Textiles y cueros              | 2,00        | 3,73        | 4,47        | 3,60        | 3,85        | 7,50        | 4,66        | 5,04        | 5,40        | 1,32        |
| Metales                        | 2,80        | 2,95        | 2,24        | 2,50        | 2,17        | 2,22        | 2,38        | 2,46        | 3,20        | 0,92        |
| Vidrios                        | 0,90        | 0,86        | 1,10        | 1,30        | 1,44        | 1,73        | 1,84        | 2,12        | 1,60        | 9,89        |
| Huesos                         | 2,00        | 0,29        | 0,80        | 0,30        | 0,00        | 1,43        | 0,52        | 0,54        | 0,30        | 0,23        |
| Otros (pañales, pilas, varios) | 0,50        | 0,66        | 1,11        | 0,30        | 3,73        | 3,42        | 7,43        | 6,54        | 6,50        | 7,02        |

#### 2.4.1. Problemática de los residuos en Chile

La problemática de los desechos, se evidencia en primer lugar por el manejo inadecuado de éstos, lo que genera graves problemas sanitarios y ambientales, y tienen impactos tanto presentes como futuros, que conllevan altos costos de reparación, es por esto, que en Chile se han impulsado políticas que enfrentan este problema (CONAMA, 2010). Por otra parte, este problema ambiental ocupa el segundo lugar de importancia para los chilenos, según la “Tercera Encuesta Nacional de Medio Ambiente” (MMA, 2017)

La gestión de los residuos en Chile, se ha impulsado desde 1995, cuando la totalidad de los RSD se disponía en vertederos y basurales. Alcanzando, en 2005, una disposición de más del

60% de los residuos en rellenos sanitarios, los que cumplen con una serie de exigencias técnicas sanitarias y ambientales (CONAMA, 2005).

Por otro lado, en 2005, se creó la Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, con lo que se ha potenciado la jerarquización en el manejo de los residuos, que prioriza la valorización por sobre la disposición final de éstos y busca minimizar los residuos generados en el país (CONAMA, 2005).

La gestión de RSD en Chile, para el año 2009, alcanzó una tasa de recolección de 95%, la que se dividió de la siguiente manera: casi el 99% de los residuos se derivó a instalaciones de disposición final, el 0,9% se valorizó y se incineró el 0,2% (CONAMA, 2010).

En 2016, con la publicación de la Ley de Responsabilidad Extendida al Productor (REP), se impulsa la disminución de la generación de residuos y se fomenta su reutilización, reciclaje o valoración. Ésta promueve un sistema donde los productos y sus residuos pasan a ser un recurso de valor, lo que permitiría avanzar hacia una economía circular, donde nada se desperdicia, todo esto, enmarcado en seis productos prioritarios y en el cumplimiento de metas (MMA, 2017).

#### 2.4.2. Política ambiental en Chile

Para conocer el marco normativo y la evolución de la legislación ambiental chilena, se introduce el tema en los siguientes puntos.

##### 2.4.2.1. Historia de la institucionalidad política medio ambiental chilena

En 1994, se publicó la Ley N° 19.300, con lo que se creó la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), pero no se suprimió las competencias del resto de organismos públicos en materia ambiental, por lo que esta institución no tenía poder rector en la fiscalización ambiental (SMA, 2017).

En 2005, en el marco de la evaluación de desempeño ambiental de Chile, se realizaron una serie de recomendaciones al Gobierno, entre las que destacan el “desarrollar y fortalecer las instituciones ambientales en los ámbitos nacional y regional” y fortalecer “la capacidad de cumplimiento y fiscalización, incluso mediante reformas institucionales, como por ejemplo, el establecimiento de un órgano de inspección ambiental” (OCDE & CEPAL, 2005).

En 2010, debido a las sugerencias de la OCDE, se publicó la Ley N° 20.417, con lo que se creó la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), reemplazando a la CONAMA, y concretándose la separación de funciones en materia regulatoria (MMA), de evaluación (SEA) y de sanción (SMA) (Ley N° 20.417, 2010).

Por último, se completó la nueva institucionalidad con la creación de los Tribunales Ambientales, que tienen como función resolver las controversias medioambientales de su competencia y ocuparse de los demás asuntos que la ley somete a su conocimiento (Ley N° 20.600, 2012), como resolver las reclamaciones que se interpongan en contra de resoluciones de la SMA o de los decretos que establezcan normas de calidad y de emisión, declaren zonas como latentes o saturadas, o establezcan planes de prevención o de descontaminación. Además, deben conocer y resolver las demandas por daño ambiental que se interpongan (SMA, 2017).

#### 2.4.2.2. Normativas aplicadas a residuos sólidos en Chile

A continuación, se enumeran las leyes y normativas relacionadas con los residuos sólidos en Chile:

- La Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades: establece como función privativa del municipio, el aseo y ornato de la comuna.
- Código Sanitario: estipula que corresponde a las municipalidades recolectar, transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del Servicio Nacional de

Salud, las basuras, residuos y desperdicios que se depositen o produzcan en la vía urbana.

- Decreto Ley N° 3.063: establece el cobro por el servicio de aseo que presta el municipio, entre otras materias.
- Ley N° 19.300: exige evaluación ambiental a ciertos proyectos vinculados al manejo de residuos, Establece como función del MMA proponer políticas y formular normas, planes y programas en materias de residuos
- Ley N° 20.920: establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje (Ley REP).
- Decreto Supremo N° 685/1992: ratifica el Convenio de Basilea, que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente en lo referente a su disposición.
- Ley N° 20.879: sanciona el transporte de desechos hacia vertederos clandestinos.
- Decreto Supremo N° 148/2004: establece el Reglamento Sanitario sobre el manejo de Residuos Peligrosos.
- Decreto Supremo N° 45/2007: establece la norma de emisión para la incineración y co-incineración.
- Decreto Supremo N° 189/2008: regula condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.
- Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos orienta a la implementación de la estrategia jerarquizada, promoviendo la prevención de su generación y, si su prevención no es posible, fomentar, en este orden, su reutilización, reciclaje, valorización energética, tratamiento y disposición final, todo ello para efectos de proteger la salud humana y el medio ambiente.
- Ordenanzas municipales: establecen mandatos legales de la administración local a nivel comunal.

#### 2.4.2.3. Caso de estudio

En particular, la Municipalidad de Recoleta, al actualizar el Plan de Desarrollo Comunal, definió como uno de los objetivos estratégicos más importantes lograr que la comuna se mantenga limpia, lo que se asocia al malestar colectivo y el peligro que genera la existencia de numerosos micro basurales en los barrios del municipio (Carvajal, 2014).

Para resolver el problema de los desechos, la Municipalidad de Recoleta ha mejorado la legislación referente al tema y ha resaltado lo imprescindible de la participación ciudadana. Además, ha incorporado el concepto de Basura Cero en la actual ordenanza ambiental de la comuna, adoptándolo como una estrategia de manejo de RSD (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2014).

### 3. Objetivos

#### **Objetivo general**

Realizar un estudio de prefactibilidad técnica económica de la implementación de un modelo de gestión de residuos sólidos domiciliarios y/o asimilables con enfoque de basura cero, en la Municipalidad de Recoleta.

#### **Objetivos específicos**

1. Analizar distintas experiencias nacionales e internacionales
2. Analizar los distintos factores involucrados en el manejo de los residuos
3. Analizar la viabilidad técnica de la implementación del modelo de Basura Cero
4. Proponer distintas alternativas de implementación del modelo
5. Comparar las opciones de implementación y su viabilidad económica.

## 4. Metodología

En este capítulo, se explica la metodología utilizada en el estudio de prefactibilidad propuesto para el análisis.

El primer paso de este estudio consistió en recopilar información de la implementación de Basura Cero en el mundo, con la finalidad de conocer la experiencia de otros países y ciudades, los métodos recomendados y la factibilidad de implementación en el caso de la comuna de Recoleta.

### 4.1. Recopilación de información

La recopilación de información, se separó en tres partes: casos de estudio internacional, casos de estudio nacional y recopilación de datos para el estudio.

#### 4.1.1. Casos de estudio internacional

Se estudiaron los casos de San Francisco, Estados Unidos; la Unión Europea; Nueva Zelanda y Colombia, además, de Italia, Canada, India, Japón, Filipinas y Taiwan, mencionados en el libro *“The Zero Waste Solution”* de Paul Connett. Para la recopilación de información, se utilizaron los medios comunicacionales oficiales, prensa escrita, y el libro mencionado anteriormente.

#### 4.1.2. Casos de estudio nacional

Para reunir información nacional de casos de implementación de estrategias Basura Cero, se hicieron entrevistas a municipalidades previamente seleccionadas. La Pintana, debido al manejo de residuos orgánicos que implementaron el año 2005; Peñalolen, por el trabajo que realizan con los recicladores de base en cuanto a manejo de residuos valorizables y reciclables desde 2007; Temuco por contar con un plan piloto de Basura Cero para un sector de su población y además por estar en estudio el desarrollo de una planta de incineración de

basura desde 2016; Recoleta, por su intención de realizar un plan de Basura Cero y para conocer su situación actual en cuanto a manejo de residuos.

Las entrevistas realizadas se basaron en un cuestionario de preguntas, elaborado previamente, las que fueron respondidas mediante entrevista directa con funcionarios del área de gestión ambiental, uno de cada municipalidad. Las preguntas del cuestionario, se basaron en los diez pasos propuestos por Paul Connett (Connett, 2013), y se detallan a continuación:

- a) ¿Existe separación de los residuos en origen? ¿Es una política municipal? ¿Se respeta? ¿Se desarrolla mediante convenio?
- b) ¿Cuenta con sistema de recolección de reciclables puerta a puerta? ¿Está a cargo del Municipio o de terceros?
- c) ¿Se realiza recuperación (compostaje/lombricultura/biodigestión) de residuos orgánicos por parte de la municipalidad?
- d) ¿Hay iniciativas de reciclaje? ¿Estas son realizadas por la municipalidad o por terceros?
- e) ¿Existen iniciativas de reutilización y reparación?
- f) ¿Cree posible dar incentivos económicos a las personas? Como por ejemplo, disminuir la tarifa de basura en caso de reciclar o reutilizar cierto porcentaje de los residuos del hogar
- g) ¿Se paga por el reciclaje?
- h) ¿Existen iniciativas de reducción de residuos?
- i) ¿Existen alianzas entre universidades o centros de investigación y la municipalidad?
- j) ¿Se trabaja con recicladores de base? ¿Se les paga?
- k) ¿Cuentan con la caracterización de la basura del municipio? (RSD versus Industrial y composición del RSD)
- l) ¿Cuántos habitantes y hogares hay en la comuna? ¿Tiene fuentes industriales?
- m) ¿Cuenta con el esquema de costos?

#### 4.1.3. Recopilación de datos

El estudio realizado necesita información para la evaluación de las alternativas propuestas, cuyas fuentes se detallan a continuación:

- a) Caracterización de residuos: se obtuvo del “Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile” (CONAMA, 2010).
- b) Proyección de la población: se obtuvo de los datos entregados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), basados en el Censo de 2002 (INE, 2017). Ya que la proyección entregada, tiene un periodo de 2002-2020, y el proyecto se evalúa a un plazo de 15 años, para los años siguientes se asume que la población no varía, esto debido al sesgo de la información, a variables poblacionales que no se presenciaban de gran manera en 2002, y sí en la actualidad, como lo es la inmigración, y a la dificultad de proyectar esta variable en el tiempo.
- c) Estimación de hogares: se obtuvo de los datos entregados por el INE (INE, 2010), de donde se desprende que en 2002, en promedio habían 3,6 personas por hogar, por lo que se aproximó y se utilizó el dato de 4 personas por hogar en promedio, con lo que se obtuvo la estimación de la cantidad de hogares de la municipalidad.
- d) Situación actual del manejo de RSD en Recoleta: se obtuvo de los datos entregados públicamente por la municipalidad (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017) y recolectados internamente.

#### 4.2. Estudio de prefactibilidad

Este estudio se basó en la metodología expuesta por Paul Connett en su libro (Connett, 2013), la que se escogió debido a que representa un modelo general de implementación de Basura Cero, que se basa en experiencias exitosas de implementación de planes de manejo de residuos y se puede ajustar a distintas realidades. Connett, propone diez pasos para alcanzar la meta de Basura Cero, los que se enumeran a continuación:

##### 1. Separación en origen

2. Recolección puerta a puerta
3. Manejo de orgánicos
4. Reciclaje
5. Centros comunitarios de reutilización y reparación
6. Incentivos económicos
7. Incentivos de reducción de residuos
8. Centro de separación e investigación residual
9. Responsabilidad industrial
10. Vertedero temporal.

Por otro lado, el estudio se dividió en tres partes, estudio de mercado, estudio técnico y estudio económico, los que se detallan en los siguientes puntos. Sin embargo, es importante mencionar que, debido a que el modelo de Basura Cero es incipiente en la realidad nacional, este proyecto se analizó técnica y económicamente hasta el paso 4, lo que teóricamente significa un porcentaje cercano al 80% de desviación de residuos al relleno sanitario (Connett, 2013), mientras que los pasos siguientes sólo se analizaron de manera técnica y se presentaron como un objetivo futuro de largo plazo.

#### 4.2.1. Estudio de mercado

En esta etapa se definieron los productos, basados en la caracterización de residuos, los que corresponden a residuos procesados; se estudiaron los precios y proyecciones de estos, junto con la demanda del mercado. Para realizar este estudio, se utilizaron datos entregados por organismos gubernamentales, asociaciones industriales referentes al tema, estudios e investigaciones, todas estas tanto nacionales como internacionales.

#### 4.2.2. Estudio técnico

Se estudiaron las posibles alternativas técnicas, asociadas a cada uno de los pasos propuestos por Paul Connett, junto con las distintas tecnologías necesarias para obtener los productos

antes definidos, en este análisis se incluyó la legislación chilena y de la Municipalidad de Recoleta.

Para cada uno de los pasos se analizaron experiencias y recomendaciones internacionales. En particular, los primeros 4 pasos se analizaron y dimensionaron para adecuarse a las necesidades de la Municipalidad de Recoleta, considerando la factibilidad técnica asociada a la recepción de los residuos y del traslado de estos. Por último, los pasos siguientes, es decir, del 5 al 10, se analizan a grandes rasgos, en conformidad a la legislación chilena y a la realidad actual de la Municipalidad de Recoleta, debido a lo explicado anteriormente.

#### 4.2.3. Estudio económico

El estudio económico elaborado se realizó de manera incremental, es decir, se definió la situación actual, la que se denominó línea base, y se analizaron los escenarios propuestos de manera que se consideraron sólo las diferencias entre la propuesta y la línea base.

Para el análisis, se presentaron distintos escenarios, los que se evaluaron a 15 años y se comparó la rentabilidad del proyecto mediante el indicador económico VAN y TIR, con una tasa social de descuento del 6% (Ministerio de Desarrollo Social, 2016). Además, se realizó un análisis de sensibilidad, tomando como variables, el precio de los productos, los costos del proyecto y las pérdidas de residuos recuperados.

A continuación, se describen los supuestos realizados y la definición de la línea base y de cada uno de los escenarios propuestos:

##### Definición de línea base (situación actual proyectada de Recoleta)

En este caso, se utilizó la información entregada por la Municipalidad de Recoleta, a través de los canales formales de comunicación, donde se detalla la estimación de tarifa de aseo para el año 2018 (ver ANEXO A), y se proyecta en el período de evaluación escogido.

### Escenarios propuestos

En cada uno de los casos analizados, se tienen los siguientes supuestos generales:

- a) Se proyecta una implementación del plan incorporando 3 nuevas unidades vecinales cada 3 meses, con un total de 36 unidades vecinales. Los primeros 3 meses estarán dedicados netamente a la educación ambiental de la población seleccionada y a entregar conocimientos previos del plan de basura cero. Y al cuarto mes, se comenzará con la recolección selectiva de residuos
- b) En cada escenario se analizan dos tipos de porcentajes de recuperación de residuos:
  - a. Caso optimista: 100% de recuperación de los residuos reciclables, con un 10% de pérdida
  - b. Caso realista: recuperación inicial de 10% en cada unidad vecinal, la que aumenta en el mismo porcentaje cada 3 meses desde el inicio de su implementación (mes 4) hasta alcanzar y mantenerse en 50% (mes 16).

Luego de estos supuestos generales, se definen 7 escenarios diferentes, que se describen a continuación.

#### Escenario 1: Inorgánico

Para este caso, se considera sólo la recuperación de material inorgánico reciclable, con la incorporación de recicladores de base, para el manejo de los residuos, considerando la venta de estos residuos y el acopio en puntos limpios.

#### Escenario 2: Compost

En este caso, se considera sólo la recuperación de la materia orgánica de los residuos para generar compost, como producto, y se castiga el precio de este en un 50% del precio de mercado, debido a que se debe reflejar económicamente, que en la práctica es un beneficio para la municipalidad, y no una venta directa de la materia orgánica procesada.

### Escenario 3: Humus

Se considera solo la recuperación de la materia orgánica para producir humus, y se castiga el precio de este en un 50% del precio de mercado, para reflejar el beneficio para la comunidad como una venta del producto.

### Escenario 4: Biodigestión

Se considera solo la recuperación de la materia orgánica, la cual se procesa por biodigestión y luego se obtiene energía eléctrica, la que es vendida al Sistema Interconectado Central.

### Escenarios combinados

Los siguientes escenarios son la agrupación de los expuestos anteriormente, y corresponden a la suma de los proyectos individuales, por lo que se mantuvieron los supuestos anteriores, y se agregaron las siguientes consideraciones:

- a) El personal de educación, inspección, jefatura y administración, se contabiliza sólo una vez para cada escenario combinado.
- b) Todos consideran 5 días de recolección, donde 3 días corresponden a retiro de orgánicos, 1 día a reciclables inorgánicos y 1 día para restos.

Basado en lo anterior, a continuación, se describen los escenarios combinados analizados.

### Escenario 5: Inorgánico + Compost

Para este caso, se considera la recolección de inorgánicos y orgánicos, los que se procesan y venden. Los inorgánicos, se procesan para obtener las condiciones de venta, mientras que los orgánicos se transforman en compost.

#### Escenario 6: Inorgánico + Humus

En este punto, se considera la recolección de inorgánicos y orgánicos, para su posterior procesamiento y venta. Los inorgánicos, se procesan para obtener las condiciones de venta, mientras que los orgánicos se transforman en humus.

#### Escenario 7: Inorgánico + Biodigestión

Este último caso, se define con la recolección de inorgánicos, los que se procesan para alcanzar las condiciones de venta y con la recolección de orgánicos, los que se procesan mediante biodigestión y luego por cogeneración se produce energía eléctrica.

#### 4.3. Análisis

El análisis de los resultados se realizó de manera cuantitativa, mediante la comparación económica de los escenarios propuestos. Además, se analizó la factibilidad técnica de cada uno de éstos mediante la investigación de tecnologías aplicables.

#### 4.4. Conclusiones

Como última etapa de esta memoria, se presentaron conclusiones y recomendaciones, basadas en los resultados económicos obtenidos del estudio de prefactibilidad realizado y su correspondiente análisis.

## 5. Resultados

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación técnica económica del modelo de gestión de RSD propuesto.

### 5.1. Recopilación de información

En este punto, se presenta la información relevante del manejo de RSD en los casos estudiados afines al modelo propuesto.

#### 5.1.1. Casos de estudio internacional

Los casos de estudio internacional, entregan buenas prácticas de implementación de planes Basura Cero en comunidades basadas en su experiencia, lo que ayuda a optimizar los procesos y a realizarlos de la mejor manera. A continuación, se presentan los casos más relevantes estudiados.

