



METODOLOGÍA DE FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES

División de Evaluación Social de Inversiones

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| MARCO CONCEPTUAL | 4 |
| Los residuos | 4 |
| Las etapas de gestión de residuos | 5 |
| Las tipologías de valorización de residuos | 8 |
| Las etapas de formulación del proyecto | 11 |
| IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL | 12 |
| Identificación del problema | 12 |
| Diagnóstico de la situación actual | 12 |
| IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS | 27 |
| Optimización de la situación base | 27 |
| Alternativas de solución | 29 |
| EVALUACIÓN DEL PROYECTO | 42 |
| Identificación de beneficios | 42 |
| Cuantificación y valoración de beneficios | 45 |
| Identificación, cuantificación y valoración de los costos | 54 |
| Flujo de beneficios netos | 55 |
| Análisis de rentabilidad | 56 |
| Análisis de riesgo | 62 |
| CONSIDERACIONES FINALES | 65 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |
| ANEXO N°1 - INSTITUCIONALIDAD VIGENTE | 68 |

NOTA: Éste es un documento de trabajo en proceso de validación formal dentro del Sistema Nacional de Inversiones (SNI). Como tal, la aplicación de la metodología planteada no es aún exigible en el desarrollo de proyectos de valorización como los que se señalan, pero sí representa una oportunidad para testear la utilidad del enfoque propuesto. Se espera por tanto que este documento no sea distribuido con fines distintos a los mencionados hasta que haya culminado el proceso de ajuste y calibración de éste, y su posterior publicación formal en las normas y procedimientos del sector correspondiente..

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los proyectos para el manejo de residuos municipales (RM) han estado centrados en la correcta disposición en rellenos sanitarios adecuados, normalización de vertederos y planes de cierre. Sin embargo, con el establecimiento de la Política Nacional de Residuos (<http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-15487.html>) se observa un interés creciente por alinearse con la jerarquía que el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) establece en términos del manejo de los residuos a nivel nacional. Ésta promueve la *prevención* en la generación de residuos y la *valorización* y *eliminación*, tal como se muestra en la Figura N°1.

Figura N°1 – Pirámide jerárquica de gestión de residuos



Fuente: Política Nacional de Residuos, MMA.

Jerarquías de la política nacional de residuos

- 1. Prevención:** Conjunto de medidas adoptadas en la fase de concepción y diseño, de producción, de distribución y de consumo de una sustancia u objeto para reducir (i) la cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de su vida útil, (ii) los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana de los residuos generados, incluyendo el ahorro en el uso de materiales o energía o (iii) el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.
- 2. Valorización:** Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos, sin poner en riesgo el medio ambiente. Se asocia a las acciones de: i) *reutilización*: acción mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos; ii) *reciclaje*: empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo distinto del que lo generó, incluyendo el co-procesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética; iii)

valorización energética: empleo de un residuo como combustible en un proceso productivo.

- 3. Eliminación:** Acciones que tienen por objeto disponer en forma definitiva los residuos o la destrucción total o parcial de los mismos en lugares autorizados.

Es en este contexto es que se desarrolla esta guía metodológica para la formulación y evaluación social de proyectos que estén de acuerdo a la segunda escala jerárquica y, en particular, que incorporen las acciones de reciclaje y valorización energética de los residuos. La reutilización no es analizada en detalle a lo largo de este documento pues no se desarrollan proyectos de infraestructura vinculados con esta acción.

En lo que sigue del documento, se desarrolla la metodología para la formulación y evaluación de proyectos de valorización con un enfoque costo - beneficio. Las secciones de este documento son complementadas con ejemplos correspondientes a un caso ficticio y simplificado. Éstos se van desarrollando de forma secuencial, por lo que se recomienda revisarlos ordenadamente de acuerdo a la misma estructura que la metodología propone.

MARCO CONCEPTUAL

I. LOS RESIDUOS

Los **residuos** son sustancias u objetos que están destinados a ser valorizados o eliminados, por disposiciones de la legislación nacional (el Anexo N°1 resume los actores de la institucionalidad vigente). De acuerdo a su origen se clasifican en:

- **Residuos domiciliarios (RD):** corresponde a aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de actividades domésticas.
- **Residuos asimilables (RDA):** corresponde a aquellos residuos que por su cantidad, naturaleza y/o composición, son similares a los residuos domiciliarios.
- **Residuos municipales (RM)¹:** corresponde a aquellos residuos generados a nivel domiciliario y asimilables, más los residuos de parques y jardines, comercio, obras menores de construcción y demolición, ferias libres, pequeñas industrias, oficinas, colegios, hospitales y barrido de calles, escombros, voluminosos, artículos electrónicos y no electrónicos, restos de ramas y podas y basureros, entre otros.

De igual forma, los residuos pueden ser clasificados por tipo, de acuerdo a la siguiente clasificación:

- **Residuos peligrosos:** corresponde a aquellos residuos o mezcla de residuos que representan riesgo para la salud de las personas y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto y como consecuencia de sus características de peligrosidad indicadas en el artículo 6° del Reglamento Sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.
- **Residuos no peligrosos:** corresponde a aquellos residuos que no reviste las características de un residuo peligroso².
- **Residuos inertes:** corresponde a aquellos residuos no peligrosos o mezcla de residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; no son solubles ni combustibles; no son biodegradables y no afectan negativamente otras materias con las cuales puedan entra en contacto.

¹ En la “Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos y asimilables”, Ministerio de Desarrollo Social (2013), éste concepto está representado por la suma entre “residuos sólidos domiciliarios” y “residuos sólidos asimilables”. Para los efectos de esta metodología, se utiliza el concepto de “residuos municipales” para hacer referencia a todos aquellos que son de gestión municipal.

² Notar que también existen residuos no peligrosos altamente contaminantes cuyo tratamiento debe considerar las disposiciones que se describen en el Decreto Supremo N°95 de 2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Para efectos de esta metodología, se ha incorporado una clasificación adicional para los residuos, útil en el marco del desarrollo de proyectos de valorización y que corresponde a la siguiente:

- **Residuos con potencial de valorización (RV):** corresponde a aquellos que tienen un valor económico y que pueden ser sometidos a un proceso de *Reciclaje* o *Valorización Energética*. En el primer caso, puede referirse a **residuos reciclables (RR)** y en el segundo, a **residuos valorizables energéticamente (RVE)**.

II. LAS ETAPAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Los proyectos de valorización son desarrollados en consideración de un proceso de gestión por el que pasan todos los residuos, el cual es definido en 3 etapas principales, que culmina en la valorización o eliminación de éstos según corresponda (Figura N°2).

Figura N°2 – Proceso de gestión de los residuos



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describen las etapas del proceso de gestión:

1. Recolección: corresponde a la operación de recoger residuos, incluido su acopio inicial, con el objeto de transportarlos a una instalación intermedia, de valorización o de eliminación. Esto puede ser, de acuerdo a lo indicado en la ordenanza municipal, puerta a puerta en contenedores unifamiliares o en contenedores que dan servicio a múltiples generadores. El sistema de recolección de los residuos es definido en función de la forma como éstos son acumulados por los generadores y se clasifica de acuerdo a lo siguiente:

- **Recolección no diferenciada:** La recolección se realiza sin distinguir por tipo de residuo. Este tipo de recolección mixta exige algún tipo de clasificación posterior para el aprovechamiento de los materiales valorizables. Puede ser mecánica o manual.
- **Recolección diferenciada o selectiva:** se recogen los residuos separados en origen, con el objeto de transportarlos a una instalación intermedia, de valorización o de eliminación. Es también conocida como la recolección “casa a casa”. La separación de residuos en origen consiste en la acumulación de residuos en contenedores individuales o colectivos distinguiendo por los componentes principales de éstos.

2. Transporte: La etapa de transporte es de completa responsabilidad municipal y corresponde al traslado de los residuos recolectados hasta una instalación de valorización o de eliminación según corresponda.

3. Tratamiento: En esta etapa se define si el residuo será eliminado o valorizado.

En el proceso de gestión de los residuos participan diversos actores que pueden formar parte de una o más tareas de recolección, transporte y tratamiento. Los más relevantes son:

- **Generador:** Persona física o jurídica cuyas actividades generan residuos, o cualquier persona que efectúe operaciones de pre-tratamiento.
- **Reciclador de base:** Persona natural o jurídica, que, previa autorización, realice cualquiera de las operaciones que componen el manejo de residuos, sea o no el generador de los mismos, que se dedica a realizar actividades de recolección selectiva y/o gestión de centros de acopio.
- **Municipalidad:** Organización a cargo de la administración local de la comuna donde se desarrolla el proyecto de valorización.
- **Productores:** Son las firmas que utilizan en sus procesos productivos los residuos valorizados.

Por ejemplo, en un municipio donde se practica la recolección diferenciada, todos los anteriores podrían participar de esta etapa de gestión del residuo considerando que i) la Municipalidad hace recolección mixta de los residuos casa a casa; ii) los recolectores de base retiran parte de los residuos con potencial de valorización de los hogares, comercio y otros con el objeto de venderlos posteriormente en el mercado y iii) los generadores retiran otra parte de los residuos con potencial de valorización de sus casas y los depositan en contenedores en lugares públicos.

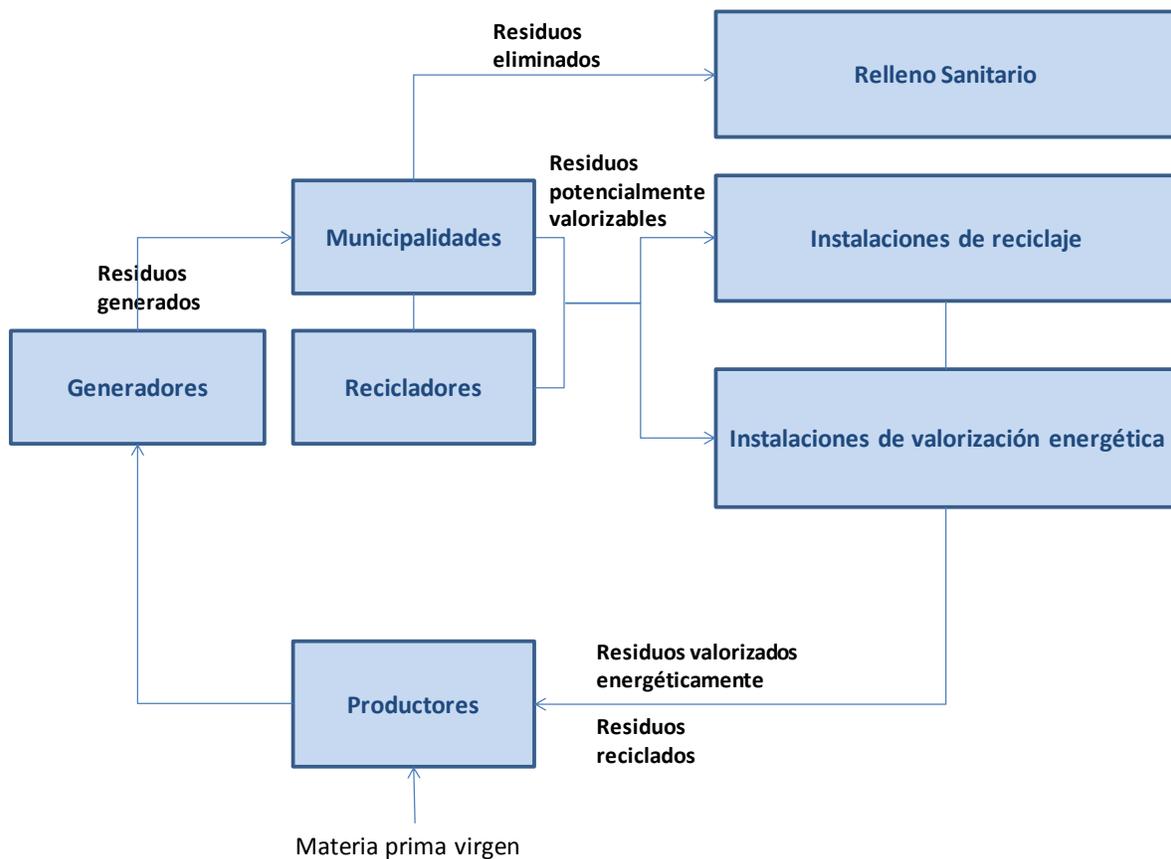
Los proyectos de valorización de residuos surgen como una alternativa a la eliminación de éstos mediante su disposición en rellenos sanitarios de acuerdo al Reglamento N°189 (que aprueba las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en rellenos sanitarios). Las instalaciones asociadas a los proyectos pueden clasificarse de acuerdo a lo siguiente:

- **Instalaciones de reutilización:** Instalaciones donde se lleva a cabo la reutilización. Producto de la naturaleza misma de la acción de reutilización, no se desarrollan proyectos de reutilización de residuos que requieran el uso de infraestructura.
- **Instalaciones de reciclaje:** Instalaciones donde se tratan los residuos reciclables. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas.
- **Instalaciones de valorización energética:** Instalaciones donde se tratan los residuos valorizables energéticamente. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas.

- **Instalaciones intermedias:** Instalaciones donde los residuos son acumulados temporalmente y posteriormente transbordados a camiones de mayor capacidad para ser transportados al lugar donde serán tratados (relleno sanitario, instalación de reciclaje o instalación de valorización energética según corresponda). Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas. En estas instalaciones pueden realizarse actividades de pre-tratamiento de los residuos como clasificación y separación mecanizada o compactación.

Los actores y procesos indicados anteriormente quedan representados en el esquema de la Figura N°3.

Figura N°3 – Actores e instalaciones asociadas a la gestión de residuos



Fuente: Elaboración propia.

Las instalaciones intermedias

De acuerdo a Ministerio del Interior (2008) los residuos pueden ser llevados a una instalación intermedia con dos finalidades:

- Aumentar la densidad de los residuos, haciendo más eficiente la capacidad de transporte de los vehículos de transferencia.
- Aprovechar la operación de traslado para hacer selección de residuos, extrayendo aquellos con potencial de valorización.

El mismo documento señala que los tipos de procesamiento más utilizados en este tipo de instalaciones son:

- i) Compactación: usando compactadores estacionarios por equipos montados en el vehículo de transferencia, se compactan los residuos.
- ii) Trituración: se utilizan molinos especiales que reducen el volumen de los residuos, facilitan su transporte y hacen más fácil la disposición de residuos en los rellenos sanitarios.
- iii) Enfardamiento: los residuos son compactados en bloques y se colocan cintas para mantenerlos en estructuras de fácil transporte. Se utilizan vehículos con carrocería de tipo plataforma.
- iv) Selección de materiales: se separan los materiales que no pueden ser aprovechados de los residuos con potencial de valorización.

III. LAS TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Los tipos de proyectos que esta metodología considera son aquellos que caben en la categoría de *valorización* de la pirámide de jerarquización del MMA. Son también relevantes para el análisis los proyectos de eliminación, aunque el detalle respecto a la formulación y evaluación social de los mismos es abordado en la Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, Ministerio de Desarrollo Social (2013).

Dado que existe un gran número de tecnologías que permiten valorizar los residuos, es complejo plantear un estándar de proyecto de reciclaje o de valorización energética, ya que distintas combinaciones de tecnologías pueden dar origen a proyectos de valorización distintos. Aún así, es posible definir una serie de proyectos “tipo” según el uso que se le de al residuo y las acciones principales que se realice con éstos. Algunos ejemplos son indicados en el Cuadro N°1 y desarrollados en mayor detalle a continuación.

Cuadro N°1- Algunos tipos de proyectos de valorización

| Tipo de instalación | Proyecto tipo |
|--------------------------|---------------------------|
| Reciclaje | Planta de compostaje |
| Valorización energética | Planta de incineración |
| Intermedia (acumulación) | Punto verde |
| | Punto limpio |
| | Centro de acopio |
| | Estación de transferencia |

Fuente: Elaboración propia

a) Planta de compostaje

Es una instalación de valorización donde los residuos orgánicos son reciclados y transformados en compost, un producto que permite mejorar el suelo. Esta técnica puede practicarse tanto con maquinaria especializada y equipos mecanizados como de forma manual, dependiendo del volumen de residuos a tratar (Figura N°4).

b) Planta de incineración

Es una instalación de valorización energética donde se incineran controladamente los residuos a altas temperaturas, permitiendo una reducción de su volumen hasta en un 95%. Se emplean sistemas de filtro para la combustión producto de los subproductos contaminantes que de ésta se generan. Una de las tecnologías más modernas consiste en un incinerador rotatorio en el cual se vacían los residuos dentro de una cámara cilíndrica hasta ser convertidos en agua y cenizas por efecto del calor. En estas plantas también puede generarse energía eléctrica según el poder calorífico de los desechos que se traten.

Figura N°4- Planta de compostaje



c) Punto verde

Es una instalación de tamaño reducido, que cuenta con contenedores en lugares con acceso público (plazas, supermercados, iglesias, condominios), para la entrega de residuos separados por parte de la ciudadanía, esquema conocido como *sistema de entrega*. No se realiza pre-tratamiento (Figura N°5).

Figura N°5 – Punto Verde



d) Punto limpio

Es una instalación de mayor tamaño, que cuenta con un espacio físico para contenedores, donde se reciben y acumulan selectivamente residuos entregados por los ciudadanos, para su posterior valorización. En este tipo de lugares se puede realizar pre-tratamiento, además de contar con espacio para educación ambiental (Figura N°6).

Figura N°6 – Punto Limpio



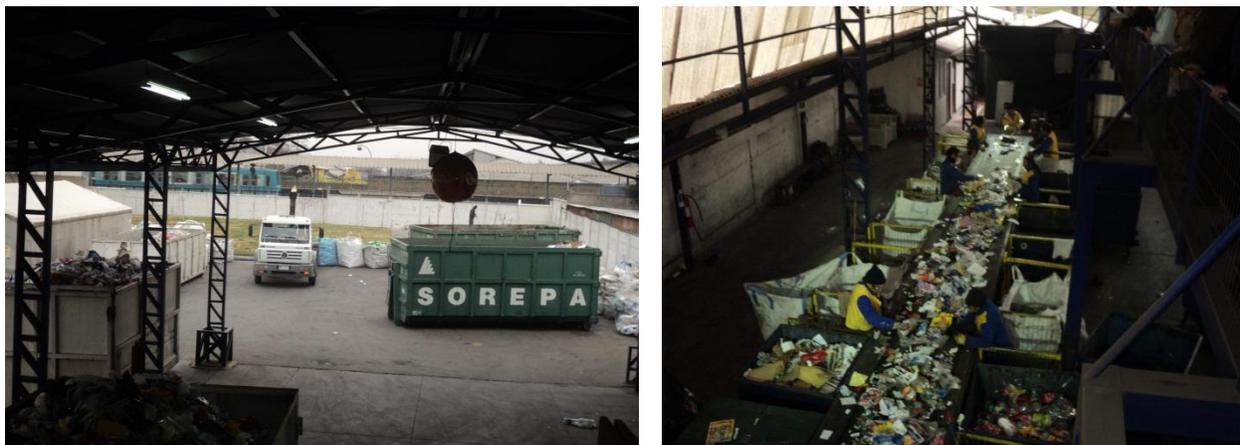
e) Planta de transferencia

Es una instalación donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, desde los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final.

f) Centro de acopio

Es una instalación intermedia, de tamaño medio, de almacenamiento temporal de los residuos donde se reciben y acumulan residuos en forma selectiva, provenientes directamente de los hogares o de puntos verdes y punto limpios, con o sin pre-tratamiento, para su posterior valorización (Figura N°7).

