



**METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS (CASO PRÁCTICO DE EVALUACIÓN DE UN SITIO DE
DISPOSICIÓN FINAL Y ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA)**

D.R.© Banco Nacional de Obras y
Servicios Públicos, S.N.C
*Centro de Estudios para la Preparación y
Evaluación Socioeconómica de Proyectos.*

Registro en Trámite

Se prohíbe la reproducción total o parcial
de esta obra sin autorización por escrito de
su editor.

México

Documento elaborado por:

MDI. Javier Meixueiro Garmendia
Lic. Marco Antonio Pérez Cruz
Dra. Anne Laure Mascle Allemand

NOVIEMBRE 2008

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I DEFINICIÓN, PROCESO Y TIPOS DE PROYECTOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	1
1.1 DEFINICIÓN DE RSU	1
1.2 TIPOS DE PROYECTOS	2
CAPÍTULO II METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN PARA PROYECTOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	5
2.1 METODOLOGÍA COSTO-BENEFICIO	7
2.1.1 <i>Identificación, cuantificación y valoración de beneficios</i>	7
2.1.2 <i>Identificación, cuantificación y valoración de costos</i>	9
2.1.3 <i>Evaluación</i>	9
2.2 METODOLOGÍA COSTO-EFICIENCIA.....	10
CAPÍTULO III ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA.....	12
3.1 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	12
3.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.....	15
3.3 OFERTA	17
CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL.....	18
4.1 ANTECEDENTES.....	18
4.2 PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO.....	21
4.2.1 <i>Situación Actual</i>	21

4.2.2 Situación sin proyecto	25
4.2.3 Alternativas de solución	30
4.2.4 Situación con proyecto	36
4.2.5 Evaluación de las alternativas	38
4.2.6 Conclusión	40
4.2.7 Recomendación	40
CAPÍTULO V EVALUACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA	44
5.1 SITUACIÓN ACTUAL	45
5.1.1 Oferta	45
5.1.2 Demanda.....	45
5.1.3 Interacción oferta-demanda	47
5.1.4 Problemática	48
5.1.5 Optimización de la situación actual	49
5.2 SITUACIÓN SIN PROYECTO	50
5.3 SITUACIÓN CON PROYECTO	50
5.3.1 Descripción del proyecto	51
5.3.2 Demanda.....	51
5.3.3 Oferta	51
5.3.4 Interacción oferta-demanda	53
5.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO	56
5.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos	57
5.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios.....	57
5.4.3 Indicadores de rentabilidad (evaluación del proyecto)	61
BIBLIOGRAFÍA	65

INTRODUCCIÓN

En el primer semestre del año 2008, México generó diariamente 104 mil toneladas¹ de residuos sólidos urbanos (RSU), lo que implica que una gran cantidad de recursos materiales y humanos deban ser empleados para los servicios de recolección, transporte y disposición final. De ahí, que sea de gran importancia la manera en que se asignan los recursos para llevar a cabo los servicios antes mencionados.

Por lo anterior, el CEPEP presenta en este documento dos metodologías para formular, preparar y evaluar proyectos de RSU. El propósito es tener herramientas que permitan tomar decisiones objetivas, priorizando entre proyectos de acuerdo a su nivel de rentabilidad.

Este documento se divide en cuatro capítulos. En el primero, se define el proceso de generación de RSU, así como los tipos de proyectos que surgen de éste. En el segundo, se desarrollan las metodologías de Costo-Beneficio y Costo-Eficiencia para evaluar proyectos de este tipo.

En el tercer capítulo, se desarrollan algunas maneras de estimar la oferta y la demanda de RSU, especificando cuáles son las variables más relevantes.

En el cuarto capítulo se presenta el ejemplo de una evaluación de un proyecto de construcción de un sitio de disposición final, desarrollando los elementos más importantes a considerar.

Finalmente, en el quinto capítulo se presenta la evaluación de un proyecto de construcción de una estación de transferencia de RSU.

¹ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), <http://www.inegi.gob.mx/>



Se recomienda consultar la *guía general para la presentación y elaboración de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión*, publicada por el CEPEP, con el fin de que sirva como referencia para los conceptos en evaluación que se utilizarán en este documento.

D.R.© Banco Nacional de Obras y
Servicios Públicos, S.N.C
*Centro de Estudios para la Preparación y
Evaluación Socioeconómica de Proyectos.*

Registro en Trámite

Se prohíbe la reproducción total o parcial
de esta obra sin autorización por escrito de
su editor.

México

CAPÍTULO I DEFINICIÓN, PROCESO Y TIPOS DE PROYECTOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

1.1 Definición de RSU

Para este documento, se utiliza la definición de RSU de la *ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*², la cual menciona, que los RSU son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domesticas, 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, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole. Por consiguiente, los RSU no consideran los desechos peligrosos que tienen un manejo específico.

Los RSU pueden clasificarse según su origen de generación, es decir, existen residuos que provienen de los hogares, comercios y servicios, lugares públicos e industrias (ver cuadro 1.1).

² Publicada al Diario Oficial de la Federación el 8 de Octubre de 2003

Cuadro 1.1 Clasificación de los RSU

Tipo de residuo	Componentes
Domiciliarios (hogares)	Residuos orgánicos biodegradables. Materiales recuperables como vidrio, papel, cartón, plástico, metal y otros. Materiales voluminosos (muebles, chatarra, escombros, etc).
Comerciales y servicios	
Públicos	Materiales provenientes de áreas públicas como el barrido de las calles, desechos vegetales de parques y jardines, entre otros.
Industriales	Principalmente residuos específicos de la industria.

Fuente: Elaboración propia con base en el documento "Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables", MIDEPLAN.

1.2 Tipos de proyectos

Los diversos proyectos de RSU que pueden existir, se originan de su proceso de generación, el cual consiste en una serie de pasos³ que se describen a continuación.

- **Generación:** Consiste en el desprendimiento de materiales que ya no son de utilidad para los hogares, comercios y servicios, lugares públicos e industrias.
- **Recolección y transporte:** Se define como el retiro y traslado de los materiales generados. La relevancia de este paso es el establecimiento de las rutas más convenientes para la recolección, así como los medios más baratos para transportar estos materiales a su destino final.