- a) San Francisco: esta ciudad logró un 78% de desviación en 2009, superando su meta de 75% para 2010, adoptada en 1999, y tiene como último objetivo lograr basura cero para 2020. Esto se ha logrado gracias a una amplia gama de políticas y servicios convenientes para el plan Basura Cero, siendo muy importante la Ordenanza sobre reciclaje y compostaje obligatorio, además se destacan los incentivos financieros (proporcional a la reducción de desechos al vertedero), y la responsabilidad del consumidor y productor, promoviendo la prevención de residuos y la preferencia de compras desde el punto de vista medioambiental. Por último, los responsables del desarrollo de este plan, destacan la importancia de avanzar poco a poco y fijarse metas realistas de desviación de residuos, y ajustarlas a medida que se cumplan (San Francisco Department of the Environment, 2014).
- b) Unión Europea: esta comunidad ha impulsado el objetivo de Basura Cero, llevando un registro de la municipalidades que se adhieren a este, creando una red de apoyo entre estas, generando estadísticas y casos de estudio, junto con políticas atingentes

al tema, siendo las principales la jerarquización de los residuos, responsabilidad extendida al productor y objetivos de prevención de residuos para los estados miembros. Las municipalidades que están incorporadas son en total 361, lo que corresponde a 7.400.732 de personas que se unen a Basura Cero en la Unión Europea. Por otra parte, destaca que no existe un único camino para convertirse en una ciudad Basura Cero, por lo que, cada ciudad debe adaptarse según sus necesidades (Zero Waste Europe, 2017).

- c) Nueva Zelanda: es el primer país en plantearse políticas nacionales de implementación de Basura Cero, en 2001, a partir del llamado de Gobierno a establecer una estrategia nacional de minimización de residuos (Snow & Dickinson, 2001). A principio de 2005, el 72% de los consejos regionales habían establecido objetivos de Basura Cero y cerca del 95% de la población tenía acceso a programas de reciclaje (Connett, 2013).
- d) Colombia: en la ciudad de Bogotá se intentó implementar un plan de Basura Cero, el cual presentó problemas, a tal punto, que se consideró un gran fracaso y arriesgó penas de cárcel para el alcalde que lo impulsó. Las principales decisiones a las que se puede atribuir esto, es al tiempo de implementación del proyecto, el que fue estimado en cuatro meses siendo muy corto en comparación con otras ciudades, y todo lo que eso conlleva (falta en la educación y sociabilización del plan con los habitantes, cambios apresurados en los contratos de aseo, entre otros) además, existe la variable política, donde se dice que en este caso fue un gran obstáculo para la implementación del plan (Camacho, 2013).

Para este estudio, son importantes algunas variables demográficas, las que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Tabla comparativa de indicadores demográficos de los casos de estudio analizados, datos tomados de OECD.stat 2014 (Elaboración propia).

| <b>Ciudad</b> | <b>PIB per cáp<br/>USD/cap</b> | <b>Población Mhab</b> | <b>Superficie Km<sup>2</sup></b> | <b>Densidad<br/>poblacional<br/>hab/Km<sup>2</sup></b> |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| San Francisco | 72.390,1                       | 870                   | 121,47                           | 7.170,7                                                |
| Unión Europea | 37.547,774                     | 506.735,8             | 4.284.930                        | 118,26                                                 |
| Nueva Zelanda | 37.083,3                       | 4.509,7               | 264.944                          | 17                                                     |
| Colombia      | 13.431,518                     | 47.661,79             | 1.141.748                        | 41,7                                                   |
| Chile         | 22.691,63                      | 17.819,05             | 740.300                          | 24,07                                                  |

#### 5.1.2. Casos de estudio nacional

Al estudiar las comunas seleccionadas a nivel nacional, se obtiene que la implementación de iniciativas de Basura Cero en Chile, es factible y se desarrolla en distintas escalas y en diferentes municipalidades. A continuación se resumen las más destacadas, y que han prosperado por sobre otras.

- a) Retiro de material reciclable inorgánico por parte de los recicladores de base: se desarrolla en sectores de la comuna de Peñalolen, ha tenido mejores resultados que el retiro por parte de empresas, ya que se genera un vínculo entre el habitante de la comuna y el reciclador. La logística del plan consiste en que el funcionario municipal asigna al reciclador de base un sector para la recolección y un punto limpio para acopio y selección de material, y luego, el reciclador coordina con el vecino los días de recogida de los materiales. Siendo el pago recibido por el reciclador el de la venta de los materiales reciclables, el que opta a mejores precios ya que no necesita de intermediarios para realizar la venta debido al mayor volumen de material que puede tratar en el punto de acopio.
- b) Ecoparque: se ubica en la comuna de Peñalolen, y consta con alianzas estratégicas entre universidades, privados y la municipalidad, recorrido de educación ambiental, además de procesos de compostaje, lombricultura y biodigestión para producir biodiesel, fomentando la economía circular dentro del ecoparque, con el uso del biocombustible producido en las máquinas chipeadoras y dentro de la comuna, con el uso del compost y humus en los parques y plazas de esta.

- c) Retiro de material orgánico por parte de la municipalidad: se desarrolla en la comuna de La Pintana, donde se recolecta tres veces a la semana los residuos orgánicos y se procesan en la Dirección de Gestión Ambiental, mediante compostaje y lombricultura, con el objetivo de disminuir los RSD que se disponen en el relleno sanitario y los costos que implica el manejo de estos. Por otra parte, el compost producido se utiliza en actividades de mantención de áreas verdes de la comuna.
- d) Iniciativas de reciclaje: Recolección de aceite de fritura y producción de biodiesel por parte de la municipalidad, en La Pintana, el que es utilizado en camiones recolectores. Puntos de recolección de material electrónico, en la Municipalidad de Temuco, están permanentemente recibiendo material y a través de un convenio con la empresa chilena recicla se retiran.

Para el análisis es importante tener algunos datos comparativos, los que se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Tabla comparativa de las municipalidades chilenas estudiadas (Elaboración propia).

| <b>Comuna</b> | <b>Población hab</b> | <b>Superficie Km<sup>2</sup></b> | <b>Densidad poblacional hab/Km<sup>2</sup></b> | <b>Generación de residuos ton/año</b> |
|---------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|
| La Pintana    | 190.085              | 30,6                             | 6211,9                                         | 54.528                                |
| Peñalolen     | 216.060              | 54                               | 4001                                           | 97.398                                |
| Temuco        | 245.347              | 464                              | 528,77                                         | 94.956                                |
| Recoleta      | 148.220              | 16                               | 9263,75                                        | 64.145                                |

Una tabla resumen y comparativa de las respuestas obtenidas en las entrevistas realizadas, se presentan en ANEXO B.

## 5.2. Recopilación de datos

Los datos recopilados para el desarrollo del proyecto, se mencionan a continuación.

### 5.2.1. Caracterización de residuos

Para poder tomar acciones en cuanto a valorización de residuos, es importante conocer la composición de la basura. Por lo que, para el estudio se utiliza la caracterización de RSD, que se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Composición de los residuos municipales para el año 2009 en Chile (CONAMA, 2010)

| <b>Tipo de Residuo</b> | <b>Composición</b> |
|------------------------|--------------------|
| Materia orgánica       | 53,3%              |
| Papeles y cartones     | 12,4%              |
| Plásticos              | 9,4%               |
| Textiles               | 2,0%               |
| Metales                | 2,3%               |
| Vidrios                | 6,6%               |
| Otros                  | 14,0%              |

De la información anterior, se desprende que hay una fracción de los RSD valorizable, ya que, existen procesos de aprovechamiento conocidos y utilizados para estos recursos (materia orgánica, papeles y cartones, plásticos, metales y vidrios), como reciclaje, compostaje, lombricultura y/o biodigestión. Además, valorizarlos, implica una desviación del relleno sanitario y una nueva vida para estos. A continuación, en la Figura 7, se muestra la distribución de los residuos valorizables y no valorizables de los RSD.

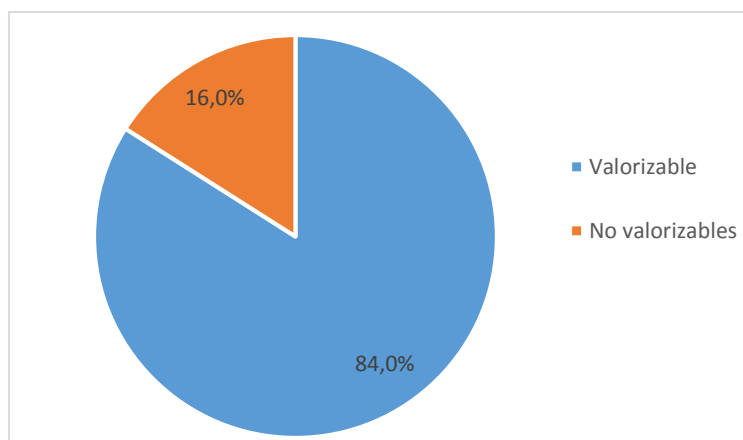


**Figura 7.** Clasificación de los RSD según su valorización. Elaboración propia.

### 5.2.2. Proyección de la población

Los RSD se producen debido a la actividad humana, por lo que, una de las variables a la que está sujeta la generación de estos es a la población humana. Los datos de población entregados por el INE del censo realizado en 2002, se muestran a continuación en la Figura 8.

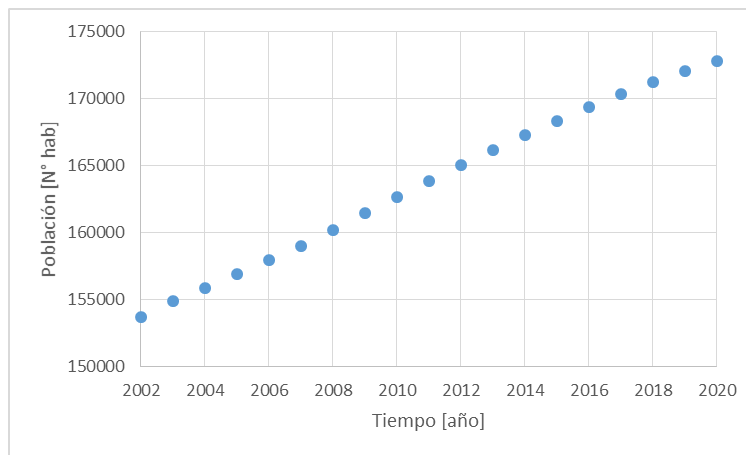


**Figura 8.** Proyección de la población de Recoleta (INE, 2017).

Debido a que la estimación de la población, depende de una gran cantidad de variables, se asume que desde el año 2020 en adelante, se mantiene la población sin variaciones.

### 5.2.3. Estimación de hogares

Para estimar la cantidad de hogares de la comuna de Recoleta, se utilizó el número medio de habitantes por hogar, el que se aproximó a 4, debido a que se entrega el dato de 3,6 habitantes por hogar (INE, 2010). Luego, se utiliza este dato y la proyección de la población, para realizar la estimación de la cantidad de hogares en la comuna, que se muestra a continuación, en la Figura 9.

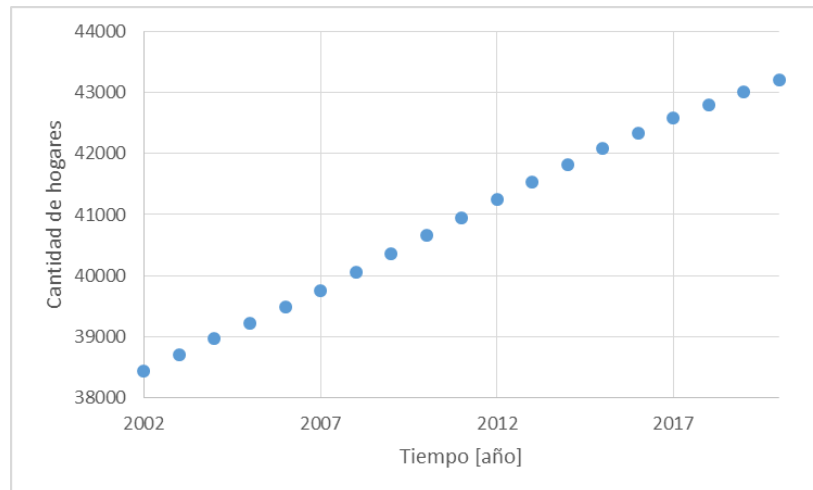


**Figura 9.** Proyección de la cantidad de hogares en la comuna de Recoleta (Elaboración propia).

Debido a la dependencia de la variable población, la estimación de hogares se realiza hasta el año 2020 y luego se mantiene sin variación.

#### 5.2.4. Situación actual del manejo de RSD en Recoleta

Actualmente, la Municipalidad de Recoleta tiene un contrato de recolección de basura por *UF* 58.379 (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017), además de un pago por tonelada de transferencia y disposición final de residuos de *UF* 0,20 y *UF* 0,18, respectivamente, lo que en 2016 significó un costo total de *UF* 81.810. Por otra parte, la comuna tiene una producción de RSD anual de 82.341 [ton] para el año 2016, según datos entregados por la municipalidad.

La producción de RSD se relaciona directamente con la población, por lo que, se utilizó la proyección de esta, presentada anteriormente, y el índice de generación per cápita, para calcular la generación futura de RSD en Recoleta. Por otra parte, los costos de manejo asociados a la producción de RSD, se proyectaron utilizando los costos por tonelada entregados por la municipalidad y la proyección de la producción de estos. Los resultados se presentan a continuación, en la Figura 10.

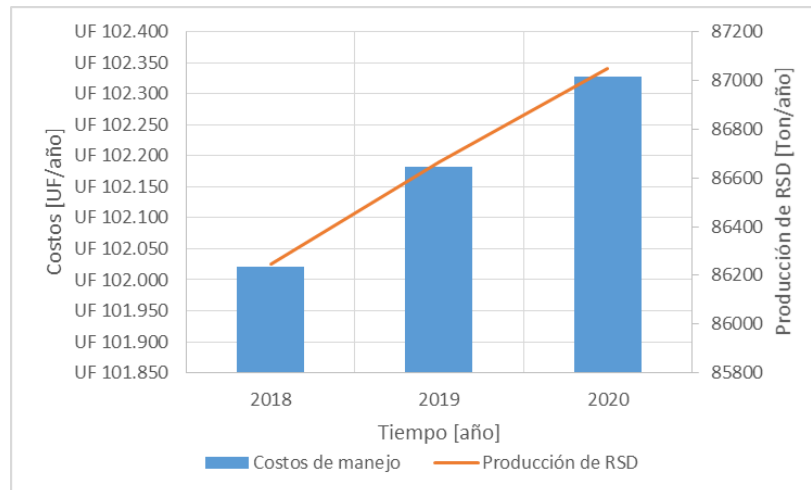


**Figura 10.** Proyección de costos de manejo y producción de RSD, en la comuna de Recoleta (Elaboración propia).

La Municipalidad de Recoleta, distribuye la tarifa de aseo entre sus usuarios, los que se clasifican según los cobros que se le realizan (ver Figura 11), este cobro se calcula dividiendo el costo total del servicio de aseo por el total de los predios afectos a cobro, con la consideración de que a los predios comerciales se debe aplicar un factor de 4 para el valor de la tarifa, es decir, los predios comerciales pagan 4 veces lo que pagan los predios residenciales, debido a la frecuencia de retiro de RSD que tienen.

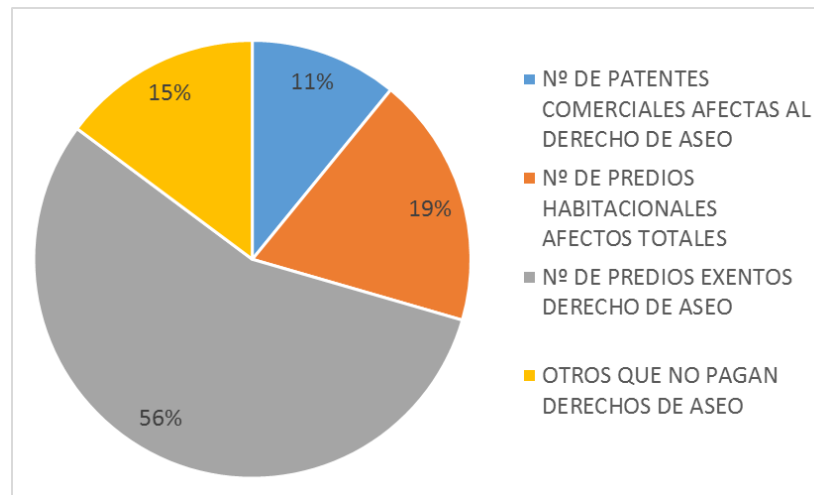


**Figura 11.** Usuarios del servicio de aseo de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017)

Los costos de aseo, son tanto administrativos como operacionales (ver Tabla 7), los que se pueden clasificar en tres grupos dependiendo del peso que tienen en los costos totales (ver Figura 12).

**Tabla 7.** Costos asociados al servicio de aseo (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017).

| Concepto                                                                                                     | Monto            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Recolección y transporte                                                                                     | UF 38.084        |
| Transferencia y disposición final                                                                            | UF 26.414        |
| Otros (Inspección, Materiales, Consumos básicos, Consumo vehículo, Gasto en personal, Gastos de computación) | UF 10.822        |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                 | <b>UF 75.320</b> |

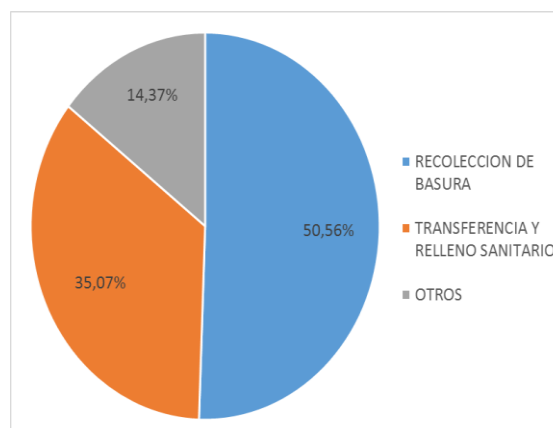


**Figura 12.** Distribución de los costos asociados al servicio de aseo (Elaboración propia).

### 5.3. Estudio de mercado

#### 5.3.1. Definición del producto

Los productos que se pueden comercializar, son los presentados en la caracterización de los RSD, siendo los residuos valorizables los de interés para este estudio, los que se describen a continuación.

- a) **Materia orgánica:** a partir de la materia orgánica limpia recolectada de los hogares, se puede obtener compost, humus y energía eléctrica, dependiendo del proceso que se aplique. Con estos productos se pretende suplir el suministro dentro de procesos de la municipalidad, por lo que, deben estar acondicionados para estos.
  - a. **Compost:** debe estar libre de contaminantes (vidrios, plásticos, concentración de metales pesados, entre otros), tener un alto porcentaje de micronutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y gran cantidad de materia orgánica estable

(Córdova, 2006). Además, se debe cumplir los requisitos sanitarios, físicos y químicos, mencionados en la Norma Chilena 2880 (INN, 2004).

- b. Humus: al igual que el compost, este producto debe estar exento de contaminantes (plástico, vidrios, entre otros) y estabilizado. Además, debe presentar un perfil químico típico (ver Tabla 8) y parámetros bacteriológicos (ver Tabla 9).

**Tabla 8.** Parámetros químicos del humus de lombriz (Astudillo, 2012).

| <b>Análisis químico</b> |       |
|-------------------------|-------|
| Nitrógeno (N) %         | 1,69  |
| Fósforo (P205) %        | 1,63  |
| Potasio (K20) %         | 0,29  |
| pH suspensión 1:5       | 7,10  |
| C. Eléctrica mmho/cm    | 2,10  |
| Materia orgánica %      | 36,50 |
| Carbono orgánico %      | 21,20 |
| Relación C/N            | 12,50 |
| Humedad %               | 39,50 |

**Tabla 9.** Parámetros bacteriológicos ideales que debe tener el humus de lombriz (Astudillo, 2012).

| <b>Análisis bacteriológico</b> |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Coliformes totales NMP/100g    | $8,0 \times 10^2$ |
| Coliformes fecales NMP/100g    | 20                |
| Escherichia coli NMP/100g      | 20                |
| Salmonella presencia 25g       | Ausencia          |

- c. Energía eléctrica: debe coincidir con los parámetros donde será inyectada, es decir, la tensión de la energía deberá ser de 23kV y debe cumplir con los requisitos técnicos y de seguridad, que exige la normativa (Chilectra, 2005).