Figura N°7 – Centro de acopio



IV. LAS ETAPAS DE FORMULACIÓN DEL PROYECTO

El proceso de *formulación y evaluación* de un proyecto de valorización de residuos, como los presentados anteriormente, debe respetar las siguientes etapas:

1. Identificación del problema y diagnóstico de la situación actual
2. Identificación de alternativas
3. Evaluación del proyecto

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

I. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Previo al desarrollo de la idea de proyecto, debe identificarse el problema que da origen a ésta, formulándose como un estado negativo que afecta a una determinada población, y no como la falta de una solución. El foco debe estar puesto sobre el problema principal, estableciendo las causas que lo originan y los efectos que produce. Alternativamente, la idea de proyecto puede plantearse a partir de una oportunidad identificada de mejor aprovechamiento de recursos o atención de una demanda insatisfecha.

El formulador del proyecto debe preguntarse: ¿Qué problema se desea resolver? , o bien, ¿Qué oportunidad se desea aprovechar? La correcta identificación y definición del problema u oportunidad es de crucial importancia, ya que una errónea definición del proyecto conducirá a una evaluación equívoca; por el contrario, una correcta definición del proyecto facilitará y posibilitará una correcta y precisa evaluación. En ese sentido, el planteamiento de proyectos de valorización de residuos puede referirse a dos elementos principales:

- i. Problema de altos costos de disposición vigentes en rellenos sanitarios y las externalidades negativas que éstos generan en la salud de las personas y el medio ambiente (proliferación de vectores, emisión de gases de efecto invernadero GEI, contaminación por lixiviados generados, escasez de materias primas).
- ii. Oportunidad de utilización de materias primas con valor económico (este valor se pierde al eliminar los residuos en rellenos y se vuelve solo un costo).

II. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El diagnóstico debe reunir la mayor cantidad de información disponible, analizando todas las variables que permiten identificar, describir, explicar y dimensionar el problema u oportunidad detectada, caracterizando así la situación actual a la que se quiere dar solución.

Una vez recopilada la información, se debe analizar en forma crítica, con el propósito de calificar el uso que se le dará durante el desarrollo de la idea de proyecto y determinar con precisión aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y generar. Esto último, se debe llevar a cabo cuando la calidad de la información recopilada no es adecuada para la finalidad que persigue el proyecto o simplemente ésta es inexistente. Dentro del conjunto relevante de antecedentes del diagnóstico, es esencial el análisis de los ámbitos que se describen a continuación.

a) Identificación del área de estudio y área de influencia

La identificación del área de estudio debe presentar todos los antecedentes relevantes que permitan una correcta descripción del área de estudio, entendida como aquella zona geográfica que da contexto al problema; y el área de influencia como aquella que determina el límite en el cual el proyecto podría constituir una solución real al problema detectado.

- Tipo de zona (urbana/rural)
- Extensión de la superficie
- Aspectos físicos de la zona de estudio: ubicación geográfica, clima (temperatura, precipitaciones, humedad), geomorfología, topografía.
- Principales actividades económicas.
- Análisis de los aspectos socio-económicos: Caracterización socio-económica (clasificación del nivel socio-económico de la población); número y estructura de la población (cuantificación y clasificación de la población objetivo según las características de edad y sexo) .
- Aspectos culturales y sociales.
- Institucionalidad y administración sectorial y/o local.
- Sistema de transporte vigente (vialidad y conectividad dentro de la comuna y entre comunas).

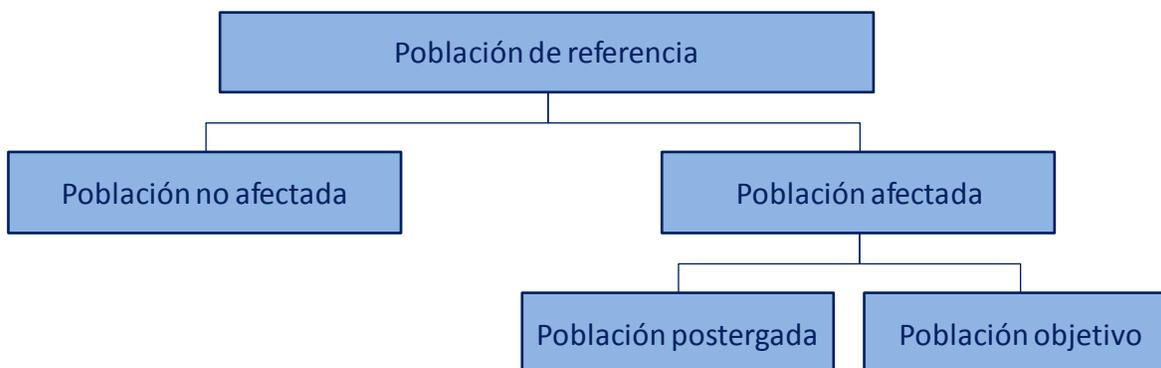
b) Identificación de la población objetivo

Se debe señalar cuál será la población objetivo a la que apunta el proyecto, que puede corresponder al total de la población potencial o afectada por el problema u oportunidad, o bien a un subgrupo de ésta. En la Figura N°8 se muestra un ejemplo de segmentación de la población de una comuna determinada, mientras que la definición de los conceptos se lista a continuación:

- Población de referencia: corresponde a la población relevante total del área de influencia. Se determina a partir de información del CENSO más reciente, estadísticas municipales u otros.
- Población afectada: población actual o potencial afectada por el problema. Se puede determinar a partir de encuestas como la CASEN, estudios relacionados al problema bajo análisis, recopilación de información en terreno, etc.
- Población no afectada: población actual o potencial no afectada por el problema
- Población objetivo: es aquella directamente beneficiada por el proyecto

- Población postergada: corresponde a la parte de la población afectada cuyo problema no es resuelto con el proyecto (por restricciones presupuestarias u otro).

Figura N°8- Segmentación de la población



Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, si la oportunidad identificada estuviese relacionada con la venta esperada de botellas plásticas que se generan en una comuna (actualmente eliminadas) deberá plantearse como:

- Población de referencia: total de la población residente en la comuna.
- Población no afectada: viviendas generadoras de botellas plásticas que son actualmente separadas y vendidas como material reciclado.
- Población afectada: viviendas generadoras de botellas plásticas que son dispuestas en rellenos sanitarios.
- Población postergada: viviendas rurales generadoras de botellas plásticas que no serán cubiertas por el proyecto de valorización que se plantee.
- Población objetivo: viviendas urbanas generadoras de botellas plásticas que serán cubiertas por el proyecto de valorización.

c) **Demanda actual y proyectada**

Corresponde al requerimiento que realiza la población afectada (bienes o servicios, por unidad de tiempo) para satisfacer una necesidad. El análisis de demanda actual deberá indicar la población potencial beneficiaria del proyecto. Así, deberá realizarse un estudio de demanda que incluya los siguientes análisis:

- Paso 1: Determinación de la cantidad actual de residuos generados.
- Paso 2: Proyección de la cantidad de residuos generados.
- Paso 3: Determinación de la cantidad actual de residuos valorizables.
- Paso 4: Proyección de la cantidad de residuos valorizables.

i. Paso 1: Determinación de la cantidad actual de residuos generados³

La cantidad actual de residuos generados es estimada fundamentalmente en función del número de viviendas generadoras de residuos residenciales, así como el número y tamaño de establecimientos comerciales e industriales que generan residuos asimilables a domiciliarios y la superficie de parques, jardines y áreas verdes en general.

La cantidad y tipo de residuos generados variará considerablemente en función de una serie de variables determinantes:

- a) Tipo de consumo: puede ser de tipo residencial, comercial e industrial.
- b) Nivel socioeconómico: en general se observa que a mayor ingreso, mayor es la tasa de producción de residuos per cápita.
- c) Estacionalidad: la cantidad de residuos generados varía de acuerdo a la estación del año. Así por ejemplo, la generación de residuos en balnearios aumenta considerablemente en los meses de verano.

Para determinar la cantidad de residuos generados en una comuna pueden emplearse antecedentes de depósito en rellenos sanitarios, información de levantamientos en terreno, estudios, etc. Los métodos más sencillos se explican en lo que sigue.

- a. Estimación a partir de registros de toneladas depositadas en relleno sanitario

Se requiere recolectar información histórica de volúmenes o toneladas depositadas en el relleno sanitario actualmente utilizado. Ésta puede encontrarse en registros del operador del relleno sanitario y también del municipio interesado. La producción global de residuos per-cápita se obtiene de acuerdo a lo siguiente:

$$PPC \left(\frac{kg}{\text{persona}} \right) = \frac{TAD \left(\frac{ton}{\text{año}} \right) * 1.000 \left(\frac{kg}{ton} \right)}{P(\text{personas}) * 365 \left(\frac{días}{\text{año}} \right)}$$

Donde:

PPC es la producción per cápita de residuos⁴;

TAD es el total de toneladas anuales dispuestas en el relleno sanitario existente⁵;

P es la población total atendida por el servicio de recolección y disposición final.

³ Sección elaborada en base a Mideplan (2009)

⁴ Incluye todos los tipos de residuos depositados en relleno. Es decir, no sólo considera los RD y RDA, sino también residuos del aseo público; residuos vegetales, de mantenimiento de áreas verdes y poda de árboles; materiales voluminosos; residuos comerciales.

⁵ Para determinar esta variable correctamente se debe llevar un registro detallado sobre el pesaje de los vehículos de transporte de residuos que ingresan al relleno sanitario.

Si se desconoce el verdadero valor de TAD , es posible hacer una estimación de éste a partir de lo siguiente:

$$TAD \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = \frac{VAD(\text{m}^3)}{D \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right)}$$

Donde:

VAD es el volumen anual depositado en el relleno sanitario;

D es la densidad de los residuos ingresados al relleno sanitario.

Ejemplo

Se tienen los datos correspondientes a la disposición en relleno de una comuna, además de la población total de ésta, para los años 2006-2011. Se supone que el 100% de la población es atendida por el servicio de recolección y disposición final.

Se determina la producción de residuos per cápita siguiendo los cálculos que se muestran en el Cuadro N°E1.

Cuadro N°E1 - Determinación de la producción per cápita de residuos

| Año | TAD | Población | P | PPC |
|------|--------|-----------|--------|------|
| 2006 | 41.541 | 97.905 | 97.905 | 1,16 |
| 2007 | 48.894 | 97.553 | 97.553 | 1,37 |
| 2008 | 48.881 | 97.229 | 97.229 | 1,38 |
| 2009 | 46.637 | 96.888 | 96.888 | 1,32 |
| 2010 | 43.726 | 96.551 | 96.551 | 1,24 |
| 2011 | 45.758 | 96.232 | 96.232 | 1,30 |

Fuente: Elaboración propia

El último período de registro, año 2011, representa la situación actual de PPC correspondiente a 1,3 kilogramos de residuos producidos diariamente por persona en la comuna, y se calcula como sigue:

$$PPC_{2011} = \frac{45.758 * 1.000}{96.223 * 365} = 1,3 \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona}} \right)$$

Notar que si éste índice fuese muy distinto a los correspondientes a años anteriores producto de alguna situación especial que se haya materializado en ese período, podrán promediarse PPC de años anteriores para obtener una tasa de producción representativa de la comuna.

b. Estimación a partir del proceso de recolección

Se requiere recolectar información del proceso de recolección para estimar la producción per cápita de residuos de acuerdo a lo siguiente:

$$PPC \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona}} \right) = \frac{\sum_{t=1}^T V_t \left(\frac{\text{viajes}}{\text{semana}} \right) * C_t \left(\frac{\text{M}^3}{\text{viaje}} \right) * D_t \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) * O_t * 1.000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right)}{P(\text{personas}) * 7 \left(\frac{\text{días}}{\text{semana}} \right)}$$

Donde:

PPC_{RD} es la producción per cápita de residuos⁶;

V_t es el número de viajes a la semana que realizan los camiones recolectores tipo t al sitio de disposición final (o instalación intermedia);

C_t es la capacidad volumétrica de cada camión recolector t ;

O_t es el porcentaje promedio semanal de uso efectivo de la capacidad para cada tipo de camión t ;

D_t es la densidad de compactación del camión recolector tipo t . Algunos valores de referencia para esta variable se señalan en el Cuadro N°2.

Cuadro N°2 – Valores de referencia para la densidad de compactación

| Tipo de vehículo | Rango densidad (ton/m3) |
|--|-------------------------|
| Camión con caja compactadora | 0,5-0,65 |
| Camión con residuos acomodados y compactados por peso propio | 0,3-0,35 |
| Camión con residuos sin acomodar y compactados por peso propio | 0,25-0,3 |

Fuente: SIGA (2001). “Proyecto implementación relleno sanitario intercomunal – VII Región”.

ii. Paso 2: Proyección de la cantidad de residuos generados

El análisis de demanda proyectada requiere estimar lo que se espera sucederá a futuro con la población potencial beneficiaria del proyecto. Para esto debe considerarse tanto el crecimiento esperado de la población, como el crecimiento esperado en el uso de la infraestructura provista. Lo primero debe ser analizado a partir de los datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), complementadas con información comunal sobre desarrollos urbanos futuros. Lo segundo, requerirá el uso de estudios más específicos que permitan hacer proyecciones fundamentadas sobre: i) Variación del ingreso de la población, ii) Variación en la cobertura de recolección de RSD; iii) Efecto de campañas de educación ambiental o de separación en origen. Se recomienda recoger el primer aspecto mediante la aplicación de tasas de crecimiento en la generación de residuos por estrato socioeconómico de acuerdo al Cuadro N°3.

⁶ Considera sólo residuos domiciliarios correspondientes a viviendas atendidas por el servicio de recolección (RD y RDA). Por tanto, es necesario incorporar antecedentes adicionales sobre poda de árboles y ferias libres si éstos fuesen relevantes para el proyecto de valorización que se plantea, y sólo en el caso de que la recolección de estos residuos estuviesen concesionados a un agente distinto al que se hace cargo de la recolección domiciliaria.

Cuadro N°3 – Tasa de crecimiento generación per cápita de RSD

| Estrato socioeconómico (ES) | Generación (kg/hab/día) | Rango tasa de crecimiento media anual | Tasa de crecimiento media anual sugerida (g) |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Nivel Alto (A) | 1,38 | 0-1% | 0,5% |
| Nivel Medio (M) | 1,05 | 1-2,5% | 1,8% |
| Nivel Bajo (B) | 0,88 | 2,5-4,5% | 3,5% |

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social (2013). Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables

Así, deberá aplicarse la tasa de crecimiento de la *PPC* en concordancia con la estratificación socioeconómica que mejor represente a la comuna (Cuadro N°4). Si se estima que existe una marcada diferenciación socioeconómica en la comuna, deberán emplearse las tasas sugeridas ponderando por los porcentajes de población correspondientes a cada nivel socioeconómico. Podrán también emplearse tasas de crecimiento diferenciadas en el tiempo siempre que dichas consideraciones sean debidamente fundamentadas (proyección no lineal). De ser éste el caso, la producción per cápita de residuos se calcularía como:

$$PPC_t^{ES} = PPC_{t-1}^{ES}(1 + g_{ES})$$

Donde:

PPC_t^{ES} es la producción per cápita de residuos correspondiente al estrato socioeconómico *ES* para el año *t*

g_{ES} es la tasa de crecimiento media anual sugerida en el Cuadro N°4 para el estrato socioeconómico *ES*

Podrán utilizarse valores distintos a los recomendados en los Cuadros N°3 y N°4 siempre que se cuente con estudios específicos para la zona de análisis.

Cuadro N°4 – Clasificación socioeconómica de las comunas

| Estrato socioeconómico (ES) | Nivel de Ingreso (I) |
|-----------------------------|---------------------------|
| Nivel Alto (A) | I > 1.000.000 |
| Nivel Medio (M) | \$400.000 < I < \$700.000 |
| Nivel Bajo (B) | I < \$400.000 |

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social (2013). Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

Luego, el total de residuos generados por año se proyecta de acuerdo a lo siguiente:

$$TAD_t^{ES} = [PPC_t^{ES} * f^{ES} * P_t]$$

Donde:

TAD_t^{ES} es el total de toneladas de residuos generadas en el año t por el estrato socioeconómico ES ;

PPC_t^{ES} es la producción per cápita de residuos en el año t por el estrato socioeconómico ES ;

f^{ES} es la proporción del estrato socioeconómico ES que forma parte de la población en el año base;

P_t es la población total atendida por el servicio de recolección y disposición final en al año t .

Ejemplo

Se proyecta la generación de residuos desde el año 2012 al año 2025 considerando la PPC del año 2011, así como la composición socioeconómica de la comuna del mismo año. Se utiliza la población proyectada según INE u otro. Los cálculos correspondientes se muestran en los Cuadros N°E2 y N°E3.

Cuadro N°E2 – Composición socioeconómica de la comuna

| Año | Proporción estratos socioeconómicos (f) | | |
|-------------|---|------------|-----------|
| | A | M | B |
| 2006 | 33% | 45% | 22% |
| 2007 | 33% | 50% | 17% |
| 2008 | 32% | 52% | 16% |
| 2009 | 33% | 56% | 11% |
| 2010 | 34% | 60% | 6% |
| 2011 | 36% | 61% | 3% |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E3 – Proyección de la cantidad de residuos generados por estrato socioeconómico

| Año | Población | PPC | | | TAD | | | TAD |
|------|-----------|------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| | | A | M | B | A | M | B | |
| 2012 | 95.516 | 1,31 | 1,33 | 1,35 | 16.432 | 28.203 | 1.410 | 46.046 |
| 2013 | 94.802 | 1,32 | 1,35 | 1,40 | 16.391 | 28.496 | 1.449 | 46.336 |
| 2014 | 94.037 | 1,32 | 1,37 | 1,44 | 16.340 | 28.775 | 1.487 | 46.602 |
| 2014 | 93.306 | 1,33 | 1,40 | 1,49 | 16.294 | 29.066 | 1.527 | 46.887 |
| 2015 | 92.576 | 1,34 | 1,42 | 1,55 | 16.247 | 29.357 | 1.568 | 47.173 |
| 2016 | 91.508 | 1,34 | 1,45 | 1,60 | 16.140 | 29.541 | 1.605 | 47.286 |
| 2017 | 90.513 | 1,35 | 1,48 | 1,66 | 16.044 | 29.746 | 1.643 | 47.433 |
| 2018 | 89.417 | 1,36 | 1,50 | 1,72 | 15.929 | 29.914 | 1.680 | 47.523 |
| 2019 | 88.259 | 1,36 | 1,53 | 1,78 | 15.802 | 30.058 | 1.716 | 47.576 |
| 2020 | 87.197 | 1,37 | 1,56 | 1,84 | 15.690 | 30.231 | 1.755 | 47.675 |
| 2021 | 85.528 | 1,38 | 1,59 | 1,90 | 15.466 | 30.186 | 1.781 | 47.434 |
| 2022 | 84.049 | 1,38 | 1,61 | 1,97 | 15.275 | 30.198 | 1.812 | 47.285 |
| 2023 | 82.482 | 1,39 | 1,64 | 2,04 | 15.065 | 30.169 | 1.840 | 47.074 |
| 2024 | 80.826 | 1,40 | 1,67 | 2,11 | 14.836 | 30.095 | 1.866 | 46.798 |
| 2025 | 79.081 | 1,40 | 1,70 | 2,18 | 14.589 | 29.975 | 1.890 | 46.454 |

Fuente: Elaboración propia

Para cada año se construye un indicador *PPC* que distingue por estrato socioeconómico y que considera las tasas de crecimiento recomendadas.