³ MIDEPLAN, Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

- **Reciclaje:** Es el proceso en el que se hace uso de los materiales recolectados, por ejemplo, la recuperación de metales, vidrio, papel, plásticos, cartón y otros.
- **Disposición final:** Es la acción final en el proceso de generación de residuos, y consiste en depositar en un lugar adecuado, los materiales desechados.

Con base en este proceso, el CEPEP ha clasificado de la siguiente manera los proyectos de RSU:

a) Incorporación de una localidad al servicio de limpia

Este tipo de proyecto implica la creación de la infraestructura necesaria para otorgar el servicio. Se incluyen todos los recursos logísticos (rutas y horarios), materiales y humanos para llevarlo a cabo.

b) Ampliación de la cobertura del servicio de recolección

Se refiere al incremento del número de zonas que cuenten con el servicio de recolección.

c) Mejoramiento del servicio

Consiste en otorgar con una mayor frecuencia el servicio de recolección.

Además, existen proyectos que se derivan del proceso de este servicio, como lo son:

d) Separación

Involucra la ejecución de medidas para separar los RSU en los domicilios y en la recolección.

e) Transporte

Se considera principalmente la optimización de rutas y la construcción de estaciones de transferencia, así como la compra de equipo de recolección más eficiente.

f) Disposición final

Se refiere a la construcción de rellenos sanitarios, tiraderos controlados o a cielo abierto.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN PARA PROYECTOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los proyectos de RSU tienen como principal objetivo facilitar la eliminación de los materiales generados no valorados por los diferentes agentes económicos, durante su actividad diaria, es decir, se busca encontrar las mejores soluciones al proceso de recolección, transportación, reciclaje y disposición final de los residuos.

Para evaluar este tipo de proyectos es indispensable identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios legítimamente atribuibles al proyecto en el área de influencia del mismo.

Por lo tanto, los beneficios sociales para proyectos de RSU, se pueden dividir en dos rubros:

a) Beneficios de fácil cuantificación y valoración: Se identifican por el ahorro en tiempo que las personas destinan para deshacerse de los residuos, la disminución en costos de traslado de las mismas y el reaprovechamiento de materiales de desecho. Asimismo, existe el beneficio del valor de rescate de los bienes que al final de la vida útil del proyecto tienen algún valor económico.

b) Beneficios intangibles que son de difícil cuantificación y valoración:

- Mejoramiento de la imagen urbana
- Disminución de la contaminación
- Disminución y eliminación de malos olores
- Disminución de enfermedades
- Disminución de fauna nociva
- Disminución de peligros de incendios en los sitios de disposición final

- Disminución de la erosión de la tierra

Algunos de estos beneficios se pueden cuantificar de manera indirecta a través del aumento en precio de los terrenos, debido a la disminución o eliminación de las molestias provocadas por los RSU. Por ejemplo, en el caso de clausura y limpieza de un tiradero clandestino, el precio de los terrenos colindantes podría aumentar, ya que se atenuarían los efectos del tiradero (malos olores, fauna nociva, imagen urbana, etc).

En cuanto a los costos, estos corresponden al valor de todos los recursos humanos y materiales que se utilizan para realizar el proyecto y equiparlo, así como los recursos necesarios para operar y mantener su funcionamiento, en un nivel adecuado.

Una vez identificados los costos y beneficios de este tipo de proyectos, es necesario determinar cuál es la metodología conveniente para seleccionar sólo aquellos que más benefician a la sociedad. Para ello, se pueden utilizar dos tipos: Costo-Beneficio y Costo-Eficiencia. La primera, recomendada por el CEPEP, permite ordenar los proyectos de manera objetiva de acuerdo a su rentabilidad, mientras que la segunda, tiene la deficiencia de asumir que los proyectos son rentables por definición, y por lo tanto, sólo permite seleccionar aquellos que tenga el menor costo y no los más convenientes.

Finalmente, la determinación de la metodología dependerá de la dificultad de cuantificar y valorar los beneficios de los proyectos, por lo que a continuación se describen cada una de las metodologías antes mencionadas, con el fin de dar a conocer cómo se debe evaluar un proyecto de RSU.

2.1 Metodología Costo-Beneficio

En México, la evaluación de proyectos de RSU, por medio de la metodología costo-beneficio, se está utilizando cada vez más, para obtener indicadores objetivos con el fin de priorizar este tipo de proyectos, ya que esto permitirá efectuar una mejor asignación de los recursos de inversión.

Antes de pasar a la identificación, cuantificación y valoración de los beneficios de proyectos de RSU, cabe mencionar que la primera etapa para evaluar un proyecto de RSU es verificar si existe separabilidad de proyectos. Lo anterior se menciona, debido a que en la práctica se han presentado proyectos llamados “de manejo integral” que incluyen inversiones conjuntas en los servicios de recolección, transporte, reciclaje y disposición final, pero que sus costos y beneficios son independientes entre sí, por lo que deberían evaluarse por separado. Si no se considera la separabilidad, se puede concluir que un proyecto “integral” es rentable sin que todos sus componentes lo sean.

2.1.1 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios

A continuación, se presenta una lista de los diferentes beneficios sociales que se pueden encontrar al evaluar proyectos de RSU:

- a) *Ahorro de tiempo de la personas por tener el servicio de limpia.* Es conveniente considerar que este beneficio se refiere a las personas que no tenían el servicio, las cuales en la situación sin proyecto tienen que deshacerse de alguna manera de sus residuos y generalmente les toma más tiempo arrojarla en tiraderos clandestinos que están a una distancia más alejada de sus hogares. Para cuantificar este beneficio, se estiman las horas-hombre liberadas y para valorarlo se utiliza una estimación del valor del tiempo de las personas. Este beneficio se presenta en

proyectos de incorporación de una localidad al servicio de limpia, de aumento de cobertura y de mejoramiento del servicio.