Los siguientes tipos de residuos se deben acondicionar a los requerimientos de las empresas compradoras, por lo que se realizaron consultas directas para obtener información, la que se detalla a continuación:

- b) Papeles y cartones: estos se deben entregar limpios, secos y enfardados, además, para optar al servicio de retiro ofrecido por SOREPA se deben tener un mínimo de 500 kg de papeles y cartones, en caso contrario, se deben transportar a las plantas de la empresa. Las categorías definidas por SOREPA, se detallan a continuación (SOREPA, 2017):

- a. Blanco: son papeles y cartulinas blancas, fabricadas 100% con celulosas blancas, sin repelente de humedad y sin colorear en la masa. Se subdividen en Blanco 1, Blanco 2 y Blanco 3, dependiendo de la impresión que contiene el papel y el uso para el que fue creado el papel.
  - b. Mixto especial: son papeles con alta impresión y color en la masa.
  - c. Revistas: son papeles con alta impresión, de colores intensos y color en la masa, utilizado generalmente en revistas.
  - d. Mixto 2: son papeles y cartulinas blancas y coloreadas en la masa con tonos pasteles, fabricados 100% con celulosas blancas, sin repelente de humedad y altamente impresos.
  - e. Kraft: son papeles de color café fabricado con pulpa sin blanquear, pueden ser con o sin impresión.
  - f. Diario: son papeles utilizados en la fabricación de periódicos.
  - g. Archivo: son papeles que requieren separación y limpieza para su uso.
- c) Plásticos: se deben entregar limpios y secos, en algunos casos sin etiquetas y separados según tipo de plástico. Para obtener información referente al reciclaje, se incluye en los envases el círculo de Möbius con un número en su interior que varía entre el 1 y el 7, como se muestra en la Figura 13.



**Figura 13.** Códigos de identificación de resinas de plástico (Recytrans S.L., 2017).

- d) Metales: deben estar seleccionados por tipo de metal para optar a mejores precios, pudiendo vender chatarra, fierro de construcción, oxicortes de acero carbono, aluminio, acero inoxidable, bronce y cobre.

- e) Vidrios: se deben entregar separados según color, y si según procedencia (ventana o envase), con la finalidad de optar a mejores precios. Además, se debe entregar mínimo 500 kg por venta, pudiendo optar a bonificaciones en el precio al superar ciertas cantidades de venta. Las categorías de vidrios son: blanco, ambar, semiblanco, verde o mixto y ventanas (Cristalchile, 2017).

### 5.3.2. Valorización

La valorización de los residuos y los precios de estos, se asocian a distintos factores dependiendo del tipo de residuo, por lo que se deben analizar por separado.

La valorización de materia orgánica, tiene como producto de interés para este estudio, compost, humus y energía eléctrica. Para los dos primeros casos, la dificultad de encontrar una proyección de precios para su valorización es alta, por lo que se realizaron cotizaciones en el mercado actual, para fijar un precio a utilizar en este estudio (ver Tabla 10). Para el precio de la energía eléctrica, se utilizaron los precios de energía y potencia fijados por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2017).

En el caso de los papeles y cartones, la valorización de estos, responde principalmente al comportamiento de precios de las fibras de celulosa, a mayor precio de esta, mayor es la preferencia por la compra de papel reciclado, la variación del precio de la celulosa se puede ver en la Figura 14.

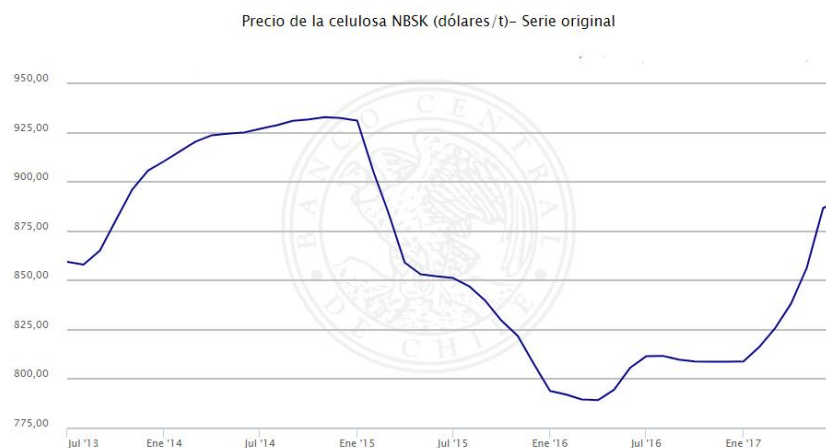


**Figura 14.** Variación de precio de la celulosa (Banco Central de Chile, 2017).

La valorización de los plásticos, tiene estrecha relación con el precio del petróleo, ya que es un insumo para la producción de este, por lo que, a mayor precio del petróleo mayor es el precio del plástico y mayor el interés por los plásticos reciclados, por otra parte, al caer el precio del petróleo la preferencia de la industria es a generar más plástico en lugar de reciclarlo (Silva Villegas, 2013), lo que afectaría negativamente al proyecto en estudio. La Figura 15, presenta la variación de precios del petróleo durante los últimos años, donde se puede ver una tendencia al alza, la que se espera sea sostenida en el tiempo (ENAP, 2017).

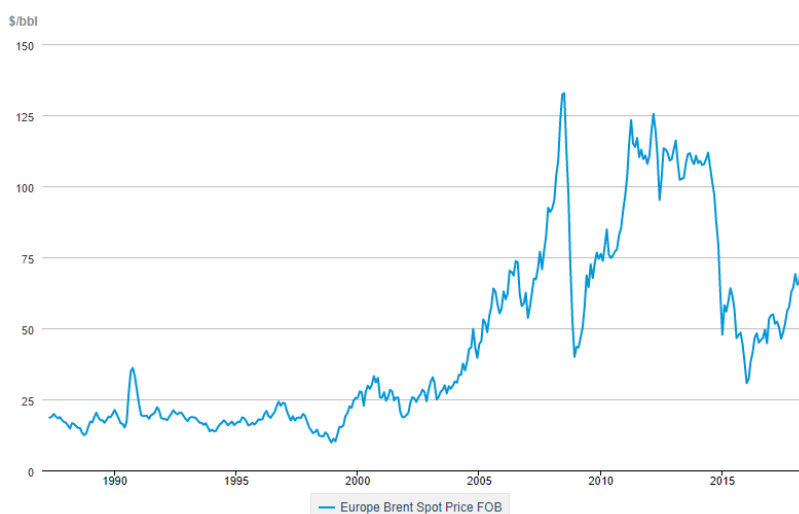


**Figura 15.** Variación de precios del petróleo en Europa (EIA, 2017).

Los metales son altamente demandados, principalmente por la industria de la construcción, por lo que su valorización es atractiva y estable económicamente (Silva Villegas, 2013). La

proyección de precios de este material, es difícil de encontrar, por lo que se realizaron cotizaciones para fijar el precio necesario para este estudio, además, se utiliza el precio del aluminio, debido a que es el metal con mayor presencia en los RSD.

La valorización de los vidrios, se desarrolla activa y eficazmente en Chile, principalmente por las campañas de reciclaje a cargo de las empresas Cristalchile y Cristoro. Pero el precio de este material es bajo y se estima que no mejore (Silva Villegas, 2013). Debido a que no se consiguieron proyecciones de precio de compra del residuo, se realizaron cotizaciones para obtener el precio que se utilizó en este estudio.

Por otra parte, es difícil obtener una proyección de precios en Chile, debido principalmente a la falta de inversión en temas de investigación del mercado de los reciclables (Silva Villegas, 2013). Por lo que se realizaron cotizaciones para conseguir estos valores, los que se detallan a continuación.

**Tabla 10.** Precios de materiales reutilizables, utilizados en el estudio (Elaboración propia).

| <b>Tipo de residuo</b>    | <b>Precio</b> | <b>Unidad</b> |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Papeles y cartones        | 70            | \$/Kg         |
| Plásticos                 | 250           | \$/Kg         |
| Vidrios                   | 24            | \$/Kg         |
| Metales                   | 500           | \$/Kg         |
| Compost                   | 50            | \$/Kg         |
| Humus                     | 1.000         | \$/Kg         |
| Fertilizante de digestato | 50            | \$/Kg         |
| Precio Energía            | 41.304        | \$/MWh        |
| Precio Potencia           | 56.085        | \$/KW         |

### 5.3.3. Demanda

La demanda de material reciclable en Chile, se determina por la intención de compra de las industrias recicladoras, lo que a su vez se asocia principalmente a la capacidad instalada que posean estas. Debido a la falta de información del mercado de reciclables en Chile, para este estudio, se considera que existe la demanda necesaria para cubrir la recolección de reciclables de Recoleta y se analizan las posibles empresas recicladoras que recibirían el material de la comuna, las que se mencionan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Empresas recicladoras en Chile (Elaboración propia).

| <b>Empresa</b> | <b>Residuo</b>                                                                                          | <b>Ubicación</b> | <b>Referencia</b>    |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|
| Ecofibras      | Cartones, madera, chatarra y plástico                                                                   | San Bernardo     | (Ecofibras, 2016)    |
| Enfaena        | Plásticos (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, PC, PA), papeles / cartones, vidrio, metales, maderas          | La Pintana       | (Enfaena, 2017)      |
| Midas          | Metales no ferrosos, equipos electrónicos, aluminio, entre otros                                        | Lampa            | (Midas, 2009)        |
| Farex          | Chatarra, Fierro de construcción, oxicortes aceros carbono, aluminios, acero inoxidable, bronce, cobres | Cerrillos        | (Farex, 2017)        |
| Cristoro       | Vidrio                                                                                                  | Cerrillos        | (Cristoro, 2017)     |
| Cristalchile   | Vidrio                                                                                                  | Padre Hurtado    | (Cristalchile, 2017) |
| Recupac        | Papel /cartón, plásticos flexibles, PET, tetrapak, madera, latas.                                       | Huechuraba       | (Recupac, 2017)      |
| Recipet        | PET                                                                                                     | San Bernardo     | (Recipet, 2017)      |
| Integrity      | PET                                                                                                     | Pudahuel         | (Integrity, 2017)    |

#### 5.4. Estudio técnico

En este punto se estudia la factibilidad técnica de implementar los diez pasos propuestos por Paul Connett, en la Municipalidad de Recoleta, respetando y manteniendo la infraestructura presente en la comuna, junto con los programas implementados que sean pertinentes a la implementación de Basura Cero, unificándolos en el plan propuesto. Este estudio se centra en los primeros 4 pasos, debido al poco desarrollo de estrategias de este tipo en la comuna, mientras que los últimos 6 pasos se abordaron de manera superficial, proyectando la necesidad de implementación a futuro de estos. A continuación, en la Figura 16 se muestra un esquema que resume el estudio técnico realizado.

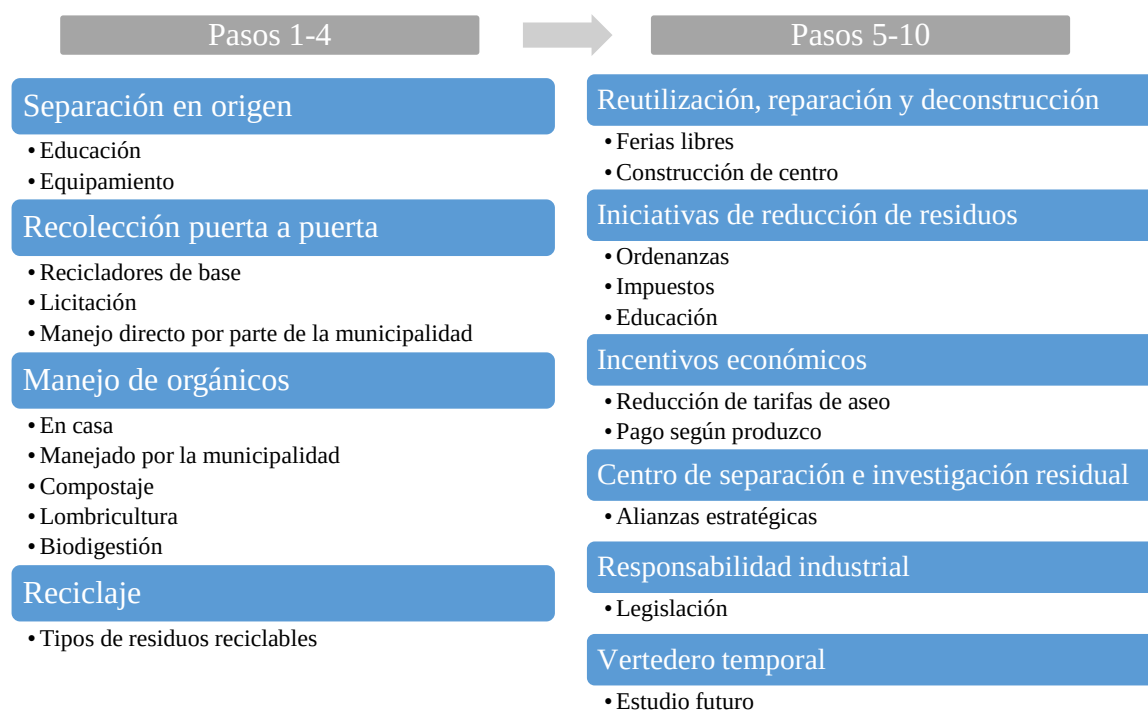


**Figura 16.** Esquema de los puntos estudiados técnicamente (Elaboración propia).

#### 5.4.1. Separación en origen

La separación en origen se refiere a organizar los sistemas de acopio de residuos, de forma tal de separarlos al momento en que estos se generan (CONAMA; Instituto del Medio Ambiente Gylania, 2001), es decir, consiste en que cada ciudadano, separe los productos reciclables de los que no lo son y que pueda desecharlos de manera diferenciada.

Esta actividad es llevada a cabo en el lugar mismo donde se generaran los residuos (origen): domicilios particulares, oficinas, escuelas, hoteles, centros comerciales, edificios públicos, restaurantes, entre otros. Debe realizarse de manera tal que los materiales reutilizables o reciclables puedan ser clasificados y procesados para ser reinsertados en el circuito productivo como materia prima para la industria y el comercio (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2017).

Por lo anterior, es que se necesita analizar técnicamente la educación de la población y el equipamiento para acopiar los residuos por separado, elementos principales en este paso del modelo.

#### a) Educación

La educación ambiental, consiste en enseñar a la ciudadanía para el desarrollo sustentable, generando conciencia y cambios conductuales proclives hacia la convivencia armónica entre el desarrollo social, crecimiento económico y cuidado del medio ambiente (Ley N° 19.300, 1994).

En Chile, se practica desde la década del 70 del siglo XX, al principio en el plano informal, y desde la década del 90 del mismo siglo se incorpora la educación ambiental formal. En este desarrollo han intervenido principalmente tres actores: las ONG primero, luego el estado, y finalmente las universidades (Muñoz-Pedreros, 2014).

Si bien la educación formal es muy importante, en este punto la educación o capacitación de la ciudadanía en cuanto a la implementación del sistema de gestión en sí, es un paso significativo e imprescindible para la correcta implementación del modelo propuesto y para asegurar un uso correcto de los implementos, ya que con el éxito de este, se estima mejorar las tasas de separación en origen, permitiendo así reciclar más, mejor y con menos costos.

Este servicio debe ser realizado por la municipalidad y/o empresa licitada, y la capacitación debe incluir los temas de: días de recolección, tipos de contenedores y ubicación de estos, residuos a recoger y como entregarlos para transportarlos, entre otros temas generales de cuidado del medio ambiente, y el problema e impacto que genera la basura en este. Lo cual, puede ser realizado puerta a puerta y/o sectorialmente, el primer caso es realizado en comunas como La Pintana, mientras que el segundo es realizado en países europeos y permite disminuir los tiempos asociados a la preparación de la población.

Para calcular los recursos necesarios en educar a la población, se incorpora el supuesto de implementación realizado por la Municipalidad de Recoleta, acorde a lo analizado en casos

de estudio internacionales presentados anteriormente. Este supuesto, consiste en la implementación gradual del plan, que se determinó realizar de a 3 unidades vecinales durante 3 meses, para luego incorporar a 3 unidades vecinales nuevas y así sucesivamente hasta alcanzar la totalidad de la comuna (36 unidades vecinales), lo que se presenta en la Figura 17.

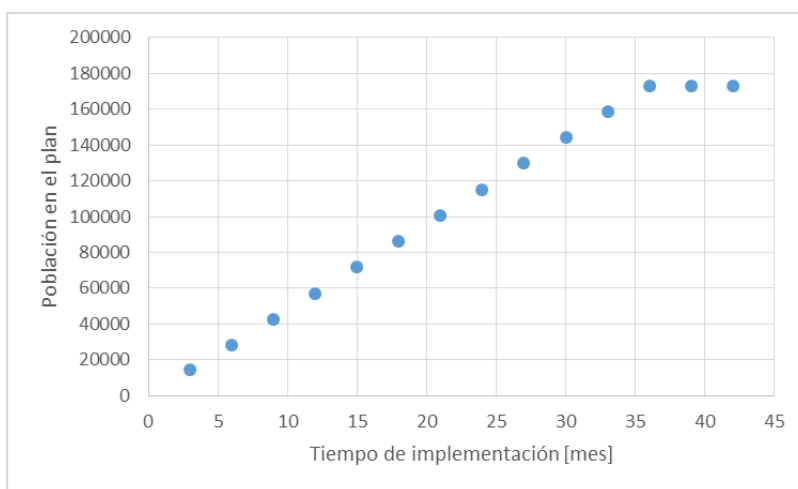


**Figura 17.** Integración gradual de la población al plan basura cero propuesto para la comuna de Recoleta (Elaboración propia).

Basada en la población incorporada al plan, y lo importante que es alcanzar a todos los habitantes de la comuna, se consideran 6 personas que realicen la labor de educar, con un sueldo de \$1.320.000 bruto mensual, sueldo asignado según escalafón de sueldos de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2016), además, se contratarán por 3 años, que es la duración de la implementación del plan.

#### b) Equipamiento

El equipamiento necesario para realizar el proyecto consiste principalmente en contenedores diferenciados y adecuados para la separación de residuos, junto con medios de recogida y disposición temporal de estos, los cuales deben ser adecuados a las condiciones de vivienda del municipio.

Los contenedores diferenciados, son recipientes capaces de almacenar los residuos del hogar, seleccionados según tipo de material y aptos para el reciclaje, permitiendo clasificar los inorgánicos reciclables, los orgánicos y los restos, siendo dos las mínimas separaciones que se podrían hacer. Sin embargo, al aumentar las divisiones de la categoría de materiales reciclables y aumentar la separación de estos, se obtienen menores costos del proceso, ya que al diferenciar los materiales en origen adecuadamente, se disminuye el trabajo de separación de estos antes del proceso de reciclaje (Alvarez, y otros, 2010).

Para el estudio se consideraron, contenedores de residuos diferenciados por materiales orgánicos e inorgánicos reciclables, que serán financiados por la municipalidad y entregados a las personas idealmente al momento de capacitarla sobre el plan Basura Cero. Estos contenedores, tienen la característica de ser antivuelco, lo que también dificulta la pérdida del material, ya sea accidental o premeditada, tienen un volumen dimensionado según la producción per cápita de RSD en Recoleta, 20 L aproximadamente, y tienen un precio de \$12.500 los contenedores para residuos inorgánicos y \$20.000 los contenedores para residuos orgánicos (Geociclos, 2017), los que además tienen un sistema de aireación que permite que los residuos orgánicos no generen líquidos por descomposición ni malos olores, evitando así la presencia de vectores ambientales o sanitarios o ambos.

Por otra parte, es importante mencionar que en la comuna de Recoleta, se han construido tres puntos limpios, los cuales pueden recibir cinco tipos diferentes de residuos inorgánicos, con una capacidad de 5 ton/d cada uno, los que se construyeron por un costo total de \$199.728.708 (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2016). En este estudio, se incorporan los puntos limpios actuales, y se proyecta construir más para satisfacer la necesidad de procesamiento de RSD de toda la comuna, lo que se hará gradualmente, y según la aceptación y el nivel de recuperación de residuos que presente el plan. Estos puntos limpios tienen como propósito utilizarse como centro de acopio y separación de residuos.

