



# Metodología para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de proyectos para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Noviembre de 2019

Para la elaboración de este documento se contó con la participación de:

Eduardo Morín Maya y María Lizbeth Alvarado Roldán del CEPEP; Bertha Itzel Alcérreca Corte de FELICITY-GIZ; Anne Laure Mascle-Allemand y Daniel Soria Santoyo del PIAPPEM

Se agradecen las contribuciones a este documento de:

Edgar Dávalos González, Arturo Villa-Azteca Nolasco e Israel Moreno de la Unidad de Inversiones de la SHCP; Jorge Armando Lira Quirarte y María Fernanda Montes de Oca Pérez de Banobras; Maricela Díaz Ortiz e Itzel González Ornelas de la SEMARNAT

## Contenido

<b>Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: Definición, tipología de proyectos y normatividad aplicable en el contexto mexicano</b>	<b>3</b>
i. Definición	3
ii. Tipo y origen de los residuos	3
i. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	4
ii. Tipología de proyectos	13
<b>Capítulo 2: Metodología de evaluación socioeconómica de proyectos de manejo de RSU</b>	<b>19</b>
Introducción	19
Paso 1: Diagnóstico de la situación actual	20
i. Diagnóstico de la situación actual	20
i. Análisis de la oferta, la demanda y su interacción por etapa del ciclo	24
Paso 2: Situación sin proyecto y análisis de las alternativas para atender esa situación	37
i. Medidas y/o mecanismos de optimización de servicios	37
ii. Oferta en el escenario Sin Proyecto	39
iii. Demanda en el escenario Sin Proyecto	41
iv. Interacción de la Oferta y la Demanda en el escenario Sin Proyecto	42
v. Identificación y comparación de las alternativas de proyectos	43
Paso 3: Situación con el proyecto	45
ii. Descripción del proyecto	45
iii. Oferta en el escenario Con Proyecto	46
iv. Demanda en el escenario Con Proyecto	47
v. Interacción de la Oferta y la Demanda en el escenario Con Proyecto	48
Paso 4: Identificación, cuantificación y valoración de los costos y beneficios socioeconómicos	57
i. Beneficios	58
ii. Costos	59
iii. Identificación de costos por tipo de proyectos	60

iv.	Identificación de beneficios netos por tipo de proyectos	61
v.	Cuantificación y valoración de costos por tipo de proyectos	62
vi.	Cuantificación y valoración de beneficios por tipo de proyectos	63
Paso 5a: Indicadores para el ACB		69
i.	Valor Presente Neto (VPN)	69
ii.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	70
iii.	Tasa de Rentabilidad Inmediata	71
Paso 5b: Indicadores para el ACE		72
iv.	Valor Actual de los Costos (VAC)	72
v.	Costo Anual Equivalente (CAE)	73
•	Costo Medio por tonelada de RSU manejada (CmRSUM)	74
Paso 5c: Indicador con un enfoque a la reducción de emisiones de GEI		75
•	Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI (CMA)	75
Paso 5d: Análisis de alternativas		766
Paso 6: Análisis de sensibilidad y riesgos		81
i.	Análisis de sensibilidad	81
ii.	Análisis de riesgos	82
Paso 7: Conclusiones y recomendaciones		84
Comentarios finales		85
<b>Bibliografía</b>		<b>85</b>

## Antecedentes

El manejo integral de residuos sólidos urbanos (RSU), representa uno de los mayores retos de la humanidad; la creciente población y consumo de todo tipo de artículos y la eliminación indiscriminada de desechos generan graves daños sociales, económicos, ambientales y a la salud, esta situación representa una de las problemáticas centrales que requieren de atención prioritaria de carácter gubernamental para su regulación, manejo, control y solución a corto, mediano y largo plazo. La adecuada gestión de los RSU permitirá prevenir, reducir, mitigar o eliminar afectaciones ambientales como la contaminación del suelo, de los cuerpos de agua, del aire, así como de los espacios públicos donde interactúan los diferentes actores de la sociedad.

En 2008 el CEPEP publicó un documento denominado “Metodologías para la evaluación de proyectos de Residuos Sólidos Urbanos: Caso práctico de evaluación de un sitio de disposición final y estación de transferencia”, aunque en su momento esta metodología representaba un primer esfuerzo en la región respecto de la evaluación de proyectos para el manejo de RSU, el tema se fue posteriormente trabajando y profundizando en países como Chile y el Perú, así como en organismos como la CEPAL.

Esta metodología busca ser un referente para el análisis y evaluación de iniciativas de inversión propuestas para el ciclo integral de los residuos sólidos, al impulsar una mejor evaluación y selección de acciones de intervención para cada etapa del ciclo, contribuyendo a la mejor gestión y aplicación de recursos públicos y privados.

Cabe mencionar que las metodologías son guías que apoyan a la realización de los estudios de evaluación socioeconómica, es importante tener siempre en cuenta que cada proyecto tiene especificidades que se deben tomar en cuenta al momento de su evaluación.

La presente metodología es producto de un trabajo conjunto entre:

- El Programa Global FELICITY (Financiamiento para la inversión energética baja en carbono en las ciudades) que es una iniciativa conjunta de la Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y el Banco Europeo de Inversiones (BEI) para el desarrollo de capacidades en gobiernos locales y en instituciones relacionadas con financiamiento para el cambio climático en tres países socios clave: Brasil, China y México.
- El Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) que es un centro permanente de adiestramiento en la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos con un ámbito de acción nacional, regional, estatal y/o municipal, además de ser un centro de apoyo a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y a las demás autoridades federales, estatales, municipales así como a las entidades de la Administración Pública Federal que lo requieran en la preparación, evaluación y dictaminación de proyectos de inversión y,
- El Programa para el Impulso de Asociaciones Público Privadas (PIAPPEM) que parte de una iniciativa del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para apoyar a entidades subnacionales de México para crear condiciones legales, técnicas e institucionales que les permitieran desarrollar iniciativas de inversión utilizando mecanismos de Asociación Público Privada (APP) y que a su vez ha evolucionado como un laboratorio de ideas (Think Tank) autónomo y con personalidad jurídica propia a fin de dar continuidad y expandir las actividades originales del PIAPPEM y diseminar la experiencia en APP en México y en otros países de la región.

## Capítulo 1: Definición, tipología de proyectos y normatividad aplicable en el contexto mexicano

### i. Definición

Un residuo es el resultante de un proceso de consumo que no genera ninguna utilidad y que se desea desechar. La *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos* en su versión publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de enero de 2018 define a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) como *“los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos”*.

### ii. Tipo y origen de los residuos

Los residuos sólidos pueden clasificarse como:

- Urbanos
- De manejo especial
- Peligroso

Las cuales pueden generarse en:

- Domicilios
- Mercados y rastros
- Hospitales
- Calles y áreas públicas
- Obras de construcción
- Infraestructura hidro-sanitaria
- Comercios
- Jardinería
- Industria
- Oficinas

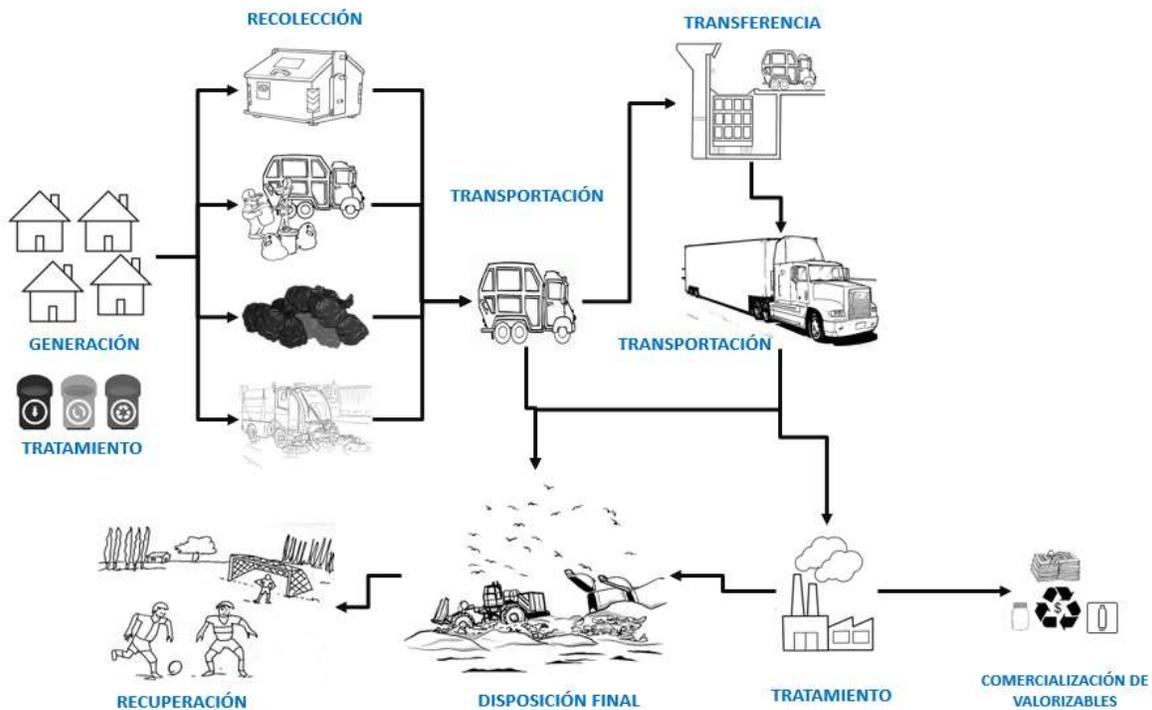
Otro concepto importante que debe tomarse en cuenta es el de Gestión Integral de Residuos que la Ley mexicana define como el “conjunto articulado e interrelacionado de

acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región”.

### i. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Es importante tomar en cuenta el ciclo que siguen los RSU dentro del Sistema de Gestión Integral, que va desde su generación hasta su disposición final como se muestra en la siguiente figura:

FIGURA 1.- CICLO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS



Fuente: Elaboración Propia

Para el presente documento se utilizará la siguiente estructura con la finalidad de apearse al Artículo 115 de la Constitución Mexicana que establece las siguientes actividades en la

materia: limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos, en este sentido, para la presente Metodología seguirá la siguiente estructura:

- a) Generación
- b) Recolección
- c) Transporte
- d) Tratamiento
- e) Disposición final
- f) Recuperación de sitios de disposición final clausurados

**a) Generación**

Retomando el concepto de residuo como aquel elemento residual resultante de un proceso de consumo que no genera ninguna utilidad y que se desea desechar, en el ámbito urbano se estaría hablando de los residuos generados en las casas habitación y aquellos generados en cualquier actividad desarrollada en este ámbito como establecimientos comerciales, productivos o en la vía pública.

Durante la generación de residuos es importante identificar posibles acciones que permitan el manejo de los RSU desde su fuente, buscando minimizar el requerimiento de la disposición final mediante esquemas como el reúso y aprovechamiento de ciertos materiales. En esta primera etapa del ciclo pueden presentarse acciones normativas, de educación ambiental, así como de almacenamiento y tratamiento mediante algún proceso de separación, por ejemplo, entre residuos orgánicos e inorgánicos, e incluso de tratamiento.

Esta etapa es fundamental en el ciclo de los residuos sólidos porque representa la demanda de primera instancia de residuos que requieren ser desechados de los sitios de generación y que condicionan al resto de las etapas del ciclo, por ello es importante promover acciones que reduzcan desde su origen esta demanda de desecho de RSU.

El contexto urbano determinará el tipo y volumen de los residuos generados lo cual es relevante porque este factor también impacta en el resto de las etapas del ciclo. En gran

medida, el tipo de residuos generados dependerá de factores como el ingreso, los patrones de consumo y el perfil económico-productivo de la zona de estudio. Un elemento fundamental que se tiene que revisar en el análisis de la generación de residuos tiene que ver con posibles factores de estacionalidad ya que en fechas o periodos específicos pueden variar los volúmenes generados y/o el tipo de residuos desechados.

La conclusión de esta etapa se considerará cuando el generador se deshace de sus residuos y los deposita en alguno de los dispositivos asignados para ello como podrían ser en contenedores o directamente en los vehículos recolectores.

**FIGURA 2.- PERSONAS DEPOSITANDO SUS RESIDUOS EN DIFERENTES ALTERNATIVAS POSIBLES.**



## **b) Recolección**

La recolección será considerada como la acción de captación directa e indirecta de residuos desechados en los dispositivos especiales para ello, esto podría ser directamente en los vehículos recolectores o en los dispositivos dispuestos para un almacenamiento temporal como pueden ser los contenedores. La falta o saturación de estos instrumentos ocasionará que los generadores utilicen la calle o los espacios públicos para deshacerse de sus residuos generando externalidades negativas. Cabe señalar que en época de lluvias la problemática se incrementa, derivado de la incorporación de agua a los residuos, resultando en un mayor peso para el transporte y la disposición, además del movimiento de residuos a los sistemas de drenaje de la ciudad.

**FIGURA 3.- PROCESO DE RECOLECCIÓN EN SITIOS DONDE LOS GENERADORES DEPOSITAN SUS RESIDUOS.**

La práctica de la recolección selectiva permite una separación de los residuos desde su origen y facilita acciones de aprovechamiento de residuos. Este tipo de recolección implica que la población cuente con los incentivos y medios para llevar a cabo esta actividad y el sistema de recolección cuenta con equipos y procesos definidos para la recolección de residuos separados desde su origen.

Los sitios o dispositivos utilizados para el servicio público de recolección como camiones recolectores y contenedores deberían tener una capacidad suficiente para recibir el total de los residuos de los generadores en una zona en particular. La capacidad referida debe considerar tanto la capacidad de almacenamiento de los dispositivos como la frecuencia de paso de los camiones recolectores. De no ser así los generadores buscarán alternativas que podrían ser negativas para la población de la zona como se muestra en la Figura 4.

**FIGURA 4.- CAPACIDAD DE CONTENEDORES SUPERADA POR VOLUMEN DE RESIDUOS GENERADOS.**

Dentro de los aspectos que se deben considerar para analizar las condiciones del proceso de recolección de los RSU están:

- Volumen de residuos generados y recolectados
- Tipo de los residuos generados en la zona de influencia
- Organización, planeación y operación del proceso de recolección
- Frecuencia de recolección
- Horarios
- Personal y equipos disponibles
- Recursos
- Capacidad y estado actual de los dispositivos utilizados para la recolección

### **c) Transportación**

Una vez que se lleva a cabo el proceso de recolección, inicia el proceso de transportación de los RSU hacia sitios específicos para su transferencia, su tratamiento o para su disposición final al tiradero o relleno sanitario.

En ciudades pequeñas en las cuales el sitio de disposición final es cercano al centro de población es posible que los camiones recolectores realicen el transporte de los residuos directamente hasta este sitio, sin embargo, en ciudades de gran superficie con sitios de disposición final más alejados podría ser altamente costoso realizarlo de esa forma y, por lo tanto, se instalan estaciones de transferencia donde se concentran los residuos para transferirlos a medios de transporte más eficientes y económicos reduciendo, por lo tanto, la cantidad de vehículos en circulación lo que a su vez se traduce en reducción de costos de transporte y en reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el medio ambiente.

Las estaciones de transferencia son instalaciones que permiten el intercambio de residuos entre los camiones convencionales de recolección con capacidades de entre 4 y 10 toneladas hacia unidades con capacidades de entre 18 y 25 toneladas para ser trasladados a los sitios de tratamiento o de disposición final a un costo medio inferior por tonelada transportada al que se incurriría si las unidades convencionales de

recolección hicieran el recorrido completo. Es importante tener en consideración que el transporte de los RSU en vehículos de mayor capacidad tiene la particularidad de que requiere de equipos diferentes y personal con diferente grado de especialización.

El proceso de recolección y transporte de los RSU puede llegar a representar un importante porcentaje de los costos generales directos asociados al manejo de los residuos, por lo que es imprescindible alcanzar la mayor eficiencia posible en este proceso.

Cuando se generan grandes volúmenes de residuos y su transportación al sitio de disposición final se realiza a través de los camiones recolectores, es importante tener en cuenta aspectos como la distancia a recorrer, la dispersión de la ciudad, la capacidad de recolección y la topografía<sup>1</sup> para considerar la posibilidad de instalar una estación de transferencia (ET).

Las estaciones de transferencia también pueden cumplir una serie de funciones adicionales que pueden hacer más eficiente el ciclo de los RSU, por ejemplo, en ellas se pueden instalar equipos para la separación de valorizables, equipos de compactación de residuos y sitios para almacenamiento. Lo anterior contribuirá a economizar el transporte de residuos al sitio de disposición final, generar valorizables que pueda captar el mercado y a ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios para el confinamiento de residuos.

Para efectos de la presente metodología el tratamiento de los residuos se presentará de manera independiente, es decir, en los apartados relacionados con la transportación

---

<sup>1</sup> La topografía y las condiciones físicas de ciudades como Guanajuato, Taxco o Real del Monte propicia que los vehículos de recolección tengan que ser vehículo de poca capacidad de carga y dimensión. El traslado de estas unidades hasta sitios de disposición final podría generar altos costos por lo que podría ser recomendable la operación de estaciones de transferencia.

de RSU se considerarán solo proyectos de sustitución del material rodante así como de estaciones de transferencia en las que no realizan acciones de tratamiento.