- b) *Mejoramiento de la imagen urbana, disminución de la contaminación, ambiental y de la fauna nociva en sitios de disposición final.* Este beneficio se presentará cuando se clausura el sitio de disposición final, siempre y cuando se realice su saneamiento. Para valorarlo se utiliza el aumento en el precio de mercado tanto de los terrenos donde se localiza el sitio, como el de los colindantes.

- c) *Disminución en los costos de traslado de los RSU.* Este beneficio se presenta en proyectos de construcción de estaciones de transferencia y en cambios por equipos más eficientes. Se cuantifica con el ahorro de combustible, lubricante, refacciones y desgaste de los vehículos recolectores, así como con el ahorro de tiempo de los operadores. Su valoración se realiza a partir de los ahorros en costos de traslado.

- d) *Reaprovechamiento de materiales provenientes de los RSU.* Este beneficio se obtiene al separar de los residuos, productos que pueden ser reutilizados en distintos procesos productivos, como vidrio, cartón, papel, metales, plásticos y otros. Se cuantifica con el número de kilogramos o piezas de cada uno de los materiales rescatados, valorándose a precios de mercado. Al efectuar proyectos de transferencia, con áreas de selección de productos reaprovechables, éste también sería un beneficio.

- e) *Aumento de la vida útil del tiradero municipal.* Este beneficio se obtiene por la disminución de los materiales que se depositan en el tiradero, lo cual libera espacio anualmente de éste. Se cuantifica por medio de los m² que se dejan de utilizar y se valora con su precio de mercado.

2.1.2 Identificación, cuantificación y valoración de costos

- a) *Costos de inversión.* Se refiere a la utilización de recursos humanos y materiales para construir las obras requeridas por el proyecto y su equipamiento.

- b) *Costos de operación, mantenimiento y reposición de equipo.* Se refiere a la utilización de los recursos humanos y materiales para mantener el servicio en un nivel adecuado.

2.1.3 Evaluación

Para determinar si es conveniente o no ejecutar el proyecto, se comparan los costos y beneficios atribuibles al mismo en un cierto horizonte de evaluación. Para ello, se calcula el Valor Presente Neto del proyecto (VPN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR). El VPN se calcula con la fórmula que a continuación se presenta:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+i)^t}$$

donde:

- i Tasa social de descuento anual idéntica para cada periodo (12%)
- t Periodo de tiempo (año)
- FE_t Flujos de efectivo en t

La decisión dependerá del valor del VPN, por lo que entre mayor sea éste, mayor será la rentabilidad que obtendrá la sociedad al efectuar el proyecto. Por el contrario, si el VPN resulta negativo, la sociedad tendrá una pérdida en términos netos si se realiza el proyecto.

La TIR indica la rentabilidad de realizar un proyecto y a su vez es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Su fórmula es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

La regla de decisión para este indicador, es aceptar los proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa social de descuento.

2.2 Metodología Costo-Eficiencia

Como se mencionó al principio de este capítulo, este tipo de metodología asume que los proyectos son rentables por definición, por lo que su uso se concentra en seleccionar la alternativa de menor costo, que proporcione los mismos beneficios. Por lo tanto, el indicador económico más apropiado para esta metodología es el Costo Anual Equivalente (CAE), el cual permite comparar diferentes alternativas de solución, con distinta vida útil.

Generalmente, los proyectos de RSU tienen diferentes alternativas de solución, dependiendo de la problemática a resolver. Por ejemplo, cuando un proyecto de RSU tiene como beneficio cumplir con la normatividad vigente, y el tiradero actual no la cumple, se pueden tener las siguientes alternativas: realizar un tiradero con las especificaciones para cumplir la ley en el terreno actual disponible o construir uno nuevo en otra zona.

Los costos que se pueden identificar, cuantificar y valorar por alternativa para este tipo de proyectos son:

- a) Inversión, la cual se compone de todos los recursos materiales, maquinaria y mano de obra requeridos o necesarios para proporcionar la infraestructura del servicio.

- b) Operación, mantenimiento y reposición de equipo, al igual que en la inversión son todos los recursos materiales y humanos necesarios para mantener en operación el servicio.

A estos costos, se deben también restar algunos beneficios que podrían diferir de una alternativa a la otra, en particular el valor de rescate de la inversión.

A continuación, se presenta la fórmula para obtener el CAE:

$$CAE = \frac{VPC - VPR}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^t}}$$

Donde:

VPC es el valor presente de los costos al último año de inversión

VPR es el valor presente del valor de rescate, al último año de inversión

r es la tasa social de descuento

t es el número de años, de vida útil, que tiene cada alternativa

Con esta fórmula se obtendrá el CAE correspondiente a cada alternativa de solución y se seleccionará aquella que tenga el menor valor.

CAPÍTULO III

ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA

3.1 Estimación de la demanda

Para cualquiera de los proyectos mencionados en el capítulo II, la demanda está determinada con base en la cantidad de los RSU generados por hogares, comercios y servicios, lugares públicos e industrias de una zona específica⁴, así como por la composición que ésta pueda tener.

Se ha detectado en la práctica, que la generación y composición de RSU depende, principalmente, de cuatro factores:

- 1) Ingreso: En general, a mayor ingreso, mayor es la tasa de producción per cápita de RSU.
- 2) Crecimiento poblacional: A mayor tasa de crecimiento, mayor será la generación.
- 3) Composición de los RSU: Con los cambios en los hábitos de consumo y producción, la composición de los materiales desechados varía a través del tiempo.
- 4) Estacionalidad: Es común encontrar una mayor o menor generación de residuos, dependiendo de la época del año, por ejemplo, en ciudades turísticas, existe una mayor demanda durante las vacaciones (diciembre, semana santa o verano), debido a la mayor población flotante.

⁴ Para la estimación de la demanda debe sólo considerarse aquella población que será parte del proyecto. En la práctica se ha encontrado que en la evaluación de este tipo de proyectos, se estima la demanda con base en la población de un municipio, cuando el proyecto cubrirá únicamente el servicio en una o varias localidades de éste.

Por lo tanto, considerando los factores antes mencionados, el CEPEP, propone tres maneras de estimar la demanda de RSU dependiendo de la información que se pueda recabar.