#### 5.4.2. Recolección puerta a puerta

Se denomina recolección puerta a puerta al servicio municipal de recogida de residuos en el domicilio, por lo que se analizarán distintas formas de realizarlo, siendo importante mencionar que son métodos utilizados actualmente en algunas municipalidades de Chile, como las estudiadas anteriormente.

Por otra parte, en este punto se debe realizar el plan de recogida de materiales, según las categorías que se separan, es decir, los días destinados para esto, las horas, y los tipos de materiales que se recogerán, lo que se debe transmitir a los usuarios en la fase de educación y capacitación y puede ser desarrollado con las alternativas que se analizan a continuación.

##### a) Recicladores de base

La Municipalidad de Peñalolen cuenta con una recolección puerta a puerta de reciclables realizada por recicladores de base, la cual ha obtenido buenos resultados. Por otra parte, en la Municipalidad de Recoleta, se presenta el problema de que los recicladores de base que hay en la comuna se clasifican o denominan como “cachureros”, es decir, trabajan residuos que pueden ser reparados y vendidos alargando su vida útil, sin embargo, se ha trabajado con la cooperativa Jatún Newén, en temas de reciclaje, obteniendo buenos resultados.

En este punto, es importante mencionar que la Ley 20.920 reconoce la labor de los recicladores de base y busca capacitarlos para la tarea que realizan, además, con esta ley se creará un registro de las personas que realizan este trabajo, lo que pretende facilitar la participación de ellos en los procesos de reciclaje, por lo que, aumenta la oportunidad de integrarlos en proyectos como el estudiado.

##### b) Licitación

Hoy en día, la Municipalidad de Recoleta, realiza la recolección puerta a puerta de RSD mediante la licitación de una empresa externa, y este servicio no es diferenciado según tipo

de residuo. Sin embargo, en el contrato firmado, se incluye una cláusula de inclusión de un camión recolector distinto al tradicional destinado a recolectar residuos reciclables, el que no es usado en la actualidad (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017). Un ejemplo exitoso de licitación de recolección puerta a puerta diferenciada se da en la comuna de La Pintana, la cual licitó el servicio de recolección separado entre residuos orgánicos y restos.

A pesar de lo anterior, se pueden presentar dificultades técnicas de implementación de este punto, si al momento de licitar los servicios, no existen empresas dispuestas a realizarlo bajo las condiciones de recolección selectiva o diferenciada, necesarias para el funcionamiento de este proyecto.

#### c) Manejo directo por parte de la Municipalidad

La Municipalidad de La Pintana, cuenta con un 25% de la comuna donde se realiza recolección con camiones y funcionarios de esta, lo que corresponde solo a retiro tradicional de basura, es decir, sin separación en el origen. Por otra parte, la comuna de Recoleta, está realizando pilotos de recolección de residuos orgánicos en donde trabajan directamente funcionarios de la municipalidad.

En este punto es importante destacar que la factibilidad técnica se debe evaluar, abordando los puntos de capacidad de contratación o de asignación de nuevas funciones, junto con el espacio para guardar los camiones recolectores, principalmente.

#### Propuesta técnica de análisis del caso de estudio

Debido a que la decisión de cómo manejar los residuos la debe tomar la municipalidad, se debieron realizar supuestos, para los análisis realizados en este estudio, los que se detallan a continuación.

- a) Todos los RSD serán retirados puerta a puerta con camión recolector diferenciado y dispuesto en plantas de reciclaje, lugar de procesamiento de orgánicos o enviados a

disposición final, según corresponda. Para lo cual se estiman costos de transporte (Alvear V. & Rodríguez C., 2006), distancia a empresas recicladoras y de disposición final (ver Tabla 12), insumos necesarios para el control de los procesos y el desarrollo de estos.

**Tabla 12.** Distancia recorrida desde Recoleta a lugar de procesamiento de residuos (Elaboración propia).

| <b>Empresa</b> | <b>Distancia [Km]</b> |
|----------------|-----------------------|
| Integrity      | 30                    |
| CristalChile   | 50                    |
| Sorepa         | 4                     |
| Recupac        | 7                     |
| KDM Quilicura  | 13                    |

- b) Los residuos inorgánicos serán manejados por recicladores de base, los que manejarán los puntos limpios, asignándosele un punto limpio a tres recicladores y un auxiliar de higiene cada tres puntos limpios, los que recibirán un sueldo de \$950.000 y \$480.000 respectivamente, asignados según escala de sueldos de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2016).
- c) El plan diseñado, incluye la contratación de tres personas para ocupar los cargos de jefatura, inspección y administración, a los que se les asigna un sueldo de \$1.530.000, \$820.000 y \$730.000, respectivamente, acordes a la escala de sueldos de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2016).

#### 5.4.3. Manejo de orgánicos

Para el manejo de orgánicos, se presentan diferentes alternativas técnicas, como lo son el compostaje, lombricultura y la biodigestión, en este último caso, pudiendo obtener biogás, energía eléctrica, energía calorífica y digestato.

El primer análisis que se realiza es el del lugar en que se desarrolla el proceso de manejo de orgánicos.

a) En casa

En la Municipalidad de Temuco, se han presentado buenos resultados en cuanto a realizar manejo de residuos orgánicos en casa con las técnicas de compostaje y lombricultura, sin embargo, en las comunas que presentan mayor población urbana, por lo general, la implementación de esta técnica es difícil y no se obtienen buenos resultados, en particular, en aquellos lugares donde se tiene poco espacio, como departamentos, la dificultad aumenta. En cuanto a la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, se presentan casos de estudio en países con clima tropical, el que proporciona una temperatura adecuada para el proceso, el cual sería inviable para el clima chileno, por otra parte, existen biodigestores armables que procesan los residuos de comida y los convierten en biogás que se utiliza en los quemadores de la cocina, como los de la empresa HomeBiogas que tienen presencia mundial, siendo Argentina el país más cercano con casos de uso exitoso (HomeBiogas, 2017), debido a la falta de experiencias en el país y al espacio necesario para la instalación se descarta la posibilidad de uso en la totalidad de la comuna de Recoleta.

b) Manejado por la municipalidad

La Pintana, es un ejemplo de manejo de residuos orgánicos por parte de la municipalidad, transformando sus residuos orgánicos en recursos, los que son utilizados en la mantención de las áreas verdes de la comuna, realizado mediante las técnicas de compostaje y lombricultura. Sin embargo, este proceso requiere de gran cantidad de espacio para su desarrollo, lo que se presenta como una dificultad. Por otra parte, existen casos de producción de biogás a gran escala con inyección directa a la red de gas de las ciudades, sin embargo, en el caso de estudio, se analizará la producción de energía eléctrica a partir de biogás con la fracción orgánica de los RSD.

Tecnologías de manejo de orgánicos

Las tecnologías de manejo de residuos orgánicos analizadas en este estudio, son tres y se detallan a continuación:

- a) Compostaje: el compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno. Si este proceso se realiza con condiciones adecuadas de humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. Se divide en cuatro fases las que son diferenciadas por la temperatura generada por los microorganismos presentes, y las condiciones de operación, las que se resumen en la Figura 18 (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

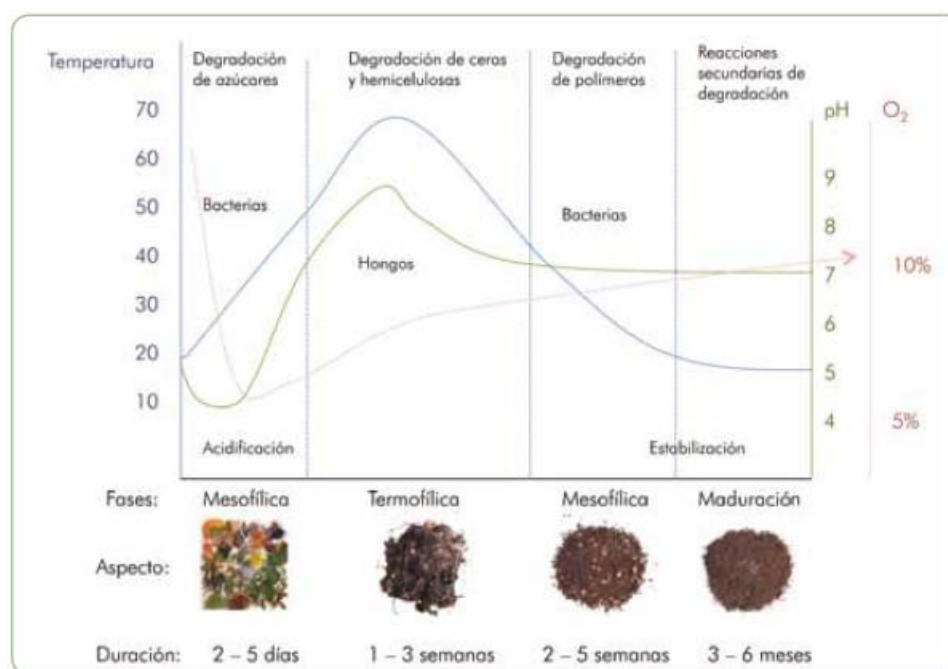


**Figura 18.** Fases del compostaje y su relación con la temperatura, pH y oxígeno presente. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Para mantener un proceso controlado, se deben medir o mantener las condiciones necesarias de oxígeno, humedad (entre 45% y 60%), temperatura, pH, relación carbono/nitrógeno (de 35:1 a 15:1), tamaño de partícula (de 5 a 30 cm). Para dimensionar la pila, la FAO propone que la altura debe estar en un rango de 1,5 a 2, un ancho de 1,5 a 3 y una longitud que puede variar dependiendo del área donde se implementará, es importante mencionar, que estas medidas mantienen las condiciones de operación adecuadas. El volteo debe realizarse semanalmente durante las 3 o 4 primeras semanas y luego quincenalmente, lo que depende de las condiciones climáticas y operacionales (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

- b) Lombricultura: es un proceso aeróbico, donde se utiliza lombrices y microorganismos, para estabilizar la materia orgánica, obteniéndose como producto humus o vermicompost (Lazcano, Gómez-Brandón, & Domínguez, 2008). La especie de lombriz más utilizada es la de *Eisenia foetida* conocida comúnmente como lombriz roja californiana, debido a su rápida alimentación, ya que en etapa adulta puede consumir su propio peso de alimento al día. Las condiciones óptimas de desarrollo de este proceso son 19 a 25°C de temperatura, 80% de humedad, 6,5 a 7,5 de pH y baja luminosidad, las que deben ser medidas y controladas durante el proceso. Por otra parte, para dimensionar la cama de lombrices, la FAO propone una profundidad de 50 a 60 cm y 1 m de ancho, pudiendo variar el largo, según el área disponible (Román, Martínez, & Pantoja, 2013). Además, es importante proteger a las lombrices de depredadores naturales, como las aves, lo que se logra tapando las camas con mallas (Astudillo, 2012).
- c) Biodigestión: también llamado digestión anaerobia, es un proceso bioquímico complejo en donde la degradación de la materia orgánica sucede gracias a la acción de consorcios de microorganismos que actúan sin presencia de oxígeno, en reacciones de óxido reducción (Carrasco Allendes, 2015). De este proceso, se obtiene un subproducto de utilidad como mejorador de suelo o incluso como fertilizante y como producto principal se obtiene biogás (compuesto principalmente por una mezcla de metano y dióxido de carbono) el cual posee un valor agregado considerable ya que puede ser utilizado como combustible, lo que permite la obtención de energía eléctrica y/o térmica (Miranda, Poirrier, & Chamy, 2001). Un esquema de esto se presenta en la Figura 19.

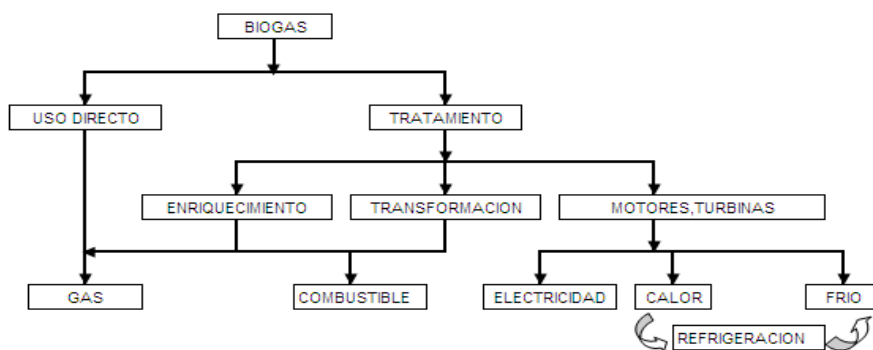


**Figura 19.** Diagrama de las alternativas de uso del biogás (ODEPA, 2007).

La digestión anaeróbica sucede en 4 etapas principales dentro de un reactor biológico o digestor: hidrólisis, ácido-génesis, aceto-génesis y metano-génesis (ver Figura 20).

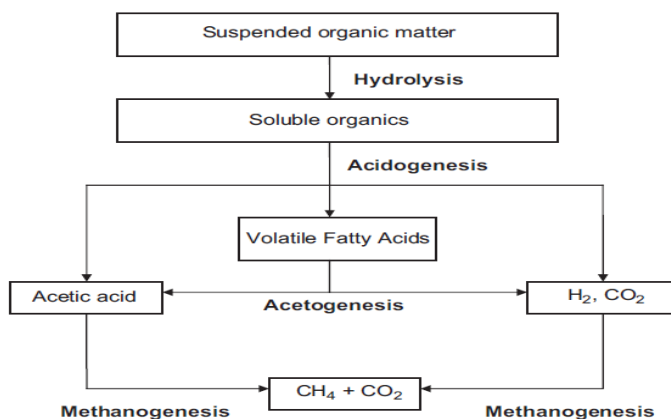


**Figura 20.** Pasos de la digestión anaeróbica (Appels, Baeyens, Degre, & Dewil, 2008).

Para mantener una producción de biogás óptima, se necesita controlar las siguientes variables: relación carbono nitrógeno (entre 30:1 a 20:1), pH (en torno a pH 7), y temperatura la que depende de las bacterias del proceso (psicrofílicas hasta 25°C, mesofílicas de 32°C a 42°C, termofílicas 50°C a 57°C) (Grass, 2013).

### Propuesta técnica de análisis del caso de estudio

Debido a que la decisión final de implementación de este plan la tiene la Municipalidad de Recoleta, y que no se presentan dificultades técnicas para instalar estas tecnologías, se realizaron los siguientes supuestos para el análisis.

- a) Se analiza cada tecnología por separado, para ver la factibilidad económica de estas, considerando que se procesan todos los residuos orgánicos proyectados en cada caso.
- b) Los terrenos utilizados por estas alternativas de manejo de residuos, se dimensionan según las necesidades del proyecto propuesto (ver ANEXO C) y se considera un precio de arriendo acorde al precio de la comuna,  $11,34 \text{ UF/m}^2$  (Molina, 2017), para reflejar el uso de este en el estudio económico.
- c) Se considera la compra de insumos para el control y operación de las plantas de procesamiento de residuos orgánicos.
- d) Para los casos, de producción de compost y humus, se considera contratar personal para manejo manual (2 personas) y mecánico de orgánicos (1 persona), por \$540.000 y \$870.000, respectivamente. Para el caso de biodigestión de orgánicos, se considera contratar 1 personas para el manejo mecánico de los orgánicos, con las condiciones anteriores y además se considera pagar \$12.600.000 anual por concepto de operación del biodigestor (Grass, 2013). Por último, se considera la contratación de un auxiliar de higiene para cada caso por \$480.000. Los sueldos, se obtuvieron de la escala de sueldos de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2016).

#### 5.4.4. Reciclaje

El reciclaje es un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles, reducir el consumo de nueva materia prima, reducir el uso de energía, reducir la contaminación del aire (a través de la incineración) y del agua (a través de los vertederos) por medio de la reducción de la necesidad de los sistemas de desechos convencionales, así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (ANIR, 2016).

Para evaluar la factibilidad técnica del proceso, es importante, mencionar los tipos de RSD que se pueden reciclar en Chile, los que se mencionan a continuación:

- a) Papel y cartón: Las fibras de papel pueden ser recicladas cerca de 7 veces antes de que reduzcan su tamaño en tal magnitud que no pueden ser recicladas. Para

hacer una tonelada de papel se requieren 14 árboles, 50.000 L de agua y 300 kg de combustibles. En cambio, para hacer una tonelada de papel reciclable no se necesita cortar un árbol y sólo se usa un 15% del agua y un 35% de la energía requerida en el caso de trabajar con material virgen. Los envases y embalajes de cartón corrugado son los más usados y más difundidos para envasar y transportar diversos productos. Se recicla: diarios, revistas, cartones, cartulinas, papel blanco y otros. No se recicla: servilletas y papel higiénico, cartón con restos de comida o material orgánico. Para preparar el material para el reciclaje es necesario remover elementos como clips, corchetes, cinta adhesiva, anillados y aplanar las cajas (ONG Yo Reciclo, 2016).

- b) Latas: El aluminio se puede recuperar completamente, infinitas veces. La producción de una lata a partir de aluminio reciclado requiere 95% menos de energía que fabricarla con materia prima. Se recicla: latas de bebida y cerveza, láminas de aluminio. No se recicla: Tarros de pintura o contaminados con productos tóxicos, latas de aerosol. Elementos que están contaminados o bien tienen residuos que impiden su procesamiento. Para preparar el material para el reciclaje se debe vaciar el contenido de los envases, enjuagarlos y aplastar las latas (ONG Yo Reciclo, 2016).
- c) Tetra Pack: es un envase diseñado para la industria alimenticia y permite que los alimentos líquidos puedan ser envasados y guardados bajo condiciones de temperatura ambiente por más de un año. Los envases de Tetra Pack están formados por 6 capas diferentes: 4 de polietileno, 1 de aluminio y 1 de cartón. Se recicla: Envase para líquidos como lácteos, salsas, jugos y también alimentos en conserva. Para preparar el material para el reciclaje se debe lavar, secar y luego aplastar el envase (MMA, 2016).
- d) Vidrio: Se obtiene a partir de arena de sílice ( $SiO_2$ ), carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) y caliza ( $CaCO_3$ ) a temperaturas cercanas a los 1000 °C, es totalmente reciclable y puede ser recuperado infinitas veces. Se recicla: botellas de bebidas, vinos y licores, frascos, perfumes, no se reciclan: Parabrisas, espejos, ampollitas, tubos fluorescente, loza, pírex, cristales, vidrio templado, ventanas, ni vidrios laminados en general, sin embargo, existen empresas que buscan alternativas de reciclaje

para estos últimos (Vidrios Bizama, 2016). Para preparar el vidrio para el reciclaje, es necesario remover etiquetas y tapas, lavar y escurrir el agua (MMA, 2016).

- e) PET: El polietileno tereftalato, es el plástico más habitual de envases de alimentos y bebidas, se identifica con el número 1 y tarda 150 años o más en descomponerse. El PET, una vez reciclado, se puede utilizar en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil y, ocasionalmente, en nuevos envases de alimentos. Se reciclan las botellas de bebida, agua y jugos; no se reciclan: botellas PET de aceite o vinagre, debido a que en el envase quedan trazas del contenido. Para reciclar este material, se debe remover las etiquetas y tapas, lavar con agua y escurrirla y finalmente, aplastarlas para que ocupen menos espacio. Puede desprender antimonio y ftalatos (Cruplas, 2016).
- f) PP: El polipropileno, debido a su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes. Se identifica con el número 5 y se suele utilizar en envases médicos, pajitas, botes de ketchup, tapas, entre otros. Puede tardar en descomponerse entre 100 y 1.000 años. Si se recicla se pueden obtener material para fabricar señales luminosas, cables de batería, escobas, cepillos, bastidores de bicicletas, entre otros. Para reciclar este material se debe lavar y secar. Puede desprender cancerígenos y alquilfenoles estrogénicos (Cruplas, 2016).
- g) HDPE: El Polietileno de alta densidad, se utiliza habitualmente para envases de shampoo, detergente, lácteos y productos de limpieza, además tiene un importante uso en tuberías y conductos, se identifica con el número 2 y tarda 150 años o más en descomponerse. Para reciclar este material se debe lavar y secar, asegurándose que no contenga ningún residuo (Cruplas, 2016).
- h) LDPE: El Polietileno de baja densidad, es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, se identifica con el número 4, su principal uso es en bolsas plásticas y antes de reciclar se debe asegurar que no contenga ningún residuo (Cruplas, 2016).