#### **d) Tratamiento**

El Tratamiento entendido como el conjunto de *“procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad”* podría contemplar procesos como:

- Aprovechamiento de residuos
- Producción de composta
- Biometanización
- Tratamiento de los RSU
  - Coprocesamiento
  - Incineración
  - Pirólisis
  - Gasificación
- Extracción, captación y conducción biogás de relleno sanitario
- Aprovechamiento energético de residuos o Waste to Energy (WtE)

El aprovechamiento de residuos se entiende como el proceso de tratamiento y transformación de los RSU a través de distintos procesos que pueden presentarse desde su origen mediante la recolección selectiva o en procesos posteriores a través de equipos de cribado, clasificación manual, procesos electromagnéticos, ópticos, de flotación, entre otros, que permiten restituir su valor económico y ser reutilizados en los procesos de producción de bienes. Entre las acciones de tratamiento se pueden identificar las siguientes:

- i. Compostaje: Este proceso consiste en la descomposición biológica de la biomasa, que da como resultado compost o abono orgánico valorizable en el mercado.
- ii. Biometanización: Es un proceso en el que una selección natural de microorganismos descompone mediante digestión anaerobia la materia orgánica en biogás y un residuo sólido llamado digestato, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico. El biogás resultante, es una mezcla de metano, dióxido de carbono principalmente y puede ser utilizado para producir energía eléctrica.
- iii. Coprocesamiento: El coprocesamiento es el uso de materiales derivados de residuos para reemplazar recursos minerales naturales (reciclado de materiales) y/o combustibles fósiles tradicionales como carbón, combustóleo y gas natural (recuperación de energía) en procesos industriales. El coprocesamiento requiere flujos de residuos relativamente homogéneos (hacen referencia a una fracción separada de alto poder calorífico del RSU), que se someten a diferentes procesos para obtener los llamados Combustibles Derivados de Residuos.
- iv. Incineración: Es la quema de los RSU en un proceso controlado en instalaciones específicas para tal fin, cuyo objetivo es reducir el volumen y la masa de los RSU, convirtiéndolos químicamente en materiales inertes, como efecto secundario, este proceso permite la recuperación de energía, minerales y metales. La temperatura de reacción se encuentra entre los 850° y los 450° siendo un proceso de combustión auto-sostenible o que no requiere de agregar otro tipo de combustibles.
- v. Pirólisis: Al igual que la incineración, tiene como objetivo la reducción del volumen y peligrosidad de los RSU. La pirólisis, es la descomposición térmica de las moléculas orgánicas del RSU entre 500°C y 800°C que resulta en la formación de gas y una fracción sólida (coque).
- vi. Gasificación: es la conversión del contenido de carbono remanente en el coque resultante de la pirólisis a 800°C -1000°C con la ayuda de una sustancia de gasificación (aire o vapor).
- vii. Extracción, captación y conducción biogás de relleno sanitario: es el proceso mediante el cual se capta el biogás que se produce al interior de un relleno sanitario, este proceso incluye: pozos de recolección, equipos de extracción y limpieza del biogás y el envío para su aprovechamiento.
- viii. Aprovechamiento energético de residuos o Waste to Energy (WtE). WtE hace referencia a una gama amplia de tecnologías de tratamiento de residuos para recuperar energía en forma de calor, electricidad o combustibles alternos, tales como el biogás. El aprovechamiento energético, puede obtenerse a partir de tecnologías de incineración, coprocesamiento, digestión anaerobia, recolección de gas de relleno sanitario, y pirólisis/gasificación.

### e) Disposición final

De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003 la disposición final es la *acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos*. El medio generalmente utilizado para la disposición final de los RSU son los rellenos sanitarios que, de acuerdo con la norma mencionada es una *“obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructuras adicionales, los impactos ambientales”*.

Los rellenos sanitarios requieren de terrenos alejados de las zonas urbanas y cuerpos de agua, así como un manejo adecuado para su control y gestión ya que de no ser así se pueden ocasionar severos daños ambientales.

La Norma Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 define cuatro categorías de sitios de disposición final:

TIPO	Tonelaje recibido (Ton/Día)
A	Mayor a 100
B	De 50 a 100
C	De 10 a menos de 50
D	Menor a 10

Para la instalación de un relleno sanitario en México deberá demostrarse su factibilidad a través de los siguientes estudios:

- Geológico e Hidrológico
- Topográfico
- Geotécnico
- Generación y composición de RSU y de manejo especial

- Generación de biogás
- Generación de lixiviados

Existen otros sitios para la disposición final que no son rellenos sanitarios, estos pueden ser sitios controlados que cumplen parcialmente con la normativa o sitios no controlados que no cumplen con ningún aspecto normativo.

Es importante tener en cuenta que los sitios de disposición final tienen una vida útil claramente definida la cual depende directamente de su capacidad para recibir o captar residuos y su capacidad de compactación. La vida útil se agota en la medida que se va disponiendo de residuos en el sitio. Este factor es determinante en la determinación de la oferta para la disposición final.

Por último, es importante mencionar el impacto de los procesos de selección y tratamiento en la demanda de disposición de RSU.

#### **f) Recuperación de sitios de disposición final clausurados**

Una vez que son clausurados los sitios de disposición final por la conclusión de su vida útil pueden ser rehabilitados y recuperados para la ejecución de acciones o infraestructura útil para la sociedad. Las alternativas de desarrollo de infraestructura dependerán de factores como la lejanía y/o la accesibilidad de los centros de población y los requerimientos de la sociedad.

#### **ii. Tipología de proyectos**

En la *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018* del CEPEP se establece que un proyecto es:

*Un conjunto de elementos relacionados lógicamente, tecnológicamente y cronológicamente, que se ejecutan en un periodo de tiempo determinado, y tienen como objetivo, durante su operación, resolver un problema, satisfacer una necesidad o aprovechar una oportunidad.*

*Durante su ciclo de vida, los proyectos generan un flujo constante de costos y beneficios que pueden ser identificados, cuantificados y valorados y con los que se determinará su rentabilidad socioeconómica y, por lo tanto, la conveniencia que tiene para la sociedad su realización.*

Es importante que los proyectos relacionados con la Gestión Integral de los RSU formen parte de un plan integral, que a su vez, forme parte de una política pública encaminada a atender un problema de carácter público en el cual está involucrada prácticamente toda la sociedad. Los proyectos pueden plantearse en cada una de las etapas del manejo de los residuos y, por su complementariedad, tendrán repercusiones en otras etapas del ciclo.

Los proyectos de RSU se originan principalmente por:

- La existencia de un problema
  - *P. Ej. Basura en las calles que generan externalidades como malos olores, fauna nociva o inundaciones por bloqueos a los sistemas de drenaje de la ciudad.*
- *La necesidad de la provisión de un servicio*
  - *P. Ej. Requerimiento de servicio de recolección para nuevos desarrollos habitacionales.*
- Altos costos
  - *P. Ej. Altos costos de transporte de recolección y transporte en ausencia de una estación de transferencia o por la operación de camiones en mal estado.*
- Riesgos que pudieran ocasionar pérdidas
  - *P. Ej. Potencial riesgo de incendio en sitio de disposición final por mala gestión del biogás.*
- La existencia de afectaciones ambientales
  - *P. Ej. Afectaciones en la salud de la población por contaminación de mantos acuíferos, emisión de biogás a la atmósfera y suelos por infiltración de lixiviados en sitios de disposición no controlados (vertederos a cielo abierto) o mal gestionados.*
- Aprovechamiento de una oportunidad
  - *Comercialización de electricidad generada a partir de los residuos orgánicos.*

Los proyectos planteados en este sector estarán generalmente enfocados a la reducción de costos asociados a la gestión de residuos sólidos ya sean directos, indirectos o externalidades negativas y, en algunos casos específicos, se estarían analizando beneficios por incrementos de consumo. Estos temas serán abordados de manera particular en el apartado de Análisis de Oferta y Demanda.

De manera indicativa se podrían identificar proyectos que pudieran plantearse en las diferentes etapas del proceso de manejo integral los RSU como:

#### a) Etapa de generación

##### **Posibles problemas por atender:**

- Residuos no separados depositados en sitios de recolección
- Incremento en la cantidad de residuos por recolectar, transportar y confinar en el sitio de disposición final

##### **Efectos:**

- Altos costos o imposibilidad de separación de valorizables
- Altos costos por una mayor cantidad de residuos por recolectar, transportar y confinar en el sitio de disposición final

##### **Posibles proyectos:**

- Programas de educación ambiental para el manejo domiciliario de los residuos sólidos
- Programa para la separación domiciliar de residuos
- Programas de aprovechamiento de RSU
- Proyecto de Ley o normativas a fin de incentivar la reducción y separación desde el origen.

#### b) Etapa de recolección

##### **Posibles problemas por atender:**

- Insuficiente servicio de recolección en colonias
- Existencia de residuos tirados en las calles y zonas públicas
- Baja frecuencia de recolección
- Obsolescencia de camiones recolectores
- Camiones con baja capacidad de carga

**Efectos:**

- Generación de externalidades negativas como generación de fauna nociva, malos olores e inundaciones por bloqueos a los sistemas de drenaje de la ciudad.
- Contaminación ambiental, incluyendo emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI).
- Altos costos de recolección.

**Posibles proyectos:**

- Ampliación de cobertura del servicio de recolección
- Instalación de contenedores
- Instalación de contenedores autocompactadores
- Instalación de contenedores para recolección selectiva
- Ampliación del servicio de barrido de calles
- Sustitución de camiones recolectores
- Ampliación del número de camiones recolectores
- Optimización de rutas y horarios de recolección
- Instalación de centros de acopio

**c) Etapa de transportación****Posibles problemas por atender:**

- Obsolescencia de vehículos transportadores
- Camiones con baja capacidad de carga
- Distancias largas entre centros de generación y de disposición de los RSU
- Estaciones de transferencia saturadas
- Inaccesibilidad a sitios de recolección
- Limitada capacitación y entrenamiento del personal

**Efectos:**

- Altos costos de transportación de residuos al sitio de disposición final, incluyendo emisiones de contaminantes y de GEI

**Posibles proyectos:**

- Instalación de estación de transferencia
- Ampliación de estación de transferencia
- Equipamiento o sustitución de equipos de transferencia

- Ampliación de la flotilla de vehículos transportadores
- Sustitución de vehículos transportadores

#### d) Etapa de tratamiento

##### Posibles problemas por atender:

- Residuos valorizables sin separar
- Mayor cantidad de residuos por disponer
- Aprovechamiento de residuos (oportunidad)
- Limitada capacitación y entrenamiento del personal

##### Efectos:

- Altos costos por una mayor cantidad de residuos confinados en el sitio de disposición final
- Reducción de la vida útil del relleno sanitario, lo que implica adelantar inversiones futuras
- Bajos ingresos por comercialización de valorizables
- Costos por contaminación ambiental y emisiones de GEI

##### Posibles proyectos:

- Instalación o ampliación de planta de reciclaje
- Instalación o ampliación de planta de compostaje
- Instalación o ampliación de planta de biometanización
- Instalación de plantas de tratamiento térmico
  - Planta de coprocesamiento
  - Planta de incineración
  - Plantas de pirólisis o gasificación
- Extracción, captación y conducción de biogás de relleno sanitario
- Aprovechamiento energético para la generación de energía eléctrica

#### e) Etapa de disposición final

##### Posibles problemas por atender:

- Conclusión de la vida útil del relleno sanitario
- Ineficiencia en la disposición final de los residuos
- Afectaciones ambientales en mantos acuíferos y deterioro del suelo por inadecuada gestión de gases y lixiviados
- Utilización de grandes superficies para la disposición final

- Bajo aprovechamiento de los RSU
- Residuos valorizables sin separar
- Limitada capacitación y entrenamiento del personal

**Efectos:**

- Costos por contaminación ambiental de tierra, aire y agua
- Altos costos de operación de los sitios de disposición final
- Pérdida de valor de terrenos aledaños a los sitios de disposición no controlados
- Riesgos de incendios
- Beneficios no captados por aprovechamiento de los residuos
- Reducción de la vida útil del relleno sanitario
- Altos costos por emisiones de GEI

**Posibles proyectos:**

- Construcción de un nuevo relleno sanitario local y/o regional
- Ampliación de un relleno sanitario
- Rehabilitación de relleno sanitario
- Sustitución de equipo de relleno sanitario
- Clausura de relleno sanitario
- Saneamiento de tiradero

**f) Etapa de recuperación de sitios de disposición final clausurados****Posibles problemas por atender:**

- Sitios abandonados y contaminados
- Riesgos en la salud y el ambiente por mala gestión post-clausura

**Efectos**

- Contaminación ambiental y proliferación de fauna nociva
- Abandono de sitios potencialmente aprovechables

**Posibles proyectos:**

- Programas de remediación ambiental
- Recuperación de suelos
- Instalación de parques y áreas deportivas
- Construcción de infraestructura de diferentes tipos
- Programas de mantenimiento post-clausura

## Capítulo 2: Metodología de evaluación socioeconómica de proyectos de manejo de RSU

### Introducción

El marco normativo mexicano, en particular los *Lineamientos para elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión* publicados en 2013 establecen la siguiente estructura general para los Análisis Costo Beneficio:

- I. Resumen Ejecutivo
- II. Situación Actual del Programa o Proyecto de Inversión
- III. Situación sin el Programa o Proyecto de Inversión
- IV. Situación con el Programa o Proyecto de Inversión
- V. Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión
- VI. Conclusiones y Recomendaciones
- VII. Anexos
- VIII. Bibliografía

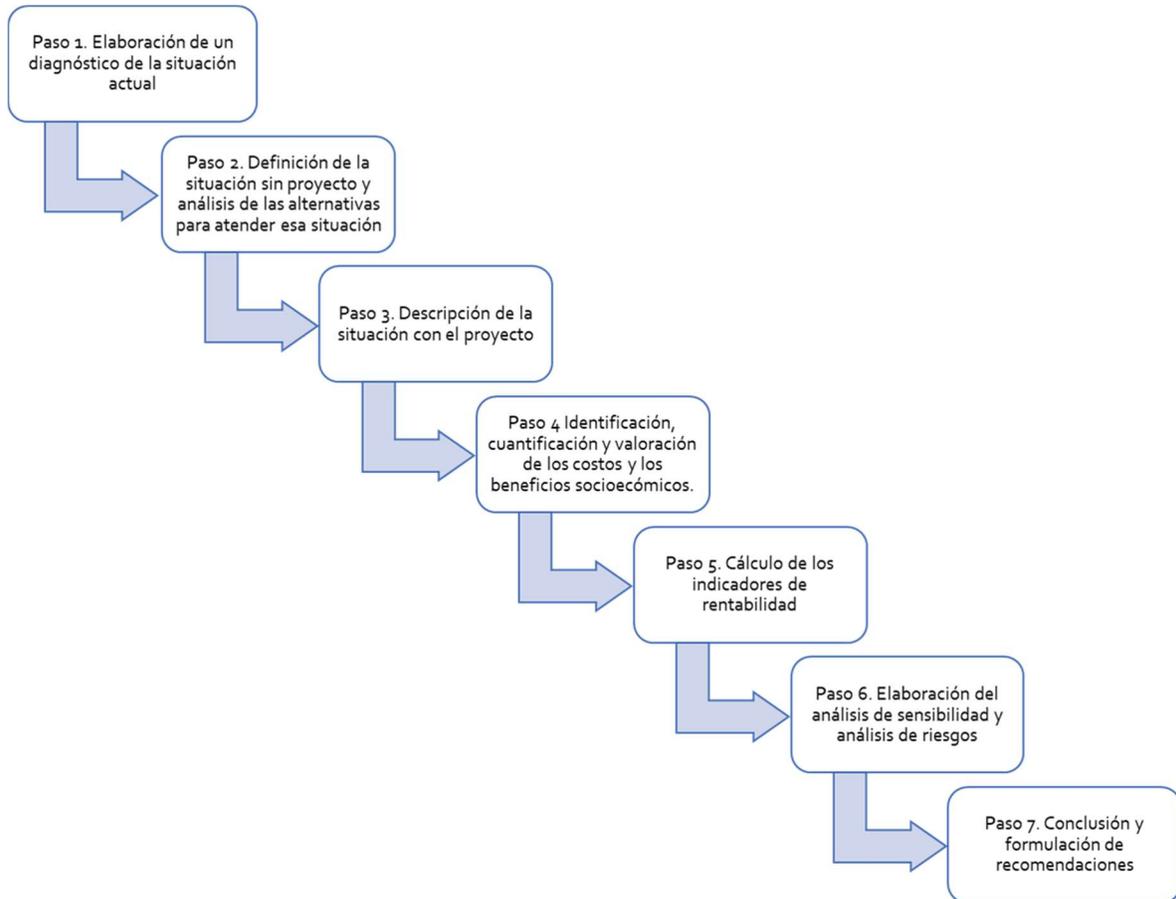
La presente metodología considera fundamentos técnico-teóricos que permiten la realización de un Análisis Costo-Beneficio o Costo-Eficiencia para proyectos de manejo de RSU y que son la base de los lineamientos mencionados, por lo que no se tiene como objetivo explicar punto a punto los elementos de cada uno de los apartados descritos previamente, más bien el objetivo es mostrar los elementos sustantivos que deben ser considerados para la integración y evaluación de un proyecto relacionado con el manejo de RSU en alguna o varias de sus etapas en el ciclo de los residuos.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Para mayor referencia en cuanto a cómo presentar la evaluación socioeconómica, referirse a la Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión de México (2018).

En la Figura 5 se representan los pasos principales para la elaboración de la evaluación socioeconómica, esta estructura es la que se seguirá en el desarrollo del presente documento.

FIGURA 5.- PASOS DEL PROCESO DE LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA



Fuente: Elaboración propia

## Paso 1: Diagnóstico de la situación actual

### i. Diagnóstico de la situación actual

El punto de partida para la adecuada identificación de los proyectos de inversión es la correcta definición y entendimiento del asunto de interés público que se pretende intervenir con un proyecto. El tema del manejo integral de los RSU implica el análisis de diferentes etapas de su ciclo, en el que participan diferentes involucrados, se realizan

diferentes acciones y se proveen diferentes servicios, por otro lado, todas estas etapas son ampliamente complementarias ya que una intervención en una de ellas puede afectar directa o indirectamente al resto de las etapas del ciclo.

El diagnóstico debe dejar claras las afectaciones o costos socioeconómicos que una situación problemática genera en los procesos y mostrar que estas afectaciones son realmente atribuibles a dicha problemática. Para el proceso de evaluación socioeconómica de proyectos es fundamental establecer si la situación problemática propicia déficits en la prestación de servicios, altos costos de operación, mantenimiento y/o reinversiones, afectaciones ambientales o riesgos que pueden generar pérdidas para la sociedad.

Las situaciones problemáticas que se pueden enfrentar generalmente están asociadas a déficits derivados de la imposibilidad de atender la demanda total de un servicio específico, por ejemplo, no recolectar los residuos en algunas colonias o zonas de la ciudad, esta situación podría a su vez generar externalidades negativas a la comunidad. Otra situación que se podría presentar es la incursión de altos costos por la obsolescencia de los equipos utilizados para la prestación de los servicios, incluso podrían presentarse ambas situaciones problemáticas de manera simultánea. De ahí la relevancia de la adecuada definición de la problemática como punto de partida para la correcta identificación de proyectos.

Para acotar y definir adecuadamente una problemática se recomienda la utilización de herramientas como el *análisis de involucrados* y la estructuración de *árboles de problemas* para evitar atribuir efectos que no corresponden a situaciones problemáticas existentes.