Así, las *PPC* correspondientes a los años 2012 y 2013, estrato medio, se obtienen como sigue:

$$PPC_{2012}^M = 1,30 * (1 + 1,8\%) = 1,33 \left(\text{kg} / \frac{\text{persona}}{\text{día}} \right)$$

$$PPC_{2013}^M = PPC_{2012}^M * (1 + 1,8\%) = 1,35 \left(\text{kg} / \frac{\text{persona}}{\text{día}} \right)$$

También se obtiene una proyección del total de residuos generados por año que distingue por estrato socioeconómico, considerando la población proyectada y *PPC* calculada.

Las *TAD* correspondientes a los años 2012 y 2013, estrato medio, se obtienen como sigue:

$$TAD_{2012}^M = [1,31 * 36\% * 95.516] * \frac{365}{1000} = 46.046 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

$$TAD_{2013}^M = [1,32 * 36\% * 94.802] * \frac{365}{1000} = 46.336 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

iii. Paso 3: Determinación de la cantidad actual de residuos valorizables

En esta etapa debe desarrollarse la estimación a partir de un estudio de caracterización. El documento Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Ministerio de Medio Ambiente (2012) señala que “los estudios de caracterización corresponden a un conjunto de acciones que se desarrollan en base a una metodología de recolección de datos para determinar la composición y propiedades de los residuos sólidos municipales en una determinada localidad, en un tiempo determinado y se basan en el análisis físico de una cantidad determinada de residuo”. De acuerdo a este documento, los estudios de caracterización deben considerar al menos tres factores clave en la determinación de la composición de los residuos:

- i. Factores sociales: referido al nivel socioeconómico de la población que incide en la cantidad y tipo de residuos generados.
- ii. Factores estacionales: referido a la variación en la cantidad y calidad de los residuos generados a través del año (cambio en hábitos de consumo de acuerdo a la estación del año, épocas de vacaciones, etc.).
- iii. Otros factores: festividades, megaeventos y otros que alteren el patrón regular de generación de residuos en un momento dado.

El estudio de caracterización debe ser realizado de forma tal que se logre determinar qué fracción de las muestras de residuos recogidas corresponde a papel, cartón, plásticos, metales, vidrio, inertes, tetra pack, orgánicos u otros, y estimar así la cantidad de residuos por tipo que se generan en la comuna:

$$TAD_t^j = k_j * TAD_t$$

Donde:

TAD_t^j es el total de toneladas generadas en el año t por tipo de residuo j ;

k_j es la fracción del residuo tipo j en una tonelada de residuos mixtos;

TAD_t es el total de toneladas de residuos generadas en el año t .

Sólo una vez que se haya identificado la composición global de los residuos, podrá idearse la mejor estrategia de aprovechamiento de los recursos que esté de acuerdo a la realidad particular de la o las comunas.

El estudio de caracterización que se utilice en la formulación del proyecto debe ser lo más actualizado posible y, cuando éste no sea vigente, los datos deberán ser actualizados explicando claramente la metodología utilizada para realizar dicha actualización (supuestos utilizados, fuentes de información relevantes, estudios y publicaciones en la materia, encuestas u otros).

En caso de que la comuna no contase con un estudio de caracterización propio, podrán utilizarse como referencia los antecedentes que otras comunas de similares características posean, siempre y cuando quede debidamente justificada la pertinencia de esta transferencia con los medios de verificación correspondientes (i.e qué hace a las comunas comparables, cuáles son los supuestos clave que se realizan para fundamentar dicha comparación, etc).

Ejemplo

A partir del estudio de caracterización de residuos, se ha determinado que la composición de éstos para el año 2011 es la señalada en el Cuadro N°E4.

Cuadro N°E4 – Composición actual de los residuos

| Tipo residuo (j) | Fracción (k) | TAD (2011) |
|-------------------------|---------------------|-------------------|
| Papel | 12% | 5.491 |
| Cartón | 2% | 915 |
| Plásticos | 4% | 1.830 |
| Metales | 3% | 1.373 |
| Vidrio | 15% | 6.864 |
| Inertes | 1% | 458 |
| Tetra Pack | 5% | 2.288 |
| Orgánicos | 50% | 22.879 |
| Otros | 8% | 3.661 |
| TOTAL | 100% | 45.758 |

Fuente: Elaboración propia

El total de toneladas de plásticos y metales generadas en el año 2011 se obtienen como:

$$TAD_{2011}^{\text{plásticos}} = 0,04 * 45.758 = 1.830 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

$$TAD_{2011}^{\text{metales}} = 0,03 * 45.758 = 1.372 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

iv. Paso 4: Proyección de la cantidad de residuos valorizables

A partir del estudio de caracterización de residuos, debe proyectarse la composición de éstos integrando, cuando corresponda, ajustes vinculados a cambios de hábito en el consumo de las personas, debidamente respaldado por estudios particulares en la materia. De no contarse con antecedentes de este tipo, se recomienda mantener constante la composición de los residuos y obtener el total de residuos generados recogiendo exclusivamente las variaciones en la proyección de residuos generados.

Ejemplo

Suponiendo que la composición de los residuos no cambia a través de los años, se estiman las toneladas de residuos por tipo tal como se indica en el Cuadro N°E5.

Cuadro N°E5 – Demanda actual y proyectada

| Año | TAD | Toneladas por tipo de residuo | | | | | | | | |
|------|--------|-------------------------------|--------|-----------|---------|--------|---------|------------|-----------|-------|
| | | Papel | Cartón | Plásticos | Metales | Vidrio | Inertes | Tetra Pack | Orgánicos | Otros |
| 2011 | 45.758 | 5.491 | 915 | 1.830 | 1.373 | 6.864 | 458 | 2.288 | 22.879 | 3.661 |
| 2012 | 46.046 | 5.525 | 921 | 1.842 | 1.381 | 6.907 | 460 | 2.302 | 23.023 | 3.684 |
| 2013 | 46.336 | 5.560 | 927 | 1.853 | 1.390 | 6.950 | 463 | 2.317 | 23.168 | 3.707 |
| 2014 | 46.602 | 5.592 | 932 | 1.864 | 1.398 | 6.990 | 466 | 2.330 | 23.301 | 3.728 |
| 2015 | 46.887 | 5.626 | 938 | 1.875 | 1.407 | 7.033 | 469 | 2.344 | 23.443 | 3.751 |
| 2016 | 47.173 | 5.661 | 943 | 1.887 | 1.415 | 7.076 | 472 | 2.359 | 23.586 | 3.774 |
| 2017 | 47.286 | 5.674 | 946 | 1.891 | 1.419 | 7.093 | 473 | 2.364 | 23.643 | 3.783 |
| 2018 | 47.433 | 5.692 | 949 | 1.897 | 1.423 | 7.115 | 474 | 2.372 | 23.716 | 3.795 |
| 2019 | 47.523 | 5.703 | 950 | 1.901 | 1.426 | 7.129 | 475 | 2.376 | 23.762 | 3.802 |
| 2020 | 47.576 | 5.709 | 952 | 1.903 | 1.427 | 7.136 | 476 | 2.379 | 23.788 | 3.806 |
| 2021 | 47.675 | 5.721 | 954 | 1.907 | 1.430 | 7.151 | 477 | 2.384 | 23.838 | 3.814 |
| 2022 | 47.434 | 5.692 | 949 | 1.897 | 1.423 | 7.115 | 474 | 2.372 | 23.717 | 3.795 |
| 2023 | 47.285 | 5.674 | 946 | 1.891 | 1.419 | 7.093 | 473 | 2.364 | 23.642 | 3.783 |
| 2024 | 47.074 | 5.649 | 941 | 1.883 | 1.412 | 7.061 | 471 | 2.354 | 23.537 | 3.766 |
| 2025 | 46.798 | 5.616 | 936 | 1.872 | 1.404 | 7.020 | 468 | 2.340 | 23.399 | 3.744 |

Fuente: Elaboración propia

Las toneladas de papel proyectadas para los años 2012 y 2013 se calculan como sigue:

$$TAD_{2012}^{papel} = 0,12 * 46.046 = 5.525 \left(\frac{ton}{año} \right)$$

$$TAD_{2013}^{papel} = 0,12 * 46.336 = 5.560 \left(\frac{ton}{año} \right)$$

d) Oferta actual y proyectada

El análisis de oferta corresponde a la determinación de la cantidad del bien o servicio entregado en el área de influencia. En este caso, la oferta es caracterizada en función de la infraestructura para la valorización de residuos disponible, y la proyección de ésta debe considerar la evolución esperada de la provisión de este tipo de infraestructura, considerando tanto a los actores participantes actuales como aquellos que podrían entrar a operar en el área de influencia. Así también, debe analizarse el conjunto de los servicios de aseo que permiten hacer una correcta disposición de los residuos que se generan.

Debe analizarse el sistema completo de gestión actual de residuos, considerando tanto el mecanismo de disposición final empleado, como el de recolección y transporte. Los elementos a describir son:

- Cobertura del servicio de aseo (domiciliario, ferias libres, residuos voluminosos).
- Equipamiento y servicios disponibles: camiones recolectores; instalaciones de eliminación actualmente utilizadas (rellenos sanitarios, basurales, vertederos); programas implementados o actividades practicadas (reciclaje, compostaje, minimización); infraestructura de valorización (contenedores, puntos limpios, etc); instalaciones intermedias (estaciones de transferencia).
- Sistema de recolección y transporte: frecuencia y horario de recolección; equipos utilizados en la recolección y transporte.
- Cobertura del aseo domiciliario.
- Frecuencia y horario de recolección.
- Contratos vigentes con empresas prestadoras de los servicios de recolección y disposición final; caducidad de los contratos y flexibilidad de los mismos para incorporar ajustes por menor uso de los niveles de servicio contratados.
- Equipamiento adicional para la valorización de residuos (reciclaje, valorización energética, plantas de compostaje, etc).
- Administración y funcionamiento del sistema conjunto (organización, instituciones y responsables).

La oferta proyectada requiere preguntarse sobre el funcionamiento del modelo de gestión de los residuos de la comuna, independientemente del proyecto de valorización que se plantee. Debe incluir todos los proyectos y programas de valorización aprobados para la ejecución futura y/o en ejecución por la Municipalidad, privados y cualquier otro agente económico en el área de interés, de modo que se defina un nivel de residuos tratados *TAT* en cada momento del tiempo *t*, por tipo de residuo *j*.

Ejemplo

En la comuna bajo análisis se encuentra en vigencia un programa de reciclaje que permite la recuperación de aproximadamente un 20% de residuos reciclables (papel, cartón, plásticos, metales, vidrio, tetra pack). Aún cuando no existen cifras oficiales al respecto, se estima que aproximadamente 500 y 300 toneladas adicionales de papel y cartón respectivamente son recuperadas gracias a la participación de los recicladores de base.

Adicionalmente, se sabe que recientemente se amplió la planta de separación en uso, con el aumento consecuente de la capacidad de tratamiento de ésta en un 15%. Con estos antecedentes, se calcula la oferta actual y proyectada por tipo de residuo tal como se muestra en el Cuadro N°E6.

Cuadro N°E6 – Oferta actual y proyectada

| Año | Toneladas de residuos con potencial de valorización - Total | | | | | | | | |
|------|---|--------|-----------|---------|--------|---------|------------|-----------|-------|
| | Papel | Cartón | Plásticos | Metales | Vidrio | Inertes | Tetra Pack | Orgánicos | Otros |
| 2011 | 2.422 | 620 | 641 | 480 | 2.402 | 0 | 801 | 0 | 0 |
| 2012 | 2.434 | 622 | 645 | 483 | 2.417 | 0 | 806 | 0 | 0 |
| 2013 | 2.446 | 624 | 649 | 487 | 2.433 | 0 | 811 | 0 | 0 |
| 2014 | 2.457 | 626 | 652 | 489 | 2.447 | 0 | 816 | 0 | 0 |
| 2015 | 2.469 | 628 | 656 | 492 | 2.462 | 0 | 821 | 0 | 0 |
| 2016 | 2.481 | 630 | 660 | 495 | 2.477 | 0 | 826 | 0 | 0 |
| 2017 | 2.486 | 631 | 662 | 496 | 2.482 | 0 | 827 | 0 | 0 |
| 2018 | 2.492 | 632 | 664 | 498 | 2.490 | 0 | 830 | 0 | 0 |
| 2019 | 2.496 | 633 | 665 | 499 | 2.495 | 0 | 832 | 0 | 0 |
| 2020 | 2.498 | 633 | 666 | 500 | 2.498 | 0 | 833 | 0 | 0 |
| 2021 | 2.502 | 634 | 667 | 501 | 2.503 | 0 | 834 | 0 | 0 |
| 2022 | 2.492 | 632 | 664 | 498 | 2.490 | 0 | 830 | 0 | 0 |
| 2023 | 2.486 | 631 | 662 | 496 | 2.482 | 0 | 827 | 0 | 0 |
| 2024 | 2.477 | 630 | 659 | 494 | 2.471 | 0 | 824 | 0 | 0 |
| 2025 | 2.466 | 628 | 655 | 491 | 2.457 | 0 | 819 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

El total de residuos con potencial de valorización se determina así, sumando las toneladas tratadas en la planta actual, toneladas recuperadas por los recicladores de base y toneladas a tratar producto de la ampliación de planta.

La oferta actual y proyectada de papel para los años 2011 y 2025 se obtiene como sigue:

$$TAT_{2011}^{papel} = 20\% * 5.491 + 500 + 15\% * 5.491 = 2.422 \left(\frac{ton}{año} \right)$$

$$TAT_{2025}^{papel} = 20\% * 5.616 + 500 + 15\% * 5.616 = 2.466 \left(\frac{ton}{año} \right)$$

e) Déficit actual y proyectado

El déficit actual y proyectado se estima sobre la base de la comparación de la demanda (actual y proyectada) y la oferta (actual y proyectada) en el área de influencia, que permita definir las necesidades de contar con mayor infraestructura para la valorización de residuos. Notar que el déficit también puede ser expresado en términos cualitativos, esto es, como deficiencias en el manejo correcto de los residuos, incumplimiento de normativas y otros.

Debe determinarse un nivel de déficit estimado por tipo de residuo caracterizado y definir posteriormente qué parte del déficit será cubierta por el proyecto de valorización.

$$Déficit_t^j = TAD_t^j - TAT_t^j$$

Donde:

$Déficit_t^j$ es el déficit de toneladas tratadas en el año t por tipo de residuo j ;

TAD_t^j es el total de toneladas generadas en el año t por tipo de residuo j ;

TAT_t^j es el total de toneladas tratadas en el año t por tipo de residuo j .

Recordar que, en términos generales, se considera que son residuos potencialmente valorizables todos aquellos que pueden recibir algún tratamiento para ser reciclados o valorizados energéticamente con alguna tecnología disponible en el

mercado. Sin embargo, usualmente los proyectos de valorización buscan dar un mejor uso a algunos tipos de residuos, y sobre éstos debe centrarse el análisis. Así por ejemplo, si se estimase que el déficit más importante se encuentra en los residuos orgánicos, el foco debiese estar puesto sobre el estudio de las tecnologías que permitan el tratamiento de este tipo de residuos.

Ejemplo

De acuerdo a las estimaciones de oferta y demanda antes realizada, se proyecta que el déficit por año y tipo de residuo es el que se indica en el Cuadro N°E7.

El déficit estimado de papel para los años 2011 y 2012 se obtiene como sigue:

$$\text{Déficit}_{2011}^{\text{papel}} = 5.491 - 2.422 = 3.069 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{Déficit}_{2012}^{\text{papel}} = 5.525 - 2.434 = 3.092 \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right)$$

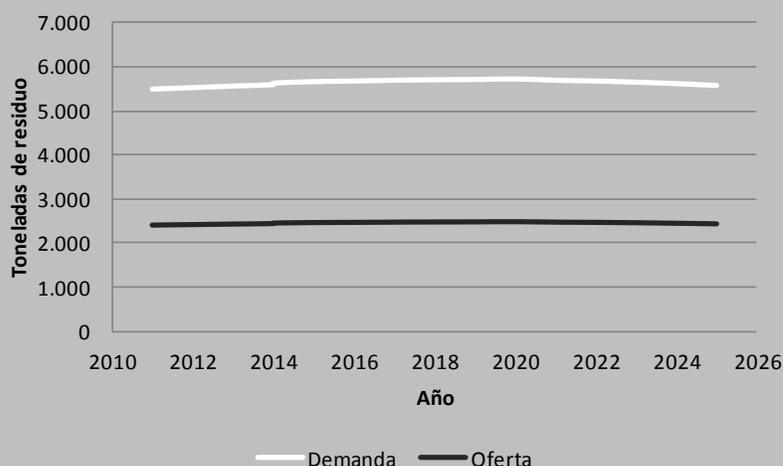
Cuadro N°E7 - Déficit actual y proyectado en valorización de residuos

| Año | Toneladas por tipo de residuo | | | | | | | | | |
|------|-------------------------------|--------|-----------|---------|--------|---------|------------|-----------|-------|--|
| | Papel | Cartón | Plásticos | Metales | Vidrio | Inertes | Tetra Pack | Orgánicos | Otros | |
| 2011 | 3.069 | 295 | 1.190 | 892 | 4.461 | 458 | 1.487 | 22.879 | 3.661 | |
| 2012 | 3.092 | 299 | 1.197 | 898 | 4.489 | 460 | 1.496 | 23.023 | 3.684 | |
| 2013 | 3.114 | 302 | 1.205 | 904 | 4.518 | 463 | 1.506 | 23.168 | 3.707 | |
| 2014 | 3.135 | 306 | 1.212 | 909 | 4.544 | 466 | 1.515 | 23.301 | 3.728 | |
| 2015 | 3.157 | 310 | 1.219 | 914 | 4.571 | 469 | 1.524 | 23.443 | 3.751 | |
| 2016 | 3.179 | 313 | 1.226 | 920 | 4.599 | 472 | 1.533 | 23.586 | 3.774 | |
| 2017 | 3.188 | 315 | 1.229 | 922 | 4.610 | 473 | 1.537 | 23.643 | 3.783 | |
| 2018 | 3.200 | 317 | 1.233 | 925 | 4.625 | 474 | 1.542 | 23.716 | 3.795 | |
| 2019 | 3.207 | 318 | 1.236 | 927 | 4.634 | 475 | 1.545 | 23.762 | 3.802 | |
| 2020 | 3.211 | 318 | 1.237 | 928 | 4.639 | 476 | 1.546 | 23.788 | 3.806 | |
| 2021 | 3.219 | 320 | 1.240 | 930 | 4.648 | 477 | 1.549 | 23.838 | 3.814 | |
| 2022 | 3.200 | 317 | 1.233 | 925 | 4.625 | 474 | 1.542 | 23.717 | 3.795 | |
| 2023 | 3.188 | 315 | 1.229 | 922 | 4.610 | 473 | 1.537 | 23.642 | 3.783 | |
| 2024 | 3.172 | 312 | 1.224 | 918 | 4.590 | 471 | 1.530 | 23.537 | 3.766 | |
| 2025 | 3.150 | 308 | 1.217 | 913 | 4.563 | 468 | 1.521 | 23.399 | 3.744 | |

Fuente: Elaboración propia

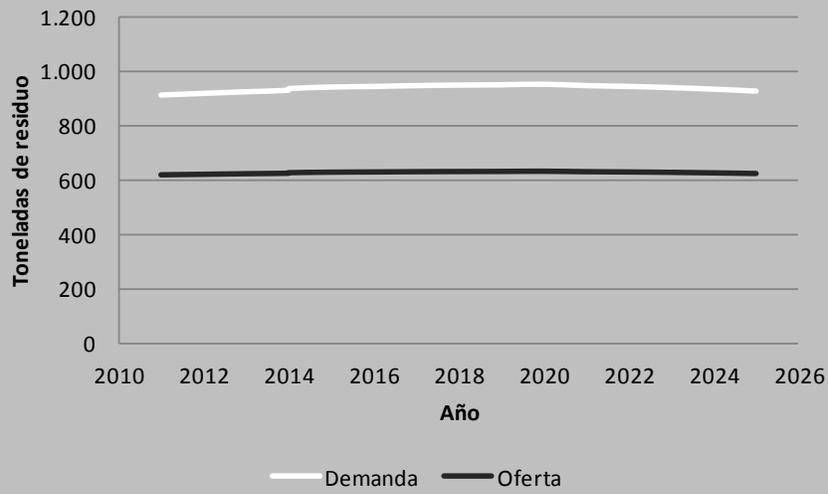
Esto se observa gráficamente para algunos tipos de residuos seleccionados en los Cuadros N°E8, N°E9 y N°E10.