#### 5.4.5. Reutilización, reparación y deconstrucción

Este punto busca alargar la vida útil de los productos y materiales, en particular, se puede tomar como una iniciativa de reducción de los residuos que no son fáciles de reciclar y que por lo general, se clasifican como otros (por ejemplo muebles) y textiles. En los ejemplos mundiales, se destacan los siguientes casos, los que se pueden estudiar e implementar en la Municipalidad de Recoleta.

- a) Ferias libres: aquí se desarrollan las actividades de reparación y venta de artículos que pueden extender su vida útil. En la actualidad, esto ya se desarrolla en la comuna de Recoleta, de manera informal y sin destacar el sello medio ambiental que tiene esta labor. Además, según lo informado por la municipalidad, los recicladores de base de la comuna se clasifican como “cachureros”, es decir, comercializan artículos que otras personas han dejado de usar, por lo que, existen personas que están capacitadas y tienen experiencia desarrollando esta actividad.
- b) Construcción de centro: en algunos países se habilitan lugares especializados en vender artículos de segundo uso, reparados o acondicionados, listos para comenzar una segunda vida (Connett, 2013). En Chile, existen casos aislados de tiendas de este tipo, pero la municipalidad podría potenciar oficios que han tendido a desaparecer con la cultura actual del consumo, y así generar empleos, si decide fomentar este tipo de iniciativa.

#### 5.4.6. Iniciativas de reducción de residuos

Para alcanzar la meta de no generar basura, es importante fijarse en la fracción de RSD que no son orgánicos valorizables, reciclables ni reutilizables, que si bien es el menor porcentaje del total de los RSD, presenta un problema difícil de solucionar debido a que su destino más probable es la disposición final. En este punto se han desarrollado distintas actividades para minimizar el uso de objetos que se clasifiquen en esta fracción, a continuación se presentan algunos ejemplos:

- a) Ordenanzas: en la ciudad de Punta Arenas, se publicó en 2014 la ordenanza que busca sustituir las bolsas plásticas en toda la comuna (Ilustre Municipalidad de Punta Arenas, 2014), actividad que se ha replicado en otras comunas del país y que también está presente en otros países.
- b) Impuestos: en Irlanda, se cobra un impuesto por cada bolsa plástica que se utilice en las compras en centros comerciales, la recaudación de este financian otras iniciativas de reciclaje (Connett, 2013).
- c) Educación: en la Municipalidad de Peñalolen, según se informó en la entrevista realizada, se desarrollan actividades de educación ambiental, donde se enseña la importancia de reducir los residuos y de preferir objetos que luego de su vida útil sean valorizables por sobre otros.

Para el caso de la comuna de Recoleta, estas iniciativas son técnicamente realizables si es que existen las voluntades políticas para esto. Además, es importante mencionar que se debe privilegiar la educación por sobre la prohibición, ya que con esto se abordan los problemas en los hábitos de las personas, que es uno de los principales puntos que aborda la filosofía Basura Cero.

#### 5.4.7. Incentivos económicos

En el libro de Paul Connett, se exponen los beneficios de entregar incentivos económicos a las personas que se adhieren a planes de reciclaje o basura cero, aumentando las tasas de recuperación de residuos una vez que estos hayan iniciados y estén consolidados. Dentro de los ejemplos que estudia, se destacan dos iniciativas que se describen a continuación:

- a) Reducción de tarifas de aseo: Paul Connett expone que un incentivo positivo es mejor que uno negativo, por lo que, propone reducir la tarifa de aseo en caso de reciclar por

sobre aumentarla en caso de no hacerlo, debido a que esto ha presentado mejores resultados.

- b) Pago según produzco: otra acción que ha presentado buenos resultados, es no cobrar por todos los residuos reciclables que se entreguen separados, y hacerlo solo en caso de generar residuos que vayan a disposición final, siendo un pago proporcional a la cantidad que se produce

Debido a las características económicas y a la cantidad de población exenta de pago del servicio de aseo de la comuna de Recoleta, se hace difícil solventar este tipo de medidas, las que sí se han estudiado en la municipalidad. Sin embargo, ya que estas iniciativas se proponen para aumentar las tasas de recuperación una vez iniciado los programas de reciclaje, se dejará como tema para un estudio más profundo, en caso de tener buenos resultados en la implementación del plan Basura Cero de Recoleta y querer aumentar la recuperación de material.

#### 5.4.8. Centro de separación e investigación residual

Este punto, busca evitar la fracción residual que llega al relleno sanitario, a través de la instalación de una estación de separación de residuos como primera etapa de procesamiento de disposición final, con los objetivos de recuperar la mayor parte de reciclables que lleguen a este punto y de analizar e investigar los residuos no reciclables que llegan para buscar una manera de que estos no se produzcan más.

Por esto, es que se propone suscribir alianzas estratégicas que permitan realizar este tipo de desarrollo tecnológico. En los casos chilenos estudiados, se observan que existen alianzas entre universidades, centros tecnológicos, organizaciones sin fines de lucro, entre otras y municipalidades, las que no abordan este tema.

#### 5.4.9. Responsabilidad industrial

Este punto se aleja de la jurisdicción de la municipalidad, ya que busca extender la responsabilidad de las industrias productoras de residuos, al manejo y al rediseño de los productos o empaques que al terminar su vida útil, tengan como único destino la disposición final de estos, lo que se relaciona con el punto anterior, ya que, los residuos no reciclables que más llegan son a los que hay que prestar atención, debido a su recurrencia. Además, busca la producción limpia en la industria, eliminando la mayor cantidad de tóxicos en la fabricación de productos. Y por último, busca el diseño sustentable de los productos, es decir, que tengan una vida útil prolongada y sean fácil de desmontar y de reparar, y que los empaques donde vienen, sean reutilizables.

En esta línea, Chile ha dado pasos para hacer realidad esto, con la promulgación de la Ley REP (Ley N° 20.920, 2016), donde se otorgan responsabilidades a los productores de residuos prioritarios y se define el concepto de ecodiseño.

#### 5.4.10. Relleno sanitario temporal

Se denomina así al relleno sanitario que recibirá los residuos que no puedan ser desviados de la disposición final, luego de haber implementado los pasos anteriores que, si han funcionado correctamente, solo recibirá la fracción orgánica sucia y la fracción no reciclable actual. Sin embargo, este punto está muy alejado de la realidad de la comuna de Recoleta, por lo que, se propone como caso de estudio futuro.

#### 5.5. Estudio económico

El estudio económico, se realizó de manera incremental, es decir, se consideran solo las diferencias entre la situación actual del manejo de RSD de la comuna, con las propuestas en cada uno de los siete escenarios propuestos, los que a su vez, se analizan en dos porcentajes de recuperación de residuos, caso optimista de 100% de recuperación y 10% de pérdidas, y caso realista de 10% de recuperación inicial, que aumenta gradualmente cada 3 meses en el

mismo porcentaje, hasta llegar a 50% y mantenerse. Un esquema general del análisis realizado, se presenta a continuación, en la Figura 21.

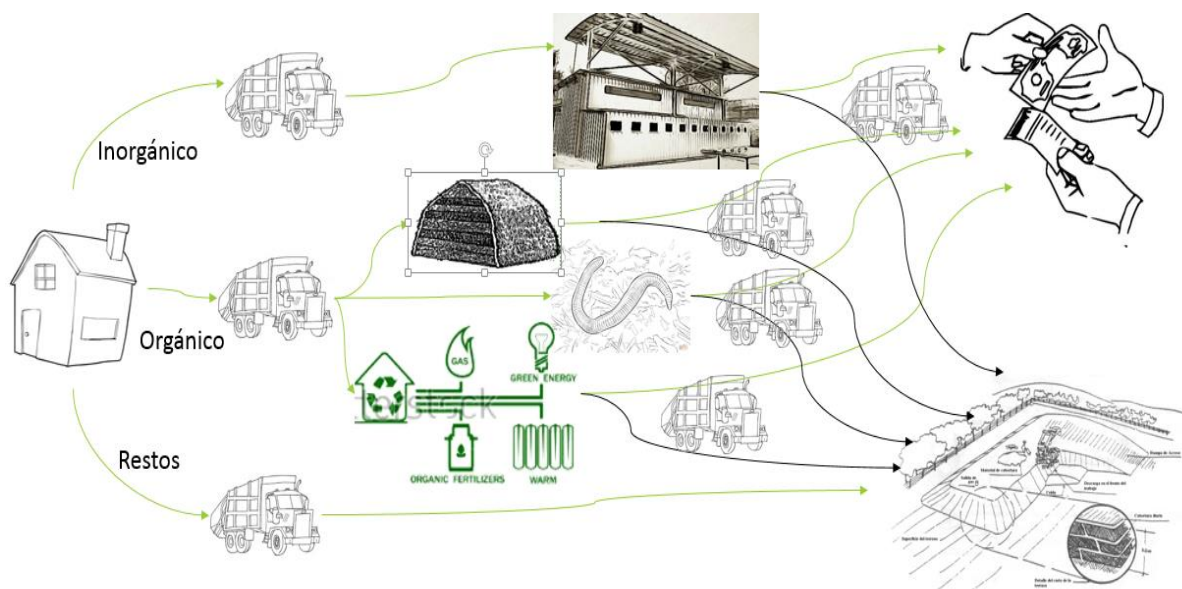


**Figura 21.** Esquema explicativo de los escenarios analizados económicamente (Elaboración propia).

Además, para realizar este estudio se hicieron los siguientes supuestos generales:

- La implementación del plan se realiza de 3 unidades vecinales cada 3 meses, con un total de 36 unidades vecinales. Estos 3 meses estarán dedicados netamente a la educación ambiental de la población seleccionada y a entregar conocimientos previos del plan de Basura Cero. Y al cuarto mes, se comenzará con la recolección selectiva de residuos
- Se considera una tasa social de descuento del 6% (Ministerio de Desarrollo Social, 2016)
- Los escenarios se evalúan a 15 años
- Los precios de compost, humus y biofertilizante, se castigan en un 50% debido a que se usarán en procesos internos de la municipalidad
- La evaluación económica, se realiza en UF para neutralizar la variable de la inflación
- No se aplican impuestos al proyecto, debido a que es una evaluación de carácter social
- Los ingresos de cada escenario corresponden a ingresos por venta de productos y ahorro de los residuos que se desvían del relleno sanitario

- e) Los costos variables de cada escenario son el manejo de pérdidas de residuos recuperados y transporte de residuos recuperados
- f) Los costos fijos corresponden a sueldos de personal adicional contratado para el plan y otros (consumos básicos, mantención/reposición de equipos y arriendo de terreno)
- g) El capital de trabajo de cada escenario se considera como el 20% de la inversión total
- h) La inversión realizada en cada escenario corresponde a todos los equipos e instalaciones necesarias para la implementación del plan, además de un 15% del total para contingencias

Los flujos de caja realizados para cada escenario, incluyen los puntos que se muestran en la Figura 22. Por otra parte, en el ANEXO D se muestra un ejemplo de los flujos realizados.

| Ingresos                                                                                                                | Costos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Inversión                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Estado Resultado                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de productos</li> <li>• Ahorro en disposición y transferencia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte</li> <li>• Pérdidas, reciclables y días de recolección extra</li> <li>• Sueldos</li> <li>• Educación, inspección, jefatura, administración, aseo, manejo de residuos</li> <li>• Otros</li> <li>• Consumos básicos, reposición, terreno, suministros, mantención, transmisión eléctrica</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenedores de residuos</li> <li>• Elementos de protección personal para trabajadores</li> <li>• Equipos</li> <li>• Pesa, chipeadora, termómetro, volteo manual y mecánico, tamizador, entre otros</li> <li>• Construcción</li> <li>• Contingencia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Margen operacional</li> <li>• Depreciación</li> <li>• Impuestos</li> <li>• Capital de trabajo</li> <li>• Inversión</li> </ul> |

**Figura 22.** Puntos analizados en los flujos de caja realizados (Elaboración propia).

#### 5.5.1. Indicadores económicos

Los indicadores económicos obtenidos, se presentan en las siguientes tablas, en el primer caso se presentan en comparación con la inversión (ver Tabla 13) y en el segundo caso se compara el VAN de cada escenario evaluado con el VAN del costo municipal asociado a estos (ver Tabla 14).

**Tabla 13.** Tabla comparativa de los indicadores económicos de cada escenario estudiado (Elaboración propia).

| Escenario                      | 84%       |      |           | 50%       |     |           |
|--------------------------------|-----------|------|-----------|-----------|-----|-----------|
|                                | VAN       | TIR  | Inversión | VAN       | TIR | Inversión |
| Esc. 1 Inorgánico              | MUF 709   | 110% | MUF 59    | MUF 457   | 80% | MUF 38    |
| Esc. 2 Compost                 | -MUF 666  | -    | MUF 79    | -MUF 782  | -   | MUF 63    |
| Esc. 3 Humus                   | MUF 2.602 | 44%  | MUF 484   | MUF 1.545 | 43% | MUF 248   |
| Esc. 4 Biodigestión            | MUF 460   | 25%  | MUF 183   | MUF 178   | 19% | MUF 99    |
| Esc. 5 Inorgánico+Compost      | -MUF 24   | -    | MUF 139   | -MUF 392  | -   | MUF 101   |
| Esc. 6 Inorgánico+Humus        | MUF 3.244 | 48%  | MUF 544   | MUF 1.935 | 45% | MUF 286   |
| Esc. 7 Inorgánico+Biodigestión | MUF 1.102 | 38%  | MUF 242   | MUF 568   | 32% | MUF 137   |

**Tabla 14.** Indicador económico VAN de los escenarios evaluados y costo municipal de manejo de residuos para cada caso (Elaboración propia).

| Escenario                      | 84%       |                     | 50%      |                     |
|--------------------------------|-----------|---------------------|----------|---------------------|
|                                | VAN       | VAN costo municipal | VAN      | VAN costo municipal |
| Esc. 1 Inorgánico              | MUF 709   | -MUF 283            | UF 457   | -MUF 536            |
| Esc. 2 Compost                 | -MUF 666  | -MUF 1.660          | -UF 782  | -MUF 1.775          |
| Esc. 3 Humus                   | MUF 2.602 | MUF 1.609           | UF 1.545 | MUF 551             |
| Esc. 4 Biodigestión            | MUF 460   | -MUF 532            | UF 178   | -MUF 814            |
| Esc. 5 Inorgánico+Compost      | -MUF 24   | -MUF 1.018          | -UF 392  | -MUF 1.385          |
| Esc. 6 Inorgánico+Humus        | MUF 3.244 | MUF 2.251           | UF 1.935 | MUF 941             |
| Esc. 7 Inorgánico+Biodigestión | MUF 1.102 | MUF 109             | UF 568   | -MUF 424            |
| Línea Base                     | -MUF 993  |                     |          |                     |

### 5.5.2. Sensibilidad

El estudio de la sensibilidad se realiza a los escenarios rentables, y se analizan las variables precio, costos y pérdidas; en este último caso, además se presenta una simulación realista de la variable pérdidas, para obtener el VAN que supondría esta simulación. Lo que se muestran a continuación.

#### Estudio de sensibilidad de precios

La disminución de precios del “Escenario 1 Inorgánico”, con 84% y 50% de recuperación final de materiales se muestra en la Figura 23 y Figura 24, respectivamente. Este estudio, se realizó variando el precio de un material y dejando los demás constantes, para todos los

residuos valorizados, por lo que muestra la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto, según el tipo de material que disminuya su precio de venta.

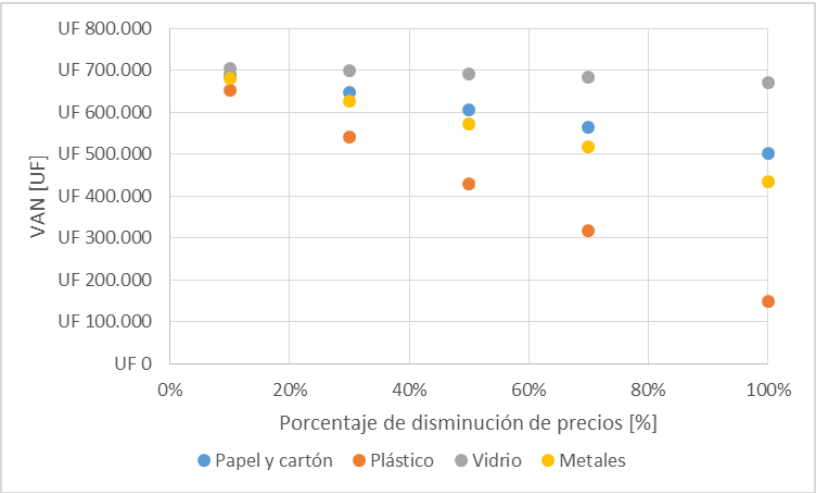


**Figura 23.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 1 Inorgánico con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

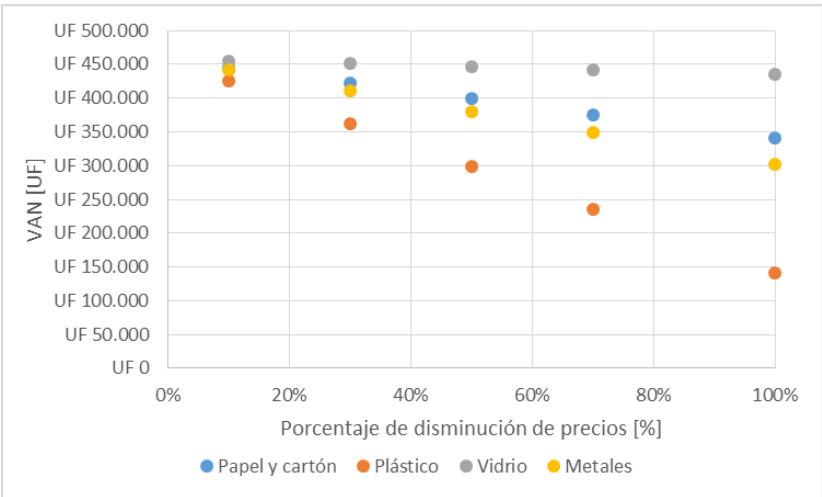


**Figura 24.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 1 Inorgánico con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

Para el “Escenario 3 Humus”, se disminuyó el precio de venta del producto (humus) y se observó cómo variaba la rentabilidad del proyecto, lo que se observa en la Figura 25 y Figura 26, para los casos de 84% y 50% de recuperación final de material, respectivamente.