1) *Recopilación de la información histórica de la cantidad de residuos depositados en el actual tiradero.* Es posible encontrar el número de toneladas que se depositan anualmente en el tiradero, con lo que se puede estimar la generación per cápita de residuos sólidos (GPRS), de la siguiente manera:

$$GPRS_t \text{ (kg/persona al día)} = \frac{TA_t \text{ (tonelada/año)} * 1,000 \text{ (kg/tonelada)}}{P_t \text{ (personas)} * 365 \text{ (días/año)}}$$

Donde TA son las toneladas generadas al año o por temporada, P es el número de personas atendidas por el servicio y t es el año o periodo para el que se realiza la estimación. Se multiplica por 1,000 y se divide por 365, con el fin de obtener las unidades comúnmente utilizadas (kg/persona-día).

2) *Estimación de acuerdo con la capacidad del actual sistema de recolección.* Cuando no existe registro histórico de la generación de RSU, la estimación de la demanda se puede realizar por medio de la capacidad que tiene el sistema de recolección actual.

Para realizar esta estimación es necesario hacer un trabajo de campo que recopile la siguiente información:

- **Número de camiones utilizados en la recolección.** Es importante conocer el número y las características de los camiones que brindan el servicio de acuerdo a su capacidad, con el fin de no sesgar la estimación de la demanda.

- **Número de viajes (V).** Corresponde al número de viajes realizados por camión en un determinado periodo de tiempo (semana, mes, año).
- **Capacidad de los camiones (C).** Las unidades utilizadas son las toneladas. Para estimar la capacidad, se debe conocer el volumen (m^3) de carga del camión, así como la compactación promedio (ton/m^3) que éste tenga. Por ejemplo, un camión con caja compactadora que tiene un volumen de carga de $10.7 m^3$ y una compactación promedio de $0.47 (ton/m^3)$, tiene una capacidad de 5.03 toneladas ($10.7 m^3 \times 0.47 ton/m^3$).
- **Ocupación promedio del camión (O).** Corresponde al porcentaje de capacidad utilizado en un periodo de tiempo. Este porcentaje dependerá de la temporalidad con que se esté realizando el estudio, por ejemplo, puede ser semanal, mensual o anual. Se recomienda considerar la estacionalidad en esta estimación, ya que provocará cambios significativos en el resultado final.
- **Personas (P).** Es el número de personas que tiene el servicio de recolección.

Por lo tanto, con esta información se puede estimar la GPRS con la siguiente fórmula (se supondrá una estimación mensual):

$$GPRS (kg/persona al día) = \frac{\sum V(\text{viajes/mes}) * C(\text{ton/viaje}) * O(\%) * 1000(kg/ton)}{P(\text{personas}) * 30(\text{días/mes})}$$

3) *Estimación con visita de campo a los sitios de disposición de RSU.*
Cuando los sitios de disposición final no cuentan con el registro de los RSU y no existe sistema de recolección, no se dispone de la información suficiente para estimar la generación per cápita de RSU como se describió anteriormente.

En este caso, se debe realizar un trabajo de campo en el que se visite a hogares, comercios y servicios con el fin de verificar cuál es la cantidad de RSU que producen. Asimismo, deben identificarse las diferentes características de cada localidad donde se esté realizando el estudio, ya que la generación per cápita puede variar por la existencia de industria o por ser una zona turística.

En particular se recomienda consultar la noma “NMX-AA-61-1985 Determinación de la generación de los residuos sólidos municipales”, en donde se propone un proceso para determinar la generación de RSU por habitante y por día⁵.

3.2 Proyección de la demanda

El crecimiento futuro de la generación de RSU puede estimarse con base en dos variables: el crecimiento proyectado de la población de la localidad relevante al proyecto y la evolución de la GPRS de ésta.

Por lo tanto, para calcular el crecimiento poblacional, el CEPEP recomienda utilizar las proyecciones de población por municipios proporcionadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). En cuanto al crecimiento de la GPRS, se puede proyectar usando la tasa promedio anual histórica de la GPRS o suponiendo que ésta tiene el mismo crecimiento que el PIB per cápita de la localidad, lo cual dependerá de la información disponible.

Finalmente, si no se dispone de la información anterior, se puede suponer que la generación de RSU crecerá a la misma tasa anual del PIB del estado usando los datos históricos del INEGI.

⁵ En la página www.economia-nmx.gob.mx se pueden encontrar otras normas útiles para determinar la composición y peso volumétrico de los RSU como: NMX-AA-15-1985 Muestreo – Método de cuarteo y NMX-AA-22-1985: Selección y cuantificación de subproductos y NMX-AA-19-1985: Determinación del peso volumétrico in situ de los residuos sólidos municipales.

A continuación, se presenta un ejercicio para ilustrar cómo se puede utilizar información histórica sobre la generación de RSU, para proyectarla en el horizonte de evaluación.

Supongamos que se tiene una localidad de 150,000 habitantes, de los cuales sólo el 80% cuenta con el servicio de recolección. Además, según CONAPO, su tasa de crecimiento poblacional para los próximos 20 años es de 1.5% y de acuerdo a la empresa operadora de los residuos sólidos, la generación per cápita es de 0.65 kg/persona y que ha crecido en los últimos 5 años a una tasa promedio anual de 1.4%. Por lo tanto, en el cuadro 3.2 se muestra la estimación de generación anual que tendría esta población con una tasa de crecimiento de 2.9%⁶.

⁶ La tasa de la generación diaria o anual se determina combinando las tasas de la población y de la GPRS: $(1.014 * 1.015 - 1) * 100 = 2.9\%$.