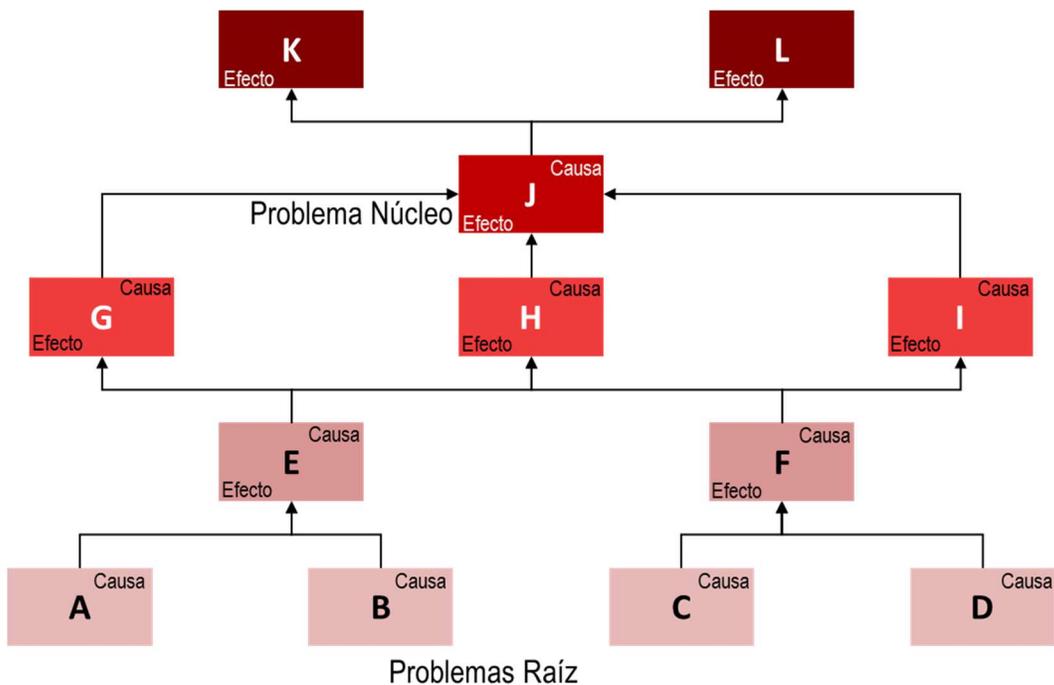
Con el *análisis de involucrados* se busca identificar claramente a los participantes en cada etapa, conocer cuáles son sus intereses y los recursos con los que cuentan para alcanzarlos, además de identificar potenciales grupos antagonistas con los que pudieran generarse conflictos.

Con los *árboles de problemas* se busca identificar la lógica causal, en un orden causa-efecto, de los problemas identificados por los diferentes involucrados. Para ello, el método más

adecuado consiste en la elaboración de un “árbol de problemas”, el cual sea el resultado de un proceso llevado a cabo con un grupo de analistas relacionados con el tema.

Se sugiere seguir el siguiente proceso: identificar los principales problemas de la situación actual de acuerdo con la información obtenida en el *análisis de involucrados*, para luego estructurar la relación causa-efecto de todos los problemas identificados, con lo anterior se estará en condiciones de definir un problema central o núcleo. Las causas analizadas pueden, a su vez, preceder de una o varias causas secundarias, las cuales se presentan en orden ascendente y relacionarlas de manera lógica; análogamente, los efectos pueden tener consecuencias, representadas como derivaciones en orden superior, hasta llegar a un efecto final.

FIGURA 6.- ESQUEMA ÁRBOL DE PROBLEMAS



Fuente: Elaboración Propia

El árbol de problemas será un insumo importante en el desarrollo del apartado de diagnóstico o análisis de la situación actual. Este apartado tiene como objetivo plasmar la

problemática que da origen a la propuesta de un proyecto, su dimensión y aportar los elementos para identificar y proponer las alternativas para su solución. Esto, en su momento, deberá fortalecerse cuando se realicen los análisis de la oferta, la demanda y su interacción. Este diagnóstico deberá estar respaldado por un estudio de caracterización de los residuos sólidos.

El diagnóstico deberá abarcar aspectos como: área de estudio, población objetivo y caracterización de la población, infraestructura actual, condiciones de operación, actividades económicas, volumetría, tipología y caracterización de los RSU.

- **Área de estudio**

Se debe determinar y delimitar el área geográfica analizada, pudiéndose tratar de un sector urbano, una localidad urbana, un municipio o una región geográfica específica.

- **Población objetivo y análisis**

Corresponde a la población que habita en el área de estudio afectada por la problemática, así como la población futura que el proyecto estaría en condiciones reales de atender. Esto constituye la base para el dimensionamiento del proyecto.

Es importante conocer las características socioeconómicas generales de la población, como el número de habitantes, los niveles de ingreso, el tipo de vivienda, educación, salud, perfil productivo, entre otros. La importancia de su caracterización permitiría determinar los tipos y las características del servicio que podría ser requerido.

- **Infraestructura actual y condiciones administrativas y de operación**

El análisis de la infraestructura actual implica la descripción de las condiciones físicas, así como los aspectos de operación en cada una de las etapas con las que

cuenta el sistema: barrido, recolección, transporte, estación de transferencia, tratamiento, valorización y disposición final; detallando su cumplimiento con normas aplicables, las carencias operativas y técnicas, su estado de conservación, capacidades, entre otros que se consideren relevantes para el dimensionamiento de la problemática.

- **Actividades Económicas**

Corresponde a la identificación y descripción de los sectores económicos y productivos presentes en el área de estudio, los cuales son generadores de residuos de manejo especial y que deben ser contemplados dentro del análisis de la gestión de los residuos para definir las características de deberán tener los sitios de disposición final y el tipo de infraestructura requerida para su tratamiento.

- **Estudio de caracterización de los residuos sólidos**

Con este estudio las autoridades pueden disponer de información referente a las características de los RSU generados en la zona de estudio. La información estará relacionada con cantidades, composición química y física de los residuos, densidad y humedad, así como de las fuentes generadoras de los RSU. El estudio de caracterización de los RSU contribuirá a mejorar la toma de decisiones para la gestión de corto, mediano y largo plazo, en el proceso de identificación de proyectos relacionados con el manejo de los RSU y en la planeación técnica, operativa y financiera de los procesos relacionados.

- i. **Análisis de la oferta, la demanda y su interacción por etapa del ciclo**

El análisis de la oferta y la demanda podría sintetizarse en la cantidad de un bien o servicio que se produce y se consume, sin embargo, en la evaluación socioeconómica de proyectos el contexto en el que se produce y se consume es muy relevante. El punto inicial es determinar el bien o servicio que se estaría analizando y, por lo tanto, es indispensable

conocer quién lo produce y quién lo demanda. Durante el ciclo de los residuos sólidos se ofrecen y demandan diferentes servicios que son claramente identificables y diferenciables.

Durante la etapa de recolección, los generadores desean deshacerse de sus residuos por lo que todos estos generadores demandan el servicio de recolección, por otro lado, existen entes que tienen la responsabilidad o el interés de proveer ese servicio, (el sector público o particulares). Estos grupos representan al grupo de demandantes y oferentes respectivamente. En cuanto a la demanda y la oferta de recolección se definirán por los volúmenes de residuos que los generadores requieren desechar y la capacidad del sistema de recolección para captar residuos sólidos respectivamente.

Es importante tener en cuenta que durante el ciclo integral de los residuos sólidos habrá diversos servicios diferenciados que podrían contribuir a la atención de una o varias problemáticas, por lo que para iniciar el proceso de análisis de la demanda y la oferta es necesario como paso inicial definir claramente el bien o servicio que es demandado y ofrecido en la sociedad.

El análisis de la demanda deberá considerar, de manera indicativa y no limitativa, elementos como:

- Analizar la evolución histórica de la demanda del servicio
- Identificar claramente a los usuarios del bien o servicio
- Definir claramente el área de influencia que será analizada
- Cuantificar el volumen de unidades de servicio que serían potencialmente necesarias
- Identificar y analizar factores que pueden afectar a la demanda
- Análisis de recursos destinados al pago por la provisión del servicio y de disposición a pagar
- Análisis de aspectos socioeconómicos y demográficos de la población objetivo
- Identificación de aspectos particulares que caracterizan la demanda de servicios
- Caracterización de las actividades productivas de la zona de análisis

El análisis de la oferta deberá considerar elementos como:

- Identificación de los proveedores del servicio
- Identificación de servicios sustitutos, complementarios y excluyentes
- Cuantificación de la capacidad del servicio ofrecido por los proveedores
- Descripción del estado y vida útil remanente de la infraestructura y equipo existente
- Identificar y analizar factores que pueden afectar a la oferta
- Caracterización de los procesos de provisión de los bienes o servicios
- Identificación de frecuencias de prestación de servicios
- Determinación de los costos de provisión del bien o servicio

#### a) **Generación**

La generación es un proceso que responde fundamentalmente a hábitos de consumo, niveles de ingreso y al perfil económico-productivo de la zona analizada por lo que no es un proceso realizado en un mercado entre consumidores y proveedores, sin embargo, es determinante para la definición de los tamaños y las ubicaciones óptimas de las acciones a realizar en el resto de las etapas del ciclo de los residuos, por lo tanto, para poder entender las problemáticas y áreas de oportunidad para las restantes etapas del ciclo es fundamental tener un diagnóstico claro de la generación.

Para el análisis de la generación de los residuos será fundamental tener en cuenta elementos como:

- Volumen de residuos generados
- Tipo o composición de los residuos que se generan en la zona de análisis
- Densidad de los residuos generados
- Condiciones socioeconómicas y demográficas de la población
- Hábitos de consumo de la población
- Ingreso de la población
- Perfil económico y productivo de la zona de análisis

## b) Recolección

La recolección de los residuos es un proceso en el cual participan directamente los generadores de los residuos y los servicios públicos o privados que prestan el servicio de la recolección.

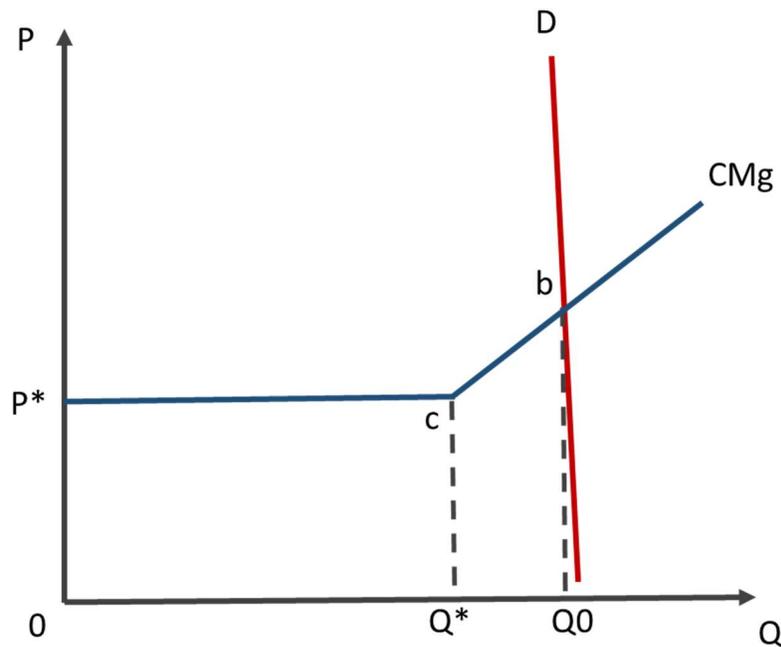
La demanda estará estrechamente vinculada al volumen de residuos generados por la población que requiere que sean desechados y, por otro lado, la oferta a la capacidad de los diferentes dispositivos empleados para la recolección. Por lo que en esta etapa será relevante analizar:

- Para la demanda será necesario contar con el análisis o diagnóstico claro del proceso de generación descrito en el punto anterior.
- Para la oferta será necesario tener en cuenta aspectos como:
  - Capacidad y condiciones del equipamiento urbano instalado para el almacenamiento temporal de los residuos
  - Tipos de vehículos utilizados para la recolección
  - Capacidad y condiciones de los vehículos destinados a la recolección
  - Horarios y frecuencia de recolección
  - Ubicación de equipos y sitios de recolección y disposición
  - Personal asignado por parte de las autoridades
  - Costos de operación y mantenimiento de los equipos y vehículos destinados a la recolección
  - Capacidad de cobertura del servicio
  - Tipo de recolección
  - Rutas de recolección y distancias de transportación
  - Vida útil de los equipos
  - Capacidad de viajes posibles a realizar por vehículo
- En cuanto a la interacción de la oferta y la demanda será necesario:
  - Determinar la cobertura del servicio de recolección
  - Identificación de zonas sin servicio
  - Determinar la calidad del servicio
  - Identificar problemas de existencia de residuos tirados en las calles y áreas públicas

- Identificar problemas de obsolescencia y altos costos de operación y mantenimiento

La importancia del análisis de interacción de la oferta y la demanda en esta etapa es que en ella se deberán identificar los problemas que se reflejan fundamentalmente en altos costos de operación o en un déficit del sistema de recolección respecto de los residuos que desean ser desechados. Cuando esto último sucede se activarán mecanismos alternativos (es decir, algunos generadores van a transportar sus residuos a lugares de tratamiento o disposición final incurriendo en altos costos, no obstante, varios de ellos van a tirar los residuos a las calles o a espacios públicos generando altos costos por externalidades negativas para la sociedad en su conjunto), incurriendo en altos costos, por lo tanto, el sistema de recolección se podría representar gráficamente de la siguiente manera:

GRÁFICA 1. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN ACTUAL PARA EL PROCESO DE RECOLECCIÓN.



Fuente: Elaboración Propia

Donde CMg representa la oferta de servicios de recolección en el que se indica que el servicio público tiene una capacidad máxima para recolectar  $Q^*$  unidades (toneladas) de

RSU. A partir de ese punto se incrementan los costos marginales de disposición inicial de los RSU por la utilización de mecanismos alternativos para la recolección de RSU. La curva de Costo Marginal aumenta, a partir del punto c, en la medida de que se utilizan mecanismos alternativos de recolección, finalmente, la demanda (D) representa la cantidad de residuos que es requerida desechar en un momento determinado del tiempo.

La demanda de recolección y acopio de RSU se supondrá fija en el corto plazo, es decir, casi perfectamente inelástica, ya que la cantidad de basura a disponer principalmente depende, como se explicó previamente, de factores como el ingreso, los hábitos de consumo y el perfil productivo que no cambian a corto plazo.

En la interacción de la oferta y la demanda en la situación actual el área  $OQ^*cP^*$  representa entonces el costo de recolección, transporte y disposición asociado a la capacidad actual de recolección. A partir de la capacidad del sistema de recolección  $Q^*$ , una mayor demanda puede propiciar la utilización alternativa de mecanismos para deshacerse de sus residuos que representarán un costo social creciente presentar otra problemática ya que, ante la saturación del sistema de recolección. En la situación planteada en la gráfica, la demanda supera la capacidad formal de provisión del servicio en  $Q^*Q_0$  ocasionando un costo social incremental que se presenta en la situación actual, por el desecho de residuos en alternativas diferentes a los mecanismos públicos provistos para la recolección de los RSU.

### **c) Transportación**

Aunque el proceso de recolección y transportación de los RSU son ampliamente complementarios, para el caso de esta metodología se considerarán como dos procesos que se analizarán por separado, como se mencionó anteriormente.

En esta etapa del ciclo, los vehículos incurrirán en costos para la transportación de RSU de los sitios de recolección hacia el sitio de disposición final, esto podría suceder de tres maneras:

1. Directo del sitio de recolección al relleno sanitario para la disposición final de los RSU.
2. Del sitio de recolección a una estación de transferencia en donde se realizará un intercambio de unidades de transporte para trasladar los RSU en vehículos de mayor capacidad al sitio de disposición final.
3. Del sitio de recolección a una planta de tratamiento de los RSU. Después del tratamiento, los residuos no utilizables deberán transportarse nuevamente hasta el sitio de disposición final.

En gran medida el tipo de proceso para el traslado de RSU dependerá de factores como las distancias de recorrido, el tipo de equipo con el que se cuente, de la existencia o no de una estación de transferencia, de las condiciones de los vehículos utilizados para este fin, los volúmenes transportados, la accesibilidad a los puntos de recolección, etc.

La oferta del servicio de transporte estará determinada por la capacidad en volumen y/o peso que el sistema de transporte tenga para trasladar residuos, para determinar esta capacidad deberán analizarse aspectos como:

- Número y tipo de vehículos transportadores de residuos
- Vida útil y remanente de los vehículos
- Capacidad de carga de los vehículos
- Requerimiento y rendimiento de combustible
- Personal asignado a esta actividad
- Costos de operación y mantenimiento de los vehículos transportadores
- Capacidad de frecuencia de viajes
- Capacidad de procesamiento de la ET
- Costos de operación de la ET
- Distancias entre los centros de generación y disposición

La demanda será, por lo tanto, la cantidad de RSU que requieren ser desechados y trasladados hasta el sitio de disposición final. La demanda, en el proceso de transporte de RSU, corresponde al volumen de residuos que requieren seguir el proceso que va desde la recolección hasta el sitio disposición final ya sea en camiones recolectores o de manera

indirecta cuando hay de por medio una estación de transferencia y/o una planta de tratamiento.

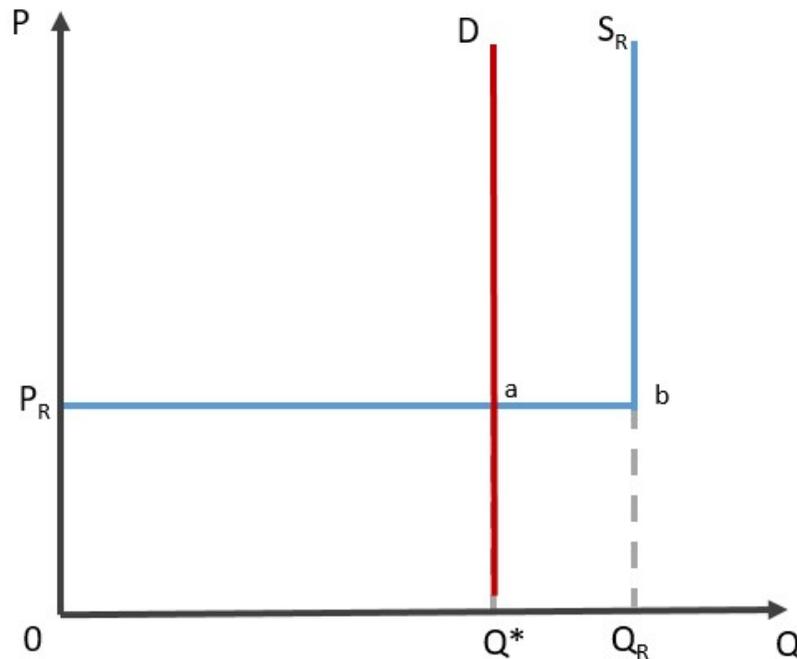
Para el análisis de la demanda de residuos a transportar se tendría que analizar:

- Los volúmenes de residuos a ser transportados
- Tipo de residuos a transportar
- El peso de los residuos a transportar
- La composición de los residuos
- Las distancias que deberán ser recorridas
- El volumen de RSU que se requerirá transferir en una ET

El análisis de la interacción de la oferta y la demanda deberá indicar fundamentalmente si el sistema tiene o no la capacidad para transportar la cantidad de residuos que se requiere que sean transportados, así como el contexto en el que este proceso se lleva a cabo para determinar si el proceso es eficiente o no.