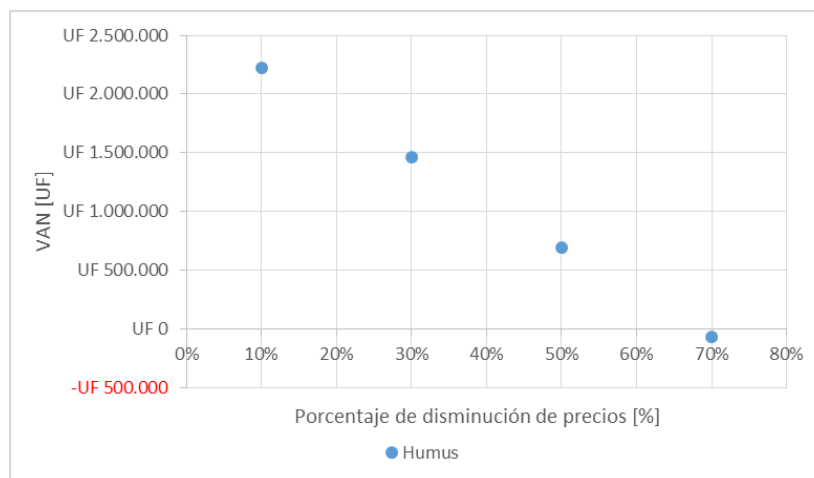


**Figura 25.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 3 Humus con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

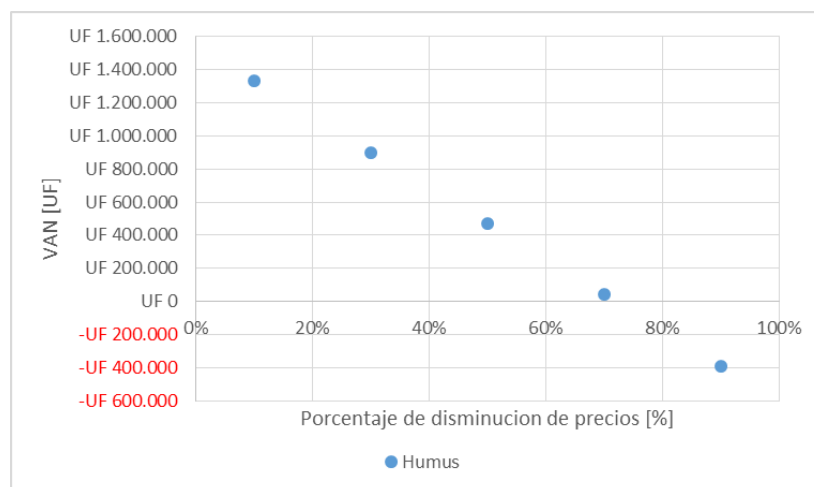


**Figura 26.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 3 Humus con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

En el “Escenario 4 Biodigestión”, se disminuyó el precio de venta de energía eléctrica y el de biofertilizante, variando uno y dejando constante el otro. La variación de la rentabilidad del proyecto, se observa en la Figura 27 y Figura 28, para el caso de 84% y 50% de recuperación final, respectivamente.

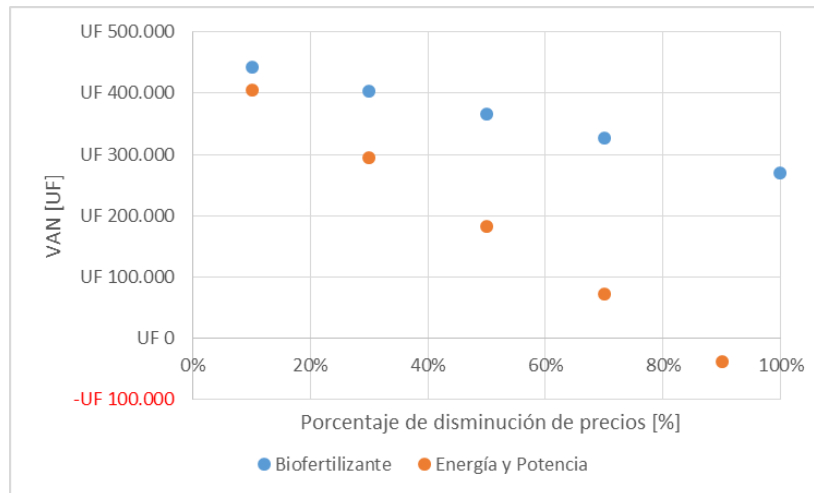


**Figura 27.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 4 Biodigestión con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

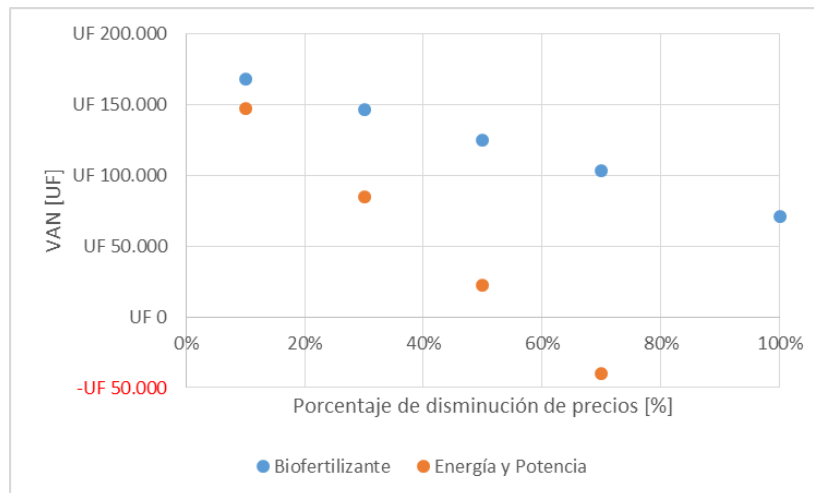


**Figura 28.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 4 Biodigestión con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

Para el “Escenario 6 Inorgánico + Humus”, se variaron los precios de venta de los productos asociados a este proyecto, analizando la variación de uno mientras los demás se mantenían constantes. El resultado de esto, se puede ver en la Figura 29 y Figura 30, para los casos de 84% y 50% de recuperación final, respectivamente.

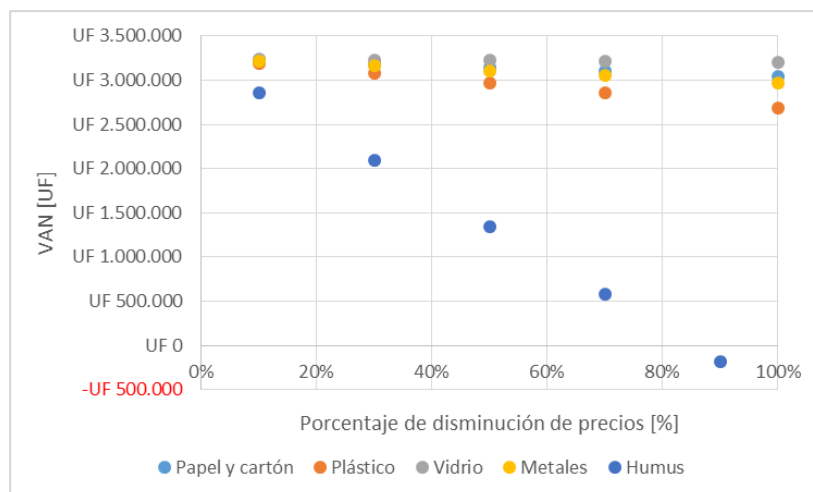


**Figura 29.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 6 Inorgánico+Humus con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

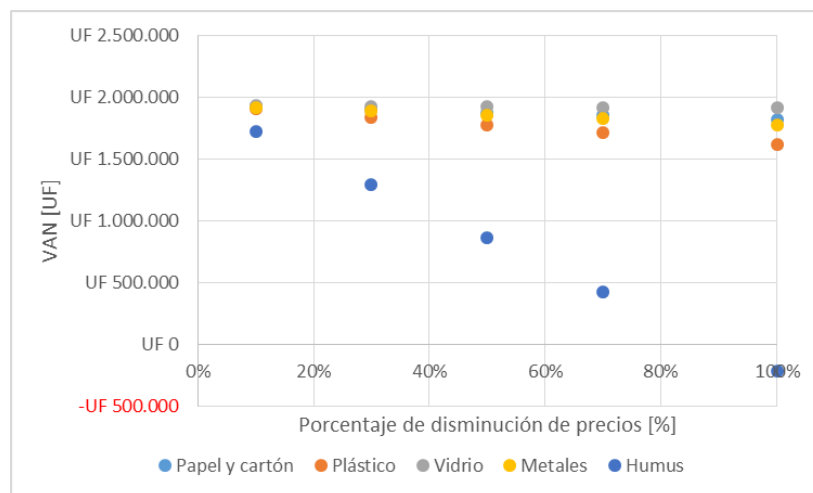


**Figura 30.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 6 Inorgánico+Humus con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

La variación de precios para el “Escenario 7 Inorgánico + Biodigestión”, para 84% y 50% de recuperación, se muestra en la Figura 31 y Figura 32, respectivamente, donde se puede apreciar la variación de la rentabilidad del proyecto a medida que se disminuye el precio de venta de los productos, lo que se realizó variando un precio mientras se mantenían constantes los demás.

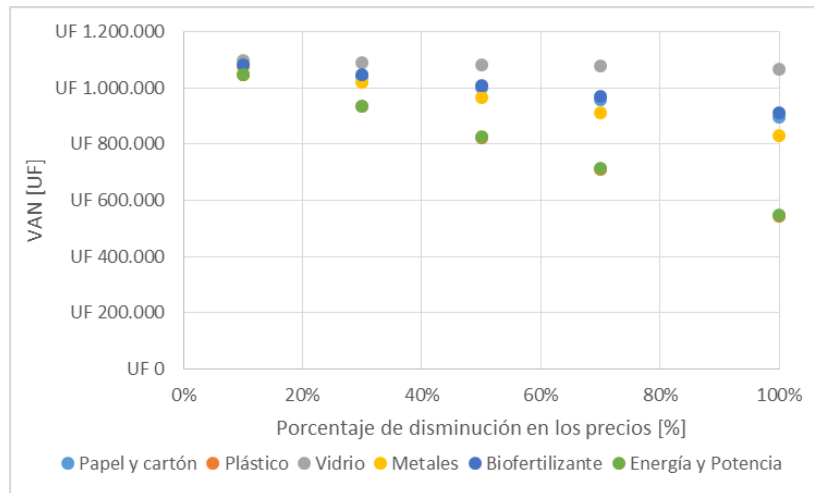


**Figura 31.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario7 Inorgánico+Biodigestión con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

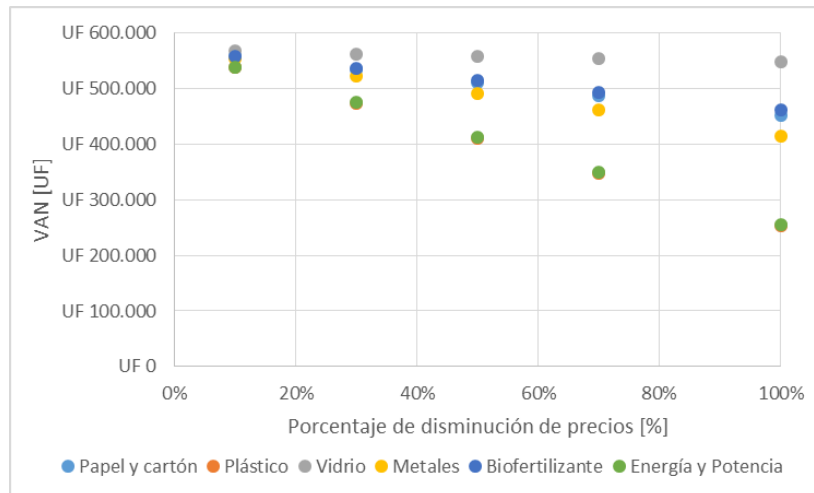


**Figura 32.** Porcentaje de disminución de precios para Escenario 7 Inorgánico+Biodigestión con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

### Estudio de sensibilidad de costos

Para este estudio, se aumentaron los costos de cada escenario y se observó el impacto en la rentabilidad de estos, lo que se muestra en la Figura 33 y Figura 34, para los casos de 84% y 50% de recuperación final, respectivamente.

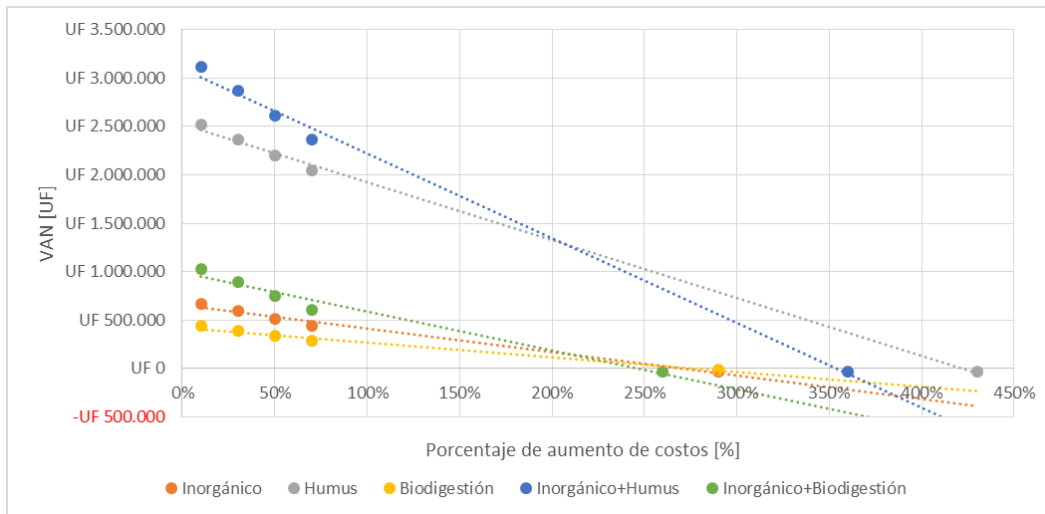


**Figura 33.** Aumento de costos para escenarios con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

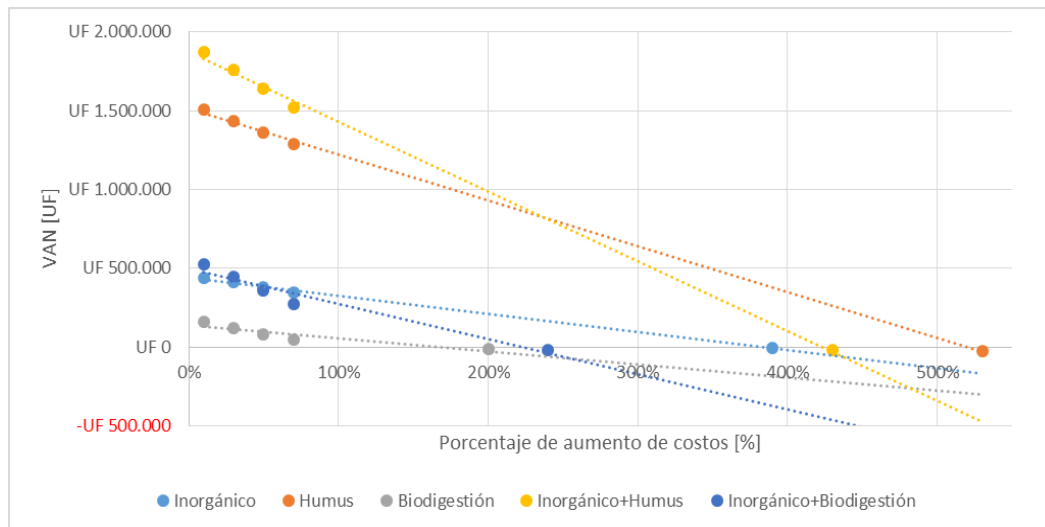


**Figura 34.** Aumento de costos para escenarios con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

### Estudio de sensibilidad de pérdidas

Para estudiar el impacto de la variación de las pérdidas de material en cada escenario, se aumentó el porcentaje de pérdidas, lo que disminuía el porcentaje de desviación al relleno y aumentaba los costos de transporte de residuos. Este estudio, se realizó a cada escenario rentable, para los casos de 84% y 50% de recuperación final de material, lo que se muestra en la Figura 35 y Figura 36, respectivamente.

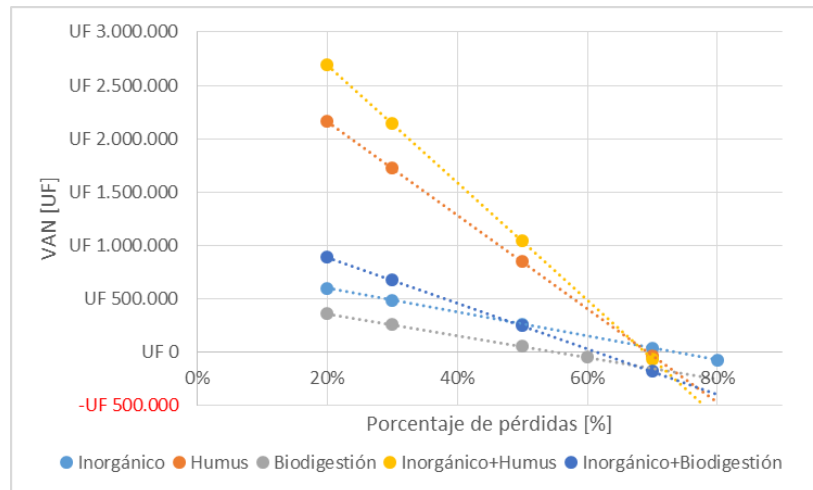


**Figura 35.** Aumento de pérdidas para escenarios con 84% de recuperación final (Elaboración propia).

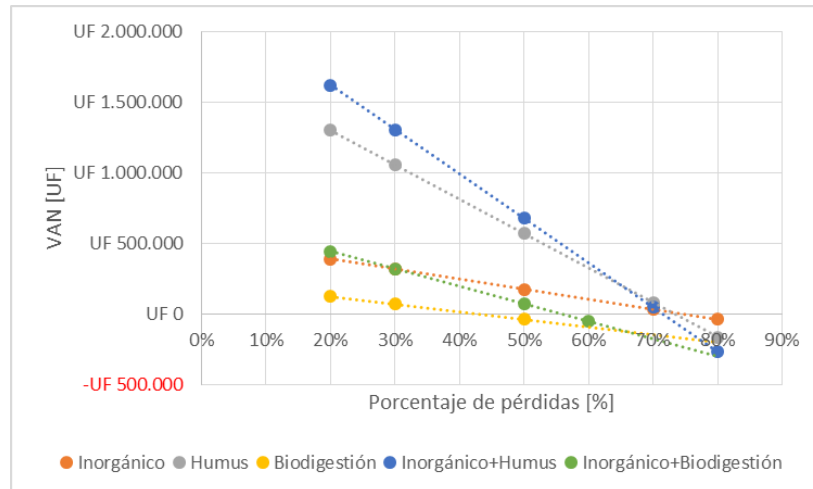


**Figura 36.** Aumento de pérdidas para escenarios con 50% de recuperación final (Elaboración propia).

Por último, se realizó una simulación realista de la variación de pérdidas para los escenarios “1 Inorgánico”, “3 Humus” y “6 Inorgánico + Humus”, es decir, representa la situación de partir cada proyecto con el porcentaje de pérdidas crítico y disminuirlo gradualmente hasta llegar a 10% final, lo que se muestra en la Figura 37. Con lo anterior, se obtiene el VAN de cada proyecto, lo que representa la cantidad de utilidad que puede ser utilizada para mejorar la situación, es decir, para disminuir el porcentaje de pérdidas crítico hasta el proyectado (ver Tabla 15).

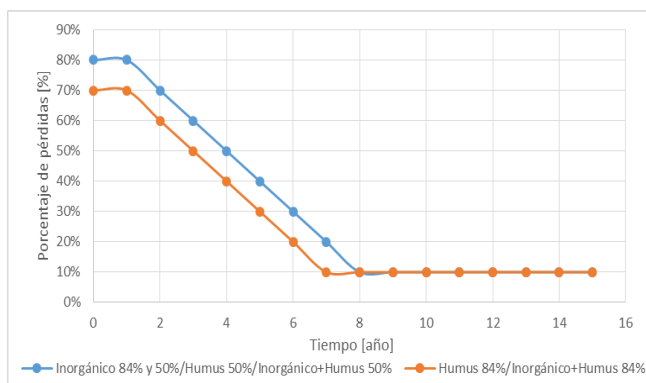


**Figura 37.** Simulación realista de pérdidas para escenarios 1 Inorgánico, 3 Humus y 7 Inorgánico+Humus (Elaboración propia).

**Tabla 15.** Indicadores económicos para porcentaje de pérdida variable, en escenarios 1 Inorgánico, 3 Humus y 7 Inorgánico+Humus (Elaboración propia).

| Escenario                 | VAN       |           |
|---------------------------|-----------|-----------|
|                           | 100%      | 50%       |
| Esc.1 Inorgánico          | MUF 519   | MUF 351   |
| Esc. 3 Humus              | MUF 2.070 | MUF 1.179 |
| Esc. 6 Inorgánico + Humus | MUF 2.577 | MUF 1.462 |

## 6. Análisis de resultados

Los casos estudiados de basura cero, entregan información importante sobre cómo proceder en la implementación de este modelo, la que se resume en metas realistas de recuperación de residuos, apoyo de políticas públicas y educación de la población, además, al estudiar los casos de iniciativas asociadas a Basura Cero en Chile, se obtiene que es factible implementar este tipo de modelo en la realidad Chilena.