Cuadro N°E8 - Déficit actual y proyectado - Papel



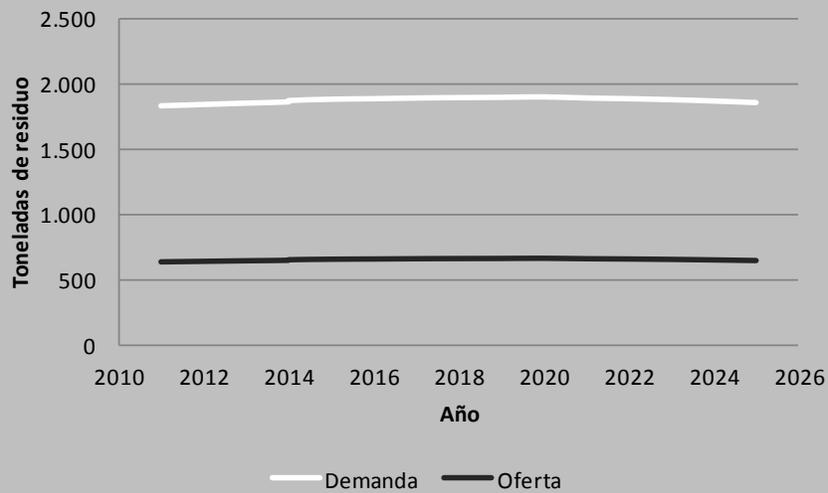
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E9 – Déficit actual y proyectado – Cartón



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E10 – Déficit actual y proyectado – Plásticos



Fuente: Elaboración propia

IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

En esta etapa deben identificarse todas aquellas alternativas técnicas y legalmente factibles que permitan dar solución al problema u oportunidad detectada. La primera alternativa a considerar es siempre la Situación SP proyectada en el horizonte de evaluación del proyecto.

I. OPTIMIZACIÓN DE LA SITUACIÓN BASE

La correcta determinación de la situación SP (o situación base optimizada) es un elemento esencial en la formulación del proyecto de valorización ya que, dependiendo de cómo ésta sea presentada, podrán estimarse distintos beneficios derivados del desarrollo de un proyecto de este tipo. En la situación actual se observan tres escenarios de disposición final sujetos a medidas de optimización.

1. Disposición en relleno sanitario con vida útil restante mayor o igual al horizonte de evaluación del proyecto de valorización

Este escenario supone que la comuna se encuentra actualmente disponiendo la mayor parte de sus residuos, o el total de éstos, en un relleno sanitario cuya vida útil restante es mayor al horizonte de evaluación del proyecto que se analiza. De ser éste el caso, la situación SP se plantea considerando los costos conocidos de recolección, transporte y disposición en relleno, y ajustando por medidas de optimización como las siguientes:

- En la etapa de recolección: mejor gestión de contenedores (vaciado semanal), mejoramiento turnos recicladores de base, pequeña capacitación medioambiental para generadores que llevan residuos a los puntos limpios.
- En la etapa de transporte: optimización de las rutas de los camiones.
- En la etapa de tratamiento: medidas de gestión en las instalaciones de valorización y eliminación existentes.

2. Disposición en relleno sanitario con vida útil restante menor al horizonte de evaluación del proyecto de valorización

Este escenario se da cuando una comuna se encuentra haciendo disposición de sus residuos en un relleno sanitario determinado, pero sabe que no podrá hacerlo por mucho tiempo más ya que la vida útil de éste está próxima a finalizar. En este caso, la situación SP debe plantearse considerando los costos conocidos de recolección, transporte y disposición en relleno para los años de vida útil restante de éste y debe ajustarse para los años siguientes.

La regla general es que se proyecte la situación SP desde el momento de término de la vida útil del relleno sanitario en uso hasta el horizonte de evaluación del proyecto de valorización, considerando que los residuos

continuarán siendo dispuestos a un costo por tonelada en relleno (recolección, transporte y eliminación) similar al vigente. Se emplea este enfoque dado que es muy complejo anticiparse a eventos futuros de puesta en marcha de nuevos proyectos que afecten la situación actual.

Se considerarán como excepcionales las situaciones en que puedan proveerse antecedentes suficientes para demostrar que la situación SP proyectada seguirá un comportamiento claramente diferente, ya sea porque existen recursos comprometidos para la construcción de un nuevo relleno sanitario, instalaciones de valorización, o porque es conocido el sitio de disposición final de uso futuro (por ejemplo de una comuna cercana).

3. Disposición en vertedero, basural u otro sitio no estipulado en la normativa vigente

Un proyecto de valorización representa una alternativa para el mejor aprovechamiento de recursos que de otro modo serían eliminados en un relleno sanitario. Por ello, el planteamiento de un proyecto aislado de valorización no tiene sentido cuando no se ha resuelto el problema esencial de correcta disposición de los residuos de acuerdo a la normativa vigente. La disposición en relleno sanitario se plantea como una situación base, aún cuando sea uno de pequeñas dimensiones, considerando que, al menos a la fecha, no existe tecnología disponible para valorizar la totalidad de residuos que en una comuna se generan. De este modo, siempre será necesario disponer al menos una parte de los residuos en un relleno sanitario.

Es por esto que, en caso de que la disposición actual de los residuos no esté de acuerdo con las exigencias sanitarias mínimas, el proyecto de valorización deberá ser replanteado para solucionar en primer lugar este problema. Una vez que éste sea resuelto, podrán incorporarse elementos adicionales basados en la identificación de una oportunidad de valorización de residuos.

Existen múltiples estrategias que permiten tanto solucionar el problema de disposición final inadecuado como aprovechar la oportunidad de mejor uso de los residuos potencialmente valorizables. Algunas correspondientes exclusivamente a la etapa de tratamiento son:

- Disposición relleno sanitario más cercano (otra comuna) + Construcción planta de compostaje
- Construcción relleno sanitario + Construcción planta de compostaje
- Construcción estación de transferencia + Construcción planta de compostaje
- Construcción estación de transferencia + Construcción planta de gasificación

De lo anterior, se observa que para evaluar la conveniencia económica de ejecutar el proyecto de valorización, deberán plantearse proyectos alternativos, todos los cuales deberán incorporar una solución para el problema de disposición final, y comparar los indicadores de rentabilidad que corresponda⁷.

II. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las alternativas de proyecto deben ser propuestas en términos del problema a resolver u oportunidad detectada y considerando el tipo de residuo potencialmente valorizable. No existirá un único tipo de proyecto que satisfaga las necesidades particulares de la comuna afectada y deberán por tanto plantearse una serie de alternativas que se ajusten a la realidad comunal combinando diversas opciones de recolección, transporte y tratamiento.

No obstante, y a modo de guía, es posible identificar un conjunto de instalaciones frecuentemente utilizadas en la gestión de residuos, las cuales son descritas en los Cuadros N°5 y N°6, detallando las ventajas y desventajas de utilizar cada una de éstas. Adicionalmente, se presenta un resumen respecto a la aplicabilidad de cada tecnología en función del tipo de residuo (Cuadro N°7) y tamaño de la comuna (Cuadro N°8).

⁷ Cuando la alternativa de solución que se plantee incorpore la construcción de un relleno sanitario, deberá utilizarse la “Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables” (Ministerio de Desarrollo Social 2013). Ésta propone la comparación de alternativas de disposición final (con o sin proyecto de valorización integrado) mediante la utilización de un indicador de costo-efectividad (VAC o CAE).

Cuadro N°5 – Tecnologías más comunes – Ventajas y desventajas

| Etapa | Descripción de la tecnología/medida | Ventajas | Desventajas |
|---|--|---|--|
| PREVENCIÓN | | | |
| Prevención (en origen) | Sustitución de productos o materias primas, uso de productos de mayor vida útil, uso de envases retornables, control de calidad (medidas de educación deben ser dirigidas a consumidores y empresas productivas) | Reducción cuantitativa y cualitativa (menos peligrosidad y/o impacto de los residuos), eventuales beneficios indirectos, educativos y sociales. | Requiere difusión, capacitación y participación de los usuarios |
| RECICLAJE | | | |
| Separación de materiales reciclables | Separación en origen de papel/cartón, vidrio, plásticos, chatarra (recolección por parte de recicladores de base o diferenciada) | Reducción en origen de las cantidades, recuperación de materiales reciclables, eventuales beneficios indirectos, educativos y sociales) | Requiere difusión, capacitación y participación de los usuarios (muchas veces <10%); trae beneficios al largo plazo; falta de mercado para reciclables |
| | Recolección a través de lugares de acopio, contenedores en lugares públicos (puntos limpios o puntos verdes) | | |
| | Recolección segregada | | |
| Compostaje (en el hogar o en forma comunitaria) | Segregación de los residuos orgánicos de comida y jardín, compostaje en el hogar (compostera) | Reducción en origen de las cantidades de residuos sólidos, menores inconvenientes higiénicos y emisiones de gases de efecto invernadero | Requiere difusión, capacitación y participación de los usuarios (muchas veces <10%) |
| RECOLECCIÓN | | | |
| Sin contenedores estandarizados | Bolsas plásticas (de supermercado), tambores vacíos de 200 L, cajas de cartón | Bajo costo para el usuario (no requiere la compra de bolsas ni contenedores); no requiere lavado de contenedores. | Mayor manejo manual, riesgo de accidentes (objetos corto-punzantes), basura en la calle, olores, atracción de vectores. |
| Contenedores Individuales | Contenedores estandarizados (120-360 L) o bolsas plásticas | Menos manejo manual (riesgo de accidentes); mayor rendimiento de recolección; ventajas estéticas e higiénicas; bajo costo de mantención. | Costo adicional para el usuario (compra de contenedores) |
| Contenedores colectivos | Contenedores estandarizados, con levanta-contenedor hidráulico y capacidades entre 360 L y 2,5 m ³ | Menos manejo manual (riesgo de accidentes), mayor rendimiento de recolección, ventajas estéticas e higiénicas, bajo costo de mantención, mejor aprovechamiento de los contenedores, menor costo de adquisición por habitante servido. | Costo adicional para el municipio (compra de contenedores), mayor costo de mantención y riesgo de vandalismo. |
| Sistemas de entrega | Contenedores de remolque en 10 y 30 m ³ | Mayor rendimiento de recolección (y eventualmente menor frecuencia de recolección) | |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°6 - Tecnologías más comunes – Ventajas y desventajas

| Etapa | Descripción de la tecnología/medida | Ventajas | Desventajas |
|---|--|--|---|
| TRATAMIENTOS DE RESIDUOS | | | |
| Separación manual | Segregación manual de materiales reciclables (papel/cartón, vidrio, plásticos, metales) | Simplicidad, ocupación de mano de obra, bajo costo de inversión, recuperación de materiales reciclables | Inversión de infraestructura, equipamiento y costo fijo, falta de mercado (o grandes distancias de transporte hacia los lugares) |
| Alternación Mecánica de Tamaño | Trituración, chipeadores, molinos, chancadores | Reducción de volumen, homogeneización | Daños a equipos mecánicos(requiere segregación previa y/o pre-tratamiento mecánico) |
| Separación Mecánica (Tamizado) | Disminución mecánica, segregación de sobre tamaño (> 60 mm) para aprovechamiento energético y/o posterior clasificación manual | No requiere manejo manual (aspectos higiénicos); alto rendimiento y bajo requerimiento de personal, permite tratamiento posterior (clasificación manual, compostaje) | Inversión en infraestructura, equipamiento y costo fijo, no hay instalaciones autorizadas para el uso del combustible alternativo |
| Separación Magnética o Electromecánica | Separación magnética de metales ferrosos; separación de metales no-ferrosos a través de equipos de "Eddy-Current" | Protección de equipamiento (etapas posteriores de tratamiento), recuperación de materiales reciclables | Costos altos y muy altos de inversión (solo se justifica en caso de residuos comerciales o industriales con elevado contenido de metales ferrosos y no-ferrosos) |
| Reducción Mecánica de Volumen | Compactación, contenedores compactadores, prensas, rodillos | Reducción de volumen de materiales reciclables | |
| Aprovechamiento energético en hornos cementeros | Transporte, acondicionamiento y uso como combustible alternativo (en el caso de los residuos domiciliarios implica un pre-tratamiento mecánico, una segregación por tamaño y/o secado biológico) | No requiere una inversión inicial en horno de combustión, sólo medidas complementarias | Apto sólo para residuos con bajo contenido de humedad, con poder calorífico relativamente elevado, con un máximo de metales; altos costos de inversión y medioambientales |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°7 – Aplicabilidad de las tecnologías

| Etapa | Aplicabilidad según tipo de residuo | | | | | Aplicabilidad según tamaño de la comuna | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|--------------------|---|------------------|---|--------------------------------|-------------------------|
| | Residuos Domiciliarios | Residuos Asimilables | Residuos Orgánicos | Residuos Peligrosos (Generados en el hogar) | Residuos Inertes | < 10.000 Hab. Servidos | 10.000 a 100.000 Hab. Servidos | > 100.000 Hab. Servidos |
| PREVENCIÓN | | | | | | | | |
| Prevención (en origen) | x | x | x | x | | √ | √√ | √√√ |
| RECICLAJE | | | | | | | | |
| Separación de materiales reciclables | x | x | | x | | √ | √ | √√ |
| | x | x | | x | | √ | √ | √ |
| | x | x | | x | | √ | √ | √ |
| Compostaje (en el hogar o en forma comunitaria) | x | | | | | √√√ (especialmente en zonas rurales) | | |
| RECOLECCIÓN | | | | | | | | |
| Sin contenedores estandarizados | x | x | x | | | √ | | |
| Contenedores Individuales | x | x | | x (recipientes especiales) | | √ | | |
| Contenedores colectivos | x | x | x | x | | √ | | |
| Sistemas de entrega | x | x | x | x | | √ | √√ | √√√ |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°8 - Aplicabilidad de las tecnologías

| Etapa | Aplicabilidad según tipo de residuo | | | | | Aplicabilidad según tamaño de la comuna | | |
|---|-------------------------------------|----------------------|--------------------|---|------------------|---|--------------------------------|-------------------------|
| | Residuos Domiciliarios | Residuos Asimilables | Residuos Orgánicos | Residuos Peligrosos (Generados en el hogar) | Residuos Inertes | < 10.000 Hab. Servidos | 10.000 a 100.000 Hab. Servidos | > 100.000 Hab. Servidos |
| TRATAMIENTOS DE RESIDUOS | | | | | | | | |
| Separación manual | x | x | | | x | √√ | √ | √ |
| Alternación Mecánica de Tamaño | x | x | | | x | | √ | √ |
| Separación Mecánica (Tamizado) | x | x | | | x | | √ | √ |
| Separación Magnética o Electromecánica | x | x | | | x | | √ | √ |
| Reducción Mecánica de Volumen | | x | | | | √ | √√ | √√√ |
| Aprovechamiento energético en hornos cementeros | | x | | x | | | √√ | √√√ |

Fuente: Elaboración propia

| Leyenda | | Leyenda | |
|---------|---------------------------|---------|--|
| x | Tecnología no aplicable. | √√√ | Aplicabilidad superior de la tecnología. |
| √ | Tecnología aplicable. | | No existe información suficiente. |
| √√ | Tecnología muy aplicable. | | |

Otro elemento a considerar en la configuración de alternativas de solución es que rara vez se logrará aprovechar el total de los residuos potencialmente valorizables, por lo que el déficit estimado relevante para el proyecto debe ser ajustado para reflejar la fracción efectiva de residuos que pueden ser aprovechados. En ese sentido, es necesario incorporar en el análisis diversos aspectos que inciden en el éxito del proyecto de valorización:

- **Calidad de los materiales:** No todos los residuos potencialmente valorizables son usados en la práctica puesto que la calidad de muchos de ellos no está de acuerdo con los estándares mínimos necesarios para que sean puestos en el mercado. Esto es especialmente relevante para proyectos de reciclaje de vidrio, papel, cartón y plásticos, ya que sólo una fracción de ellos cumplirán con las exigencias de limpieza y presentación que los compradores de estos materiales imponen. Así por ejemplo, residuos valorizables retirados mediante un proceso de recolección mixta (no diferenciada) y tratados posteriormente para ser vendidos a los productores, tienen usualmente una calidad menor que aquellos que se obtienen de la recolección segregada. En general, se espera que los residuos que poseen mayor calidad son los que, en la etapa de recolección, son retirados por los recicladores de base o mediante un sistema de entrega.
- **Participación ciudadana:** Los proyectos de valorización que dependan fuertemente de un proceso de recolección diferenciada con participación de los generadores (tal es el caso de puntos limpios y centros de acopio), deberán establecer un nivel de participación ciudadana que esté de acuerdo con antecedentes históricos, políticas de educación ambiental localizadas, incentivos provistos y otros elementos que fundamenten el interés de la ciudadanía por contribuir al éxito del proyecto. Podrán utilizarse encuestas, entrevistas, estudios relacionados con el tema, entre otros.
- **Mercado comprador:** los proyectos de valorización de residuos deben representar una oportunidad para lograr un mejor aprovechamiento de recursos que serían de otro modo eliminados. Sin embargo, esta oportunidad se encuentra limitada por la capacidad e intención de compra de las empresas y actores de mercado que utilizan los materiales reciclados, energía producida, etc. Así, deberá realizarse una investigación de mercado que permita identificar el verdadero valor económico que los residuos potencialmente valorizables tienen en el mercado. Deben analizarse los precios de los materiales en la puerta del comprador, ubicación de los mismos, número de compradores en el mercado, entre otras variables. A partir de esto se establecerá además una cota máxima para la demanda relevante del proyecto de valorización. Es decir, no puede proyectarse un aprovechamiento de los residuos potencialmente valorizables que sea mayor al que podría colocarse en el mercado. La investigación de mercado

que se realice debe ser debidamente respaldada por los medios de verificación correspondientes (encuestas, estudios y publicaciones, etc).