La interacción de la oferta y la demanda permitirá determinar los Costos Generalizados de Viaje ocasionado por el total de vehículos que operan en el transporte de los RSU. Es importante considerar que con la operación de una estación de transferencia (ET) se buscaría reducir los costos de transporte de los RSU.

La interacción de la oferta y la demanda podría representarse de la siguiente manera en el caso en el cual no existe estación de transferencia en la situación actual:

**GRÁFICA 2. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN ACTUAL PARA EL PROCESO TRANSPORTE DE RSU**

Fuente: Elaboración Propia

Donde la Demanda (D) se considera inelástica porque en el sistema el volumen a transportar prácticamente se podría considerar como fijo. Por otro lado, la Oferta ( $S_R$ ) de transporte con la que cuenta el sistema, refleja un costo marginal homogéneo de transporte de residuos para una capacidad máxima de  $Q_R$  (en metros cúbicos o toneladas) en  $P_R$ . El punto de equilibrio es el punto de cruce (a) entre D y  $S_R$  en  $Q^*$ . Dependiendo de las condiciones de la demanda el cruce entre D y  $S_R$  podría ser más aproximado al punto de máxima capacidad b o hasta rebasar la capacidad  $Q_R$ , lo que representaría un déficit.

Si el proceso de transporte cuenta con una ET, el servicio de transportación a partir de la estación de transferencia tendrá características diferentes al de la transportación que se hace directamente de los camiones recolectores, para el caso de los recolectores los residuos brutos generalmente tienen poca compactación, ocupan grandes volúmenes en espacio y podrían ser bajos en cuanto a peso volumétrico. Los residuos que salen de las

estaciones de transferencia son generalmente residuos más homogéneos, compactos y con grandes volúmenes en espacio y peso. Los vehículos utilizados en este proceso son de grandes dimensiones y, por lo tanto, de mayor capacidad en cuanto a volumen de carga.

#### **d) Tratamiento**

Existen distintos tipos de tratamiento y, por las particularidades de cada uno de ellos, se tendrán que analizar tanto sus efectos directos como aquellos que pudieran tener en otros procesos como el de disposición final, ya que los procesos de tratamiento podrían ocasionar la eliminación o reducción de inversiones y costos en la etapa de disposición final. Existen diferentes alternativas para el tratamiento de residuos como son los procesos de reciclaje, compostaje, biometanización, tratamientos térmicos, recolección de biogás en rellenos sanitarios y en una etapa adicional a los tratamientos térmicos o de recolección de biogás en los rellenos sanitarios, la generación de energía eléctrica.

En cuanto al análisis de la oferta deberán describirse las capacidades de los procesos de tratamiento que se utilizan en la zona donde se pretende intervenir con un proyecto. Es posible que no exista siquiera la prestación de algún tipo de tratamiento, es decir, el tratamiento de los RSU puede ser una oportunidad para ampliar la vida útil de un relleno sanitario y, por lo tanto, para postergar inversiones o reducir costos en el proceso de disposición final, así como para obtener subproductos o materiales como: los valorizables y la composta o, energéticos como: el biogás, el carboncillo o coque, el gas de síntesis y la energía eléctrica, entre otros.

Los procesos de tratamiento generalmente están asociados a la generación de elementos valorizables que podrían comercializarse o a acciones encaminadas a reducir los volúmenes de RSU que tendrían que ser dispuestos en un sitio de disposición final para aumentar su vida útil, por lo tanto, para el caso del tratamiento de los RSU deberán tenerse en consideración para la demanda elementos como:

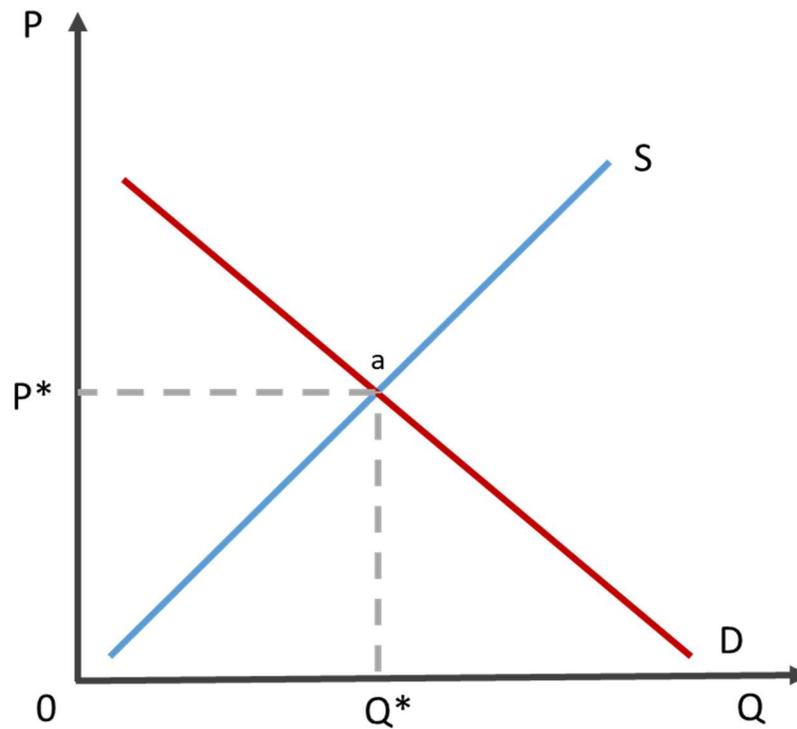
- Tipos de valorizables demandados
- Potenciales compradores de los materiales o energéticos generados
- Precios de mercado de los materiales o energéticos recuperados o generados
- Volúmenes demandados
- Requerimientos para la transportación de materiales o energéticos obtenidos con el tratamiento
- Requerimiento de almacenamiento de los materiales o energéticos obtenidos con el tratamiento

Para el análisis de la oferta se tendría que analizar:

- Tipo de valorizables disponibles y recuperados
- Tipo y localización de la infraestructura existente en la zona de estudio para el tratamiento de los RSU
- Capacidad de generación de materiales o energéticos
- Capacidad para almacenamiento
- Aspectos técnicos de operación
- Personal y horarios de trabajo
- Costos de operación y mantenimiento
- Identificación de externalidades negativas por el procesamiento de residuos (congestión, contaminación, ruido, desvalorización inmobiliaria, etc.)
- Costos y situación de derechos de propiedad de predios
- Requerimiento y costo de almacenamiento de valorizables
- Personal destinado a esta actividad
- Vida útil de los equipos

Para el caso de los valorizables el mercado se podría representar como un mercado normal.

GRÁFICA 3. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN ACTUAL PARA MATERIALES Y ELEMENTOS VALORIZABLES



Fuente: Elaboración Propia

Los materiales valorizables se comercializan en un mercado competitivo en donde se podría considerar que el precio está determinado por el mismo mercado a un precio  $P^*$  y en el que las cantidades comercializadas de valorizables están representadas por  $Q^*$ . Las elasticidades de la oferta y la demanda dependerán del tipo del valorizable recuperado y de las características de su mercado propio. Para este ejemplo, se supondrá que es un bien comercializable en un mercado normal y competitivo.

### e) Disposición final

La oferta para la disposición final estará conformada por todos aquellos procesos en los que se están confinando los residuos en la situación actual. Entre las opciones de confinamiento se podrían encontrar rellenos sanitarios en condiciones de saturación o no y sitios de disposición controlados o no controlados. Se deberán describir las condiciones y estado actual de los sitios de disposición final existentes.

La demanda se determinará a partir del volumen y tipo de residuos que llegan a estos sitios para la disposición final. Este volumen estaría conformado por la cantidad de residuos que transportan los camiones recolectores del sistema público y los recolectores privados que van directamente al sitio.

Los elementos para el análisis de la demanda será fundamentalmente el volumen de residuos que requieren ser dispuestos en un sitio para su confinamiento final y que llegan a través de recolectores públicos o privados además de los que llegan provenientes de las estaciones de transferencia, en caso de existir.

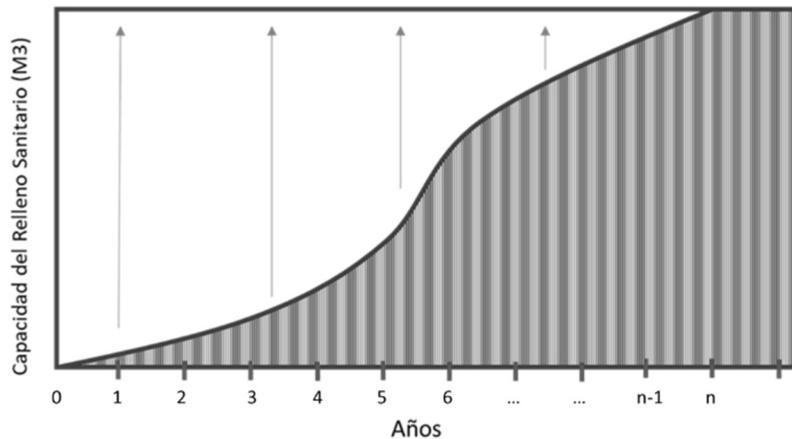
Por su parte, para el análisis de la oferta deberán considerarse elementos como:

- Capacidad para confinamiento: relleno sanitario, sitio de disposición final, sitio controlado o no controlado
- Equipamiento: tipos y capacidades
- Personal asignado a este proceso
- Costos de operación y mantenimiento
- Costos y situación de derechos de propiedad de predios
- Vida útil de equipos e instalaciones
- Reinversiones requeridas
- Capacidad de tratamiento de biogás y lixiviados

Debido a que los sitios de disposición final pueden tener una gran capacidad de captación de RSU su saturación podría abarcar periodos largos, por lo que se puede representar la

vida útil de un relleno en el tiempo en función de los volúmenes de residuos confinados, como se muestra en la siguiente gráfica:

FIGURA 4.- VIDA ÚTIL



Fuente: Elaboración Propia

Paso 2: Situación sin proyecto y análisis de las alternativas para atender esa situación

i. Medidas y/o mecanismos de optimización de servicios

De acuerdo con el Boletín IX emitido por el CEPEP en 2018, *“en muchas ocasiones, al realizar el análisis de la situación actual es posible identificar medidas simples, de tipo administrativo, organizacional o normativo que no requieren de la utilización de demasiados recursos y que pueden reducir o, en algunas ocasiones, resolver temporalmente la problemática... A estas medidas se les conoce como medidas de optimización”* (CEPEP, 2018).

En este sentido, cuando se analiza la situación actual en cada uno de los procesos del manejo de los RSU es importante identificar la existencia de ineficiencias que pudieran

atenderse con medidas administrativas, normativas u operativas de bajo costo y con eso determinar si las propuestas de intervención o proyectos tienen que posponerse, redimensionarse o, en determinado momento, cancelarse.

Las medidas de optimización pueden ayudar a mitigar o reducir la situación problemática que se pretende atender con un proyecto, esto tiene como objetivo no atribuir beneficios que no le corresponden a un proyecto de inversión.

Las medidas de optimización deben ser factibles y operativas, deben reflejar mejoras en la eficiencia de la prestación de servicios y no pueden ser considerada como tal una parcialidad del proyecto que será planteado en el escenario de la Situación Con Proyecto.

Retomando las diferentes etapas del proceso de los RSU:

En la etapa de generación podrían identificarse medidas de optimización como la implementación de normativas que propicien la separación de los residuos desde su origen o programas de educación ambiental para que las personas reduzcan la cantidad de residuos producidos.

Durante la etapa de recolección se podrían identificar acciones de optimización como redefinir las rutas de recolección, la reasignación de vehículos en función de las necesidades de recolección, mejorar los horarios, ampliar el tiempo de recolección, brindar un servicio de mantenimiento mayor a las unidades recolectoras, informar a la población sobre los tiempos y sitios de recolección, reubicar o mejorar las condiciones de los contenedores que servirían para un almacenamiento temporal previo a la recolección.

Para el proceso de transportación aplicarían medidas como las que se han señalado previamente respecto a la mejora de las condiciones actuales de los vehículos. Posiblemente una medida de optimización podría ser la maximización en la utilización de los vehículos de carga en el caso de que se detectara que no son utilizados a su máxima capacidad, otra medida podría ser la realización de servicios de mantenimiento mayor para

vehículos que no han superado su vida útil o mejorar la eficiencia del proceso de transferencia de los RSU.

En los procesos de tratamiento podrían aplicarse también medidas normativas o de reingeniería para mejorar los procesos y la productividad actual de los recursos humanos o maquinaria que intervienen en los procesos, todo esto dependería de los procesos de tratamiento que se realizan.

Finalmente, en el caso de la disposición final la reingeniería de procesos puede generar una mayor eficiencia en el proceso, por ejemplo, las mejoras en los procesos de tirado de residuos, compactación, enterramiento, limitación de la pepena, etc. pueden reducir los costos de operación del vertedero o relleno o, en su caso, podrían contribuir a ampliar la vida útil del sitio de disposición final.

Las medidas de optimización son relevantes porque con ellas se puede reducir costos y/o ayudar a ampliar la vida útil de los equipos que intervienen en los diferentes procesos. Con este análisis será necesario un reajuste en el análisis de la oferta y la demanda para establecer la línea de base del proyecto y de ahí derivar las proyecciones del escenario sin proyecto.

## ii. Oferta en el escenario Sin Proyecto

En función de la problemática identificada y del proceso involucrado, el análisis de la oferta sin proyecto deberá describir qué es lo que se espera en el futuro con la provisión del servicio en el caso de que no se llevara a cabo algún proyecto de inversión. Lo que se espera en este escenario es una proyección de cómo la problemática puede persistir o agudizarse conforme pasa el tiempo en el horizonte de evaluación definido.

Las proyecciones pueden realizarse con base en los antecedentes que llevaron a la situación actual optimizada y proyectarlas hacia el futuro.

Es importante considerar que para las proyecciones se debe tener en cuenta la vida útil de los activos con los que se presta el servicio. Es decir, bajo el supuesto de que no se llevara a cabo ningún proyecto de inversión un servicio podría dejar de ser prestado o se activarían mecanismos más costosos para su provisión.

#### **a) Generación**

En cuanto al proceso de generación, la oferta se tendrá que determinar en cuanto a las acciones ofrecidas por las autoridades responsables sobre separación de basura y manejo domiciliario de los residuos o los mecanismos actuales que faciliten e incentiven el reciclaje y reutilización.

#### **b) y c) Recolección y Transporte**

Durante la recolección y transporte será necesario determinar un escenario futuro sobre cómo se prestará este servicio si se continúa como hasta la situación actual optimizada. Será importante conocer qué se espera en cuanto a los vehículos con los que se realiza la recolección y el transporte de los RSU, hasta cuándo continuarían funcionando, cómo se incrementarían los costos de operación y mantenimiento de ellos entre más uso tienen, posibles interrupciones del servicio, etc. La mala calidad de los servicios de recolección genera altos costos y déficit de la prestación del servicio por parte de las autoridades responsables, genera el surgimiento de servicios particulares de recolección y potencialmente el tirado de residuos en sitios públicos generando las externalidades negativas para la sociedad.

#### **d) Tratamiento**

En la etapa de tratamiento, como se mencionó en el capítulo previo, es probable que no existan procesos de tratamiento. Sin embargo, para esta etapa, en caso de que exista tratamiento, será necesario conocer las condiciones actuales y la productividad que se tiene con los recursos humanos y tecnológicos utilizados para el tratamiento de los RSU: procesos

manuales de separación, separación mecanizada, plantas de compostaje, plantas de biometanización, plantas de tratamiento térmico, etc. Conocer la evolución de sus condiciones y el contexto de su operación con el fin de contar con elementos para proyectar lo que se espera que suceda con ellas durante el horizonte definido para la evaluación. Para procesos manuales de separación es posible que se afecten los procesos posteriores de disposición final, esta situación podría agudizarse con el paso del tiempo con la llegada de mayores volúmenes de RSU. Por otro lado, para los procesos mecanizados o de otro tipo de tratamiento, con el paso del tiempo se presentará agotamiento de la vida útil y obsolescencia de los equipos y, por lo tanto, es posible que la productividad de los equipos disminuya, que aumenten sus costos de operación y mantenimiento, que se requieran futuras reinversiones para mantener en operación los equipos o, en determinado momento, que se suspenda la operación generando presión al proceso de disposición final.

#### **d) Disposición final**

Finalmente, en la disposición final será necesario conocer la vida útil remanente de la infraestructura destinada a esta acción. Implica determinar la capacidad temporal y de volúmenes de disposición con la finalidad conocer cuándo sería necesaria una reinversión para ampliar o construir otro sitio, así como los requerimientos para la clausura, la remediación y la rehabilitación del sitio. También será importante conocer la vida útil de los equipos destinados a acciones de movimiento, compactación y confinación de los RSU.

Para las proyecciones durante el horizonte de evaluación definido es importante tener en cuenta que generalmente se ocasionarán en el futuro mayores costos y/o deficiencias en los servicios prestados.

#### **iii. Demanda en el escenario Sin Proyecto**

En cuanto a la demanda, el principal insumo para las proyecciones estará en la generación, esta etapa será determinante en el resto de las etapas del ciclo de los RSU. La generación es la etapa en donde se conocerán los volúmenes y la tipología de los residuos generados

en el área de análisis. El comportamiento histórico de la demanda podrá ser un elemento relevante para las proyecciones, sin embargo, es importante considerar criterios razonables sobre la aplicación y el comportamiento de tasas de crecimiento.

La demanda producida durante la etapa de generación y su evolución en el tiempo será fundamental para determinar los volúmenes que requerirán ser recolectados y transportados y los que tendrán que ser transportados a una estación de transferencia, a una planta de tratamiento o directamente a un sitio de disposición final.

La evolución en el tiempo de la demanda dependerá fundamentalmente de la capacidad de expansión de la población analizada. Si es una zona en expansión las tasas utilizadas para las proyecciones serán temporalmente mayores que en zonas donde las poblaciones son más estables por la imposibilidad de crecimiento. Adicionalmente, a largo plazo, se pueden también considerar cambios en los ingresos de las personas, en los patrones de consumo o en el perfil económico productivo de la zona como determinantes de la tasa de crecimiento de la generación de residuos, así como de los cambios en las disposiciones normativas que modifiquen los patrones en la generación de RSU.