Cuadro 3.2 Proyección de la generación anual de RSU

Año	Población atendida (80% de la población total)	Generación per cápita (kg/persona/día)	Generación diaria (kg/día)	Generación anual (toneladas/año)
0	120,000	0.65	78,000	28,470
1	121,800	0.66	80,278	29,301
2	123,627	0.67	82,623	30,157
3	125,481	0.68	85,036	31,038
4	127,363	0.69	87,520	31,945
5	129,273	0.70	90,076	32,878
6	131,212	0.71	92,707	33,838
7	133,180	0.72	95,415	34,826
8	135,178	0.73	98,203	35,844
9	137,206	0.74	101,071	36,891
10	139,264	0.75	104,024	37,969
11	141,353	0.76	107,062	39,078
12	143,473	0.77	110,189	40,219
13	145,625	0.78	113,408	41,394
14	147,809	0.79	116,720	42,603
15	150,026	0.80	120,129	43,847
16	152,276	0.81	123,638	45,128
17	154,560	0.82	127,249	46,446
18	156,878	0.83	130,966	47,803
19	159,231	0.85	134,791	49,199
20	161,619	0.86	138,728	50,636

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes planteados.

3.3 Oferta

La determinación de la oferta dependerá de la infraestructura existente para otorgar el servicio de recolección, traslado, reciclaje y disposición final. De esto, la oferta está compuesta por el número de sitios destinados a la disposición y su capacidad útil (ton/m³), el número de personal y equipo que realiza la recolección y el traslado de los residuos, así como las áreas destinadas a la separación de residuos y a la transferencia de estos, en el caso de que existan. Además, se tiene que especificar el estado de operación del equipo de recolección, de los sitios de disposición y sus caminos de acceso.

CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL

4.1 Antecedentes

Generalmente, en México, los lugares utilizados para la disposición final de RSU han sido seleccionados, principalmente, por 3 factores: cercanía a la población, precio y características físicas del predio. En estos no se realizaron estudios geológicos, hidrogeológicos, topográficos, geotécnicos, etc. Lo anterior, en algunas ocasiones provocó la contaminación de mantos freáticos y enfermedades hídricas.

Por lo anterior, las autoridades mexicanas encargadas de proteger el medio ambiente, han realizado modificaciones a la legislación vigente para establecer las reglas y requisitos necesarios para seleccionar los lugares de disposición final y así disminuir el impacto ambiental que se pueda producir. Algunas de estas leyes se presentan a continuación:

- “Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos” publicada en el diario oficial de la federación (DOF), el 8 de octubre de 2003. Esta ley menciona particularmente que los estados deben planear el manejo de los RSU y los municipios deberán llevar a cabo la operación de estos.
- NOM-083-SEMARNAT⁷-2003 “Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”, publicada en el DOF, el 20 de octubre de 2004.

⁷ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

De éstas dos, la NOM-083-SEMARNAT-2003 será la de mayor relevancia para este capítulo, ya que además de establecer aspectos de la selección, construcción, operación, etc. del sitio de disposición final, realiza una clasificación de éste, de acuerdo al ingreso diario de RSU (véase cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Clasificación de los sitios de disposición final

Tipo	Tonelaje recibido (ton/día)
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

Fuente: NOM-083-SEMARNAT-2003.

Asimismo, se especifican los estudios y análisis que se deben realizar con base en el tipo de sitio que se pretenda construir (véase cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Estudios y análisis requeridos para la construcción de sitios de disposición final

Estudios y análisis	Tipo de sitio de disposición final			
	A	B	C	D ^{1/}
Geológico y geohidrológico regionales	X			
Evaluación geológica y geohidrológica	X	X		
Hidrológico	X	X		
Topográfico	X	X	X	
Geotécnico	X	X	X	
Generación y composición de los residuos sólidos y de manejo especial	X	X	X	
Generación de biogás	X	X		
Generación de lixiviado	X	X		

^{1/}En la NOM-083-SEMARNAT-2003 no se especifica que para este tipo de sitio deba realizarse alguno de los estudios mencionados, sin embargo, en el numeral 8 de esta norma se indican los requisitos mínimos para estos sitios.

Fuente: Norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

Finalmente, dentro de los aspectos más importantes, se establecen los límites mínimos de compactación que deberán tener los sitios de disposición final, con lo cual se determinará su vida útil (véase cuadro 4.3).

Cuadro 4.3 Requerimientos mínimos de compactación

Sitio		Compactación de residuos (kg/m ³)	Recepción de residuos sólidos (ton/día)
A	A1	Mayor de 700	Mayor de 750
	A2	Mayor de 600	Entre 100 y 750
B		Mayor de 500	Entre 50 y 100
C		Mayor de 400	Entre 10 y 50
D		Mayor de 300	Menor de 10

Fuente: Norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

De acuerdo con lo anterior, el CEPEP presenta un ejemplo de evaluación de un proyecto de construcción de un sitio de disposición final, partiendo del supuesto de que éste no cumple con la normatividad vigente. Para ello, se describirá la situación actual, sin proyecto y con proyecto, presentando las alternativas de solución, metodología de evaluación y la evaluación de las alternativas.

Por la naturaleza de este tipo de proyectos (cumplir con la norma), se utilizará la metodología costo-eficiencia, en la que se emplea el Costo Anual Equivalente (CAE), como indicador para determinar cuál de las alternativas que se presentan es la de menor costo. Asimismo, el CEPEP sugiere que para este tipo de proyectos se utilice un horizonte de evaluación entre 20 y 30 años, debido a que en un mayor tiempo se pueden modificar aspectos importantes como la tecnología, composición de residuos sólidos, tasa de generación, etc.

Cabe señalar, que en la preparación de un documento de evaluación es muy importante que todos los datos presentados estén fundamentados con fuentes oficiales (SEMARNAT, CONAPO, INEGI). Por lo tanto, si el proyecto se origina por cuestiones de incumplimiento de la legislación vigente, es necesario revisar y hacer referencia a leyes federales, estatales y municipales, que sustenten el origen antes mencionado.

4.2 Proyecto de construcción de un relleno sanitario

Los proyectos de construcción de rellenos sanitarios se originan principalmente por tres razones:

1. No existe un sitio de disposición final.
2. La capacidad o vida útil del sitio existente está llegando a su fin.
3. La localización u operación actual del sitio de disposición final no cumple con la legislación vigente.

Para el ejemplo que se desarrollará, se supondrá que el origen del proyecto es la existencia de un tiradero a cielo abierto que incumple con las leyes vigentes, por lo que deberá sustituirse por un sitio de disposición final adecuado.