El verdadero valor de mercado de los residuos dependerá de:

- Precio del residuo después del tratamiento recibido (reciclaje o valorización energética).
- Número de empresas en el mercado que utilizan los residuos tratados.
- Número de proyectos que compitan con los residuos a valorizar.
- Distancia entre el lugar de tratamiento de los residuos y el lugar donde se encuentran las empresas compradoras de éstos.

El formulador debe preguntarse, ¿Quién comprará los residuos valorizados o qué uso interno se les dará? ¿Existen otros proyectos de valorización que estén colocando los mismos recursos en el mercado? ¿En qué medida afectará esto el precio de venta de los materiales? Estos elementos están también relacionados con el análisis de oferta y demanda antes descrito.

Ejemplo

Dado que el déficit más importante identificado para distintos tipos de residuos corresponde a los orgánicos, se profundiza en el análisis de este componente. Así, se ajusta el déficit originalmente estimado considerando que un 70% de la ciudadanía participaría de un proyecto de valorización de residuos de este tipo, que requeriría separación en origen.

Adicionalmente, se establece una cota máxima de aprovechamiento de residuos en función de la capacidad de compra de los productores. Notar que en este caso, y por simplicidad, se establece este límite en toneladas de residuos comprados. Sin embargo, dependiendo de la tecnología que el proyecto de valorización utilice, deberá ajustarse por un factor de eficiencia de la tecnología que refleje la cantidad de producto generado (*output*) a partir de los residuos con que ésta es alimentada (*input*).

Para cada año, el déficit relevante corresponde al mínimo entre la cantidad ajustada por participación ciudadana y aquella ajustada por capacidad de compra del comprador, tal como se indica en el Cuadro N°E11.

Cuadro N°E11 – Ajuste del déficit calculado

| Año | Oferta | Demanda | Déficit | Participación ciudadana | Mercado comprador | Déficit ajustado |
|------|--------|---------|---------|-------------------------|-------------------|------------------|
| | | | | 70% | Capacidad compra | |
| 2011 | 0 | 22.879 | 22.879 | 16.015 | 16.000 | 16.000 |
| 2012 | 0 | 23.023 | 23.023 | 16.116 | 16.080 | 16.080 |
| 2013 | 0 | 23.168 | 23.168 | 16.218 | 16.160 | 16.160 |
| 2014 | 0 | 23.301 | 23.301 | 16.311 | 16.241 | 16.241 |
| 2014 | 0 | 23.443 | 23.443 | 16.410 | 16.322 | 16.322 |
| 2015 | 0 | 23.586 | 23.586 | 16.510 | 16.404 | 16.404 |
| 2016 | 0 | 23.643 | 23.643 | 16.550 | 16.486 | 16.486 |
| 2017 | 0 | 23.716 | 23.716 | 16.601 | 16.568 | 16.568 |
| 2018 | 0 | 23.762 | 23.762 | 16.633 | 16.651 | 16.633 |
| 2019 | 0 | 23.788 | 23.788 | 16.652 | 16.735 | 16.652 |
| 2020 | 0 | 23.838 | 23.838 | 16.686 | 16.818 | 16.686 |
| 2021 | 0 | 23.717 | 23.717 | 16.602 | 16.902 | 16.602 |
| 2022 | 0 | 23.642 | 23.642 | 16.550 | 16.987 | 16.550 |
| 2023 | 0 | 23.537 | 23.537 | 16.476 | 17.072 | 16.476 |
| 2024 | 0 | 23.399 | 23.399 | 16.379 | 17.157 | 16.379 |
| 2025 | 0 | 23.227 | 23.227 | 16.259 | 17.243 | 16.259 |

Fuente: Elaboración propia

III. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE VALORIZACIÓN

Como ya se ha mencionado, el proyecto de valorización debe ser planteado en función de la necesidad de mejor aprovechamiento de residuos de una o varias comunas y logrando una completa descripción de cada una de los componentes del sistema de gestión de éstos. Así, el formulador deberá plantear las alternativas de proyecto considerando al menos los siguientes elementos:

1. Etapa de recolección

- Existencia de separación en origen de los residuos
- Sistema de recolección centralizado a cargo de la Municipalidad, sistema de recolección descentralizado o sistema de entrega, inclusión de recicladores de base
- Concordancia del sistema de recolección deseado en función de la densidad residencial (número de casas atendidas, cercanía de los hogares entre sí)
- Plan de rutas de recolección

2. Etapa de transporte

- Sistema de logística y plan de rutas de transporte

3. Etapa de tratamiento

- Características físicas de la instalación
- Tecnología o combinación de tecnologías utilizadas
- Accesos disponibles

- Suministro de agua potable, alcantarillado, electricidad
- Señalética requerida
- Requerimiento de recursos humanos
- Requerimiento de maquinaria especializada
- Esquema de distribución: responsable de la distribución de los productos generados (productores, municipalidad), cargos adicionales por este concepto
- Localización: Es posible que se disponga de más de una alternativa de terreno donde construir el nuevo proyecto de valorización, por lo que debe justificarse debidamente la elección del terreno que se elija. En general el criterio de decisión estará relacionado con los siguientes elementos:
 - Proximidad de la instalación de valorización a los centros de emisión (generadores o instalaciones intermedias según corresponda)
 - Proximidad de la instalación de valorización al mercado final
 - Proximidad a viviendas y otras que pudiesen ser afectados por la actividad (compatibilidad con el entorno)
 - Requisitos de la normativa vigente (plan regulador comunal, o plan regulador intercomunal u ordenanza municipal, etc.)
 - Tamaño: Dado el comportamiento que se espera siga la demanda a lo largo de los años, puede surgir más de una opción de tamaño del nuevo proyecto. La variable principal que determina el tamaño del proyecto es el déficit que se desea atender. El tamaño del proyecto debe ser definido en términos de la superficie y capacidad de tratamiento.

Ejemplo

Se plantea un proyecto de construcción de una instalación de tratamiento que utiliza la tecnología de compostaje, de tipo mecanizada. Ésta representa una de las alternativas para la valorización de los residuos orgánicos que se generan en la comuna y que presentan un claro déficit actual y proyectado. A partir de ello, se desarrolla una alternativa de proyecto con las siguientes acciones por etapa de gestión del residuo:

Recolección: Se realiza separación en origen de la materia orgánica. Los residuos son recolectados de forma diferenciada en 1 camión que pasa casa a casa 2 veces por semana. Se entregan bolsas plásticas a los generadores para que separen en éstas los residuos orgánicos. El servicio de recolección es concesionado.

Transporte: Se realiza transporte directo desde los hogares generadores hasta la planta de compostaje en camiones recolectores concesionados (2 veces por semana).

Tratamiento: Se realiza el tratamiento de los residuos orgánicos en una planta de compostaje en terreno municipal, óptimamente localizado. Los residuos son tratados siguiendo cinco etapas: (i) trituración primaria de los residuos orgánicos (pre-compost); (ii) fermentación controlada o al aire libre (compost bruto); (iii) maduración, post-fermentación y estabilización (compost madurado);

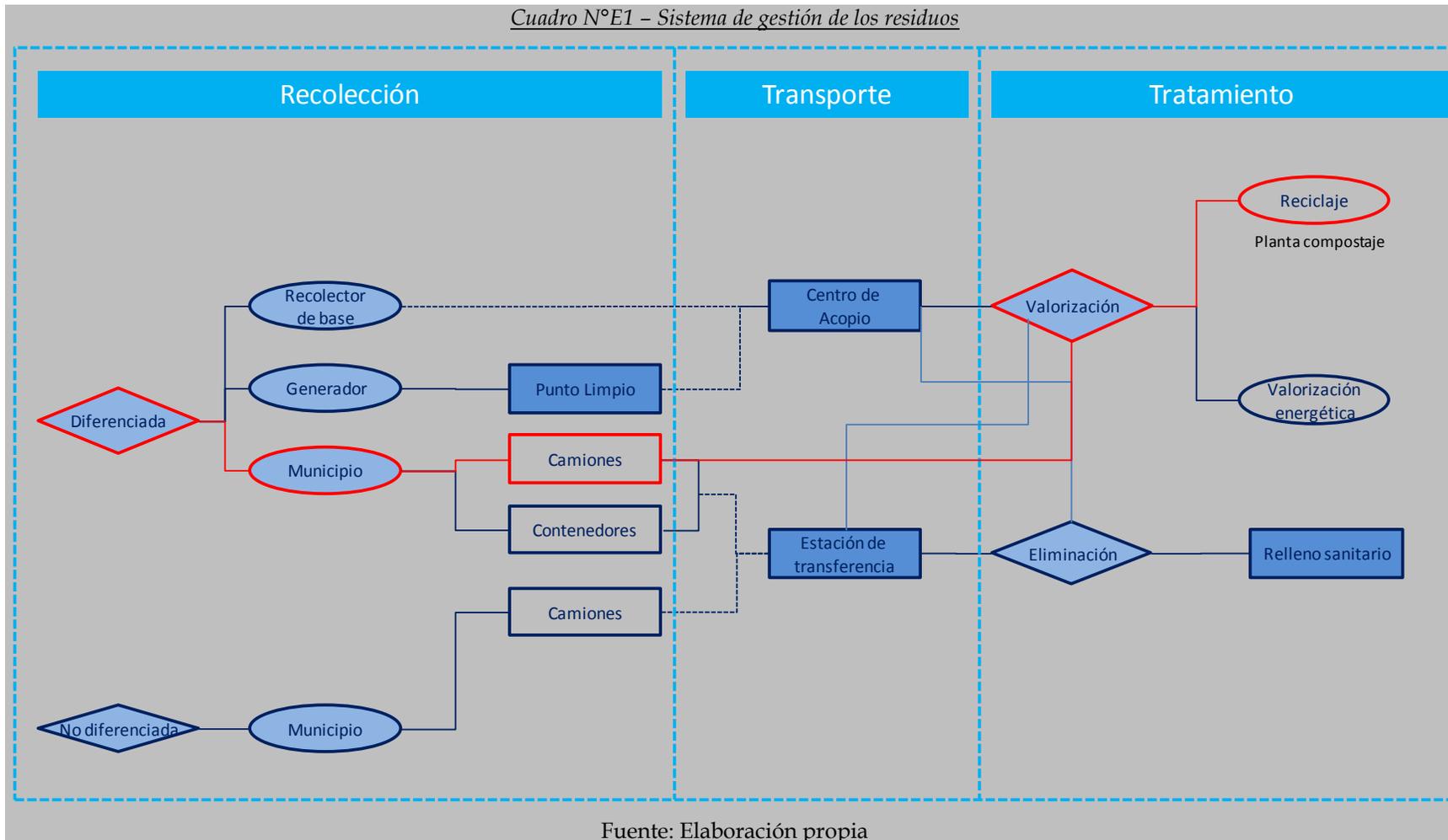
(iv) trituración secundaria, cribado, refinado (compost refinado); (v) Almacenaje y expedición del producto finalizado.

El costo de distribución está a cargo del productor y se encuentra incorporado en el precio de venta del compost generado.

Los residuos restantes (no orgánicos) son depositados en un relleno sanitario con una vida útil restante mayor al horizonte de evaluación del proyecto, que en este caso se ha definido en 13 años.

En la Figura N°E1 se indica un esquema de gestión de los residuos orgánicos que incorpora las tres etapas del proceso antes descritas (línea roja).

Cuadro N°E1 – Sistema de gestión de los residuos



Una completa caracterización del proyecto de valorización requiere además plantear un **modelo de gestión** que no sólo integre las 3 etapas anteriores, sino que asegure la *viabilidad* del proyecto en 3 ejes principales:

1. Económico: Deben definirse las fuentes de financiamiento existentes, no sólo en términos del proyecto de inversión, sino también de la operación y mantenimiento del proyecto. Esto es, quién se hará responsable de la prestación de los servicios comprometidos a lo largo de la vida útil del proyecto y qué cargos habrán comprometidos, pudiendo incorporar tanto participación pública como privada. Adicionalmente, deberá evaluarse la existencia de capacidades gerenciales y/o de administración de los recursos empleados en la operación del proyecto.

Deberán analizarse alternativas de proyecto que permitan el mejor aprovechamiento de las capacidades y recursos disponibles, como desarrollo de proyectos mancomunados, concesionados, asociaciones público-privadas, etc. En ese sentido, uno de los aspectos más importantes a analizar se refiere a la pertinencia de financiar el proyecto de valorización con fondos públicos ya que, en muchos casos, éste puede ser también de interés privado. Por esto, se debe incorporar una evaluación económica privada desde el punto de vista del dueño del proyecto, que explicita claramente que éste no se trata exclusivamente de un negocio de interés privado⁸.

2. Social: Debe evaluarse el grado de aceptación que el proyecto tiene en la comunidad relevante, elemento determinante en términos de la participación que de ésta se requiere para un proyecto de este tipo. Además, analizar las preferencias de los recicladores de base, si se les quisiese incluir en el proyecto, en función de sus expectativas contractuales o deseo de formalización de su trabajo.
3. Medioambiental: En algunos casos, el proyecto de valorización deberá ser sometido, previo a su ejecución, a una evaluación de impacto ambiental, según la normativa vigente. En estas evaluaciones, se analizan elementos como la existencia de efectos adversos potenciales sobre la cantidad y calidad de recursos naturales utilizados, como agua, aire y suelo. Si el proyecto fuese aprobado en esta dimensión, teniendo estos efectos en consideración, deberá asegurarse el cumplimiento de los compromisos adquiridos para minimizar o compensar dichos efectos a lo largo de toda la vida del proyecto.

⁸ Deberán incorporarse todos los costos relevantes para el dueño del proyecto (inversión, mantención y operación a precios privados), incluyendo el impuesto a la renta, para determinar su utilidad económica privada. Los beneficios a considerar son aquellos que se derivan de la venta de residuos valorizados

Así, el proyecto debe situarse en el contexto normativo que lo rige y en consideración de los actores relevantes que en éste participan, definiendo las atribuciones y responsabilidades de éstos. El formulador deberá establecer claramente cómo se interrelacionan estos roles y plantear un esquema de gestión completo de los residuos que se decida valorizar.

Algunos actores relevantes para el análisis son:

- Estado.
- Municipio o Asociación de municipalidades.
- Recicladores de base.
- Empresas privadas (empresas operadoras de instalaciones, empresas compradoras de materiales reciclables, empresas proveedoras de productos prioritarios).
- Establecimientos educacionales.
- Generadores domiciliarios y comerciales.

EVALUACIÓN DEL PROYECTO

La evaluación social de esta tipo de proyectos tiene por objeto identificar, medir y valorar todos los costos y beneficios asociados a la construcción de una instalación de valorización. En la medida que el bienestar social sea mayor al que se hubiera alcanzado sin el proyecto, se podrá concluir que la iniciativa planteada es rentable socialmente. El enfoque a utilizar es de costo-beneficio.

I. IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS

Los *beneficios* de un proyecto de valorización corresponden al valor que tiene para el país ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del *aumento del consumo* de los bienes y servicios producidos por el proyecto y por la *liberación de recursos* de los insumos que el proyecto genera. En lo que sigue, se identifican una serie de beneficios asociados la valorización de residuos.

a) Por menor disposición en rellenos sanitarios

La existencia de proyectos de valorización permite que menos toneladas de residuos sean eliminadas. Esto representa un ahorro directo para las Municipalidades que deben financiar la disposición de residuos en rellenos sanitarios, no sólo en términos del precio por tonelada dispuesta, sino también por menor requerimiento de trabajadores y camiones para transportar los residuos hacia los rellenos. Notar que para que este beneficio se materialice, debe ser que los contratos vigentes con las empresas a cargo de la recolección, transporte y operación del relleno sanitario, sean lo suficientemente flexibles como para permitir ajustes en los precios relevantes y uso de insumos productivos.

Por otro lado, la menor disposición de residuos en los rellenos sanitarios existentes amplía la vida útil de éstos o bien permite formular proyectos de nuevos rellenos sanitarios más pequeños producto del menor requerimiento proyectado de espacio para disponer los residuos no valorizables. Notar sin embargo que las proyecciones requeridas respecto al uso potencial de terrenos para el desarrollo de nuevos rellenos sanitarios están sometidas a un nivel de incertidumbre muy alto, que impide estimar los ahorros generados por este concepto de manera confiable. Es por esto que no es considerado este beneficio de largo plazo en la evaluación del proyecto, a menos que se tenga una certificación u documento oficial que respalde el caso.

b) Por venta de residuos valorizados y/o por ahorro de costos en procesos internos

El fin último de un proyecto de valoración es hacer un mejor uso de los residuos que de otro modo serían eliminados. Este uso debe tener un valor económico, por lo que es de vital importancia que los proyectos definan con claridad cómo es este valor capturado. En principio, son 2 los mecanismos principales:

- **Venta de residuos valorizados:** Los municipios y las asociaciones de municipalidades están facultadas para vender los residuos que valoricen⁹. Se generan por tanto beneficios brutos por este concepto en función del precio al cual se colocan los residuos valorizados en el mercado. Para los efectos de la evaluación del proyecto de valorización, se considerará como relevante el precio correspondiente a la primera transacción con el mercado, sea ésta con una firma, reciclador de base u otro.
- **Ahorro de costos en procesos internos:** En caso de una municipalidad no pudiese vender los residuos valorizados, podrán sin embargo idear usos alternativos para éstos en sus procesos internos que si bien no representarán una transacción económica directa con el mercado, permitirán valorar los residuos según su costo oportunidad. Así por ejemplo, una municipalidad podrá utilizar sus residuos orgánicos valorizados como abono en parques comunales, cultivos u otros. El ahorro se genera en la medida que la municipalidad deja de pagar a un tercero un precio más elevado por la obtención del mismo bien (abono) o servicio según corresponda.

c) Por ahorro de energía empleada en procesos internos

Los proyectos de valorización energética pueden utilizar los residuos como insumos para la generación de gas y electricidad por procesos productivos internos o de otras instituciones. De este modo, se generan beneficios brutos del proyecto por 2 conceptos:

- **Venta de energía:** Las asociaciones de municipalidades podrán vender la energía que generen, respetando las condiciones de calidad que se le exijan (niveles de pureza, certidumbre en la inyección al sistema, etc.) y al precio de mercado correspondiente.
- **Ahorro de costos en procesos internos:** Las municipalidades que no forman parte de asociaciones podrán incorporar beneficios por este concepto en la medida que utilicen la energía generada en sus procesos internos y se ahorren así el pago de ésta a terceros.

d) Por ahorro en emisiones de GEI

Los ahorros en emisiones de gases efecto invernadero (GEI) se generan en distintas etapas del proceso de gestión del residuo y cada una de éstas debe ser analizada separadamente.

- **Recolección:** Los ahorros en emisiones de GEI que se generan en esta etapa están relacionados con el menor requerimiento de vehículos motorizados para recolectar los residuos, disminuyendo así la cantidad de toneladas de

⁹ El dictamen N° 15.606 de la Contraloría General de la República del año 2005 indica que no existen restricciones para que los municipios puedan vender los residuos valorizados.

CO₂e emitidas. Así, se generan ahorros de GEI cuando se utilizan menos camiones para recolectar los residuos valorizables casa a casa.