#### iv. Interacción de la Oferta y la Demanda en el escenario Sin Proyecto

El evaluador de proyectos deberá realizar un análisis de la interacción de la oferta y la demanda en el tiempo, de acuerdo con las proyecciones realizadas en los dos apartados previos con la finalidad de determinar el comportamiento esperado de las problemáticas identificadas en cada una de las etapas del ciclo de los RSU. La problemática identificada deberá estar asociada fundamentalmente a situaciones de déficits, altos costos, daños ambientales o riesgos potenciales que pudieran presentarse.

Ese análisis debe ser la base para definir la necesidad o no de una intervención a través de un proyecto de inversión.

v. Identificación y comparación de las alternativas de proyectos

En la *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018* se establece que en muchas ocasiones es posible identificar diferentes alternativas para la solución parcial o total de una problemática específica. La identificación de alternativas es importante porque ayuda a descartar iniciativas costosas o no factibles o, incluso, para descartar iniciativas que ya se plantean como iniciativas de inversión únicas.

Cuando se tiene identificado el problema o asunto de interés público que pretende ser intervenido con un proyecto es importante analizar diferentes opciones para atenderlo y decidir por aquella que pudieran tener un mayor impacto, ser más efectiva y menos costosa para atender, mitigar o resolver una situación específica.

En procesos como el de los RSU en cada una de sus etapas se podrían identificar alternativas de proyecto para atender un problema específico.

En **recolección y transporte** podrían identificarse alternativas técnicas como diferentes tipos de contenedores o de vehículos. Si se planteara una sustitución de los vehículos actuales por su obsolescencia, también podría plantearse la adquisición de vehículos con mayor capacidad para ampliar los recorridos o los tiempos de recolección, es posible que los vehículos analizados sean técnicamente diferentes y las diferencias entre costos de inversión, operación, mantenimiento o capacidad de carga sean los elementos determinantes para tomar la decisión por una u otra alternativa.

El objetivo de una Estación de Transferencia es disminuir los costos de transportación de los RSU hasta el sitio de disposición final, por lo tanto, ante las opciones de adquirir o sustituir vehículos o construir una ET se tendría que demostrar que la inversión en la ET se justifica con los ahorros generados en la operación de los vehículos.

Para evaluar o comparar de manera objetiva las alternativas identificadas se podrían utilizar métodos para el análisis de costos como son el Valor Actual de los Costos (VAC), el Costo Anual Equivalente (CAE) y, en algunos casos, el Costo Anual Equivalente Promedio que, aunque no es un indicador requerido normativamente en México puede fortalecer la argumentación sobre proyectos con vida útil diferente.

En cuanto al tratamiento deberán analizarse las diferentes alternativas disponibles para definir el mejor proceso posible de acuerdo con las condiciones contextuales en las que se desarrollaría el proceso. Es importante que en el análisis de cada alternativa de tratamiento se identifiquen las inversiones complementarias que deberán ejecutarse para que la alternativa sea funcional. Por lo que será necesario determinar y atribuir al proyecto todos los costos que implicarán su ejecución y operación. Para los casos de tratamiento los costos directos estarán asociados a las instalaciones, pero junto con esto deberán analizarse los costos de los accesos vehiculares, la necesidad de sitios de disposición final, por ejemplo, para escorias generadas en los procesos de incineración, sitios para almacenamiento de materiales recuperables, maquinaria y equipamiento adicional, etc.

En cuanto a las alternativas de disposición final deberán analizarse opciones de ubicación y tamaño fundamentalmente. Las alternativas de proyecto tienden a ser muy limitadas y, por lo tanto, también tienden a ser alternativas técnicas que, en gran medida, son opciones que derivan de los procesos anteriores. Por ejemplo, un sitio de disposición final podría estar integrado por componentes como las celdas, equipo pesado de compactación, enfiardadoras para la compactación previa a la disposición final, equipos para la recuperación y aprovechamiento de biogás, instalaciones para la captación de lixiviados, etc.

Finalmente, en cuanto a las opciones de uso de sitios recuperados esto deberá responder a cuestiones de factibilidad de uso, a requerimientos sociales y a factores de políticas públicas que no necesariamente están relacionados al ciclo de los RSU por lo que en el presente documento no se profundizará al respecto.

## Paso 3: Situación con el proyecto

### ii. Descripción del proyecto

Una vez que se definió la alternativa que representa las mejores condiciones para contribuir a la atención de un problema específico es necesario describirla y dejar claros los requerimientos y condiciones que tienen que presentarse para que el proyecto se ejecute correctamente y esté en condiciones de ponerse en marcha.

La definición del alcance del proyecto permitirá identificar todos aquellos componentes que formarán parte de él. Con este análisis se pretende tener la mayor claridad sobre los elementos que serán desarrollados con la finalidad de evitar cambios durante la ejecución. Si no se tiene una clara definición del proyecto, los cambios de alcance generalmente se traducirán en sobreplazos y sobrecostos que pueden afectar los resultados de la evaluación del proyecto.

En la definición del proyecto deberá darse claridad sobre los tiempos de ejecución de los componentes del proyecto y de los costos correspondientes. La capacidad y productividad de los componentes según el servicio y las condiciones de operación y mantenimiento a lo largo del horizonte de evaluación. La vida útil de cada uno de ellos y las necesidades de reinversiones.

También es necesario dejar clara la ubicación del proyecto y la necesidad de infraestructura complementaria para su adecuada operación.

### iii. Oferta en el escenario Con Proyecto

En función de la problemática identificada y del proceso involucrado, el análisis de la oferta con proyecto deberá describir qué es lo que se espera con la provisión del servicio en el escenario de que el proyecto se lleva a cabo. Lo que se debe determinar en este escenario es una proyección de cómo se espera que la capacidad instalada y la prestación de un servicio evolucionen en el tiempo y durante el horizonte de evaluación definido.

Las proyecciones en este escenario deben realizarse de acuerdo con una estimación que estaría alimentada por elementos de productividad, vida útil, mantenimiento y requerimientos de operación y, entonces proyectar hacia el futuro lo que se espera que pase con el problema ahora partiendo de una base de mejores condiciones en la provisión del servicio generado por el proyecto.

Como en las proyecciones en el escenario sin proyecto, es importante considerar la vida útil de los activos con los que se prestaría el servicio en el escenario con proyecto.

Respecto de la generación, la oferta se tendría que describir las medidas que ofrecerá el proyecto para propiciar la separación y el eficiente manejo domiciliario de los residuos.

Durante la recolección y transporte será necesario determinar un escenario futuro sobre cómo se prestaría este servicio una vez que es intervenido con el proyecto. Será importante conocer qué se espera en cuanto a costos y productividad del nuevo parque vehicular con el que se realizaría la recolección y el transporte de los RSU, cuál sería su capacidad, sus costos de operación y mantenimiento, etc. Cuánta cobertura se alcanzará con los nuevos vehículos, qué se espera que suceda con los servicios particulares de recolección y con los residuos que se tiran en los espacios públicos.

En la etapa de tratamiento es necesario estimar qué se espera en cuanto a los equipos su capacidad instalada y la productividad que se tendría con la instalación de equipos como: separadoras, enfardadoras, incineradoras, etc. o bien con la instalación de una nueva planta

de tratamiento. Conocer la evolución de sus condiciones y el contexto de su operación con el fin de contar con elementos para proyectar lo que se espera que suceda con ellas. Como en la situación sin proyecto es importante estimar la evolución de la operación con el paso del tiempo porque estos equipos también tienen una vida útil y presentan obsolescencia con el paso del tiempo por lo que su productividad también disminuirá, aunque seguramente a tasas más bajas que con equipos obsoletos analizados en el escenario sin proyecto.

Durante la disposición final será necesario conocer la vida útil de las nuevas instalaciones. Como en el caso de la situación sin proyecto se deberá determinar la capacidad temporal y de volúmenes de disposición con la finalidad de estimar cuándo sería necesaria una reinversión para ampliar o construir otro sitio. También sería importante conocer la vida útil de los equipos destinados a acciones de movimiento, compactación y confinación de los RSU.

Para las proyecciones durante el horizonte de evaluación definido es importante tener en cuenta que generalmente los costos de la operación y el mantenimiento de equipos se incrementan por su antigüedad y obsolescencia.

#### iv. Demanda en el escenario Con Proyecto

En el caso de la demanda en la situación con proyecto tendrá un tratamiento similar que el que se describió en el apartado del escenario sin proyecto, solo que se tiene que tomar en cuenta que, por la complementariedad entre las diferentes etapas del ciclo el proyecto podría ocasionar ciertos ajustes en el resto de las etapas. Por ejemplo, si se instauró una recolección selectiva, se tendrán consideradas varias demandas desglosadas por tipo de residuo previamente separado.

## v. Interacción de la Oferta y la Demanda en el escenario Con Proyecto

Retomado las gráficas presentadas en el análisis de la situación actual se presentan los mismos escenarios incorporando la intervención con el proyecto. Esto servirá de base para la identificación y cuantificación de los efectos de los proyectos propuestos.

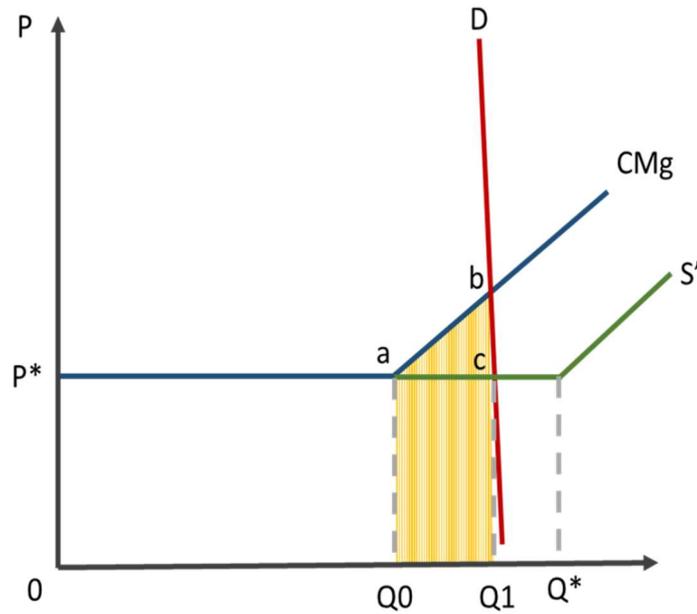
### a) Generación

Un proyecto en esta etapa estará generalmente enfocado en minimizar la generación de residuos y/o fomentar que a través de su reúso o a través de la selección de materiales se pudiera reducir la demanda de servicios como el de recolección.

### b) Recolección

#### **Proyecto de ampliación de la capacidad de recolección.**

En la situación sin proyecto la capacidad máxima del sistema formal de recolección está dada por la oferta (CMg), a partir de Q0 unidades transportadas se generan altos costos para la sociedad derivado de la utilización de alternativas de servicio más costosas. Para este caso, la demanda (D) supera la capacidad máxima de recolección y cruza en el punto b a la curva de CMg generando altos costos para la sociedad el volumen Q0Q1. Si el proyecto consiste en ampliar el servicio de recolección hasta una capacidad máxima de Q\* unidades de recolección a un costo marginal representado por la oferta con proyecto (S'). Con esta ampliación, la demanda ahora cruza la oferta en el punto c, eliminando el uso de sistemas alternativos de recolección más costosos correspondientes a las cantidades Q0-Q1.

**GRÁFICA 5. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO PARA EL PROCESO RECOLECCIÓN**


Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, la ampliación del servicio de recolección de  $Q_0$  a  $Q_1$ , genera beneficios por liberación de recursos representados por el área bajo la línea de  $CMg$ , estos residuos ahora serán captados por el sistema de recolección formal. El valor social del beneficio estaría representado por el área  $Q_0abQ_1$ .

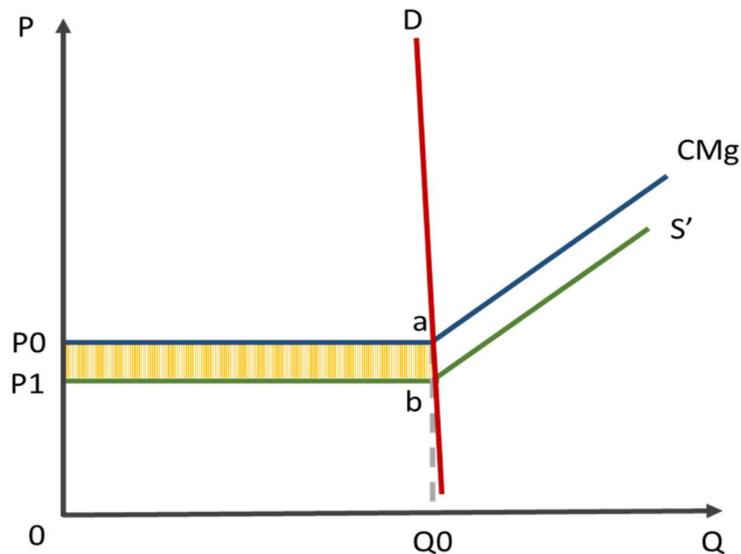
Cabe señalar que se tendrá que restar a esos beneficios el costo de recolección, transporte y disposición de los residuos adicionales que entran al sistema de recolección que corresponde al área  $Q_0Q_1ca$  generando un beneficio neto representado por el área  $abc$ .

#### **Proyecto de sustitución de unidades de recolección.**

Como en el caso anterior, en la situación sin proyecto la capacidad máxima del sistema de recolección está dado por la oferta en  $Q_0$  unidades de recolección, a partir de ahí el uso de mecanismos alternos de recolección de los RSU genera altos costos para la sociedad lo cual se representa como por el tramo creciente de la línea  $CMg$ . Para este caso se supondrá que

la demanda (D) se encuentra en la capacidad máxima de recolección y cruza en el punto a, en el segmento horizontal de CMg. El proyecto consiste en sustituir las unidades de recolección por otras más eficientes sin incrementar la capacidad de provisión del servicio, con esta sustitución la capacidad máxima se mantendrá en  $Q_0$  a un costo marginal representado por la oferta con proyecto ( $S'$ ), la demanda ahora cruza en el punto b ocasionando una reducción del costo unitario de recolección de  $P_0$  a  $P_1$ .

**GRÁFICA 6. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO SUSTITUCIÓN DE UNIDADES DE RECOLECCIÓN SIN INCREMENTO DE CAPACIDAD TOTAL**



Fuente: Elaboración Propia

Por lo mismo, el proyecto de sustitución de unidades de recolección por unidades más eficientes, sin incrementar la zona de recolección, ocasiona una reducción de costos derivado de la mayor eficiencia en la operación de los nuevos camiones recolectores, representado por el área  $P_0abP_1$ .

Podrían darse casos en los que se presenten combinados los dos casos anteriores y tener proyectos que a la vez tienen como objetivo sustituir los equipos de recolección existentes y ampliar el alcance del servicio de recolección.

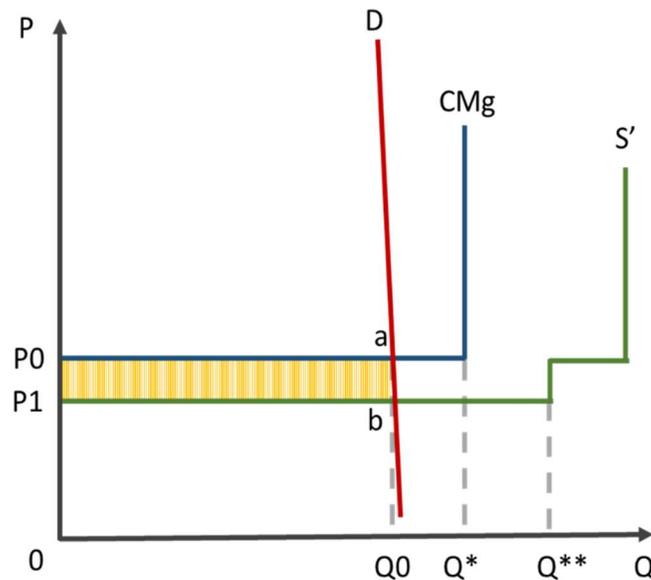
## c) Transporte

**Proyecto de instalación de una estación de transferencia**

Este tipo de proyectos tendrán efectos fundamentalmente en el transporte, disminuyendo costos por los traslados de los RSU a los sitios de tratamiento o de disposición final, por lo tanto, la medición de estos beneficios deberá hacerse en esos mercados complementarios.

Para que la instalación de una estación de transferencia sea efectiva y cumpla con el objetivo de reducir costos en el proceso de transportación de residuos debe ser adecuadamente coordinado y deberá tener en cuenta aspectos como: horarios y tiempos de recolección y transportación, frecuencias, personal destinado, costos de operación, dispersión de la población, congestión, etc.

**GRÁFICA7. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA**



Fuente: Elaboración Propia

El efecto de una Estación de Transferencia en el transporte de los RSU se puede visualizar en la Gráfica7, suponga que, en la situación sin proyecto, los vehículos recolectores

trasladan hasta el relleno sanitario los RSU recolectados. Lo anterior se hace actualmente a un costo  $P_0$  y el volumen de los residuos trasladados es de  $Q_0$  en el cruce de  $CM_g$  y  $D$  en  $a$ . Si el proyecto consiste en la inversión de una Estación de Transferencia en el que los residuos sean, a partir de ella, trasladados a través de vehículos con mayor capacidad reduciendo los costos de combustible, personal, mantenimiento, reinversiones, etc. entonces se generará una curva de oferta  $S$  que representa la reducción en los costos por la entrada de la ET (a un costo  $P_1$ ). Bajo el entendido de que no hay tratamiento en la estación de transferencia, entonces el volumen de RSU que serán trasladados será  $Q^*$ , sin embargo, ahora el traslado a partir de la entrada en operación de la ET será a un costo de  $P_1$ , generando ahorro por tonelada transportada. Cabe señalar que  $Q^{**}$  representa la capacidad instalada de la estación de transferencia.

Con el proyecto de la ET la cantidad  $Q_0$  se transportará a un costo  $P_1$  generando una liberación de recursos representada por el área  $P_0abP_1$ .

#### d) Tratamiento

En cuanto al tratamiento, se pueden identificar proyectos de acuerdo con el tipo de tratamiento que se realice, como se mostró anteriormente, estos procesos pueden ser desde el reciclaje, compostaje, biometanización, tratamiento térmico en sus diferentes modalidades, recolección de biogás, el aprovechamiento de energético para la generación de energía eléctrica, etc., todos estos procesos, tienen como finalidad reducir los volúmenes necesarios a ser dispuestos en los rellenos sanitarios.