4.2.1 Situación Actual

El objetivo de describir la situación actual es la determinación de la problemática que da origen al proyecto, para lo cual se describe la oferta y la demanda actual, así como su interacción.

Oferta actual

En esta sección se deben presentar la localización, tamaño y la capacidad útil (toneladas o m³) de los sitios de disposición final con los que cuente la zona de influencia relevante al proyecto. Lo anterior incluye tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios y tiraderos clandestinos.

Por lo tanto, se supondrá que para el año 2008 la ciudad “Y” cuenta con un tiradero a cielo abierto, con el que se atiende al 90% de la población⁸. Este tiradero, se localiza a 5 km del centro de la ciudad, en un terreno de 20 ha. La utilización actual es de 6 ha, quedando disponible 14 ha con una capacidad de 1.3 millones de m³. Sin embargo, la legislación estatal ha prohibido la expansión de este tipo de disposición final, estableciendo que se debe cumplir la norma NOM-083-SEMARNAT-2003.

En cuanto al servicio de recolección, se tienen 12 camiones tipo redilas con una capacidad neta de 3.97 toneladas por viaje, realizando en promedio dos viajes al día. Este servicio se realiza de lunes a domingo y se estima que cada camión destina 1:30 hrs en llegar a su capacidad de recolección, mientras que tarda 24 minutos en el recorrido (ida y vuelta) al sitio de disposición final⁹. Cada camión cuenta con un chofer y un ayudante.

Demanda actual

La demanda se compone por la generación de RSU a disponer de la población atendida. En donde existan empresas operadoras de tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios que lleven un registro de las toneladas que ingresan, se puede obtener tanto la generación a disponer anual como la per cápita de los RSU generados en la zona de influencia.

En este caso, se supondrá que se obtuvieron los registros anuales de hace 8 años de los ingresos de residuos¹⁰ y se identificó que el 3% de la recolección se recicla, por lo que la generación de residuos a disponer es igual a la generación de RSU menos el porcentaje de los residuos reciclados. Asimismo, se identificó

⁸ La población total para el año 2008 es de 125,571 habitantes, la cual ha tenido una tasa media de crecimiento del 1% durante los últimos 8 años, según CONAPO.

⁹ El tiempo de recorrido incluye también el de descarga de los RSU.

¹⁰ En caso de no tener esta información, véase capítulo III “Estimación de la oferta y la demanda” de este documento.

que las variables que influyeron en el crecimiento de la generación de residuos fueron el crecimiento poblacional y la generación per cápita de residuos. En el cuadro 4.4 y en la figura 4.1 se muestra la información proporcionada por la empresa operadora del tiradero.

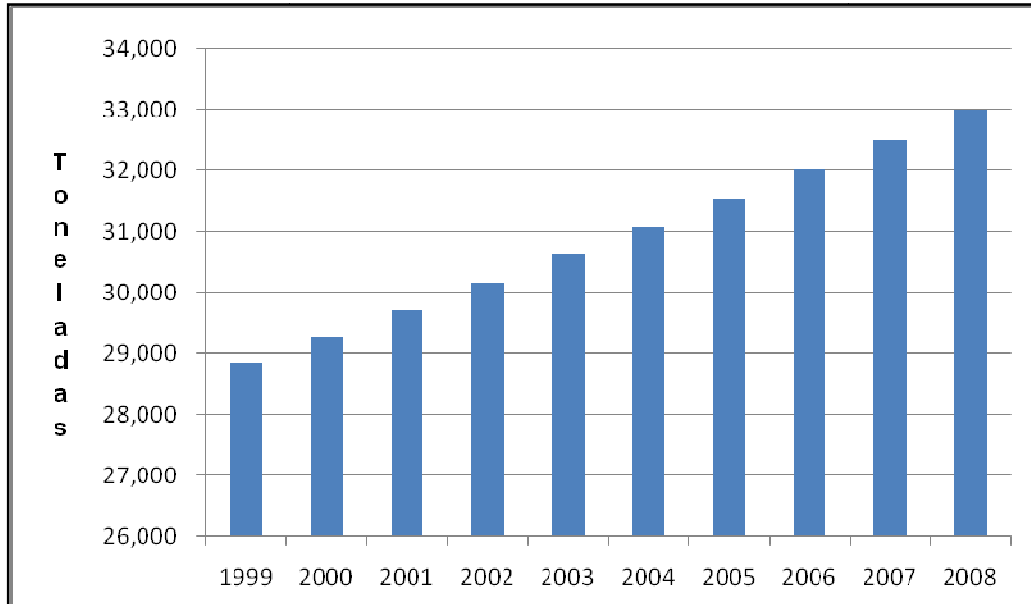
Cuadro 4.4 Generación anual histórica de los RSU en la ciudad “Y”, 1999-2008

Año	Población atendida	Generación per cápita a disponer (kg/persona/día)	Generación diaria a disponer (toneladas)	Generación anual a disponer (toneladas)	Generación diaria (toneladas)	Generación anual (toneladas)
1999	103,333	0.76	79.04	28,849	81.48	29,741
2000	104,367	0.77	80.23	29,283	82.71	30,189
2001	105,410	0.77	81.43	29,724	83.95	30,643
2002	106,464	0.78	82.66	30,171	85.22	31,104
2003	107,529	0.78	83.90	30,625	86.50	31,572
2004	108,604	0.78	85.17	31,086	87.80	32,047
2005	109,690	0.79	86.45	31,554	89.12	32,530
2006	110,787	0.79	87.75	32,029	90.46	33,019
2007	111,895	0.80	89.07	32,511	91.83	33,516
2008 ^{1/}	113,014	0.80	90.41	33,000	93.21	34,021

^{1/} Estimación.

Fuente: Elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa operadora del tiradero a cielo abierto.

Figura 4.1 Generación anual histórica de RSU a disponer en la ciudad “Y”, 1999-2008



Fuente: Elaboración propia con base en la información proporcionada por la empresa operadora del tiradero a cielo abierto.