De la caracterización de RSD, se observa que con la implementación del plan de Basura Cero, se podría alcanzar un porcentaje de desviación de residuos del 84%, con técnicas de recolección diferenciada de residuos y de valorización de estos, además, el 16% restante se puede abordar con medidas como iniciativas de reducción de residuos, ordenanzas municipales, legislación, investigación, ecodiseño, entre otros.

La proyección de la población en la comuna de Recoleta, indica que va en alza, por lo que, si se mantienen los niveles de generación de basura per cápita, también aumentaría la cantidad de residuos que la municipalidad debe tratar y los costos asociados a esto.

El estudio de mercado, muestra los residuos que son fácilmente valorizables y la factibilidad de comercializarlos, en este punto es importante mencionar, que la falta de información referente al mercado de productos reciclables en Chile, dificulta el análisis de este proyecto, por lo que, se hace importante un análisis de sensibilidad en los precios de los productos, para prever riesgos en los escenarios presentados.

El estudio técnico, muestra la factibilidad de realizar este tipo de proyectos en la comuna de Recoleta, siendo un paso clave para la implementación, el de educación y capacitación de los habitantes, ya que son ellos los usuarios que darán vida al proyecto y de quienes depende el funcionamiento de este.

El estudio económico, muestra que “Escenario 2 Compost” y “Escenario 5 Inorgánico + Compost” obtienen Van negativo en el plazo de evaluación, lo que se puede asociar al bajo

precio del humus. Por otra parte, el resto de los escenarios estudiados, presentan VAN positivo, por lo que, son atractivos para la inversión (ver Tabla 13). Siendo el con mayor VAN “Escenario 3 Humus” y el con menor “Escenario 4 Biodigestión”, para el caso de escenarios simples, y para el caso de escenarios combinados, el con mayor VAN es “Escenario 6 Inorgánico + Humus” y el con menor es “Escenario 7 Inorgánico + Biodigestión”, lo que se puede explicar por la tecnología utilizada en el manejo de residuos, ya que la biodigestión al ser una tecnología más compleja, se debe evaluar en un mayor plazo.

Al comparar el VAN del manejo actual de los residuos por parte de la municipalidad, con el VAN de los escenarios evaluados, se obtiene el VAN del costo municipal (ver Tabla 14), donde se puede apreciar, que independiente del escenario, si se decide implementar alguno se obtendrá un ahorro en los costos de manejo de RSD, por lo que, se podría reinvertir ese dinero en lo que se estime conveniente, por ejemplo, en mejoras sociales para la comuna y usuarios de esta.

El análisis de sensibilidad de precios para el “Escenario 1 Inorgánico”, muestra que si uno de los precios de los materiales valorizables disminuye incluso a \$0, el resto de los materiales subsidiarían el proyecto y seguiría siendo rentable. Además, se observa que el proyecto presenta la mayor sensibilidad a la variación de precios del plástico y la menor a la variación del precio del vidrio. Esto ocurre para ambos casos de recuperación final estudiados.

En el “Escenario 3 Humus”, se observa que el VAN del proyecto se vuelve negativo al alcanzar una disminución de un 70% del precio del humus, lo que se asocia principalmente a que es el único producto de este escenario. Es por esto, que es de suma importancia asegurar que el ahorro que implica este producto, al ser utilizado por la municipalidad, sea equivalente a la venta de esta a un precio superior al crítico.

Para el “Escenario 4 Biodigestión”, se observa que el precio de biofertilizante no es relevante para el VAN del proyecto, sin embargo, el precio de energía y potencia, sí, ya que hace negativo este indicador al disminuir su precio en un 90% para el caso de 84% de recuperación

final de materiales, y en un 60% para el caso de 50% de recuperación final de materiales. Sin embargo, esta disminución de precios de la energía no es un escenario probable.

En el “Escenario 6 Inorgánico + Humus”, no tiene relevancia la variación de precios de los materiales inorgánicos, pudiendo ser \$0, y aún en ese caso se obtiene VAN positivo. Pero, la variación del precio del humus vuelve negativo el VAN al alcanzar una disminución cercana al 90%, para lo que es necesario distinguir el beneficio que trae a la municipalidad el uso de este producto en sus procesos.

El “Escenario 7 Inorgánico + Biodigestión”, no obtiene VAN negativo con la variación de los precios de los productos, esto se debe a que si alguno disminuye su valor los demás lo subsidiarán, manteniendo rentable al proyecto.

El aumento de los costos en los escenarios estudiados, puede ser del doble en el caso más sensible, es decir, el de menor aumento (“Escenario 4 Biodigestión” con 50% de recuperación final), para que el VAN sea cero, por lo que, esta variable no es de gran riesgo para la inversión. Sin embargo, hay que controlar los costos de los proyectos, para mantener la rentabilidad de estos, siendo el de mayor importancia el transporte de residuos, debido a su alta participación en la matriz de costos y la variabilidad que puede tener si no se optimizan las rutas de recorrido de los camiones.

Las pérdidas de residuos reciclables, es la variable más sensible e importante para los casos estudiados, ya que vuelve negativo el VAN de todos los escenarios estudiados, en distintos porcentajes de aumento. Es por esto, que la educación de los usuarios del sistema, tiene gran importancia en el desarrollo del plan, ya que, con esto se puede mantener y aumentar las tasas de recuperación. Además, se pueden implementar acciones correctivas en el caso de detectar a tiempo una insuficiencia en la recuperación de materiales, por lo que, se realizó una simulación realista y se estimó que en los escenarios estudiados, se puede invertir en esto sin perjudicar la rentabilidad de la inversión (ver Tabla 15).

Por último, la implementación de un plan de Basura Cero, entrega beneficios sociales y ambientales, a las personas que habitan la municipalidad, los cuales son importantes para el desarrollo humano, estos beneficios no se miden económicamente en este estudio, debido a la dificultad de poner precio a estas variables.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Los costos de manejo de RSD, se reducen al implementar los proyectos “Escenario 1 Inorgánico”, “Escenario 3 Humus”, “Escenario 4 Biodigestión”, “Escenario 6 Inorgánico + Humus” y “Escenario 7 Inorgánico + Biodigestión”, por otra parte, “Escenario 2 Compost” y “Escenario 5 Inorgánico + Compost” no son interesantes para desarrollar debido a que presentan VAN negativo.

El precio de venta de humus, afecta al VAN de los proyectos que generan este producto, mientras que el precio de venta de energía y potencia, solo afecta al VAN del proyecto “Escenario 4 Biodigestión”, el resto de los precios no tienen influencia en este indicador económico.

El aumento de los costos no ejerce una variación significativa en los proyectos, siendo el “Escenario 4 Biodigestión” con recuperación del 50%, el más afectado, perdiendo su rentabilidad al aumentar 200% los costos.

Las pérdidas en la recuperación de residuos, es la variable más crítica analizada, ya que si aumenta en 80% la totalidad de los proyectos dejan de ser rentables.

Se puede observar un beneficio social, asociado a la nueva distribución de los recursos económicos que existe al implementar alguno de los proyectos estudiados.

Es importante, que la gente que se integre al plan esté educada y capacitada, para asegurar el ingreso de material a los proyectos y un buen funcionamiento de estos.

La rentabilidad que entregan los proyectos evaluados, sugiere una secuencia lógica de implementación de estos, siendo los de menor tecnología los más atractivos y los de mayor tecnología los más riesgosos.

Los indicadores económicos evaluados, sugieren que se puede externalizar el servicio asociado a la gestión de RSD, ya que son atractivos económicamente, por lo que, podrían traspasarse a cooperativas de recicladoras, como es voluntad de la municipalidad o a inversionistas privados en caso de ser necesario, conservando el ahorro para el costo municipal de manejo de RSD que implica la desviación de los residuos que son destinados a disposición final.

En base a lo presentado en el documento, se recomienda implementar el “Escenario 1 Inorgánico” en primer lugar, es decir, comenzar recolectando los residuos reciclables inorgánicos, y luego los orgánicos, en cuyo caso se recomienda implementar el “Escenario 3 Humus” como primera opción y el “Escenario 4 Biodigestión” como segunda. En caso de que la municipalidad decidiera comenzar a recolectar por separado todos los residuos al mismo tiempo, se sugiere implementar el “Escenario 6 Inorgánico + Humus”, como primera opción y el “Escenario 7 Inorgánico + Biodigestión” como segunda.

Es importante mencionar que este tipo de proyectos, pueden ser financiados con apoyos gubernamentales, como el Fondo para el Reciclaje, el que fue creado en el marco de la Ley REP.

Se recomienda como estudios futuros analizar proyectos de manejo de orgánicos que mezclen la producción de compost, humus, y biogás.

## 8. Referencias

- Alianza Basura Cero Chile. (2017). *Inicio*. Obtenido de Alianza Basura Cero Chile: <https://alianzabasuracero.cl/>
- Alvarez, L., Aymemí, A., Codina, E., Coll, E., Colomer, J., Gijón, R., . . . Salvans, C. (2010). *Manual de recogida selectiva puerta a puerta*. Associació de municipis Catalans por a la Recollida porta a porta.
- Alvear V., S., & Rodríguez C., P. (2006). Estimación del Costo por Kilómetro y de los Márgenes de una Empresa de Transporte de Carga, Industria Agrícola, Región del Maule, Chile. *Panorama socioeconómico*, 48-57.
- ANIR. (2016). *Reducir, reutilizar, reciclar*. Obtenido de ANIR - Asociación Nacional de la Industria del Reciclaje AG: <http://www.anir.cl/reducir-reutilizar-reciclar>
- Anthony, R. (2015). *The Zero Waste International Alliance (ZWIA): A Chronology*. Obtenido de Zero Waste International Alliance: <http://zwia.org/aboutus/zwia-history/>
- Appels, L., Baeyens, J., Degreè, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potencial of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 755-781.
- Astudillo, R. (2012). *Estudio de prefactibilidad técnico-económica del diseño de una planta de lombricultura en base a residuos orgánicos para la producción de abono para la industria de viveros*. Santiago: Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- Balboa, C., & Dominguez Somonte, M. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador Técnico*, 82-90.
- Banco Central de Chile. (2017). *Base de datos estadísticos*. Obtenido de Banco Central de Chile: <https://si3.bcentral.cl/Boletin/secure/boletin.aspx?idCanasta=TNJ8Q2067>
- Bonmatí, A. (2008). Capítulo 8: Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. En P. Andrés, & R. Rodríguez, *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica* (págs. 215-250). Girona, España: Documenta Universitaria.
- Camacho, S. (31 de enero de 2013). Basura cero: un elogio a la dificultad. *El espectador*, pág. 12.
- Carrasco Allendes, J. L. (2015). *Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: una estrategia para diferentes contextos*. Santiago: Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- Carvajal, F. (21 de Febrero de 2014). *El problema de la basura*. Daniel Jadue, alcalde de Recoleta. Obtenido de Recoleta somos todos: <http://www.recoleta.cl/jaduealcalde/?p=88>

- Cereceda Payret, E. (2002). *La importancia de la participación ciudadana en el manejo de los RSU*. Asunción, Paraguay: ALTER VIDA.
- Cervantes Torre-Marín, G. (2011). Ecología Industrial: Innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales. *Sostenibilidad, tecnología y humanismo*, 59-78.
- Chilectra. (2005). *Informe de sostenibilidad*. Santiago.
- CNE. (2017). *Fijación de precios de nudo promedio sistema interconectado central y sistema interconectado del norte grande*. Santiago.
- Comisión Europea. (2007). *Un futuro sostenible a nuestro alcance, Guía para la Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible*. Bruselas, Bélgica: Comunidades europeas.
- CONAMA. (2005). *Política de gestión integral de residuos sólidos*.
- CONAMA. (2006). *Estudio caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la región metropolitana*. Valparaíso.
- CONAMA. (2010). *Primer repote del manejo de Residuos Sólidos en Chile*. Santiago: Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- CONAMA; Instituto del Medio Ambiente Gylania. (2001). *Reciclando en la comuna, manual para funcionarios municipales*. Santiago: Gobierno de Chile.
- Connett, P. (2013). *The Zero Waste Solution: Untrashing the Plant One Community at a Time*. White River Junction: Chelsea Green Publishing Co.
- Córdova, C. (2006). *Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos*. Santiago: Facultad de ciencias forestales, Universidad de Chile.
- Cristalchile. (2017). *Ficha ingreso nuevos proveedores*. Santiago.
- Cristalchile. (2017). *Reciclaje*. Obtenido de Cristalchile: <http://www.cristalchile.cl/reciclaje/>
- Cristoro. (2017). *Reciclaje Cristoro*. Obtenido de Cristoro, envases de vidrio: <https://www.cristoro.cl/contenido/reciclaje-cristoro>
- Cruplas. (2016). *Cómo identificar los plásticos*. Obtenido de Cruplas Reciclaje de Plásticos: <https://cruplas.cl/como-identificar-los-plasticos/>
- Decreto 2385. (20 de noviembre de 1996). Fija texto refundido y sistematizado del decreto ley num. 3063, de 1979, sobre rentas municipales. Santiago, Chile: Diario Oficial de la Republica de Chile.
- Ecofibras. (2016). *Productos*. Obtenido de Ecofibras S.A.: <http://ecofibras.cl/productos.html>
- EIA. (2017). *Petroleum & other liquids*. Obtenido de U.S. Department of Energy: [https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_m.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_m.htm)

- Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Hacia una economía circular*. United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada*. Reino Unido: Ellen MacArthur Foundation.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Economía circular: Escuelas de pensamiento*. Obtenido de Ellen MacArthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/escuelas-de-pensamiento>
- ENAP. (2017). *Análisis del mercado internacional*. Obtenido de Empresa Nacional del Petróleo: [https://www.enap.cl/pag/68/993/situacion\\_del\\_mercado\\_internacional](https://www.enap.cl/pag/68/993/situacion_del_mercado_internacional)
- Enfaena. (2017). *Materiales que valorizamos*. Obtenido de Enfaena: <https://www.enfaena.com/contenido/valorizamos>
- European Commission. (2014). Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. Minsk, Bielorrusia.
- Eurostat. (Abril de 2015). *Estadísticas sobre residuos*. Obtenido de [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste\\_statistics/es](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/es)
- Eurostat. (2017). *Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&language=en&pcode=tsdpc240&toolbox=type>
- Farex. (2017). *Precios de compra*. Obtenido de Farex Spa: <http://www.farex.cl/lista-de-precios>
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 144-152.
- Fundación Chile. (2017). *¿Qué es economía circular?* Obtenido de Fundación Chile: <http://www.economiacircular.fch.cl/?gclid=CMLFyfP7ztUCFRYHkQodUzQHeA>
- GAIA. (2012). *On the Road to Zero Waste, Successes and Lessons from Around the World*. Barcelona: Design Action Collective.
- GAIA. (2017). *Organize across borders*. Obtenido de Global Alliance for Incinerator Alternatives: <http://www.no-burn.org/organize-across-borders/>
- Geociclos. (2017). *Productos*. Obtenido de Geociclos Soluciones Ambientales: <http://geociclos.cl/productos/>
- Global Footprint Network. (2017). *Reserve/Deficit Trends*. Obtenido de Global Footprint Network: <http://data.footprintnetwork.org/countryTrends.html?cn=5001&type=Earth>

- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2017). *Porqué debemos separar*. Obtenido de Buenos Aires Ciudad: <http://www.buenosaires.gob.ar/ciudadverde/separacion/porque-debemos-separar>
- Grass, B. (2013). *Evaluación y diseño para la implementación de una planta de biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales en la región metropolitana*. Santiago: Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- HomeBiogas. (2017). *How it works*. Obtenido de HomeBiogas: <https://homebiogas.com/how-homebiogas-works/>
- Ilustre Municipalidad de Punta Arenas. (23 de enero de 2014). Ordenanza Municipal sobre el uso de bolsas plásticas en la comuna de Punta Arenas. Punta Arenas, Chile.
- Ilustre Municipalidad de Recoleta. (2014). *Ordenanza medioambiental de la comuna de Recoleta*.
- Ilustre Municipalidad de Recoleta. (20 de Diciembre de 2016). Decreto exento N°3782. Santiago: Dirección de Asesoría Jurídica, Ilustre Municipalidad de Recoleta.
- Ilustre Municipalidad de Recoleta. (2016). *Escala de sueldos base y asignaciones de los funcionarios municipales, vigente desde el 01 de diciembre de 2016 al 30 de noviembre de 2017*. Santiago.
- Ilustre Municipalidad de Recoleta. (17 de Octubre de 2017). Decreto exento N°2876. Santiago, Recoleta, Chile.
- Ilustre Municipalidad de Recoleta. (2017). *Tarifa de aseo 2018*. Santiago.
- INE. (2010). Estadísticas del bicentenario: la familia chilena en el tiempo. *Enfoque estadístico*, 2-8.
- INE. (2010). La familia chilena en el tiempo. *Enfoque estadístico*, 4.
- INE. (2017). *Demográficas y vitales*. Obtenido de Instituto Nacional De Estadísticas Chile: <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>
- INN. (2004). Norma Chilena Oficial: Compost - Clasificación y requisitos. *NCh 2880.Of2004*. Chile.
- Integrity. (2017). *Reciclado de PET*. Obtenido de Integrity, calidad sin fronteras: <http://www.integrity.cl/productos-y-servicios/reciclado-de-plastico/>
- ISWA, & UNEP. (2015). *Global Waste Management Outlook*. United Nations Environment Programme.
- Johnson, B. (2017). *About Bea*. Obtenido de Zero Waste Home: <https://zerowastehome.com/about/bea/>

- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., & Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72, 1013-1019.
- Leonard, A. (2010). *La historia de las cosas*. Fondo de Cultura Económica.
- Ley N° 19.300. (09 de marzo de 1994). Aprueba Ley sobre bases generales del medio ambiente. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
- Ley N° 20.417. (26 de enero de 2010). Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
- Ley N° 20.600. (28 de junio de 2012). Crea los Tribunales Ambientales. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
- Ley N° 20.920. (1 de junio de 2016). Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Santiago, Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
- Liss, G. (2009). *ZW Definition*. Obtenido de Zero Waste International Alliance: <http://zwia.org/standards/zw-definition/>
- Midas. (2009). *Servicios*. Obtenido de Midas, reciclamos futuro: <http://www.midaschile.cl/home/index-3.html>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2013). *Metodología de preparación y evaluación de proyectos de Residuos Sólidos Domiciliarios y asimilables*. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2016). *Precios Sociales Vigentes 2016*. División de Evaluación Social de Inversiones Subsecretaría de Evaluación Social.
- Miranda, G., Poirrier, P., & Chamy, R. (2001). *Evaluación técnico-económica de la implementación de un sistema de tratamiento anaerobio de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU)*. Santiago: Escuela de Ingeniería Bioquímica, Universidad Católica de Valparaíso.
- MMA. (2016). *Cartones para bebidas*. Obtenido de Re Chile Recicla: <http://rechile.mma.gob.cl/reciclable/tetra-pack/>
- MMA. (2016). *Vidrios*. Obtenido de Re Chile Recicla: <http://chilerecicla.gob.cl/vidrios/>
- MMA. (2017). *Educación ambiental*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile: <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-propertyvalue-16234.html>
- MMA. (3 de Abril de 2017). *Informe Final Encuesta Nacional de Medio Ambiente y Cambio Climático*. Santiago: Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile: <http://portal.mma.gob.cl/tercera-encuesta-nacional-del-medio-ambiente/>

- MMA. (2017). *Ley de Reciclaje*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile: <http://leydereciclaje.mma.gob.cl/>
- Molina, T. (13 de Enero de 2017). *Viviendas nuevas: Cuánto vale el metro cuadrado en las comunas de la Región Metropolitana*. Obtenido de Emol: <http://www.emol.com/noticias/Economia/2017/01/13/839868/Vitacura-lidera-como-la-comuna-mas-cara-para-adquirir-un-departamento-mientras-que-Quilicura-es-la-opcion-mas-economica.html>
- Muñoz-Pedrerros, A. (2014). La educación ambiental en Chile, una tarea pendiente. *Ambiente & Sociedad*, 177-198.
- Murray, R. (1999). *Creating wealth from waste*. Londres: Demos.
- Murray, R. (2002). *Zero Waste*. London: Greenpeace Environmental Trust.
- OCDE, & CEPAL. (2005). *Evaluaciones del desempeño ambiental, Chile*. Naciones Unidas, CEPAL.
- ODEPA. (29 de Octubre de 2007). *El biogás: alternativa energética emergente*. Obtenido de ODEPA, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile: <http://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/el-biogas-alternativa-energetica-emergente-2>
- Odriozola, V. (2004). *Plan de basura cero para Buenos Aires*. Obtenido de Greenpeace Argentina: [www.greenpeace.org.ar](http://www.greenpeace.org.ar)
- OECD. (2009). *Eco-Innovation Policies in The People's Republic of China*. Paris: Enviroment Directorate, OECD.
- ONG Yo Reciclo. (2016). *Residuo latas*. Santiago.
- ONG Yo Reciclo. (2016). *Residuo papel*. Santiago.
- Recipet. (2017). *Compramos PET*. Obtenido de Recipet: <http://www.recipet.cl/sistema/index.php>
- Recupac. (2017). *¿Qué residuos reciclamos en Recupac?* Obtenido de Recupac: <http://www.recupac.cl/reciclaje-integral-recupac.html>
- Recytrans S.L. (2017). *Clasificación de los plásticos*. Obtenido de Recytrans soluciones globales para el reciclaje: <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-plasticos/>
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO FIAT PANIS.
- San Francisco Department of the Environment. (2014). *Zero Waste*. San Francisco.
- Sánchez Jiménez, M. (1 de abril de 2017). Zero Waste: Vivir sin dejar basura. *La Tercera - Tendencias*, págs. 4-6.