- **Aprovechamiento de RSU:** Es un proceso que tiene como objetivo la recuperación de componentes comerciables o valorizables contenidos en los RSU.

Entre las ventajas de este proceso están:

- Aprovechamiento de materiales comercializables.
- Reducción de los volúmenes de RSU que se deben disponer.

- **Compostaje:** Es un proceso en el que se aprovechan la fracción orgánica de los residuos para generar compost o abono orgánico.

Algunas ventajas de este proceso:

- La composta se usa como fertilizante aumentando la productividad de los cultivos y permitiendo restaurar suelos dañados. Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, la percolación del suelo y la retención de agua en la superficie.
- En caso de sustituir a fertilizantes químicos, permite limitar la contaminación de los suelos y aguas.
- Reducción de los volúmenes de RSU que se deben disponer.

El producto de este proceso se puede considerar como un bien con mercado, al igual que los productos reciclados.

- **Biometanización:** La biometanización o digestión anaeróbica es un proceso biológico que permite transformar la fracción orgánica en biogás que se puede aprovechar, en particular a través de la generación de energía eléctrica y un residuo sólido llamado digesto, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico.

Algunas ventajas de este proceso están:

- Generación de biogás que se puede aprovechar para generar energía eléctrica
- Producción de un digesto que se puede usar como mejorador de suelo
- Reducción de los volúmenes de RSU que se deben disponer.

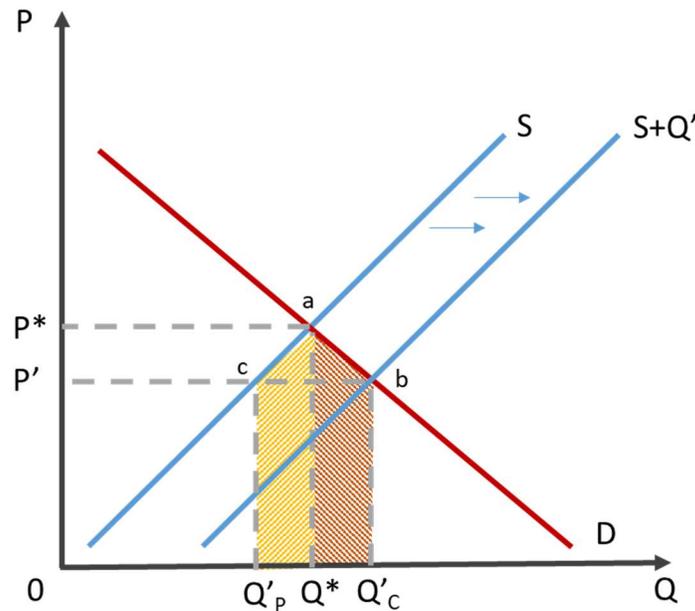
- **Tratamientos Térmicos:** Con este tipo de proceso, lo que se pretende es la transformación y reducción de los RSU en materiales inertes como cenizas y en gases. Este proceso no elimina totalmente los RSU pero al convertirlos en escorias y cenizas reducen considerablemente su volumen, propiciando un requerimiento menor de superficie para su disposición final.

Algunas ventajas de este tipo de proyectos son:

- Bajo requerimiento de superficies para su disposición final
- Pueden instalarse cerca de los centros de población propiciando ahorros en la transportación de RSU
- Prácticamente cualquier tipo de residuo puede someterse a este tratamiento
- Este proceso puede adaptarse para la generación de energía a través de proyectos denominados como "Waste to Energy", o de aprovechamiento energético.

A continuación, se representa el caso, de un proyecto que aumenta la cantidad de un bien valorizable.

**GRÁFICA 8. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO PARA EL PROCESO TRATAMIENTO (RECUPERACIÓN DE VALORIZABLES)**



Fuente: Elaboración Propia

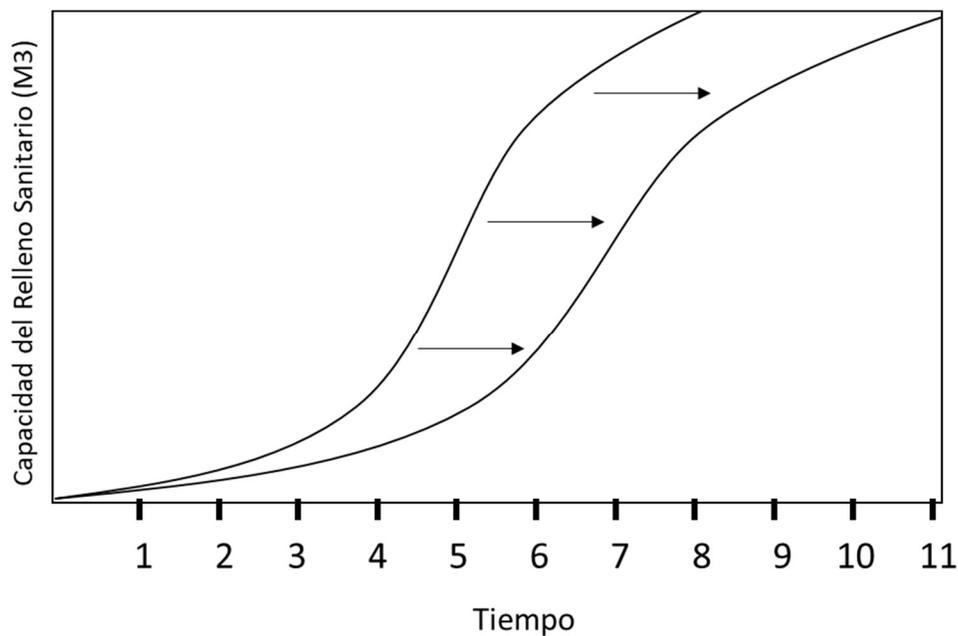
De acuerdo con la Gráfica se parte de un mercado competitivo en el que se introduce una cantidad  $Q'$  del bien comercializable pasando la oferta de  $S$  a  $S+Q'$ . Ese incremento generará una adecuación del precio de  $P^*$  a  $P'$  ocasionando un nuevo equilibrio en  $Q'_c$ .

Un proyecto que genera una mayor cantidad de materiales valorizables aumenta la cantidad ofrecida en el mercado de ese bien generando beneficios fundamentalmente en un incremento en el consumo de estos materiales recuperados reflejado por el área  $Q^*Q'_c b a$ . Por otro lado, parte de los materiales recuperados podrán reemplazar materiales ofrecidos en el mercado generando una liberación de recursos que se refleja por el área  $Q'_p Q^* a c$ .

Sin embargo, los procesos de tratamiento de los RSU tienen un beneficio adicional. Su objetivo fundamental es reducir los volúmenes de RSU a confinar, reduciendo con ello la necesidad de contar con grandes extensiones de tierra para confinar los residuos sólidos en rellenos sanitarios. Por lo que un beneficio importante de este tipo de proyectos está enfocado a este fin.

Como se ilustra en la Figura 77, los proyectos de tratamiento de RSU se realizan esperando una ampliación de la vida útil del sitio.

FIGURA 7. INCREMENTO EN LA VIDA ÚTIL DE RELLENO SANITARIO



Fuente: Elaboración Propia

### e) Disposición final

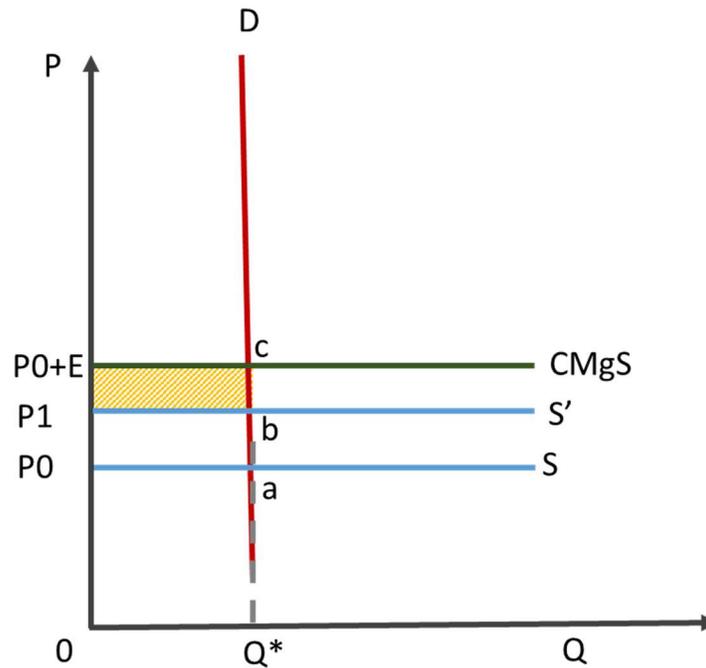
Como en cada proceso, se pueden presentar problemáticas diversas, esto no es diferente para el caso del proceso de disposición final, en el que se pueden presentar varios escenarios que den potencialmente origen a un proyecto. Por ejemplo:

- Saturación de un Relleno Sanitario
- Disposición final en tiraderos a cielo abierto
- Contaminación de agua, aire o suelo derivado del inadecuado manejo de los RSU
- Altos costos de operación del relleno
- Obsolescencia de los equipos, etc.

Todos estos problemas pueden ser intervenidos con diferentes proyectos por lo que, para el caso de la disposición final se planteará el siguiente caso:

Suponga que en la situación actual se dispone de los RSU en un tiradero a cielo abierto o un relleno sanitario mal manejado. En este escenario, el costo social es alto por el conjunto de externalidades que un confinamiento inadecuado de los residuos ocasiona. Esto se puede representar con un Costo Marginal Social (CMgS) alto. La diferencia entre  $P_0$  y  $P_0+E$  corresponde a la Externalidad (E) ocasionada por el mal manejo actual de los RSU en el sitio actual. En este sentido el costo de disponer de  $Q^*$  unidades en el sitio ocasiona un costo equivalente a  $P_0 \cdot Q^*$ , sin embargo, considerando la externalidad el costo social correspondería al área  $P_0 + E \cdot Q^*$ . Con la entrada del proyecto, un relleno sanitario controlado, se pretendería reducir el Costo Marginal Social de CMgS a  $S'$ .

En ese caso, los costos de operación aumentan con el proyecto (de  $S$  a  $S'$ ), ya que un manejo adecuado del sitio de disposición en general es más costoso ( $P_1 > P_0$ ), no obstante, si se toman en cuenta las externalidades negativas que se generan en el caso de un sitio de disposición mal manejado o inadecuado, existe una disminución del costo marginal social entre la situación sin proyecto y con proyecto ( $P_0 + E > P_1$ ). Por lo tanto, el beneficio social atribuible al proyecto está dado por el área  $P_0 + E \cdot Q^* - P_1 \cdot Q^*$ .

**GRÁFICA 9. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO PARA EL PROCESO  
DISPOSICIÓN FINAL**

Fuente: Elaboración Propia

#### Paso 4: Identificación, cuantificación y valoración de los costos y beneficios socioeconómicos

Dependiendo del proceso y del proyecto que se analice se tendrán que identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios atribuibles al proyecto durante el horizonte de evaluación planteado.

La identificación es el proceso mediante el cual se listan de manera descriptiva los costos y los beneficios que se esperan del proyecto.

La cuantificación es un proceso por el que deben pasar todos los costos y beneficios identificados. Esta cuantificación debe mostrar una magnitud clara del costo o del beneficio

que se esté analizando, como son número de beneficiarios, número de viajes, horas ahorradas, etc.

La valoración es un proceso mediante el cual los costos y beneficios identificados y cuantificados son valorizados en términos monetarios como el valor del tiempo ahorrado o los costos directos de inversión y operación. Sin embargo, algunos beneficios son costosos, complejos y/o es imposible valorarlos, por lo tanto, algunos costos y beneficios podrán considerarse como intangibles.

#### i. Beneficios

Los beneficios asociados a proyectos sobre manejo integral de RSU en general están relacionados con la reducción de costos o liberación de recursos por un cambio en la tecnología generado por el proyecto.

Una particularidad de los proyectos de gestión de RSU es que los beneficios no solo ocurren en la etapa del ciclo de manejo de los RSU en la cual interviene el proyecto, sino que muchas veces los generan en etapas subsecuentes. Por ejemplo, si un programa de educación ambiental permite minimizar la cantidad de RSU generada, se lograrán ahorrar costos tanto al nivel de la recolección, del transporte, del tratamiento y de la disposición final de los RSU.

En general, se identifican los siguientes beneficios en proyectos de RSU:

- Reducción de costos de operación (Valorable)
- Reducción de costos de mantenimiento (Valorable)
- Reducción de costos de reinversiones (Valorable)
- Reducción en costos de viajes (Valorable)
- Reducción de la congestión vehicular (Valorable)
- Reducción de contaminación de agua, aire y suelo (Posiblemente intangible)
- Reducción de molestias: visual, olor, fauna nociva, ruido, etc. (Posiblemente intangible)
- Mejora en el valor inmobiliario de predios (Valorable)
- Beneficio por generación de material valorizable (Valorable)

- Beneficio por generación y sustitución de fuentes energéticas (Valorable)

## ii. Costos

En cuanto a los costos, los más comunes son los siguientes:

- Costos de inversión
  - Construcciones
  - Instalaciones
  - Terrenos
- Costos de equipamiento
  - Equipamiento mayor
  - Equipamiento menor
- Costos de operación
  - Sueldos y salarios
  - Insumos como combustibles
  - Servicios básicos
- Costos de mantenimiento
  - Preventivo
  - Mayor
- Costos de reinversión
- Costos de viajes
- Molestias para ciertos habitantes: visual, olor, fauna nociva, ruido, etc.
- Congestión vehicular
- Reducción en el valor inmobiliario de predios
- Costos ambientales por contaminación de elementos como el suelo, el aire o el agua

Finalmente, se realiza una síntesis de la identificación de los principales costos y beneficios en las diferentes etapas del ciclo de gestión de residuos sólidos.

### iii. Identificación de costos por tipo de proyectos

COSTOS	PROG. MINIMIZACIÓN REUSO Y SEPARACIÓN	AMPLIACIÓN CAPACIDAD RECOLECCIÓN NO SELECTIVA	SUST DE EQUIPO RECOLECCIÓN	ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	TRATAMIENTO				RELLENO SANITARIO
					Planta Reciclaje	Planta Composta	Planta Biometanización	WTE	
Costos de inversión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costos de equipamiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costos de operación del proyecto	✓	✓ (CGV's)	**	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costos de mantenimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costos de reinversión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costos de equipamiento, operación, mantenimiento y reinversiones en otros en procesos subsecuentes	**	✓	-	-	**	**	**	**	-
Costos ambientales por contaminación de suelo, aire o agua	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Costos por emisiones de GEI	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Costo de molestias por el proyecto	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓

\*\* Los costos se verían reflejados en la evaluación como una reducción o ahorro neto

(X) Costos de difícil cuantificación y valoración

CGV's Costos Generalizados de Viaje

## iv. Identificación de beneficios netos por tipo de proyectos

BENEFICIOS	PROG. MINIMIZACIÓN REUSO Y SEPARACIÓN	AMPLIACIÓN CAPACIDAD RECOLECCIÓN NO SELECTIVA	SUST DE EQUIPO RECOLECCIÓN	ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	TRATAMIENTO				RELLENO SANITARIO
					Planta Reciclaje	Planta Composta	Planta Biometanización	WTE	
Ahorros netos de costos de operación en el proceso del proyecto	-	-	✓ (CGV's)	✓ (CGV's)	-	-	-	-	-
Ahorros netos de costos de operación en procesos subsecuentes del proyecto	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
Ahorros netos de costos de mantenimiento en el proceso del proyecto	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
Ahorros netos de costos de mantenimiento en procesos subsecuentes del proyecto	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
Ahorros netos de costos de reinversiones en el proceso del proyecto	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
Ahorros netos en costos reinversiones en procesos subsecuentes del proyecto	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
Ahorros netos en costos de contaminación de agua, aire y suelo	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Ahorros netos en emisiones de GEI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ahorros en costos de molestias durante la operación del proyecto	(X)	(X)	-	-	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Beneficio por mayor oferta de material valorizable	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-
Beneficio por generación de energéticos	-	-	-	-			✓	✓	-

## (X) Beneficios de difícil cuantificación y valoración

El siguiente paso consiste en cuantificar y valorar los costos y beneficios identificados anteriormente. En las tablas siguientes, se proponen indicaciones para apoyar en esas actividades.

## v. Cuantificación y valoración de costos por tipo de proyectos

COSTOS SOCIOECONÓMICOS	CUANTIFICACIÓN	VALORACIÓN SUGERIDA NO LIMITATIVA
Costos de inversión	Costos de Infraestructura, costo de oportunidad del predio	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos de equipamiento	Cantidad de equipos necesarios para el inicio del proyecto	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos de operación	Cantidad de insumos necesarios para la operación del proyecto a lo largo del horizonte de evaluación	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos de mantenimiento	Cantidad de insumos necesarios para el mantenimiento del proyecto a lo largo del horizonte de evaluación	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos de reinversión	Cantidad de equipos necesarios a reponer en el proyecto a lo largo del horizonte de evaluación	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos de equipamiento, operación, mantenimiento y reinversiones en procesos subsecuentes del proyecto	Cantidad de equipos e insumos requeridos en subprocesos complementarios.	Precios de mercado libres de impuestos y subsidios
Costos ambientales por contaminación de suelo, aire o agua	Volúmenes de contaminantes (emisiones, lixiviados, etc.) generados.  Recursos ambientales contaminados	De difícil cuantificación y/o valoración
Costos por emisiones de GEI	Volumen de emisiones de GEI generados	Precio Social del Carbono <sup>3</sup>
Costo de molestias por el proyecto	Afectaciones generadas en mercados externos: congestión, ruido, fauna nociva, etc.	De difícil cuantificación y/o valoración  No obstante, en algunos casos, las molestias pueden ser valoradas por la reducción en el valor inmobiliario de predios. O en el caso de la congestión, mediante el cálculo de costos operativos y tiempos de viaje.