Sin embargo, éstos pueden ser anulados por los costos que se generan de la implementación de un sistema de recolección adicional, en vehículos motorizados, para los residuos valorizables. Notar que estos últimos no son relevantes cuando se emplea un sistema de recolección que utiliza vehículos no motorizados, siendo este el caso de los recicladores de base que se movilizan a bicicleta o generadores que llevan a pie sus residuos a puntos limpios o centros de acopio.

Cabe mencionar que si no es posible flexibilizar el sistema de recolección de la situación SP en función de los requerimientos efectivos de camiones, el proyecto de valorización sólo generará emisiones adicionales de GEI si es que emplea vehículos motorizados.

- **Transporte:** Igual que en la etapa anterior, los ahorros en emisiones de GEI que se generan en esta etapa están relacionados con el menor requerimiento de contar con vehículos motorizados para transportar los residuos desde los puntos de generación de éstos o instalaciones intermedias hacia los sitios de disposición final.
- **Tratamiento:** En esta etapa, se generan ahorros en emisiones de GEI cuando menos material orgánico es dispuesto en rellenos sanitarios producto del tratamiento del total o parte de esta fracción de los residuos. Cuando esto ocurre, es menor la emanación de gas metano que se produce en los rellenos sanitarios.

e) Por menores tasas de morbilidad

Los beneficios en salud están directamente relacionados con la menor necesidad de disponer de los residuos en rellenos, considerando que en éstos emanan una serie de contaminante tóxicos que pueden provocar problemas en la salud de las personas. Si bien este elemento se mantiene controlado por medio de las disposiciones sanitarias vigentes respecto a las condiciones de operación de los rellenos, siempre hay una concentración de contaminantes en los rellenos que no es eliminada en su totalidad.

Existirán beneficios adicionales en salud siempre que el sistema de recolección y de transporte utilizado en la situación con proyecto derive en la menor utilización total de vehículos motorizados que liberan gases dañinos para la salud de las personas, como PM₁₀ y PM_{2,5}

f) Por mayor información y conciencia ambiental

Los proyectos de valorización tienen un componente fuerte de participación de las personas, tanto en la separación de los residuos en origen, como en la generación misma de los residuos en función de los hábitos de consumo individuales. Se genera así un aprendizaje respecto a qué residuos son o no valorizables y en qué

condiciones; implicancias del consumo de diversos bienes empacados; efectos de la disposición final de residuos sobre el medio ambiente, entre otros.

g) Por menor explotación de recursos naturales

Uno de los principales beneficios ambientales de los proyectos de reciclaje, está relacionados con los ahorros generados en la producción de bienes con materia prima virgen respecto a materia prima reciclada. Esto reduce la sobreexplotación de recursos naturales pero, para que sean efectivos, debe ser que los precios actuales de estos recursos se encuentre sub-estimados al no incluir en éstos el costo de las externalidades negativas que produce la sobre-explotación.

II. CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS

La cuantificación de los beneficios consiste en asignar unidades de medida apropiadas a los beneficios identificados. No todos los beneficios identificados previamente son cuantificables y valorizables, por lo que en esta sección se describen sólo aquellos que pueden ser monetarizados e incorporados en el análisis de rentabilidad de los proyectos.

a) Por menor disposición en rellenos sanitarios

Para cuantificar y valorar los beneficios debe compararse el costo por tonelada dispuesta en la situación con y sin proyecto, considerando cada una de las partes del sistema de gestión del residuo. La fórmula general se presenta a continuación.

$$A_t = (C_{R_t}^{CP} - C_{R_t}^{SP}) + (C_{T_t}^{CP} - C_{T_t}^{SP}) + (C_{M_t}^{CP} - C_{M_t}^{SP})$$

Donde:

$C_{R_t}^{CP}$ Es el costo de recolección en la situación CP en el año t ;

$C_{R_t}^{SP}$ Es el costo de recolección en la situación SP en el año t ;

$C_{T_t}^{CP}$ Es el costo de transporte en la situación CP en el año t ;

$C_{T_t}^{SP}$ Es el costo de transporte en la situación SP en el año t ;

$C_{M_t}^{CP}$ Es el costo de tratamiento en la situación CP en el año t ;

$C_{M_t}^{SP}$ Es el costo de tratamiento en la situación SP en el año t ;

De lo anterior, se observa que la estimación de los ahorros generados está sujeta a la correcta cuantificación de los costos generados tanto en la situación CP y SP. Se sugiere que éstos sean estimados distinguiendo por etapa del sistema de gestión del residuo de acuerdo a lo siguiente:

i. Etapa de recolección

Debe estimarse el costo de recolección en la situación CP y SP diferenciando por responsable de dicha tarea, de acuerdo a lo siguiente:

Reciclador de base. Si la responsabilidad de la recolección de residuos (o parte de éstos) recae en los recicladores de base, el costo asociado a esta etapa debe estimarse en función del tipo de vehículo que se utilice mayoritariamente:

Vehículos motorizados

$$C_{R_t} = N_r [C_{V_r} + C_{O_r}] = N_r \left[2 \left(P_c * \frac{d}{r} \right) + \left(W_{\min} * 12 * f * \frac{d}{v} \right) \right]$$

Donde:

C_{V_r} es el costo social asociado al uso de un vehículo por reciclador y está compuesto por el costo correspondiente al uso de combustible y otros costos operacionales del vehículo (lubricantes, uso de neumáticos, horas de mantención, seguros y otros). A los fines de la estimación, se supuso que los otros costos operacionales del vehículo (no combustible) equivalen al 100% de los costos incurridos por uso de combustible;

C_{O_r} es el costo de oportunidad del reciclador de base. Éste se aproxima mediante el salario mínimo vigente en el país, ponderado por el factor de corrección de la mano de obra no calificada;

N_r es el número de recicladores de base estimado que participa en el sistema de recolección;

P_c es el costo social del combustible del vehículo utilizado;¹⁰

d es la distancia total recorrida desde el inicio del trayecto de recolección hasta el fin de éste;

r es el rendimiento del vehículo utilizado;

W_{\min} es el ingreso mínimo mensual para Chile¹¹;

f es el factor de corrección del precio social de la mano de obra no calificada.

Vehículos no motorizados

Si los recolectores de base se desplazaran a pie, en bicicleta u otro vehículo no motorizado, el costo de recolección se puede aproximar como:

$$C_{R_t} = N_r * \bar{h} * W_{\min} * 12$$

Donde:

N_r Es el número de recolectores de base estimado que participa en el sistema de recolección;

\bar{h} Es la jornada laboral mensual promedio de un recolector de base;

W_{\min} Es el ingreso mínimo mensual para Chile.

¹⁰ Se debe utilizar el valor vigente que publica el Ministerio de Desarrollo Social.

¹¹ En la estimación debe indicarse la fuente de información para este ingreso y para cada uno de los parámetros.

Generador. Se entiende que la recolección de residuos está a cargo de los generadores cuando son los propios residentes de la comuna que, luego de acumular los residuos separados en sus hogares, los trasladan a una instalación de acumulación intermedia (punto limpio, punto verde, u otro).

No se desarrolla un método para calcular el costo asociado a la recolección a cargo de los generadores pues se considera que el goce o bienestar que a éstos les genera la contribución que realizan al sistema es al menos igual al costo en que incurrir. Si fuese de otro modo, las personas sencillamente no participarían del proceso de recolección de forma voluntaria. Así, dado que las personas que participan del sistema están dispuestas a prestar sus servicios como recolectores de residuos de forma gratuita, se estima que el costo derivado de esta actividad para la sociedad es cero. El costo social será mayor al beneficio social sólo en los casos en que los generadores generen externalidades relevantes en términos de congestión, contaminación del aire y otros.

Municipio. Cuando existe un contrato de prestación de servicios de recolección acordado entre el municipio y un tercero (recolección municipal concesionada), el costo de recolección se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$C_{R_t} = P_R * TAD_t$$

Donde:

P_R Es el precio por tonelada de residuo recolectada¹²;

TAD_t Son las toneladas de residuo recolectadas en el año t .

Cuando la recolección se realiza con los equipos y recursos del municipio (recolección municipal no concesionada), el costo de recolección se aproxima como:

$$C_{R_t} = \sum_j N_j [CV_j + CO_j] = \sum_j N_j \left[2 \left(P_c * \frac{d}{r_j} \right) + \left(\sum_l N_l * W_l * 12 * f * \frac{d}{v_j} \right) \right]$$

Donde:

CV_j Es el costo social asociado al uso de un vehículo tipo j por la municipalidad y está compuesto por el costo correspondiente al uso de combustible y otros costos operacionales del vehículo (lubricantes, uso de neumáticos, horas de mantención, seguros y otros). A los fines de la estimación, se supuso que los otros costos operacionales del vehículo (no combustible) equivalen al 100% de los costos incurridos por uso de combustible;

N_j Es el número de vehículos tipo j que participa del sistema de recolección;

¹² Cabe mencionar que éste corresponde a un precio privado y no social. No se realizan ajustes adicionales al debido a que no se cuenta con una estimación actual y confiable del verdadero costo que tiene para la sociedad la recolección de una tonelada de residuo. Por tanto, el precio que cobra el privado es utilizado como una aproximación del costo social de recolección.

CO_j Es el costo de oportunidad de las personas que trabajan a bordo de cada uno de los camiones recolectores tipo j del municipio y se aproxima mediante el salario promedio percibido por cada tipo de trabajador, ponderado por el factor de corrección de la mano de obra no calificada;

P_c Es el costo social del combustible del vehículo utilizado;¹³

d Es la distancia total recorrida desde la instalación intermedia (si corresponde) hasta la instalación de tratamiento (valorización o eliminación);

r_j Es el rendimiento del vehículo utilizado;

N_l Es el número de trabajadores tipo l que se desempeñan a bordo de cada camión recolector (conductor, recolector, etc.);

W_l es el salario mensual del trabajador tipo l a bordo de cada camión recolector;

v_j es la velocidad promedio de desplazamiento del vehículo tipo j ;

f es el factor de corrección del precio social de la mano de obra no calificada.

ii. Etapa de transporte

El desarrollo de proyectos de valorización permite ahorrar costos de transporte hacia el sitio de disposición final correspondiente, pero se generan costos por el transporte de los residuos valorizables hasta la instalación de valorización. Así, el resultado neto se obtiene comparando la situación CP y SP de igual modo que se estima el costo de recolección a cargo del municipio, pero para recorridos distintos.

iii. Etapa de tratamiento

En la etapa de tratamiento los costos se estiman a partir de:

$$C_{M_t} = (P_t * TAT_t)$$

Donde:

P_t es el precio por tonelada tratada en el año t ¹⁴;

TAT_t son las toneladas tratadas en el año t .

Recordar que la etapa de tratamiento puede corresponder tanto a la disposición final en relleno sanitario como a la valorización del residuo.

Ejemplo

Se supone que el municipio ha contratado con un tercero el servicio de recolección y transporte de los residuos y que, tal como se mencionó, los residuos no valorizables se disponen en el relleno sanitario más cercano.

Para los efectos de este ejercicio, se supone que el precio que cobra la empresa que recolecta y transporta los residuos no valorizables al relleno no varía en la situación con y sin proyecto y es

¹³ Se debe utilizar el valor vigente que publica el Ministerio de Desarrollo Social.

¹⁴ Al igual que en el caso del costo por tonelada recolectada, P_t representa una aproximación al verdadero costo social de una tonelada de residuos tratada.

igual a \$10.000. Es decir, se asume que el contrato que se tiene con ésta define un precio fijo de cobro por tonelada recolectada y transportada, lo que no siempre se cumple ya que normalmente, entre menos residuos sean gestionados, mayor es el cobro por servicio. Adicionalmente, se asume un precio por recolección y transporte de los residuos orgánicos equivalente a \$15.000 (servicio de recolección diferenciado por tipo de residuo).

Por último, se define un precio por tonelada dispuesta en relleno igual a \$12.000 en la situación SP y \$16.000 en la situación CP. Este diferencial recoge la misma problemática antes descrita respecto al mayor costo que usualmente significa disponer una menor cantidad de residuos en relleno. El resumen de los supuestos se presenta en el Cuadro N°E12.

Cuadro N°E12 – Variables relevantes para estimación de ahorros generados

| Variable | SP | CP |
|--|--------|--------|
| Precio por tonelada recolectada y transportada a la planta de compostaje | NA | 15.000 |
| Precio por tonelada recolectada y transportada al relleno sanitario | 10.000 | 10.000 |
| Precio por tonelada en relleno sanitario | 12.000 | 16.000 |

Fuente: Elaboración propia

Existen además otras iniciativas de valorización de residuos como papel, cartón, plásticos, metales, vidrio y tetra pack. Es de suma relevancia tener en consideración esta oferta de valorización adicional para no subestimar los costos de disposición final de la situación sin proyecto. La implicancia de este aspecto se muestra en el Cuadro N°E13.

Cuadro N°E13 – Toneladas de residuos tratadas en la situación con y sin proyecto

| Año | Destino toneladas de residuos | | | |
|------|-------------------------------|------------------|----------|---------|
| | Generación | Oferta adicional | Proyecto | Relleno |
| 2012 | 46.046 | 7.408 | 16.080 | 22.558 |
| 2013 | 46.336 | 7.449 | 16.160 | 22.726 |
| 2014 | 46.602 | 7.487 | 16.241 | 22.874 |
| 2015 | 46.887 | 7.528 | 16.322 | 23.036 |
| 2016 | 47.173 | 7.569 | 16.404 | 23.200 |
| 2017 | 47.286 | 7.585 | 16.486 | 23.214 |
| 2018 | 47.433 | 7.607 | 16.568 | 23.258 |
| 2019 | 47.523 | 7.620 | 16.633 | 23.271 |
| 2020 | 47.576 | 7.627 | 16.652 | 23.297 |
| 2021 | 47.675 | 7.641 | 16.686 | 23.348 |
| 2022 | 47.434 | 7.607 | 16.602 | 23.225 |
| 2023 | 47.285 | 7.585 | 16.550 | 23.150 |
| 2024 | 47.074 | 7.555 | 16.476 | 23.043 |
| 2025 | 46.798 | 7.515 | 16.379 | 22.903 |

Fuente: Elaboración propia

La columna *Generación* indica el total de toneladas generadas en la comuna; *Oferta adicional* representa las toneladas de residuos valorizadas en otras instalaciones; *Proyecto* son las toneladas de residuos orgánicos a tratar en la instalación de compostaje y *Relleno* son las toneladas restantes de residuos que deben ser depositadas en relleno en la situación con proyecto y corresponde a la diferencia entre *Generación* y todos los anteriores.

Se calculan los costos de recolección, transporte y tratamiento de los residuos en la situación CP utilizando las fórmulas antes descritas y se comparan con los mismos en la situación SP para estimar los beneficios por menor disposición en relleno sanitario (Cuadro N°E14). El ahorro correspondiente al año 2012 se construye como sigue:

Situación CP

Costo de recolección y transporte de residuos orgánicos

$$16.080 * 15.000 = 241.200.000$$

Costos de recolección y transporte otros residuos:

$$(46.046 - 7.408 - 16.160) * 10.000 = 225.581.155$$

Costos disposición en relleno:

$$22.558 * 16.000 = 360.929.848$$

Situación SP

Costo de recolección y transporte

$$38.638 * 10.000 = 386.381.155$$

Costos disposición en relleno:

$$38.638 * 12.000 = 463.657.386$$

Ahorro total

$$102.727.538 - (-)80.400.000 = 22.327.538$$

Donde el primer término corresponde al ahorro total por tratamiento y el segundo al ahorro total por recolección y transporte de los residuos. Notar que como éste tiene signo negativo, se están generando desahorros en esta etapa del sistema (costos de la situación CP son mayores a los costos de la situación SP).

Cuadro N°E14 – Ahorro por menor disposición en relleno sanitario

| t | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Costos situación con proyecto | 466.781.155 | 469.668.725 | 472.355.121 | 475.196.841 | 478.055.592 | 479.430.852 | 481.103.551 |
| Toneladas de residuo recolectadas y transportadas a planta compostaje | 16.080 | 16.160 | 16.241 | 16.322 | 16.404 | 16.486 | 16.568 |
| Toneladas de residuo recolectadas y transportadas a relleno sanitario | 22.558 | 22.726 | 22.874 | 23.036 | 23.200 | 23.214 | 23.258 |
| Costos de recolección y transporte residuos orgánicos | 241.200.000 | 242.406.000 | 243.618.030 | 244.836.120 | 246.060.301 | 247.290.602 | 248.527.055 |
| Costos de recolección y transporte otros residuos | 225.581.155 | 227.262.725 | 228.737.091 | 230.360.721 | 231.995.291 | 232.140.250 | 232.576.495 |
| Costos situación sin proyecto | 386.381.155 | 388.866.725 | 391.149.111 | 393.584.801 | 396.035.492 | 397.000.651 | 398.261.199 |
| Toneladas de residuo recolectada y transportada | 38.638 | 38.887 | 39.115 | 39.358 | 39.604 | 39.700 | 39.826 |
| Costos de recolección y transporte | 386.381.155 | 388.866.725 | 391.149.111 | 393.584.801 | 396.035.492 | 397.000.651 | 398.261.199 |
| Ahorro recolección y transporte | -80.400.000 | -80.802.000 | -81.206.010 | -81.612.040 | -82.020.100 | -82.430.201 | -82.842.352 |
| Costos situación con proyecto | 360.929.848 | 363.620.360 | 365.979.345 | 368.577.154 | 371.192.466 | 371.424.399 | 372.122.393 |
| Toneladas de residuos en relleno | 22.558 | 22.726 | 22.874 | 23.036 | 23.200 | 23.214 | 23.258 |
| Costo disposición en relleno | 360.929.848 | 363.620.360 | 365.979.345 | 368.577.154 | 371.192.466 | 371.424.399 | 372.122.393 |
| Costos situación sin proyecto | 463.657.386 | 466.640.070 | 469.378.933 | 472.301.761 | 475.242.590 | 476.400.781 | 477.913.439 |
| Toneladas de residuos en relleno | 38.638 | 38.887 | 39.115 | 39.358 | 39.604 | 39.700 | 39.826 |
| Costo disposición en relleno | 463.657.386 | 466.640.070 | 469.378.933 | 472.301.761 | 475.242.590 | 476.400.781 | 477.913.439 |
| Ahorro tratamiento | 102.727.538 | 103.019.710 | 103.399.588 | 103.724.608 | 104.050.124 | 104.976.382 | 105.791.046 |
| Ahorro total por menor disposición en relleno | 22.327.538 | 22.217.710 | 22.193.578 | 22.112.568 | 22.030.024 | 22.546.181 | 22.948.694 |

| t | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Costos situación con proyecto | 482.203.357 | 482.746.669 | 483.772.617 | 481.280.444 | 479.743.137 | 477.567.086 | 474.719.656 |
| Toneladas de residuo recolectadas y transportadas a planta compostaje | 16.633 | 16.652 | 16.686 | 16.602 | 16.550 | 16.476 | 16.379 |
| Toneladas de residuo recolectadas y transportadas a relleno sanitario | 23.271 | 23.297 | 23.348 | 23.225 | 23.150 | 23.043 | 22.903 |
| Costos de recolección y transporte residuos orgánicos | 249.497.588 | 249.774.117 | 250.296.291 | 249.027.856 | 248.245.416 | 247.137.877 | 245.688.628 |
| Costos de recolección y transporte otros residuos | 232.705.768 | 232.972.552 | 233.476.326 | 232.252.588 | 231.497.721 | 230.429.209 | 229.031.028 |
| Costos situación sin proyecto | 399.037.494 | 399.488.630 | 400.340.520 | 398.271.159 | 396.994.665 | 395.187.794 | 392.823.447 |
| Toneladas de residuo recolectada y transportada | 39.904 | 39.949 | 40.034 | 39.827 | 39.699 | 39.519 | 39.282 |
| Costos de recolección y transporte | 399.037.494 | 399.488.630 | 400.340.520 | 398.271.159 | 396.994.665 | 395.187.794 | 392.823.447 |
| Ahorro recolección y transporte | -83.165.863 | -83.258.039 | -83.432.097 | -83.009.285 | -82.748.472 | -82.379.292 | -81.896.209 |
| Costos situación con proyecto | 372.329.230 | 372.756.084 | 373.562.122 | 371.604.141 | 370.396.353 | 368.686.734 | 366.449.645 |
| Toneladas de residuos en relleno | 23.271 | 23.297 | 23.348 | 23.225 | 23.150 | 23.043 | 22.903 |
| Costo disposición en relleno | 372.329.230 | 372.756.084 | 373.562.122 | 371.604.141 | 370.396.353 | 368.686.734 | 366.449.645 |
| Costos situación sin proyecto | 478.844.993 | 479.386.356 | 480.408.624 | 477.925.391 | 476.393.598 | 474.225.352 | 471.388.136 |
| Toneladas de residuos en relleno | 39.904 | 39.949 | 40.034 | 39.827 | 39.699 | 39.519 | 39.282 |
| Costo disposición en relleno | 478.844.993 | 479.386.356 | 480.408.624 | 477.925.391 | 476.393.598 | 474.225.352 | 471.388.136 |
| Ahorro tratamiento | 106.515.763 | 106.630.272 | 106.846.502 | 106.321.249 | 105.997.245 | 105.538.618 | 104.938.491 |
| Ahorro total por menor disposición en relleno | 23.349.900 | 23.372.233 | 23.414.405 | 23.311.964 | 23.248.773 | 23.159.326 | 23.042.282 |