Con esta información, se estimó que la tasa media anual de crecimiento de generación de RSU es de 1.5%¹¹, la cual se compone por 1% de crecimiento de la población y 0.5% de crecimiento de generación per cápita.

Interacción oferta-demanda (diagnóstico de la situación actual)

Como se presentó en la sección “oferta actual”, para el año 2008 se tendrá una capacidad útil de 1.3 millones de m³, lo cual es suficiente para satisfacer la demanda de los próximos 20 años, pero debido al cambio de la legislación estatal, se debe construir un sitio de disposición final que cumpla con la normatividad vigente.

¹¹ Esta tasa es el resultado de multiplicar las tasas de crecimiento poblacional y de generación per cápita, es decir, $((1.01 \cdot 1.005) - 1) \cdot 100 = 1.505\%$. Esto es señalado, para no cometer el error de sumar los porcentajes.

Optimización de la situación actual

En este tipo de proyectos, las optimizaciones dependerán principalmente del marco jurídico vigente. Para este ejemplo, no se encontró alguna medida administrativa o inversión “pequeña” que solucionara la problemática actual, debido a que no se puede ampliar el tiradero por cuestiones jurídicas, aún habiendo un mayor terreno. Por lo tanto, la situación sin proyecto es igual a la situación actual.

4.2.2 Situación sin proyecto

En esta sección se simula el comportamiento de la oferta y la demanda en la situación sin proyecto durante un periodo de 25 años¹². Para el ejemplo, se proyectará sólo la demanda, debido a que la oferta es el tiradero a cielo abierto y éste es un stock que no se modifica. Por lo tanto, en el cuadro 4.5 se presenta la proyección de la demanda durante 25 años, con base en la tasa media de crecimiento (1.5%) presentada en la sección de “demanda actual”.

¹² Este periodo corresponde al horizonte de evaluación que generalmente es utilizado para este tipo de proyectos.

Cuadro 4.5 Proyección de la demanda en la situación sin proyecto, 2009-2033

Año	Generación per cápita a disponer (kg/persona/día)	Población atendida	Generación diaria a disponer (toneladas)	Generación anual a disponer (toneladas)	Generación diaria (toneladas)	Generación anual (toneladas)
2008	0.80	113,014	90.41	33,000	93.21	34,021
2009	0.80	114,144	91.77	33,497	94.61	34,533
2010	0.81	115,285	93.15	34,001	96.03	35,052
2011	0.81	116,438	94.55	34,512	97.48	35,580
2012	0.82	117,602	95.98	35,032	98.95	36,115
2013	0.82	118,778	97.42	35,559	100.43	36,659
2014	0.82	119,966	98.89	36,094	101.95	37,211
2015	0.83	121,166	100.38	36,638	103.48	37,771
2016	0.83	122,378	101.89	37,189	105.04	38,339
2017	0.84	123,602	103.42	37,749	106.62	38,916
2018	0.84	124,838	104.98	38,317	108.22	39,502
2019	0.85	126,086	106.56	38,893	109.85	40,096
2020	0.85	127,347	108.16	39,479	111.51	40,700
2021	0.85	128,620	109.79	40,073	113.18	41,312
2022	0.86	129,906	111.44	40,676	114.89	41,934
2023	0.86	131,205	113.12	41,288	116.62	42,565
2024	0.87	132,517	114.82	41,909	118.37	43,206
2025	0.87	133,842	116.55	42,540	120.15	43,856
2026	0.88	135,180	118.30	43,180	121.96	44,516
2027	0.88	136,532	120.08	43,830	123.80	45,186
2028	0.88	137,897	121.89	44,490	125.66	45,866
2029	0.89	139,276	123.72	45,159	127.55	46,556
2030	0.89	140,669	125.59	45,839	129.47	47,257
2031	0.90	142,076	127.48	46,529	131.42	47,968
2032	0.90	143,497	129.40	47,229	133.40	48,690
2033	0.91	144,932	131.34	47,940	135.40	49,423

Fuente: Elaboración propia con base en el crecimiento poblacional y de la generación per cápita de RSU.

Asimismo, con base en la generación diaria¹³ de RSU se estimaron los costos de traslado en los que se incurre, cuando los camiones transportan los RSU de la zona de recolección al sitio de disposición final.

Los costos de traslado se componen por los costos de tiempo del chofer y del ayudante, así como el costo operacional de los camiones. Por lo tanto, para su cálculo, se consideraron el número de viajes que se realizan al día por todos los camiones, el tiempo de traslado, el costo del tiempo del chofer y del ayudante, así como los kilómetros recorridos al día. Asimismo, se calculó que los camiones circulan a una velocidad promedio de 25 km/hr, realizando un recorrido (ida y vuelta) de 10 km en 24 minutos¹⁴.

El procedimiento que se siguió para calcular los costos de traslado se describe a continuación:

- El número de viajes se calculó por medio del número de camiones con los que se cuenta para realizar la recolección y el número de viajes que realizan al día, es decir, 12 camiones realizan 2 viajes diariamente, por lo que el número total de viajes al día es de 24.
- El tiempo de traslado se calculó multiplicando el número de viajes por el tiempo de duración de cada uno (24 minutos). El resultado que se obtuvo fue de 9.6 horas al día.
- Por lo tanto, el costo del tiempo del chofer y del ayudante, se estimó con la retribución diaria por hora que reciben, la cual asciende a \$25 y \$10, respectivamente. Lo anterior, se multiplicó por el número de horas

¹³ En el recorrido hacia el sitio de disposición final, los camiones transportan todos los residuos generados (los dispuestos y los reciclados), por lo que se considera la generación diaria para calcular los costos de traslado.

¹⁴ El tiempo de recorrido incluye también el de descarga de los RSU.

utilizadas para el traslado de los residuos sólidos, con lo cual se obtuvo un costo de \$336 $((25+10)*9.6=336)$.