---

<sup>3</sup> Ver tabla de cuantificación y valoración de beneficios

## vi. Cuantificación y valoración de beneficios por tipo de proyectos

BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS	CUANTIFICACIÓN	VALORACIÓN SUGERIDA NO LIMITATIVA
Ahorros netos de costos de operación en el proceso del proyecto	Recursos liberados en el proceso de operación en el escenario con proyecto respecto del escenario sin proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos de costos de operación en procesos subsecuentes del proyecto	Recursos liberados en otros subprocesos derivados de la operación del proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos de costos de mantenimiento en el proceso del proyecto	Recursos liberados en el proceso de mantenimiento en el escenario con proyecto respecto del escenario sin proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos de costos de mantenimiento en procesos subsecuentes del proyecto	Recursos liberados en otros subprocesos derivados de los procesos de mantenimiento del proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos de costos de reinversiones en el proceso del proyecto	Recursos liberados por reinversiones en el escenario con proyecto respecto del escenario sin proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos en costos reinversiones en procesos subsecuentes del proyecto	Recursos liberados en otros subprocesos derivados de reinversiones en el proyecto.	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Ahorros netos en costos de contaminación de agua, aire y suelo	Reducción de volúmenes de contaminantes (emisiones, lixiviados, etc.) generados y de recursos ambientales contaminados	De difícil cuantificación y/o valoración, sin embargo, se puede explorar mediante el método de Valoración Contingente
Ahorros netos en emisiones de GEI	Cantidad Reducción en la emisión de GEI	Precio social del carbono <sup>4</sup>
Ahorros en costos de molestias durante la operación del proyecto	Reducción de molestias generadas en el escenario sin proyecto (congestión, ruido, fauna nociva).	De difícil cuantificación y/o valoración  No obstante, en algunos casos, la reducción en molestias puede ser valorada por el incremento en el valor inmobiliario de predios. O en el

<sup>4</sup> El Precio Social del Carbono “se define como el valor monetario del daño causado al emitir una tonelada adicional de carbono en un momento dado del tiempo” (Alatorre et al. 2019). México no ha publicado a la fecha de realización de dicha metodología un valor oficial por el precio social del carbono. La CEPAL en 2019 como resultado de un Meta análisis de la literatura a partir de 37 documentos (261 observaciones) sugiere usar un valor de 25.83 USD por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS	CUANTIFICACIÓN	VALORACIÓN SUGERIDA NO LIMITATIVA
		caso de la congestión, mediante el cálculo del ahorro en costos operativos y tiempos de viaje.
Beneficio por mayor oferta de material valorizable	Incremento en el volumen de materiales valorizables	Valores de mercado ajustados por la eliminación de distorsiones (impuestos y subsidios).
Beneficio por generación de energéticos	Volumen de energía generada	<p>Precio social de la energía que tiene dos componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de la energía que sin proyecto se produce por una fuente alternativa, que se puede aproximar por el Precio marginal local por KWh en la zona de estudio emitido por el CENACE <sup>5</sup></li> <li>- Costo de las emisiones de GEI que se producen sin proyecto por la generación de energía eléctrica por una fuente alternativa.</li> </ul> <p>Se puede calcular a partir del Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional<sup>6</sup> y del Precio Social del Carbono.</p>

<sup>5</sup> Consultado en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precios-de-energia-del-mercado-de-corto-plazo>

<sup>6</sup> El Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional para el año 2018 publicado por la Comisión Reguladora de Energía es de 0.527 tCO<sub>2</sub>e/ MWh Consultado en <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>.

En las tablas anteriores, se identificaron los beneficios que son de difícil cuantificación y/o valoración que son principalmente el ahorro neto en costos de contaminación de agua, aire y suelo y el beneficio por ahorro en costos de molestia por mala disposición de RSU (malos olores, degradación visual u otros según el proyecto).

Considerando el hecho que esos beneficios no se logren valorar, implicará que no necesariamente será posible evaluar el proyecto por Análisis Costo-Beneficio, y en ese caso, la evaluación se llevará a cabo bajo la lógica del Análisis Costo-Eficiencia:

- Análisis Costo-Beneficio (ACB): Consiste en identificar, cuantificar y valorar los costos y los beneficios ocasionados por un proyecto. Para ellos se compara la situación sin proyecto versus la situación con proyecto, y se obtienen los efectos atribuibles exclusivamente a su realización (CEPEP, 1999). En este análisis deberán calcularse indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Tasa de rentabilidad inmediata (TRI) para proyectos cuyos beneficios son crecientes en el tiempo.
- Análisis Costo-Eficiencia (ACE): Es un método que se utiliza cuando el proyecto que se está evaluando tiene beneficios que no pueden medirse en términos monetarios. Para aplicarlo, es necesario establecer los siguientes supuestos:
  - El VPN de todas las alternativas técnicas es positivo. Esto significa que, se supondrá que los beneficios siempre son superiores a los costos de todas las alternativas y, por lo tanto, se establece a priori que el proyecto es rentable.
  - Los beneficios de todas las alternativas técnicas son iguales, lo cual significa que las alternativas pueden ser estrictamente comparables.

Los indicadores utilizados para ese tipo de análisis son en general el Valor Actual de los Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE). No obstante, en el caso de los proyectos de RSU, se propone complementar el análisis con otro tipo de indicador que es el Costo Medio por tonelada de RSU manejada ( $C_{m_{RSUM}}$ )<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> El Costo Medio por tonelada de residuos sólidos urbanos, se define como el costo promedio neto, considerando los beneficios valorables, por tratar o manejar el total de las toneladas de RSU por el proyecto en el horizonte de evaluación.

Finalmente, con un enfoque de la contribución de los proyectos al cambio climático, se propone igualmente introducir un indicador adicional que mide el costo por mitigar emisiones de GEI que es el Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI (CMA)<sup>8</sup>.

Por el hecho que en el caso de proyectos de gestión de RSU varios beneficios se quedan intangibles, una posibilidad es ir complementando el Análisis ACE por un Análisis Multicriterio (AM) que permite cuantificar y ponderar los diversos impactos del proyecto, incluyendo a los intangibles para poder emitir una opinión sobre el proyecto.

---

<sup>8</sup> El Indicador de Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI se define como el costo (neto de los beneficios valorables) promedio con proyecto de evitar una tonelada métrica de CO<sub>2</sub> en comparación a la situación sin proyecto o escenario de referencia.

Antes de presentar los indicadores mencionados anteriormente, se indica en la siguiente tabla, el tipo de análisis (ACB versus ACE) que se utiliza generalmente en la práctica de la Evaluación Socioeconómica de Proyectos en función del tipo de proyecto.

	PROG. MINIMIZACIÓN REUSO Y SEPARACIÓN	AMPLIACIÓN CAPACIDAD RECOLECCIÓN NO SELECTIVA	SUST DE EQUIPO RECOLECCIÓN	ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	TRATAMIENTO				RELLENO SANITARIO
					Planta Reciclaje	Planta Composta	Planta Biometanización	WTE	
Tipo de Análisis más comúnmente usado	ACB	ACB / ACE (seguido de AM potencialmente)	ACB	ACB	ACE (seguido de AM potencialmente)				
Comentarios	En general, los ahorros en costos en las etapas subsiguientes al ciclo, que se pueden valorar, son altos en comparación a los costos de ese tipo de programas, por lo que a pesar de que unos beneficios se queden intangibles, el	En la práctica, se encuentran los dos (ACE o ACB). En el caso del ACB, los beneficios de difícil valoración se aproximan usando la técnica de valoración contingente para determinar la disposición a pagar por recibir el servicio de recolección de los RSU <sup>9</sup> . Por ser el análisis ACB de mayor complejidad que el ACE, en general, solo se emplea para proyectos de gran tamaño.	El beneficio principal es por ahorro en CGVs que es factible valorar.	El beneficio principal es por ahorro en CGVs que es factible valorar.	En general, los proyectos de tratamiento y disposición final se evalúan por ACE.  Al igual de lo que se propuso cuando el proyecto amplía el servicio de recolección, se podría usar la técnica de valoración contingente, no obstante, las personas no suelen valorar tanto el servicio de disposición ambientalmente responsable de los RSU, lo que valoran más es la recolección de los RSU. Por lo tanto, si el proyecto solo implica una mejor disposición de los RSU, las disposiciones a pagar no logran captar el valor del beneficio por mejor disposición de los RSU.  En el caso de proyectos de tratamiento, se tienen beneficios valorizables adicionales al caso del relleno sanitario, pero muchas veces esos beneficios no				

<sup>9</sup> Para mayor información en cuanto a la técnica de valoración contingente aplicada al caso de RSU, ver BID (2016).

	PROG. MINIMIZACIÓN REUSO Y SEPARACIÓN	AMPLIACIÓN CAPACIDAD RECOLECCIÓN NO SELECTIVA	SUST DE EQUIPO RECOLECCIÓN	ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	TRATAMIENTO				RELLENO SANITARIO
					Planta Reciclaje	Planta Composta	Planta Biometanización	WTE	
	proyecto es factible evaluar por ACB				permiten compensar todos los costos del proyecto si los otros beneficios se quedan intangibles.				

A continuación, se describen los indicadores del ACB, del ACE y el indicador adicional del CMA.

## Paso 5a: Indicadores para el ACB

### i. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es la suma de los beneficios netos futuros esperados del proyecto actualizado a un año común a la Tasa Social de Descuento ( $r$ ). Se puede representar de la siguiente forma:

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t + BI_t - CI_t \pm e_t}{(1 + d^*)^t}$$

Donde,

VPN = Valor Presente Neto

$I_0$  = Inversión inicial realizada en el momento 0

$B_t$  = Beneficios directos obtenidos en el periodo  $t$

$C_t$  = Costos directos incurridos en el periodo  $t$  (podría incluir inversiones y reinversiones)

$BI_t$  = Beneficios indirectos obtenidos en el periodo  $t$

$CI_t$  = Costos indirectos incurridos en el periodo  $t$

$e$  = Externalidades positivas o negativas del periodo

$d^*$  = Tasa Social de Descuento

$n$  = Número de años del horizonte de evaluación

$t$  = Periodo

El VPN sintetiza en una sola cifra el valor social del proyecto al restar los costos de los beneficios una vez que ambos han sido debidamente actualizados con la Tasa Social de

Descuento. De acuerdo con lo anterior la rentabilidad de un proyecto estará determinada por los siguientes criterios:

- Si el VPN es mayor que cero ( $VPN > 0$ ) entonces se considerará que el proyecto es socialmente rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarlo.
- Si el VPN es igual a cero ( $VPN = 0$ ) será indiferente realizar el proyecto o invertir los recursos en la alternativa.
- Si el VPN del proyecto es menor que cero ( $VPN < 0$ ) entonces el proyecto no es rentable socialmente y deberá ser rechazado.

## ii. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno para algunos autores resume los méritos que tiene un proyecto porque se determina de manera intrínseca al mismo proyecto y se determina exclusivamente con los flujos esperados del mismo proyecto.

La TIR es aquella tasa de descuento que ocasiona que el VAN del proyecto sea igual a cero.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t + BI_t - CI_t \pm e_t}{(1 + \rho)^t} = 0$$

Donde:

Donde,

VPN = Valor Presente Neto

$I_0$  = Inversión inicial realizada en el momento 0

$B_t$  = Beneficios directos obtenidos en el periodo t

$C_t$  = Costos directos incurridos en el periodo t (podría incluir inversiones y reinversiones)

$BI_t$  = Beneficios indirectos obtenidos en el periodo t

$CI_t$  = Costos indirectos incurridos en el periodo t

e = Externalidades positivas o negativas del periodo

$\rho$  = Tasa Interna de Retorno (TIR)

n = Número de años del horizonte de evaluación

t = Periodo

La TIR es un criterio que generalmente acompaña al VPN la recomendación de ejecutar o no el proyecto.

Cuando la TIR del proyecto es superior a la Tasa Social de Descuento se considerará conveniente el proyecto, en este escenario también el VPN será positivo. Sin embargo, cuando la TIR es inferior a la TSD el proyecto se considerará como no rentable y, por lo tanto, tendría que rechazarse. Esto siempre bajo el entendido que los flujos son “bien comportados”<sup>10</sup>.

Es importante señalar que la TIR no es un indicador que permita jerarquizar diferentes proyectos de inversión.

### iii. Tasa de Rentabilidad Inmediata

La Tasa de Rentabilidad Inmediata indica el momento óptimo de inicio de operación de un proyecto de inversión que tiene como una de sus características fundamentales que los beneficios del proyecto son crecientes en el tiempo calendario, independientemente de la fecha en que se ejecute el proyecto.

---

<sup>10</sup> Ver CEPEP, Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018.

$$TRI_t = \frac{FE_t}{I}$$

Donde:

$TRI$  = Tasa de Rendimiento Inmediata

$FE_t$  = Flujo de efectivo en el periodo  $t$

$I_t$  = Monto total de la inversión

$t$ .- Periodo

Cuando la Tasa Social de Descuento ( $r$ ) es superior a la TRI en alguno de los periodos del flujo del proyecto la recomendación es posponer el proyecto derivado que el costo de postergar el proyecto (el beneficio que se deja de percibir) es menor que el beneficio de postergarlo que es el costo de oportunidad de los recursos invertidos (la tasa social de descuento por el monto invertido). Se considerará que el momento óptimo de operación del proyecto será cuando ocurra el primer flujo en el que la relación del beneficio neto respecto de la inversión sea superior a la Tasa Social de Descuento. Por lo tanto, la TRI solo es relevante para determinar el año óptimo de entrada en operación del proyecto bajo el supuesto de que los beneficios son crecientes en el tiempo.

## Paso 5b: Indicadores para el ACE

### iv. Valor Actual de los Costos (VAC)

El VAC es la suma del valor presente de los costos futuros esperados del proyecto, actualizados con la Tasa Social de Descuento ( $r$ ). Se puede representar de la siguiente forma:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t + CI_t + e^-}{(1 + d^*)^t}$$

Donde:

VAC = Valor Actual de los Costos

$I_0$  = Inversión inicial realizada en el momento 0

$C_t$  = Costos directos incurridos en el periodo  $t$  (podría incluir inversiones y reinversiones)

$CI_t$  = Costos indirectos incurridos en el periodo  $t$

$e$  = Externalidades negativas del periodo

$d^*$  = Tasa social de descuento

$n$  = Número de años del horizonte de evaluación

$t$  = Periodo

Este criterio se aplica para la comparación de alternativas de proyecto que generan los mismos beneficios y que tienen un horizonte de evaluación similar. En los procesos de Análisis Costo-Eficiencia la selección de los proyectos estará se definirá por aquellos que presenten el menor Valor Actual de los Costos.

#### v. Costo Anual Equivalente (CAE)

Cuando las alternativas de proyecto tienen diferente vida útil y, por lo tanto, diferente horizonte de evaluación para su análisis es conveniente calcular el Costo Anual Equivalente (CAE) que permite el comparar alternativas a través de sus costos anualizándolos, como se muestra a continuación:

$$CAE = VAC \left( \frac{d (1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1} \right)$$

Donde:

CAE = Costo Anual Equivalente

VPC = Valor Actual de los Costos

$r$  = Tasa social de descuento

$n$  = Número de años del horizonte de evaluación

De acuerdo con este indicador la alternativa seleccionada tendría que ser la que presente el menor CAE.

Una variación de este indicador que no tienen una vida útil similar y que tampoco generan beneficios similares es calcular un *promedio* respecto de las unidades beneficiadas o provistas del bien o servicio, seleccionando aquella alternativa que presente el valor más bajo en el indicador. Por lo tanto, a continuación, se introduce el concepto de Costo Medio por tonelada de RSU manejada ( $Cm_{RSUM}$ ) que puede ser muy interesante en el caso de proyectos de gestión de RSU.

- Costo Medio por tonelada de RSU manejada ( $Cm_{RSUM}$ )

Este indicador permite medir el costo por tonelada manejada, pero neto de los beneficios que se pueden fácilmente valorar, como el valor de los productos reciclados o de la energía eléctrica producida por el proyecto, así como el beneficio por reducción de emisiones de GEI. La ventaja de este indicador es que permite comparar alternativas con beneficios diferentes.

$$Cm_{RSUEM} = \frac{VPC - VPB^*}{\sum T_{Ton}}$$

Donde:

$Cm_{RSUM}$ .- Costo Medio de RSU manejados

VPC.- Valor Presente de los Costos

VPB.- Valor Presente de los Beneficios Valorables

$VP_{Ton}$ .- Valor Presente de la cantidad de Toneladas Manejadas<sup>11</sup>

$T_{Ton}$ .- Total de Toneladas Manejadas en el horizonte de evaluación del proyecto.

---

<sup>11</sup> Las toneladas manejadas por el sistema en general no son constantes y van creciendo en el tiempo, razón por la cual se usa el valor presente de esas toneladas.

Se escoge la alternativa de proyecto que presenta el menor valor de  $Cm_{RSUM}$ .

La aplicación de los diferentes criterios de evaluación en los proyectos propuestos durante el ciclo de los RSU dependerá de la naturaleza y las características particulares del proyecto que se esté evaluando.

Paso 5c: Indicador con un enfoque a la reducción de emisiones de GEI

- Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI (CMA)

El Indicador de Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI se define como el costo (neto de los beneficios valorables) promedio con proyecto de evitar una tonelada métrica de CO<sub>2</sub> en comparación a la situación sin proyecto o escenario de referencia.

$$CMA = \frac{VPC - VPB *}{\sum T_{GEI}}$$

Dónde:

CMA.- Costo Marginal de Abatimiento

VPC.- Valor Presente de los Costos

VPB\*.- Valor Presente de los Beneficios

VPT<sub>GEI</sub>.- Valor presente de las toneladas de GEI reducidas por el proyecto

T<sub>GEI</sub>.- Total de toneladas de GEI reducidas por el proyecto en el horizonte de evaluación

\* Es importante señalar, que en la valoración de los beneficios no se debe incluir la Reducción de Emisiones GEI<sup>12</sup>

Este indicador permite medir la contribución del proyecto a la reducción de emisiones de GEI y se puede interpretar de dos maneras:

- Comparar el indicador obtenido con el de otras alternativas de reducción de emisiones, por lo que ese indicador puede compararse entre la implementación de un relleno sanitario y una planta de generación de energía eléctrica a partir de la incineración de RSU, se selecciona la alternativa que presenta el menor CMA.
- Comparar el indicador con el precio social del carbono. Si el CMA es inferior al precio social del carbono, entonces esa medida de reducción de emisiones se debe llevar a cabo. Y si el CMA es superior al precio social del carbono, esa medida no se debe implementar.<sup>13</sup>

## Paso 5d: Análisis de alternativas

En este apartado, se presenta a manera de ejemplo, dos posibles proyectos, un relleno sanitario tradicional versus una planta de generación de energía eléctrica basada en RSU (WTE). En la situación sin proyecto, se supone que los RSU se disponen en un tiradero no controlado, teniendo costos ambientales significativos.