Fuente: Elaboración propia

b) Por venta de residuos valorizados y/o por ahorro de costos en procesos internos

i. Venta de residuos valorizados

Los beneficios por venta de residuos valorizados se estiman a partir de la proyección de generación de residuos valorizables, ajustando por la eficiencia de la tecnología que el proyecto emplea. Esto es, debe considerarse que las toneladas de residuos con que se alimenta la tecnología (*input*), no corresponde necesariamente al producto final que de ésta se obtiene (*output*), sean materiales reciclados, compost, digestato y otros. Debe incorporarse entonces un factor de pérdida de producto obtenido respecto al ingresado al sistema. Así, se emplea la fórmula siguiente:

$$IR_t = P_x^y * TAD_t^j * (1 - \theta_y)$$

Donde:

IR_t son los ingresos por venta de residuos en el año t ;

P_x^y es el precio de venta por tonelada de producto x generado con la tecnología y ;

TAD_t^j es el total de toneladas generadas en el año t por tipo de residuo j ;

θ_y es el factor de pérdida asociado a la tecnología y .

Ejemplo

Se supone que el precio de venta del compost generado es igual a \$10.000 por tonelada de producto y que el factor de pérdida de la tecnología compostaje es de 40%. Se obtiene la venta anual de compost de acuerdo al Cuadro N°E15. Los cálculos correspondientes a los años 2012 y 2013 son:

$$IR_{2012} = 10.000 * 16.080 * (1 - 0,4) = 96.480.000$$

$$IR_{2013} = 10.000 * 16.160 * (1 - 0,4) = 96.962.400$$

Cuadro N°E15 – Ingresos por venta de residuos valorizados

| Año | Déficit ajustado (toneladas de residuo) | Producto generado (Toneladas de compost) | Venta Compost |
|------------|--|---|----------------------|
| 2012 | 16.080 | 9.648 | 96.480.000 |
| 2013 | 16.160 | 9.696 | 96.962.400 |
| 2014 | 16.241 | 9.745 | 97.447.212 |
| 2015 | 16.322 | 9.793 | 97.934.448 |
| 2016 | 16.404 | 9.842 | 98.424.120 |
| 2017 | 16.486 | 9.892 | 98.916.241 |
| 2018 | 16.568 | 9.941 | 99.410.822 |
| 2019 | 16.633 | 9.980 | 99.799.035 |
| 2020 | 16.652 | 9.991 | 99.909.647 |
| 2021 | 16.686 | 10.012 | 100.118.516 |
| 2022 | 16.602 | 9.961 | 99.611.142 |
| 2023 | 16.550 | 9.930 | 99.298.167 |
| 2024 | 16.476 | 9.886 | 98.855.151 |
| 2025 | 16.379 | 9.828 | 98.275.451 |

Fuente: Elaboración propia

ii. Ahorro de costos en procesos internos

En la etapa de procesos internos los costos se estiman a partir de:

$$APIR_t = P_x * Q_x$$

Donde:

$APIR_t$ es el ahorro de costos en procesos internos por uso de residuos;

P_x es el precio de mercado del producto x que pagaría el municipio a terceros para el desarrollo de sus procesos internos;

Q_x es la cantidad de producto x utilizado en sus procesos internos

c) Por ahorro de gasto en energía empleada en procesos internos

Los costos se estiman a partir de:

$$APIE_t = P_e * Q_e$$

Donde:

$APIE_t$ es el ahorro de costos en procesos internos por uso de energía auto generada en el año t ;

P_e es el precio de mercado de la energía e que pagaría el municipio a terceros para el desarrollo de sus procesos internos;

Q_e es la cantidad de energía e utilizado en sus procesos internos.

Los beneficios por ahorro de emisiones GEI, menores tasas de morbilidad, mayor información y conciencia ambiental y menor explotación de recursos naturales no son

cuantificados ni valorados. No obstante, si el formulador dispone de información fidedigna y rigurosamente obtenida, podrá incorporarlos en la formulación del proyecto.

III. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORIZACIÓN DE LOS COSTOS

La identificación de los costos a nivel físico de un proyecto de valorización debe considerar las diferentes actividades que se encuentran involucradas en el desarrollo del proyecto. Por lo tanto se deberá tener en cuenta la cuantificación física de los insumos requeridos como inversión inicial del proyecto, además de operación y mantenimiento de éste.

Asimismo, los costos del proyecto deben ajustados para representar el verdadero costo que el proyecto de valorización tiene para la sociedad, corrigiendo los precios de mercado (privados) en función de las distorsiones que en éste se presenten¹⁵. Además, éstos deben ser agrupados por etapa del proceso de gestión del residuo para facilitar la comparación de alternativas e identificación de los nodos críticos del proyecto, de acuerdo a lo siguiente:

a) Inversión

Los costos de inversión corresponden a la adquisición de los equipos, incluyendo la inversión total en la compra hasta su puesta en funcionamiento e incorporando las modificaciones y/o adaptaciones de infraestructura requeridas y las instalaciones complementarias. Corresponde asignar este gasto en el momento inicial del proyecto.

La identificación de los componentes físicos de la inversión se puede hacer con la ayuda de otros proyectos similares al proyecto de valorización en términos de la tecnología e infraestructura a utilizar. Si no se dispone de información confiable de este tipo, será necesario realizar un diseño preliminar del proyecto para contar con estimaciones adecuadas de las cantidades físicas de insumos requeridos en la construcción del proyecto.

En términos generales, se pueden considerar como parte de la iniciativa del proyecto de valorización los siguientes ítems de costos:

- Terreno
- Obras civiles
- Equipamiento

¹⁵ Para mayor detalle respecto a la corrección a precios sociales, se sugiere revisar los precios sociales publicados por el SNI.

- Consultoría (incluye capacitación, educación ambiental y sensibilización a la ciudadanía¹⁶, partidas que suelen representar hasta un 5-7% del monto total de inversión del proyecto).

b) Operación y mantenimiento

Los costos que surgen por este tipo de proyectos son los usuales, principalmente asociados a mantenciones periódicas y rutinarias además de los costos de operación. Algunos ejemplos de partidas a considerar son: consumo de servicios básicos; personal de aseo y seguridad; conservación de los sistemas eléctricos, alcantarillado, etc.

Notar que bajo este ítem se incorporan sólo aquéllos costos que no hayan sido previamente considerados como ahorros atribuibles al proyecto en las etapas de recolección, transporte y tratamiento.

IV. FLUJO DE BENEFICIOS NETOS

El beneficio total neto del proyecto se define como la diferencia de los beneficios con respecto a los costos, para cada año de análisis del proyecto. Éste se obtiene de acuerdo a lo siguiente:

$$BTN_t = A_t + IT_t + APIR_t + EE_t + APIE_t + GEI_t - C_t$$

Donde:

BTN_t es el beneficio total neto del proyecto en el año t , con $t=1,2,3\dots T$;

t es el horizonte de evaluación del proyecto (año 0);

A_t son los ahorros generados por menor disposición en rellenos en el año t ;

IT_t son los ingresos por venta de residuos en el año t ;

$APIR_t$ es el ahorro de costos en procesos internos por uso de residuos en el año t ;

EE_t son los ingresos por venta de energía en el año t ;

$APIE_t$ es el ahorro de costos en procesos internos por uso de energía auto generada en el año t ;

GEI_t es el ahorro en emisiones generado en el proceso completo de gestión del residuo en el año t ;

¹⁶ Notar que la capacitación ciudadana sobre el concepto de valorización de residuos es un aspecto clave en la formulación de proyectos de este tipo. Si la población objetivo no ha sido instruida sobre el rol que debe cumplir en el desarrollo del proyecto, existe una gran probabilidad de que éste fracase. Los formuladores deberán plantear por tanto un línea de acción clara respecto a la educación que recibirán en esta materia las personas y, si no hubiera instancia de educación alguna, deberá ser debidamente justificado (por ejemplo, la población objetivo ha recibido capacitaciones previas, proyecto piloto indica que la ciudadanía se encuentra suficientemente sensibilizada, etc.).

C_t son los costos asociados a la mantención y operación en que debe incurrirse en el año t para permitir la correcta valorización de los residuos con la infraestructura provista.

V. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su reformulación o su rechazo. La evaluación social del proyecto tiene por objetivo desarrollar el análisis comparado de la conveniencia de realizar el proyecto desde el punto de vista social y considerando todos los propósitos. La evaluación desde el punto de vista de la sociedad puede hacerse a precios de mercado, siempre que dichos precios reflejen adecuadamente la escasez de insumos y productos desde el punto de vista social. En caso contrario, deberían hacerse todos los ajustes correspondientes.

a) Indicadores de rentabilidad

Los principales indicadores de rentabilidad están dados por el valor actual de los beneficios y la tasa interna de retorno. El *Valor Actual Neto Social (VANS)* del proyecto estará dado por:

$$VANS = \sum_{t=1}^T \frac{BS_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^T} - I_0$$

Donde:

$VANS$ es el valor actual neto social del proyecto;

$-I_0$ es la inversión inicial;

BS_t son los beneficios totales netos en el año t ;

r es la tasa social de descuento¹⁷;

T es el horizonte de evaluación total del proyecto;

VR es el valor residual del proyecto al final de su vida útil.

Si el proyecto tiene $VANS$ positivo, es conveniente su ejecución; en caso contrario debe recomendarse su rechazo o reformulación. Si el $VANS$ es cero, en ausencia de otro tipo de consideraciones, la sociedad debería ser indiferente a ejecutar o no el proyecto. No obstante, al tomar la decisión sobre la ejecución del proyecto, deben considerarse todos los beneficios y costos que no pudieron ser debidamente cuantificados y valorados.

El otro indicador de rentabilidad habitualmente utilizado es la *Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)*, la que mide la rentabilidad promedio que tiene un determinado proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo

¹⁷ Debe emplearse la tasa de descuento que publica el Ministerio de Desarrollo Social.

proyecto y a una tasa constante. Matemáticamente, corresponde a la tasa de descuento que hace el VANS igual a cero. La TIRS se usa complementariamente al VANS, ya que son criterios equivalentes y se estima de la siguiente manera:

$$0 = \sum_{t=1}^T \frac{BS_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^T} - I_0$$

Donde:

ρ es la tasa interna social de retorno;

El criterio de decisión al utilizar la TIRS es el siguiente: i) si $p^* > r^*$, es conveniente ejecutar el proyecto; ii) si $p^* < r^*$, no es conveniente ejecutar el proyecto.

Ejemplo

Utilizando una tasa de descuento del 6%, se construyen los indicadores de rentabilidad considerando lo siguiente:

Los beneficios son los previamente estimados (Cuadro N°E14 y N°E15) y corresponden al ahorro por menor disposición en relleno sanitario y a la venta de compost.

Los costos de inversión se estiman en 365.000.000 en total y se imputan en el año cero, mientras que los costos de inversión, operación y mantenimiento, son desglosados en las partidas que se señalan: gastos es personal, insumos de operación, mantención y reparaciones. Estos costos se materializan año a año para mantener el nivel de prestación del servicio de valorización de residuos y van aumentando en el tiempo producto del incremento en la cantidad de toneladas de residuos tratadas.

En este ejercicio, se asume que los costos de operación y mantenimiento por tonelada valorizada, en el año 2013, son los que se indican en el Cuadro N°E16.

Cuadro N°E16 - Costos estimados por tonelada valorizada

| | |
|---|--------------|
| Gastos en personal por tonalada valorizada | 2.177 |
| Insumos operación por tonalada valorizada | 1.866 |
| Mantención y reparaciones por tonalada valorizada | 311 |
| Costo total por tonelada valorizada | 4.353 |

Fuente: Elaboración propia

Dado que en el año 2013 se valorizan 16.160 toneladas de residuos orgánicos, los costos correspondientes a este año se obtienen por partida como sigue:

Gastos en personal:

$$16.160 * 2.177 = 35.175.000$$

Insumos operación:

$$16.160 * 1.866 = 30.150.000$$

Mantención y reparaciones:

$$16.160 * 311 = 5.025.000$$

Utilizando los costos por tonelada valorizada del año 2013, y a modo de simplificación, se proyectan los costos futuros de acuerdo a la cantidad de toneladas tratadas.

Se muestra a continuación un ejemplo de cálculo correspondiente a los años 2014 y 2015.

Gastos en personal año 2014:

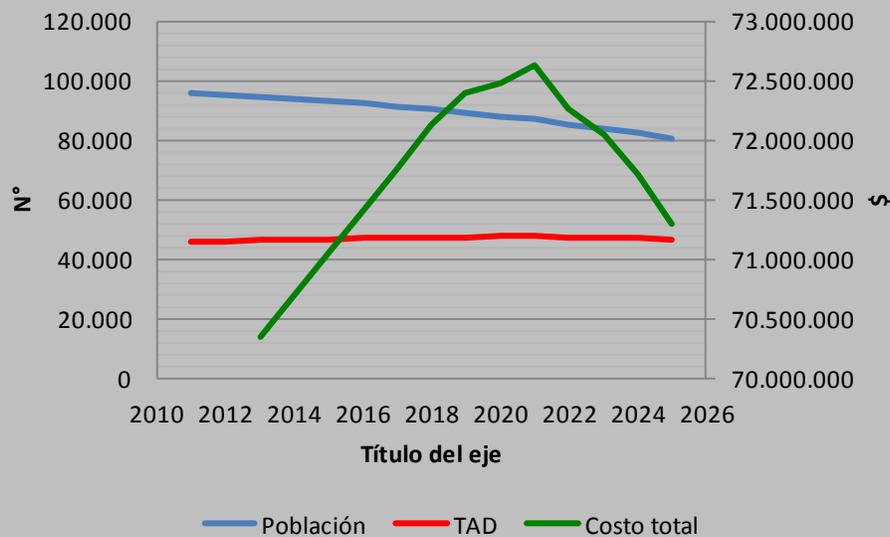
$$2.177 * 16.241 = 35.350.875$$

Gastos en mantención y reparaciones año 2015:

$$311 * 16.241 = 5.075.376$$

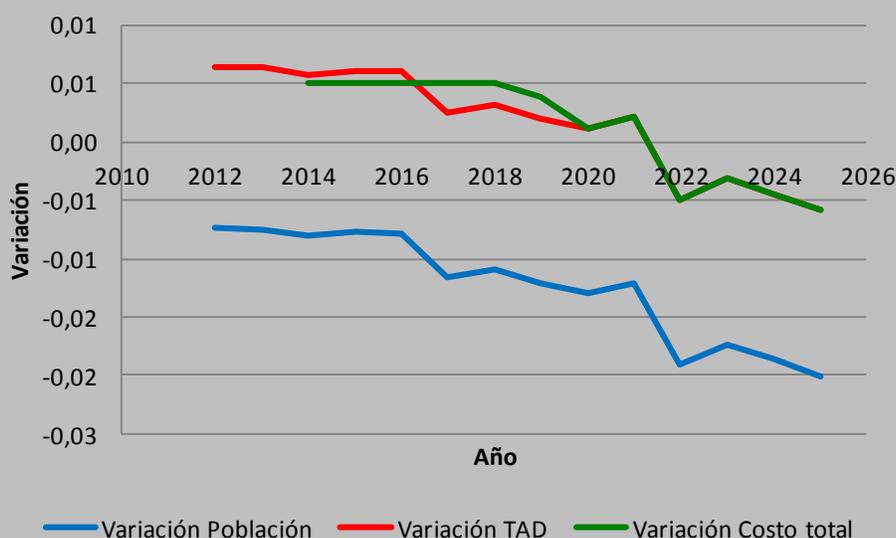
Notar que el comportamiento particular de los costos que en este ejercicio se han supuesto (primero creciente y luego decreciente a partir del año 2023), es producto de que éstos están estimados a partir de la generación de toneladas en la comuna (TAD), a la vez que ésta depende del crecimiento esperado de la población. Sin embargo, y tal como se muestra en la Figura N°E3, la población proyectada tiene un comportamiento decreciente durante el período de estudio (producto de migraciones u otros), y a distintas tasas, resultando en una TAD con un comportamiento como el indicado. Para mayor claridad, este fenómeno se grafica en las Figuras N°E2 y N°E3, mientras los datos de referencia se muestran en el Cuadro N°E17.