- Silva Villegas, A. A. (2013). *Modelo de negocio y evaluación técnico-económica para un emprendimiento en gestión de residuos reciclables en comunidades de la región metropolitana*. Santiago: Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.
- SMA. (2017). *Historia*. Obtenido de Superintendencia del Medio Ambiente: <http://www.sma.gob.cl/index.php/quienes-somos/que-es-la-sma/historia>
- Snow, W., & Dickinson, J. (2001). *The end of waste, Zero Waste by 2020*. New Zealand Zero Waste Trust.
- SOREPA. (25 de Junio de 2017). *Clasificación de recortes*. Obtenido de SOREPA: <http://www.sorepa.cl/sorepa/contenidoslistados.aspx?cat=17>
- Triciclos. (2017). *Qué es triciclos*. Obtenido de Triciclos: <http://www.triciclos.net/es/>
- Vidrios Bizama. (2016). *Reciclemos vidrio laminado*. Obtenido de Vidrios Lizama Parabrisas: <http://vidriosbizama.cl/reciclemos-vidrio-laminado/>
- Zero Waste Europe. (2017). *About*. Obtenido de Zero Waste Europe: <http://www.zerowasteeurope.eu/about/>
- Zero Waste Europe. (2017). *Network of European Zero Waste Municipalities*. Obtenido de Zero Waste Europe: <http://zerowasteeurope.eu/zerowastecities.eu/>
- Zero Waste Europe. (2017). *The Zero Waste Masterplan*.
- Zero Waste Europe. (2017). *The ZW Business*. Obtenido de Zero Waste Europe: <https://www.zerowasteeurope.eu/zw-companies-2/>
- Zero Waste Europe. (2017). *Zero Waste?* Obtenido de Zero Waste Europe: <https://www.zerowasteeurope.eu/about/principles-zw-europe/>
- ZWIA. (2015). *About us*. Obtenido de Zero Waste International Alliance: <http://zwia.org/aboutus/>
- ZWIA. (2015). *Zero Waste International Alliance*. Obtenido de Zero Waste Corporation Web site: <http://zwia.org/>

## Anexos

### ANEXO A. Estimación de tarifa de aseo de la Municipalidad de Recoleta, para 2018.

**Figura 38.** Tarifa de aseo 2018, de la Municipalidad de Recoleta (Ilustre Municipalidad de Recoleta, 2017).

| CALCULO TARIFA ASEO 2018                                                 |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>A.- COSTO RELACIONADOS CON ITEM DE ASEO</b>                           |                                          |
| CONCEPTO                                                                 | MONTO EN \$                              |
| 1.- SERVICIO DE RECOLECCION DE BASURA                                    | \$ 1.015.417.526                         |
| 2.- SERVICIO DE TRANSFERENCIA Y RELLENO SANITARIO                        | \$ 704.263.885                           |
| 3.- SERVICIO DE INSPECCION DEL RELLENO SANITARIO                         | \$ 11.058.222                            |
| 5.- MATERIALES                                                           | \$ 526.864                               |
| 6.- CONSUMOS BASICOS                                                     | \$ 24.177.492                            |
| 7.- CONSUMO VEHICULO                                                     | \$ 31.208.169                            |
| 8.- GASTO EN PERSONAL                                                    | \$ 218.777.354                           |
| 9.- GASTOS DE COMPUTACION ASOCIADO AL SERVICIO DE ASEO                   | \$ 2.780.925                             |
| 11. PAGO AL S.LI POR EL COBRO DEL DERECHO DE ASEO A VIVIENDAS            |                                          |
| <b>TOTAL COSTOS AL 30,06,2017</b>                                        | <b>\$ 2.008.210.438</b>                  |
| <b>COSTOS ACTUALIZADOS AL (IPC Julio -Septiembre= 1,7%)</b>              | <b>\$ 2.034.517.995</b>                  |
| <b>B.- TOTAL DE USUARIOS</b>                                             |                                          |
| CONCEPTO                                                                 | Nº                                       |
| Nº DE PATENTES COMERCIALES AFECTAS AL DERECHO DE ASEO                    | 5.550                                    |
| Nº DE PREDIOS HABITACIONALES AFECTOS TOTALES                             | 9.449                                    |
| Nº DE PREDIOS EXENTOS DERECHO DE ASEO                                    | 28.339                                   |
| OTROS QUE NO PAGAN DERECHOS DE ASEO                                      | 7.541                                    |
| <b>TOTAL USUARIOS</b>                                                    | <b>50.879</b>                            |
| <b>C.- CALCULO TARIFA ANUAL = COSTO TOTAL / Nº USUARIOS DEL SERVICIO</b> |                                          |
|                                                                          | <b>\$ 39.987</b>                         |
|                                                                          |                                          |
|                                                                          | <b>TARIFA EN UTM HABITACIONAL ZONA 2</b> |
|                                                                          | <b>0,856</b>                             |
|                                                                          | <b>TARIFA EN UTM ZONA 1</b>              |
|                                                                          | <b>3,422</b>                             |

### ANEXO B: Resumen comparativo de las respuestas entregadas por las municipalidades entrevistadas

**Tabla 16.** Comparativa de respuestas a entrevistas realizadas. Elaboración propia.

|            |                                             | La Pintana | Peñalolen                    | Recoleta | Temuco |
|------------|---------------------------------------------|------------|------------------------------|----------|--------|
| Pregunta 1 | Existe separación de los residuos en origen | Si         | Si                           | No       | No     |
|            | Es una política municipal                   | Si         | Si                           | -        | -      |
|            | Se respeta                                  | Si         | Si                           | -        | -      |
|            | Se desarrolla mediante convenio             | Licitación | Reciclador de base / vecinos | -        | -      |

|             |                                                                                    |                                     |                                                                    |                                  |                                                           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|             | Comentario                                                                         | Orgánicos                           | Reciclables no orgánicos                                           | -                                | -                                                         |
| Pregunta 2  | Cuenta con sistema de recolección de reciclables puerta a puerta                   | No                                  | Si                                                                 | No                               | Si                                                        |
|             | Está a cargo del Municipio                                                         | -                                   | Si                                                                 | -                                | No                                                        |
|             | Comentario                                                                         | Informal                            | Gestión                                                            | -                                | Convenio                                                  |
| Pregunta 3  | Se realiza recuperación de residuos orgánicos por parte de la municipalidad        | Si                                  | Si                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Compostaje                                                                         | Si                                  | Si                                                                 | No                               | Si                                                        |
|             | Lombricultura                                                                      | Si                                  | Si                                                                 | Si                               | No                                                        |
|             | Biodigestión                                                                       | Proyecto                            | -                                                                  | -                                | No                                                        |
|             | Comentario                                                                         | -                                   | Posibilidad de expansión                                           | Posibilidad de expansión         | En casa, piloto por agrandar                              |
| Pregunta 4  | Hay iniciativas de reciclaje                                                       | Si                                  | Si                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Son realizadas por la municipalidad                                                | No                                  | Si                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Comentario                                                                         | Fundaciones                         | -                                                                  |                                  | Convenios, puntos limpios                                 |
| Pregunta 5  | Existen iniciativas de reutilización                                               | Si                                  | Si                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Existen iniciativas de reparación                                                  | Si                                  | No                                                                 | Si                               | No                                                        |
|             | Comentario                                                                         | Municipal                           | Recicladores                                                       | Recicladores                     | Recicladores                                              |
| Pregunta 6  | Cree posible dar incentivos económicos a las personas                              | No                                  | No                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Tiene experiencias                                                                 | Si                                  | Si                                                                 | -                                | -                                                         |
|             | Comentario                                                                         | Estudiarla                          | Estudiarla                                                         | En estudio                       | Conversaciones                                            |
| Pregunta 7  | Se paga por el reciclaje                                                           | No                                  | No                                                                 | No                               | No                                                        |
|             | Comentario                                                                         | -                                   | Evaluando el pago por servicio a recicladores, ganan lo que venden | Recicladores ganan lo que venden | Excepción convenio con empresa Greenland, servicio pagado |
|             | Existen iniciativas de reducción de residuos                                       | Si                                  | Si                                                                 | Sí                               | Si                                                        |
| P. 8        | Comentario                                                                         | Regulación                          | Educación                                                          | Educación                        | Ordenanza                                                 |
| Pregunta 9  | Existen alianzas entre universidades o centros de investigación y la municipalidad | Si                                  | Si                                                                 | No                               | Si                                                        |
|             | Comentario                                                                         | Ambos proponen, ambos se benefician | Ambos proponen, ambos se benefician                                | Participan practicantes          | No en temas de medio ambiente                             |
| Pregunta 10 | Se trabaja con recicladores de base                                                | No                                  | Si                                                                 | Si                               | Si                                                        |
|             | Se les paga                                                                        | -                                   | No, ganan lo que venden                                            | Ganan lo que venden              | Ganan lo que venden                                       |
|             | Comentario                                                                         | -                                   | -                                                                  | Perfil cachurero, dificultades   | -                                                         |
| Pregunta    | Cuentan con la caracterización de la basura del municipio                          | Si                                  | Si                                                                 | No                               | Si                                                        |
|             | Comentario                                                                         | Por enviar                          | Por enviar                                                         | -                                | Departamento aseo                                         |

|             |                                     |            |            |                                      |                         |
|-------------|-------------------------------------|------------|------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Pregunta 12 | Cuántos habitantes hay en la comuna | 200.000    | 152.000    | 165.000                              | 330.000                 |
|             | Cuántos hogares hay en la comuna    | 44.000     | -          | -                                    | -                       |
|             | Tiene fuentes industriales          | Muy pocas  | Muy pocas  | Muy pocas                            | No                      |
|             | Comentario                          | -          | -          | Comercio, alto generador de residuos | -                       |
| P. 13       | Cuenta con el esquema de costos     | Si         | Si         | Si                                   | Si                      |
|             | Comentario                          | Por enviar | Por enviar | Por enviar                           | Pedir por transparencia |

## ANEXO C: Dimensionamiento de tecnologías de manejo de residuos orgánicos

**Tabla 17.** Dimensionamiento de las pilas y área necesarias para compostaje, para los casos de recuperación de 84% y 50% del total.

| Compostaje                                 | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------------|----------|--------|
| Altura pila                                | 2        | m      |
| Ancho pila                                 | 3        | m      |
| Longitud pila                              | 8        | m      |
| Volumen m <sup>3</sup> de cada pila        | 24       | m3     |
| Producción de materia orgánica total (84%) | 3813481  | kg/mes |
| Producción de materia orgánica total (84%) | 10896    | m3/mes |
| Pilas                                      | 2725     | unidad |
| Área                                       | 65398    | m2     |
| Producción de materia orgánica total (50%) | 2269929  | kg/mes |
| Producción de materia orgánica total (50%) | 6486     | m3/mes |
| Pilas                                      | 1622     | unidad |
| Área                                       | 38937    | m2     |

**Tabla 18.** Dimensionamiento de las camas y área necesarias para lombricultura, para los casos de recuperación de 84% y 50% del total.

| Humus                                      | Cantidad | Unidad |
|--------------------------------------------|----------|--------|
| Altura cama                                | 0,6      | m      |
| Ancho cama                                 | 1        | M      |
| Longitud cama                              | 8        | M      |
| Volumen m <sup>3</sup> de cada cama        | 4,8      | m3     |
| Producción de materia orgánica total (84%) | 3813481  | kg/mes |
| Producción de materia orgánica total (84%) | 10896    | m3/mes |
| Lechos                                     | 13621    | Unidad |
| Área                                       | 108965   | m2     |

## ANEXO D: Ejemplo de flujos de caja realizados

**Tabla 19.** Evaluación económica del escenario “Inorgánico + Biodigestión” (Elaboración propia).

|                               | 0                  | 1                      | 2                      | 3                      | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | 11                    | 12                    | 13                    | 14                    | 15                    |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| INGRESO POR VENTA             |                    | UF<br>11.704           | UF<br>43.085           | UF<br>74.746           | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          | UF<br>94.504          |
| DESVIACIÓN DE RELLENO         |                    | UF 2.606               | UF 8.425               | UF<br>14.258           | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          | UF<br>17.869          |
| <b>INGRESO TOTAL</b>          |                    | <b>UF<br/>14.310</b>   | <b>UF<br/>51.510</b>   | <b>UF<br/>89.004</b>   | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> | <b>UF<br/>112.372</b> |
| MANEJO DE DESCARTE            |                    | -UF 284                | -UF 915                | -UF<br>1.541           | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          | -UF<br>1.912          |
| TRANSPORTE DE RESIDUOS        |                    | -UF<br>8.757           | -UF<br>8.757           | -UF<br>8.757           | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          | -UF<br>8.757          |
| <b>COSTOS VARIABLES</b>       |                    | <b>-UF<br/>9.041</b>   | <b>-UF<br/>9.672</b>   | <b>-UF<br/>10.298</b>  | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> | <b>-UF<br/>10.669</b> |
| SUELDOS                       |                    | -UF<br>4.662           | -UF<br>4.760           | -UF<br>4.760           | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>1.196          | -UF<br>2.978          | -UF<br>2.978          | -UF<br>2.978          | -UF<br>2.978          |
| OTROS                         |                    | -UF<br>9.677           | -UF<br>11.080          | -UF<br>12.484          | -UF<br>12.925         | -UF<br>12.930         | -UF<br>12.934         | -UF<br>12.939         | -UF<br>12.943         | -UF<br>12.948         | -UF<br>12.952         | -UF<br>12.957         | -UF<br>13.158         | -UF<br>13.162         | -UF<br>13.167         | -UF<br>13.172         |
| <b>COSTOS FIJOS</b>           |                    | <b>-UF<br/>14.339</b>  | <b>-UF<br/>15.840</b>  | <b>-UF<br/>17.244</b>  | <b>-UF<br/>14.121</b> | <b>-UF<br/>14.125</b> | <b>-UF<br/>14.130</b> | <b>-UF<br/>14.134</b> | <b>-UF<br/>14.139</b> | <b>-UF<br/>14.143</b> | <b>-UF<br/>14.148</b> | <b>-UF<br/>14.153</b> | <b>-UF<br/>16.136</b> | <b>-UF<br/>16.140</b> | <b>-UF<br/>16.145</b> | <b>-UF<br/>16.150</b> |
| <b>COSTOS TOTALES</b>         |                    | <b>-UF<br/>23.380</b>  | <b>-UF<br/>25.512</b>  | <b>-UF<br/>27.542</b>  | <b>-UF<br/>24.790</b> | <b>-UF<br/>24.795</b> | <b>-UF<br/>24.799</b> | <b>-UF<br/>24.804</b> | <b>-UF<br/>24.808</b> | <b>-UF<br/>24.813</b> | <b>-UF<br/>24.817</b> | <b>-UF<br/>24.822</b> | <b>-UF<br/>26.805</b> | <b>-UF<br/>26.810</b> | <b>-UF<br/>26.814</b> | <b>-UF<br/>26.819</b> |
| <b>ESTADO DE RESULTADOS</b>   |                    |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| MARGEN OPERACIONAL            |                    | -UF<br>9.070           | UF<br>25.997           | UF<br>61.462           | UF<br>87.582          | UF<br>87.578          | UF<br>87.573          | UF<br>87.569          | UF<br>87.564          | UF<br>87.560          | UF<br>87.555          | UF<br>87.550          | UF<br>85.567          | UF<br>85.563          | UF<br>85.558          | UF<br>85.554          |
| DEPRECIACION                  |                    |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| UTILIDADES ANTES DE IMPUESTOS |                    | -UF<br>9.070           | UF<br>25.997           | UF<br>61.462           | UF<br>87.582          | UF<br>87.578          | UF<br>87.573          | UF<br>87.569          | UF<br>87.564          | UF<br>87.560          | UF<br>87.555          | UF<br>87.550          | UF<br>85.567          | UF<br>85.563          | UF<br>85.558          | UF<br>85.554          |
| IMPUESTOS                     |                    |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| UTILIDADES DESPUES IMPUESTOS  |                    | -UF<br>9.070           | UF<br>25.997           | UF<br>61.462           | UF<br>87.582          | UF<br>87.578          | UF<br>87.573          | UF<br>87.569          | UF<br>87.564          | UF<br>87.560          | UF<br>87.555          | UF<br>87.550          | UF<br>85.567          | UF<br>85.563          | UF<br>85.558          | UF<br>85.554          |
| DEPRECIACION                  |                    |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| CAPITAL DE TRABAJO            | -UF 36.685         |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| INVERSION INICIAL             | -UF 149.337        |                        |                        |                        |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| INVERSION DIFERIDA            |                    | -UF<br>9.231           | -UF<br>12.429          | -UF<br>12.429          | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  | UF 0                  |
| <b>FLUJO NETO</b>             | <b>-UF 186.022</b> | <b>-UF<br/>18.301</b>  | <b>UF<br/>13.569</b>   | <b>UF<br/>49.033</b>   | <b>UF<br/>87.582</b>  | <b>UF<br/>87.578</b>  | <b>UF<br/>87.573</b>  | <b>UF<br/>87.569</b>  | <b>UF<br/>87.564</b>  | <b>UF<br/>87.560</b>  | <b>UF<br/>87.555</b>  | <b>UF<br/>87.550</b>  | <b>UF<br/>85.567</b>  | <b>UF<br/>85.563</b>  | <b>UF<br/>85.558</b>  | <b>UF<br/>85.554</b>  |
| <b>FLUJO ACUMULADO</b>        | <b>-UF 186.022</b> | <b>-UF<br/>204.323</b> | <b>-UF<br/>190.755</b> | <b>-UF<br/>141.722</b> | <b>-UF<br/>54.139</b> | <b>UF<br/>33.438</b>  | <b>UF<br/>121.012</b> | <b>UF<br/>208.580</b> | <b>UF<br/>296.145</b> | <b>UF<br/>383.704</b> | <b>UF<br/>471.259</b> | <b>UF<br/>558.810</b> | <b>UF<br/>644.377</b> | <b>UF<br/>729.940</b> | <b>UF<br/>815.498</b> | <b>UF<br/>901.051</b> |