Como se muestra en la Figura 8, operar un tiradero a cielo abierto o no controlado, presenta un bajo costo de operación y mantenimiento (O&M), sin embargo, esta operación conlleva a la generación de externalidades negativas (Ext-) y a importantes emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que continúan incluso hasta después de la clausura del tiradero.

---

<sup>12</sup> Para el cálculo de ese indicador, no se valora el efecto del proyecto en las emisiones de GEI, lo que permite que ese indicador no dependa del valor del precio social del carbono.

<sup>13</sup> Cabe recordar que a su vez se puede determinar el precio social del carbono a partir de la curva de CMA que va ordenando los proyectos del menor al mayor CMA tomando en cuenta para cada medida su potencial de reducción en toneladas. En función de la reducción de emisiones a la cual se comprometió el país, se determina la medida marginal que se tendría que implementar, cuyo CMA corresponde al precio social del carbono. Dicho método es el que se empleó para determinar el precio social del CO<sub>2</sub> en Chile.

FIGURA 8. FLUJO DE CAJA DE LA OPERACIÓN DE UN TIRADERO A CIELO ABIERTO O TIRADERO NO CONTROLADO  
Fuente: Elaboración Propia



Por otra parte, a la entrada en operación de un relleno sanitario (RS), se tiene un costo de inversión (Inversión) y mayores costos de operación y mantenimiento (O&M), así como costos de post-clausura (CPC) para el manejo de los biogases y lixiviados. Para simplicidad de la figura, no se añadieron emisiones de GEI y externalidades negativas en ese caso, pero existen y son significativamente menores a las de la situación sin proyecto.

FIGURA 9. FLUJO DE CAJA DE LA OPERACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO CONTROLADO



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en el caso de la planta de generación de energía eléctrica (WTE), se identifican de la misma manera, costos de inversión (Inversión) y costos de operación y mantenimiento (O&M), en general superiores a los costos que presenta un relleno sanitario tradicional, sin embargo, la planta de energía eléctrica (WTE), permite un ahorro en costo de energía eléctrica en referencia a una fuente alterna de mayor costo (ACE) y una Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, como beneficio indirecto al sustituir una fuente alterna de generación de energía eléctrica más contaminante (RGEI), como se muestra en la siguiente figura. De la misma manera que en el caso del RS, para simplicidad de la figura, no se añadieron emisiones de GEI y externalidades negativas como parte de los costos del WTE, pero existen, siendo éstos significativamente menores a las de la situación sin proyecto.

**FIGURA 10.- FLUJO DE CAJA DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA, LA CUAL PRESENTA BENEFICIOS POR INCORPORACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A MERCADO ELÉCTRICO Y REDUCCIÓN EN GEI EN FUENTES SUSTITUTAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.**



Fuente: Elaboración Propia

En ambos casos, ya sea el caso del RS o del WTE, se puede comparar la situación con proyecto con la situación sin proyecto e identificar los beneficios de cada proyecto.

Al comparar la Figura con la Figura 8, los beneficios principales del RS son:

- Ahorro neto en costos de las externalidades negativas causadas por un manejo inadecuado de los RSU (contaminación y molestias), y
- Ahorro neto en costos de emisiones de GEI asociado al manejo de los RSU.

No obstante, eso se hace incurriendo mayores costos de inversión y de O&M (incluyendo la clausura del RS).

En el caso del WTE, al comparar la Figura 0 con la Figura 8, se obtienen los siguientes beneficios:

- Ahorro neto en costos de las externalidades negativas causadas por un manejo inadecuado de los RSU (contaminación y molestias), y
- Disminución en costos derivados de la reducción de emisiones de GEI asociado al manejo de los RSU (efecto directo).
- Ahorro en el costo de la generación de energía eléctrica por otra fuente (ACE), y

- Beneficio por reducción de emisiones de GEI, por disminución de generación eléctrica a partir de fuentes fósiles (efecto indirecto).

Incurriendo en mayores costos de inversión y de operación y mantenimiento que en el caso del tiradero.

En ambos casos, para evaluar el proyecto por ACB, se presenta el problema de la valoración del beneficio por la reducción de externalidades causadas por un manejo inadecuado de los RSU que es de difícil valoración.

Por lo tanto, una posibilidad, se vuelve evaluar el proyecto por ACE comparando las dos alternativas de proyecto el RS y el WTE.

En ese caso, lo que se comparan son las Figura y Figura , ya que, al aplicar el ACE, se suponen que los proyectos de RS y WTE son rentables, y que entonces sus beneficios son mayores que sus costos.

El problema al querer comparar los proyectos de RS con el de WTE, es que sus beneficios son diferentes:

- En ese ejemplo, el proyecto de WTE tiene una vida útil más larga y entonces permite manejar mayor cantidad de RSU en el tiempo, y
- El proyecto de WTE genera ahorros en costos de energía eléctrica y ahorros indirectos en emisiones de GEI (por sustitución de las fuentes de generación fósiles).

Por otro lado, en general, el proyecto de RS presentará menores costos de inversión y de O&M. Y, por lo tanto, usar el CAE para comparar esos proyectos no necesariamente es lo más adecuado. En ese caso, se recomienda el uso del indicador de Costo Medio por tonelada de RSU manejada ( $CM_{RSUM}$ ).

En el caso del RS, se tomará en cuenta el valor presente de los costos de inversión, O&M y post-clausura, dividido por el valor presente del flujo de toneladas que se logran manejar durante sus los años de operación.

En el caso del WTE, se tomará en cuenta el valor presente de los costos de inversión y de operación y mantenimiento, menos el valor presente de los beneficios por ahorro en costos de energía eléctrica y por reducción indirecta de emisiones de GEI. Y esto, dividido por el valor presente de las toneladas manejadas por el sistema durante 12 años de operación del WTE. El mejor proyecto será el que presenta el menor Costo Medio por tonelada de RSU manejada ( $CM_{RSUM}$ ).

Otra posibilidad es comparar esos proyectos, pero con un enfoque de cambio climático, buscando el proyecto que sea más eficiente en reducir las emisiones de GEI. Bajo esa lógica, el indicador que se tiene que calcular es el Costo Marginal de Abatimiento de Emisiones de GEI (CMA). Para poder calcular el CMA de cada uno de los proyectos, al contrario del  $CM_{RSUM}$ , es necesario hacerlo en comparación a la situación base del tiradero (Figura 8).

En el caso del RS, en el cálculo del CMA (comparando Figura con la Figura 8), se tomará en cuenta el valor presente de los costos de inversión, así como del incremento de costos de O&M entre el RS y el tiradero (incluyendo costos de post-clausura), dividido por el valor presente de la cantidad de toneladas de GEI que se logrará ahorrar durante los 10 años de operación del proyecto.

En el caso del WTE (comparando Figura con la Figura 8), se tomará en cuenta el valor presente de los costos de inversión, así como del incremento de costos de O&M entre el WTE y el tiradero menos el valor presente de los beneficios que se pueden valor (a la excepción del de reducción de emisiones de GEI) que en ese caso es el ahorro en costos de generación eléctrica, dividido por el valor presente de la cantidad de toneladas de GEI que se lograra ahorrar durante los 12 años de operación del proyecto.

En el caso del WTE, el ahorro en emisiones de GEI es potencialmente mayor al del RS, ya que además de la reducción neta en emisiones relacionadas al manejo de los RSU, se añade el ahorro indirecto de emisiones por generación de energía eléctrica con fuente renovable en vez de fósil.

## Paso 6: Análisis de sensibilidad y riesgos

Una vez determinada la conveniencia de llevar a cabo un proyecto de inversión es importante identificar qué tan vulnerable es su rentabilidad ante cambios en variables relevantes del mismo proyecto o ante situaciones externas que pudieran afectarlo. En el primer caso el planteamiento es que se realice un análisis de sensibilidad mientras que para el segundo el planteamiento es realizar un análisis de riesgos.

### i. Análisis de sensibilidad

Este análisis permitirá conocer qué tan sensible es la rentabilidad del proyecto ante posibles variaciones en variables relevantes del proyecto. Este análisis es importante porque puede ser un factor determinante para tomar la decisión de realizar o no el proyecto. En general los proyectos tienen variaciones en sus variables relevantes, sin embargo, en la medida de que los proyectos cuenten con mejores estudios de preinversión se podrá tener mayor certeza acerca de la información que dará sustento a la evaluación socioeconómica.

De acuerdo con el la Guía publicada por el CEPEP *en el análisis de sensibilidad se busca conocer el impacto que podría tener en la rentabilidad del proyecto un comportamiento inesperado de alguna variable que ha sido estudiada en la preinversión. Lo importante es mostrar hasta qué punto se puede desviar una variable para hacer que el proyecto deje de ser conveniente.*

Desviaciones durante el ciclo de vida del proyecto en variables relevantes relacionadas con la inversión, las reinversiones, los costos de operación y mantenimiento, los sobreplazos y las afectaciones ambientales pueden ocasionar sobrecostos que impactan negativamente en la rentabilidad del proyecto. Cambios en variables asociadas con los beneficios como la demanda y las tasas de crecimiento también pueden afectar la rentabilidad de los proyectos.

En la memoria de cálculo desarrollada para el proyecto deberán sensibilizarse o estresarse cada una de estas variables para poder establecer la volatilidad o fortaleza que la rentabilidad tiene sobre cambios en cada una de ellas. El procedimiento para realizar este análisis es, *ceteris paribus*, llevar la variable hasta el punto donde el VPN del proyecto sea igual a cero, por lo tanto, en este punto la TIR del proyecto será igual a la Tasa Social de Descuento vigente en México.

Un incremento de los costos tendrá un impacto directo negativo en la rentabilidad esperada del proyecto, mientras que un sobreplazo en la inversión ocasionará un desplazamiento de los beneficios reduciendo su valor actual y, por lo tanto, su rentabilidad. En ambos casos el impacto en la rentabilidad del proyecto es relevante porque un movimiento en estas variables impacta en los flujos iniciales del proyecto los cuales tienen mayor relevancia en el cálculo de los indicadores. El resto de las variables impactarán durante la etapa de operación del ciclo del proyecto.

Se recomienda analizar los cambios en cada variable -individual y colectivamente- que comprometen la rentabilidad del proyecto, así como los otros indicadores de rentabilidad, para conocer cuáles son los límites mínimos que soporta la alternativa estudiada y qué tan lejanos se encuentran respecto al valor calculado originalmente, lo que robustece de los resultados obtenidos originalmente.

## ii. Análisis de riesgos

Todos los proyectos de inversión están expuestos a sucesos negativos que están fuera del control de los responsables del proyecto y que pueden afectar su rentabilidad, es decir, estas pérdidas potenciales pueden afectar de manera sustancial a los proyectos incrementando sus costos o reduciendo sus beneficios, lo cual impactará directamente en su rentabilidad.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Ver CEPEP (2018).

Para el caso de la evaluación de proyectos el análisis de riesgos estará asociado a factores externos al proyecto que al presentarse podrían afectar las variables relevantes ocasionando sobrecostos y, por lo tanto, afectando negativamente la rentabilidad esperada del proyecto.

Para el CEPEP *“los proyectos pueden tener pérdidas potenciales ante la ocurrencia de sucesos negativos que están fuera del control de los responsables del proyecto”*. Los factores de riesgo que pueden afectar la rentabilidad socioeconómica de un proyecto podrían agruparse según su tipo, por ejemplo, podrían identificarse riesgos como:

- Riesgos de mercado
  - Demanda
  - Proyectos sustitutos o excluyentes
- Riesgos financieros
  - Flujo de recursos
  - Tipos de cambio
- Riesgos técnicos
  - Construcción
  - Tecnológicos
  - Mano de obra
- Riesgos ambientales
  - Geológicos
  - Hidrometeorológicos
- Riesgos de desastre
  - Natural
  - Antrópico
- Riesgos legales
  - Adecuaciones normativas
- Riesgos de carácter político o sociales
- Riesgos económicos
  - Cambios en los aranceles o restricciones a la importación de tecnologías

Parecido al proceso de los costos y beneficios, los riesgos pasan por un proceso de identificación, cuantificación y valoración. El objetivo es identificar los riesgos relevantes e irrelevantes. La importancia del riesgo se medirá en función del impacto esperado y su

probabilidad de ocurrencia. Se considerarán como riesgos relevantes aquellos que presenten una probabilidad de ocurrencia media o alta y simultáneamente un impacto medio o alto y como irrelevantes aquellos que presenten una probabilidad de ocurrencia muy baja independientemente del impacto, o que simultáneamente presenten probabilidad e impacto bajo.

El análisis de los riesgos puede realizarse de diferentes maneras, el objetivo de la presente metodología no es profundizar en este tipo de análisis porque aplican para cualquier tipo de proyecto, sin embargo, es muy importante tener presente que este análisis puede ser muy sencillo, por ejemplo, utilizando valores determinísticos o tan complejo, por ejemplo, utilizando modelos aleatorios para la determinación del valor del riesgo. La complejidad del análisis requerido para los proyectos dependerá de factores antes mencionados como: el tipo de amenazas existentes, el grado de exposición, la vulnerabilidad y el impacto que pudiera tener la activación del factor de riesgo.

Una vez identificados, cuantificados y, en la medida de lo posibles, valorados los riesgos será necesario identificar las medidas de mitigación necesarias para tratar de minimizar el impacto. Para la presentación de los riesgos generalmente se utiliza un *mapa de riesgos* en los que se mapean todos los riesgos y se identifica cada uno de ellos según su relevancia.

## Paso 7: Conclusiones y recomendaciones

Una vez que se han cubierto los seis pasos previos, el evaluador deberá presentar una conclusión sobre la recomendación a seguir respecto del proyecto, que se realice o no y, esta conclusión deberá acompañarse con información adicional que brinde mayores elementos para la toma de decisiones. Deberán indicarse las fortalezas y debilidades del proyecto, indicarse los elementos vulnerables que podrían afectar la rentabilidad del proyecto. La recomendación deberá estar acompañada a su vez de elementos derivados de los análisis de sensibilidad y riesgos. Por ejemplo, un proyecto con una rentabilidad baja, muy sensible a los sobrecostos en la inversión y con riesgos muy altos de sobrecosto puede

ser una combinación si no para cancelar el proyecto, sí para realizar todas aquellas acciones con las que se puedan evitar al máximo situaciones que afecten al proyecto.

## Comentarios finales

La importancia que tiene en la actualidad el manejo responsable y sostenible de los recursos naturales hace necesario contar con instrumentos que permitan una toma de decisiones de inversión lo más informada posible. Esta metodología busca ser un instrumento referencial para quienes tienen que decidir hacia donde destinar recursos para mejorar las condiciones de la población y del medio ambiente con relación al manejo de los residuos sólidos durante las diferentes etapas de su ciclo.

## Bibliografía

Alatorre, J.E., Caballero, K., Ferrer, J. & Galindo, L.M., (2019). *El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina*. Estudios del cambio climático en América Latina. CEPAL, GIZ.

Asian Development Bank, (2013), “Cost-Benefit Analysis for development: a practical guide”, Mandaluyong City, Philippines.

Baca Urbina, Gabriel, (1995), “Evaluación de Proyectos”, Tercera Edición, Mc. Graw Hill, México.

Banco Interamericano de Desarrollo, (1997), “Guía para evaluación de impacto ambiental para

Banco Interamericano de Desarrollo, (2016). Estudio de la disposición a pagar por mejoras en la gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) en la República de Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República de Argentina (MAYDS), Kleber B. Machado (editor) Nota Técnica No. IDB-TN-1146. proyectos de residuos sólidos municipales”.

Campero Q., Mario y Luis Fernando Alarcón, (2008), “Administración de proyectos civiles”, 3ª edición, Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile.

Centro de Estudios para la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos (CEPEP), (1999), “Apuntes sobre evaluación social de proyectos”, Banobras, México.

CEPAL y Ministerio de Desarrollo Social de Chile, (2016), “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios”, Santiago de Chile.

CEPEP, (2008), “Metodologías para la evaluación de proyectos de Residuos Sólidos Urbanos: Caso práctico de evaluación de un sitio de disposición final y estación de transferencia”, México.

CEPEP, (2018), “Guía General para la Presentación de Evaluaciones Costo y Beneficio de Programas y Proyectos de Inversión”, México.

Coss Bu, Raúl, (2009), “Análisis y evaluación de proyectos de inversión”, 2ª edición, Limusa, México.

De Rus, Ginés, (2008) “Análisis coste-beneficio, evaluación económica de políticas y proyectos de inversión”, 3ª edición, España.

Ferrá, Coloma, (2000), “Evaluación Socioeconómica de Proyectos”, Banco Interamericano de Desarrollo, Argentina. GLOSARIO DE TÉRMINOS PARA LA PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN.

Ferrá, Coloma y Caludia Botteon, (2007), “Evaluación Privada de Proyectos”, Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Fontaine, R. Ernesto, (1999), “Evaluación social de proyectos”, 12ª edición, Alfaomega, México.

ILPES-CEPAL, (2004), “Metodología del marco lógico”, Chile.

Ministerio de Desarrollo Social de Chile, (2013), “Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables”, Santiago de Chile.

Ministerio de Vivienda de Colombia, (2015), “Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)”.

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica, (2012), “Manual de estimación de costos para la gestión municipal de residuos sólidos”. San José, Costa Rica.

Ministerios de Economía y Finanzas y del Ambiente de Perú, (2008), “Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil”, Perú.

Ministerios de Economía y Finanzas y del Ambiente de Perú, (2013), “Guía para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de servicios de limpieza pública, a nivel de perfil”, Perú.

Ministerio de Desarrollo Social de Chile, (2013), “Metodología de preparación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales”, Santiago de Chile.

Morín, Eduardo, (2011), “Evaluación social de proyectos”, Banco Interamericano de Desarrollo, Fondo Multilateral de Inversiones y Tecnológico de Monterrey, México.

CEPEP (2018). Glosario de términos para la preparación y evaluación socioeconómica de proyectos de inversión

Ortegón, Edgar, Juan Francisco Pacheco y Adriana Prieto, (2005), “Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas”, Serie Manuales No. 42, ILPES, Chile.

Ortegón, Edgar, Juan Francisco Pacheco y Horacio Roura, (2005), “Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública”, Serie Manuales No. 39, ILPES, Chile.

Sanín A., Héctor, (1999), “Control de gestión y evaluación de resultados en la gerencia pública”, Serie Manuales No. 3, ILPES, Chile.

Sapag Chain, Nassir, (2007), “Proyectos de inversión, formulación y evaluación”, Prentice Hall, México.

SHCP, (2013) “Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión”. Diario Oficial de la Federación. México.

SEMARNAT-GTZ, 2006, “Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos”, México.

Stiglitz, Joseph E., (2000), “La economía del sector público”, 3ª edición, Antoni Bosch, España.