Figura N°E2 – Nivel del costo total según variables de interés



Fuente: Elaboración propia

Figura N°E3 – Variación del costo total según variables de interés



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E17 – Variables de interés en la determinación del costo total

| Año | Población | TAD | Costo total | Variación Población | Variación TAD | Variación Costo total |
|------|-----------|--------|-------------|---------------------|---------------|-----------------------|
| 2011 | 96.232 | 45.758 | | | | |
| 2012 | 95.516 | 46.046 | | -0,74% | 0,63% | |
| 2013 | 94.802 | 46.336 | 70.350.000 | -0,75% | 0,63% | |
| 2014 | 94.037 | 46.602 | 70.701.750 | -0,81% | 0,58% | 0,50% |
| 2015 | 93.306 | 46.887 | 71.055.259 | -0,78% | 0,61% | 0,50% |
| 2016 | 92.576 | 47.173 | 71.410.535 | -0,78% | 0,61% | 0,50% |
| 2017 | 91.508 | 47.286 | 71.767.588 | -1,15% | 0,24% | 0,50% |
| 2018 | 90.513 | 47.433 | 72.126.426 | -1,09% | 0,31% | 0,50% |
| 2019 | 89.417 | 47.523 | 72.408.089 | -1,21% | 0,19% | 0,39% |
| 2020 | 88.259 | 47.576 | 72.488.342 | -1,30% | 0,11% | 0,11% |
| 2021 | 87.197 | 47.675 | 72.639.885 | -1,20% | 0,21% | 0,21% |
| 2022 | 85.528 | 47.434 | 72.271.766 | -1,91% | -0,51% | -0,51% |
| 2023 | 84.049 | 47.285 | 72.044.690 | -1,73% | -0,31% | -0,31% |
| 2024 | 82.482 | 47.074 | 71.723.264 | -1,86% | -0,45% | -0,45% |
| 2025 | 80.826 | 46.798 | 71.302.670 | -2,01% | -0,59% | -0,59% |

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la información anterior, se estiman los indicadores de rentabilidad de acuerdo a los flujos presentados en los Cuadros N°E19 y N°E20. Éstos, VAN Social (VANS) y TIR Social (TIRS) se presentan a su vez en el Cuadro N°E18, que llevan a concluir que el proyecto es económicamente rentable (VANS>0 y TIR>6%).

Cuadro N°E18 – Indicadores de rentabilidad proyecto de valorización

| | |
|-------------|------------|
| VANS | 73.779.695 |
| TIRS | 9% |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E19 –Beneficios netos del proyecto de valorización

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| t | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Inversión | | | | | | | | |
| Terreno | 10.000.000 | | | | | | | |
| Obras civiles | 300.000.000 | | | | | | | |
| Equipamiento | 50.000.000 | | | | | | | |
| Gastos administrativos | 5.000.000 | | | | | | | |
| Total Inversión | 365.000.000 | | | | | | | |
| Beneficios | | | | | | | | |
| Por menor disposición en rellenos sanitarios | | 22.327.538 | 22.217.710 | 22.193.578 | 22.112.568 | 22.030.024 | 22.546.181 | 22.948.694 |
| Venta compost | | 96.480.000 | 96.962.400 | 97.447.212 | 97.934.448 | 98.424.120 | 98.916.241 | 99.410.822 |
| Total Beneficios | | 118.807.538 | 119.180.110 | 119.640.790 | 120.047.016 | 120.454.144 | 121.462.422 | 122.359.516 |
| Costos | | | | | | | | |
| Gastos en personal | | 35.175.000 | 35.350.875 | 35.527.629 | 35.705.268 | 35.883.794 | 36.063.213 | 36.204.045 |
| Insumos operación | | 30.150.000 | 30.300.750 | 30.452.254 | 30.604.515 | 30.757.538 | 30.911.325 | 31.032.038 |
| Mantenimiento y reparaciones | | 5.025.000 | 5.050.125 | 5.075.376 | 5.100.753 | 5.126.256 | 5.151.888 | 5.172.006 |
| Total Costos | | 70.350.000 | 70.701.750 | 71.055.259 | 71.410.535 | 71.767.588 | 72.126.426 | 72.408.089 |
| Beneficios netos | -365.000.000 | 48.457.538 | 48.478.360 | 48.585.531 | 48.636.481 | 48.686.556 | 49.335.996 | 49.951.427 |
| Flujos actualizados | -365.000.000 | 45.714.659 | 43.145.568 | 40.793.349 | 38.524.648 | 36.381.427 | 34.779.931 | 33.220.552 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°E20 –Beneficios netos del proyecto de valorización

| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| t | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Inversión | | | | | | |
| Terreno | | | | | | |
| Obras civiles | | | | | | |
| Equipamiento | | | | | | |
| Gastos administrativos | | | | | | |
| Total Inversión | | | | | | |
| Beneficios | | | | | | |
| Por menor disposición en rellenos sanitarios | 23.349.900 | 23.372.233 | 23.414.405 | 23.311.964 | 23.248.773 | 23.159.326 |
| Venta compost | 99.799.035 | 99.909.647 | 100.118.516 | 99.611.142 | 99.298.167 | 98.855.151 |
| Total Beneficios | 123.148.936 | 123.281.880 | 123.532.922 | 122.923.106 | 122.546.939 | 122.014.476 |
| Costos | | | | | | |
| Gastos en personal | 36.244.171 | 36.319.943 | 36.135.883 | 36.022.345 | 35.861.632 | 35.651.335 |
| Insumos operación | 31.066.432 | 31.131.379 | 30.973.614 | 30.876.296 | 30.738.542 | 30.558.287 |
| Mantenimiento y reparaciones | 5.177.739 | 5.188.563 | 5.162.269 | 5.146.049 | 5.123.090 | 5.093.048 |
| Total Costos | 72.488.342 | 72.639.885 | 72.271.766 | 72.044.690 | 71.723.264 | 71.302.670 |
| Beneficios netos | 50.660.593 | 50.641.995 | 51.261.156 | 50.878.417 | 50.823.675 | 50.711.807 |
| Flujos actualizados | 31.785.083 | 29.974.919 | 28.623.962 | 26.802.115 | 25.257.809 | 23.775.674 |

Fuente: Elaboración propia

b) Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación corresponde a los años de vida útil del proyecto y es en general menor o igual a la vida útil económica de las obras de infraestructura. En la mayoría de obras de infraestructura urbana es común utilizar un período de 20 años, aunque en el caso de los proyectos de valorización esto será particular a la instalación y tecnología de que se trate. Así por ejemplo, el horizonte de evaluación de una planta de incineración debiese estar cercano a los 20 años, mientras que en el caso de un punto limpio, éste corresponderá a los 5-10 años como máximo. Esto, porque en un período de tiempo mayor, la infraestructura provista alcanza un nivel de deterioro tal que se requerirían inversiones adicionales importantes para no comprometer el nivel de servicio que originalmente se prestaba.

Notar que muchas veces las obras tienen una vida útil más allá del horizonte de evaluación del proyecto, en cuyo caso debe registrarse un valor adicional al proyecto conocido como *Valor Residual*.

c) Valor residual

El *valor residual económico* se estima como el VANS del flujo futuro de beneficios netos del proyecto desde el año n (horizonte de evaluación) hasta el año $n+m$. No obstante, suele utilizarse frecuentemente un enfoque “ingenieril”, denominado *valor patrimonial*, que estima el valor residual a partir de las funciones de deterioro de la infraestructura y las políticas de conservación aplicadas. A los fines de la presente metodología, ambos enfoques se consideran válidos en la medida en que sean adecuadamente respaldados con información fiable y verificable. Este valor deberá agregarse en el flujo de caja del proyecto, cuando corresponda.

VI. ANÁLISIS DE RIESGO

Generalmente, al evaluar proyectos de inversión, se asume que las variables utilizadas tienen un carácter determinístico. Se calcula, estima o asume un valor para cada una de las variables y posteriormente se utiliza dicho valor al realizar los cálculos y simulaciones necesarias. Sin embargo, hay un número de variables en todos los proyectos de inversión en infraestructura que no tienen este comportamiento. Hay variables cuyo valor no puede predecirse con exactitud, sino que existe una cierta incertidumbre en su estimación.

Esta incertidumbre puede provenir principalmente de dos fuentes. La primera, es el hecho que existen contingencias cuya ocurrencia afectará al proyecto, tanto internas como externas al mismo. Dentro de las internas, puede tenerse por ejemplo dificultades en la construcción que encarecen la misma. Dentro de las externas, por ejemplo, puede encontrarse un alza inesperada del precio del petróleo que afecta la demanda del proyecto. La segunda fuente de incertidumbre radica en el proceso de evaluación propiamente tal. Se trata de la información disponible acerca de variables como valor del tiempo, elasticidades de demanda, etc., cuyos valores no necesariamente son un fiel reflejo de la realidad, además de

factores humanos como errores en la estimación de demanda, en el diseño del proyecto, en la modelación del mismo, etc.

Existen diversos factores que introducen incertidumbre en la evaluación económica de un proyecto de inversión, afectando de distintas maneras el cálculo del VANS, entre ellas:

- **Inversión:** Las fuentes de incertidumbre más comunes están relacionadas con la duración de las obras, la diferencia entre los costos reales y los previstos, entre otros.
- **Costos de operación y mantenimiento:** Existe incertidumbre respecto al precio de determinados insumos necesarios para la prestación de los servicios comprometidos por el proyecto (por ejemplo, el precio del combustible influirá directamente en los costos de recolección y transporte del proyecto), además de las cantidades consumidas de cada insumo (trabajadores, equipos, materiales, energía, etc.).
- **Beneficios:** Se desconoce cuál será el nivel real de participación una vez que el proyecto se ponga en marcha, cuál será el precio de venta de los residuos valorizables y qué capacidad de compra prevalecerá en el mercado respecto a éstos (toneladas de residuos compradas).

Cada una de estas fuentes de incertidumbre tiene un impacto diferente sobre los posibles valores finales del VANS de un proyecto. Por ello, y ante la imposibilidad de conocer con certeza todas y cada una de las variables aleatorias implicadas en un proyecto, resulta necesario seguir un proceso riguroso de modelación de la incertidumbre que permita centrar los esfuerzos de análisis en aquellos elementos cuyo efecto relativo es mayor. Para esto, se sugiere utilizar los siguientes métodos:

- Análisis de Sensibilidad
- Análisis de Escenarios

a) Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en suponer variaciones en los valores asumidos para ciertas variables y estudiar los cambios en los indicadores de rentabilidad del proyecto producto de estas variaciones. Este tipo de análisis permite determinar qué variables son las más relevantes en términos de riesgo. Esto dependerá de dos factores:

- Su participación en los costos o beneficios totales del proyecto
- Su nivel de incertidumbre, es decir, el rango en que puede variar su valor

Esta herramienta puede ser usada además para encontrar el punto de equilibrio de un proyecto, es decir, para cada variable, asumiendo que las demás permanecen constantes, cuánto puede cambiar antes que el VANS se haga negativo.

Si se escoge utilizar esta herramienta, se sugiere identificar las variables más relevantes y hacer que sus valores varíen alrededor de un 20-30%, a menos que se trate de una variable con un alto nivel de incertidumbre, en cuyo caso se deberá utilizar valores mayores, según corresponda.

Las limitaciones de este método radican en que variar parámetros de manera individual no es realista, ya que en la práctica éstas están correlacionadas unas con otras. Además, no permite considerar valores extremos para las variables, los que muchas veces serán los que producirán los resultados más favorables o desfavorables del proyecto.

b) Análisis de escenarios

El análisis de escenarios permite tratar con una de las principales limitaciones del análisis de sensibilidad, que es la variación de las variables individualmente. Esta herramienta reconoce que existe cierta correlación entre diversas variables, por lo que establece escenarios consistentes en variaciones de un grupo de variables en conjunto.

Se puede definir, por ejemplo, escenarios para el peor caso, escenarios promedio y optimistas. Para un conjunto de variables definidas se asignará determinados valores para cada uno de los escenarios. Por ejemplo, para el escenario optimista, se asumirá que variables como el precio de venta de los residuos valorizables aumentan, mientras que variables como el costo de transporte disminuyen. En un escenario pesimista las variaciones debieran ser con el signo contrario.

CONSIDERACIONES FINALES

El presente documento resume los principales aspectos relacionados a la formulación y evaluación social de proyectos de valorización y constituye una primera aproximación de la aplicación del enfoque costo - beneficio en este tipo de proyectos en el SNI.

La metodología propuesta reconoce que los proyectos de valorización representan, fundamentalmente, una forma de lograr un mejor aprovechamiento de residuos que actualmente se disponen en rellenos sanitarios. Es por esto que la mayoría de los beneficios que de estos proyectos se derivan están relacionados con los ahorros cuantificables por menor disposición de los residuos en estos sitios. Es en ese sentido muy relevante considerar que los proyectos de valorización son un complemento de los proyectos que entregan una solución más agregada al problema de disposición de residuos en condiciones sanitarias adecuadas.

No obstante, se observa también que los proyectos de valorización presentan beneficios muchas veces no cuantificables que hacen de éstos una alternativa interesante respecto a los proyectos de eliminación. Éste es el caso de los ahorros medioambientales y de salud vinculados igualmente a la menor disposición en rellenos. Aquí radica la relevancia de seguir desarrollando herramientas para cuantificar y valorizar confiablemente estas externalidades asociadas a la operación de rellenos, para atribuir a los proyectos de valorización todos los beneficios que le corresponden.

Cabe señalar que existen además un conjunto de elementos adicionales de análisis que han quedado fuera de esta primera versión metodológica, pero que están siendo desarrollados para hacer de ésta una herramienta más completa. Es así como se está analizando la factibilidad de desarrollar una herramienta simplificada para la cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI), que conduzca a la incorporación de beneficios generados por este concepto, mediante la utilización del precio social del carbono que estima este Ministerio¹⁸. También se espera poder desarrollar un marco conceptual de evaluación de impacto que revele la importancia de integrar otras temáticas de interés como es la inclusión de los recicladores de base en los proyectos de valorización.

Por último, se ha planteado la inquietud de adicionar una metodología de evaluación de proyectos con un foco de mínimo costo, para aquellos que cumplan con determinadas características que en el Ministerio de Desarrollo Social se definan, en términos de tamaño de proyecto, montos de inversión involucrados, entre otros. En principio, se esperaría poder diferenciar entre proyectos de gran y pequeña envergadura para que sean sólo los primeros los que deban, como exigencia, ser evaluados con una metodología de costo beneficio como la que en este documento se ha propuesto. Esta diferenciación estaría de acuerdo con el

¹⁸ Para más información, se recomienda revisar los precios sociales vigentes.

reconocimiento de que muchos proyectos de pequeña escala presentan beneficios difícilmente cuantificables pero que son de gran interés para la sociedad, como: inclusión de recicladores de base, educación ambiental y participación ciudadana. Como ya se ha señalado, este aspecto del análisis está siendo estudiado aún, pero habrá sido definido al momento que la metodología sea publicada oficialmente en las normas y procedimientos del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braeutigman, K-R; Gonzalez, T.; Seifert, H. (2009) Landfill gas emissions from landfills in Santiago de Chile: Strategies to reduce impact on local environment as well as on global climate. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de Septiembre del 2009.

Braeutigam, K.-R.; Gonzalez, T. (2009). Evaluation of Municipal Solid Waste Management in Santiago de Chile Regarding Sustainability.

CONAMA (2005). Sistemas de reciclaje: Estudio de casos en la Región Metropolitana.

CONAMA (2005). Estrategia de reciclaje de residuos sólidos domiciliarios de la Región Metropolitana. Área Gestión de Residuos y Materiales Peligrosos.

COVEC (2007) Recycling: Cost Benefit Analysis. Prepared for Ministry of the Environment, New Zealand.

Decreto 189. Chile. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. Ministerio de salud; Subsecretaría de salud pública, Santiago, Chile, Enero 2008.

Federation of Canadian Municipalities (). Solid Waste as a resource. Review of waste technologies.

Fritz, M. (2011). Iniciativas Municipales de Reciclaje de Residuos Sólidos. Documento de trabajo área municipal N°1. Centro de Políticas Públicas UC.

Instituto Nacional de Estadísticas (<http://www.ine.cl/>).

Ley 20.527. Chile. Modifica la ley N° 18.695, orgánica constitucional de municipalidades y regula las asociaciones municipales. Ministerio del interior y seguridad pública; Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo, Santiago, Chile, Septiembre de 2011.

Ministerio de Desarrollo Social (2013). Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

Ministerio del Interior (2008). Mejoramiento de la gestión técnica, financiera e institucional del servicio de aseo domiciliario. Subsecretaría de desarrollo regional.

Ministerio de Medio Ambiente (2012). Caracterización de residuos sólidos municipales (RSM). Anteproyecto de norma. Borrador N°9 - 23 Noviembre 2012.

Recycling Council of Alberta (). Application of life cycle assessment to waste management. Christina Seidel.

SIGA (2001). "Proyecto implementación relleno sanitario intercomunal - VII Región".

ANEXO N°1 - INSTITUCIONALIDAD VIGENTE

Se indican a continuación las leyes, normas y reglamentos más relevantes en el ámbito de la gestión de residuos en el país.

Artículo N°107 de la Constitución Política de la República de Chile

En éste se indica que las municipalidades son corporaciones autónomas, de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Éstas deben satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar la participación en el proceso económico, social y cultural de las comunas. Las municipalidades están a cargo de la administración local de la comuna y sus funciones y atribuciones están definidas en la Ley Orgánica Constitucional. Así, se establece que "... el aseo de la comuna está legalmente concebido como un servicio municipal, que comprende no sólo la recolección de la basura, sino que involucra todo un proceso del cual forma parte su transporte y disposición final" (CONAMA 2005). Esto es, los municipios participan del proceso completo de gestión de los residuos, sean éstos domésticos, comerciales, industriales, hospitalarios o de la construcción.

Ley 20.527 que modifica la ley N°18.695, orgánica constitucional de municipalidades y regula las asociaciones municipales

Esta ley regula la constitución de asociaciones municipales, permitiendo que éstas gocen de personalidad jurídica de derecho privado y que dispongan de patrimonio propio, gestionado de acuerdo a la voluntad mayoritaria de sus socios, y formado por cuotas determinadas de acuerdo a los estatutos; por donaciones; por el producto de bienes y servicios; por la venta de activos y por erogaciones, subvenciones y aportes; y por otros bienes que se adquieran a nombre de la asociación. Así, las municipalidades que formen parte de estas asociaciones estarán facultadas para vender reciclables y administrar sus recursos sin las limitaciones que rigen a los municipios aislados [Ley orgánica constitucional de municipalidades]

Existe un registro único de asociaciones municipales con personalidad jurídica de derecho privado a cargo de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior

Decreto supremo N°95 de 2001, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Establece en su artículo N°3, que "los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son los siguientes":

o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos. Se entenderá por proyectos

de saneamiento ambiental al conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas comprendidas en soluciones sanitarias, y que correspondan a:

- o.1 Sistemas de alcantarillado de aguas servidas que atiendan a una población igual o mayor a dos mil quinientos (2.500) habitantes;
- o.2 Sistemas de alcantarillado o evacuación de aguas lluvias, cuando se interconecten con redes de alcantarillado de aguas servidas;
- o.3 Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario, considerando los procesos intermedios, y que atiendan a una población igual o mayor a dos mil quinientos (2.500) habitantes;
- o.4 Plantas de tratamiento de aguas de origen domiciliario, que atiendan a una población igual o mayor a dos mil quinientos (2.500) habitantes;
- o.5 Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios y estaciones de transferencia que atiendan a una población igual o mayor a cinco mil (5.000) habitantes;
- o.6 Emisarios submarinos;
- o.7 Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos, que contemplen dentro de sus instalaciones lagunas de estabilización, o cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren en el terreno, o que den servicio de tratamiento a residuos provenientes de terceros, o que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas;
- o.8 Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales sólidos;
- o.9 Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos peligrosos, incluidos los infecciosos;
- o.10 Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos infecciosos generados por establecimientos de salud, con capacidad mayor o igual a doscientos cincuenta kilogramos diarios (250 kg/día); u o.11.
- o.11 Reparación o recuperación de terrenos que contengan contaminantes, que abarquen, en conjunto, una superficie igual o mayor a diez mil metros cuadrados (10.000 m²).