- Los kilómetros recorridos diariamente se obtienen de multiplicar el número de viajes por el número de kilómetros recorridos en cada uno. Se obtuvo que diariamente, entre todos los camiones, recorren 240 km.
- Con lo anterior, se calculó el costo operacional diario el cual se obtiene de multiplicar los 240 km por el costo por recorrer cada km. Este último costo, se estimó por medio del combustible promedio diario, del desgaste y mantenimiento de la unidad que se utiliza para la recolección, obteniendo un costo por km de \$11. Por lo tanto, el costo operacional ascendió a \$2,640. Para calcular el costo de traslado diario, se sumaron el costo del tiempo del chofer y del ayudante, y el costo operacional, con lo que se obtuvo un costo de \$2,976.
- El costo de traslado diario se multiplicó por 365 días al año, resultando un costo anual de traslado de 1.09 millones de pesos para 2008.

Los resultados obtenidos con base en las características antes mencionadas se muestran en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Costos de traslado de los RSU en el año 2008

Concepto	Monto
Número de viajes al día	24
Tiempo de traslado diario (horas)	9.6
Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	336
Kilómetros recorridos diariamente	240
Costo operacional diario (pesos de 2008)	2,640
Costo diario de traslado (pesos de 2008)	2,976
Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)	1.09

Fuente: Elaboración propia con base en los datos recabados en el trabajo de campo.

Finalmente, se realizó la proyección de los costos de traslado obtenidos para la situación sin proyecto (véase cuadro 4.7).

Cuadro 4.7 Costos de traslado en la situación sin proyecto, 2008-2028

Año	Generación de RSU diaria (toneladas)	Capacidad al día por camión (toneladas)	Número de camiones óptimos	Número de viajes al día	Tiempo de traslado diario (horas)	Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	Kilómetros recorridos diariamente (km)	Costo operacional diario (pesos de 2008)	Costo de traslado diario (pesos de 2008)	Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)
2008	93.21	7.94	12	24	9.60	336	240	2,640	2,976	1.09
2009	94.61	7.94	12	24	9.60	336	240	2,640	2,976	1.09
2010	96.03	7.94	13	25	10.00	350	250	2,750	3,100	1.13
2011	97.48	7.94	13	25	10.00	350	250	2,750	3,100	1.13
2012	98.95	7.94	13	25	10.00	350	250	2,750	3,100	1.13
2013	100.43	7.94	13	26	10.40	364	260	2,860	3,224	1.18
2014	101.95	7.94	13	26	10.40	364	260	2,860	3,224	1.18
2015	103.48	7.94	14	27	10.80	378	270	2,970	3,348	1.22
2016	105.04	7.94	14	27	10.80	378	270	2,970	3,348	1.22
2017	106.62	7.94	14	27	10.80	378	270	2,970	3,348	1.22
2018	108.22	7.94	14	28	11.20	392	280	3,080	3,472	1.27
2019	109.85	7.94	14	28	11.20	392	280	3,080	3,472	1.27
2020	111.51	7.94	15	29	11.60	406	290	3,190	3,596	1.31
2021	113.18	7.94	15	29	11.60	406	290	3,190	3,596	1.31
2022	114.89	7.94	15	29	11.60	406	290	3,190	3,596	1.31
2023	116.62	7.94	15	30	12.00	420	300	3,300	3,720	1.36
2024	118.37	7.94	15	30	12.00	420	300	3,300	3,720	1.36
2025	120.15	7.94	16	31	12.40	434	310	3,410	3,844	1.40
2026	121.96	7.94	16	31	12.40	434	310	3,410	3,844	1.40
2027	123.80	7.94	16	32	12.80	448	320	3,520	3,968	1.45
2028	125.66	7.94	16	32	12.80	448	320	3,520	3,968	1.45

Fuente: Elaboración propia con base en la generación diaria de RSU.

4.2.3 Alternativas de solución

Ante la problemática presentada, se proponen dos alternativas de solución, las cuales serán descritas a continuación:

Alternativa 1

Se considera un terreno plano, propiedad del municipio, de 14 ha con capacidad de 1.3 millones de m³, que se encuentra a un lado del actual tiradero a cielo abierto. Se propone diseñar, en un principio, un relleno sanitario del tipo B que se modificará a uno del tipo A¹⁵ después de 6 años, debido a que la generación diaria pasa del rango de 50-100 toneladas para rellenos del tipo B, a más de 100 para rellenos sanitarios del tipo A. La capacidad de compactación que se tendrá lo primeros 6 años será de 550 kg/m³, y después se pasará a una de 650 kg/m³. Por lo tanto, se calculó la vida útil de este proyecto con base en las características descritas, obteniendo que esta alternativa podrá operar durante 20 años (véase cuadro 4.8).

¹⁵ No se considera la alternativa de construir un relleno del tipo A desde un principio, debido a que representa mayores costos y tendría un mayor CAE.

Cuadro 4.8 Capacidad y vida útil de operación de la alternativa 1, 2009-2029

Año	Generación diaria a disponer (toneladas) ^{1/}	Generación anual a disponer (toneladas)	Generación anual a disponer (m ³)	Generación acumulada a disponer (m ³)
2009	91.77	33,497	60,903	60,903
2010	93.15	34,001	61,819	122,723
2011	94.55	34,512	62,750	185,472
2012	95.98	35,032	63,694	249,167
2013	97.42	35,559	64,653	313,819
2014	98.89	36,094	65,626	379,445
2015	100.38	36,638	56,365	435,810
2016	101.89	37,189	57,214	493,024
2017	103.42	37,749	58,075	551,099
2018	104.98	38,317	58,949	610,048
2019	106.56	38,893	59,836	669,884
2020	108.16	39,479	60,737	730,621
2021	109.79	40,073	61,651	792,272
2022	111.44	40,676	62,578	854,850
2023	113.12	41,288	63,520	918,370
2024	114.82	41,909	64,476	982,846
2025	116.55	42,540	65,446	1,048,292
2026	118.30	43,180	66,431	1,114,723
2027	120.08	43,830	67,431	1,182,154
2028 ^{2/}	121.89	44,490	68,446	1,250,600
2029	123.72	45,159	69,476	1,320,076

^{1/} Como se puede observar, entre los años 2014 y 2015 se pasa a una generación mayor de 100 toneladas diarias, lo cual significa que por ley se debe utilizar una mayor compactación. Por lo tanto, de 2009 a 2014, para calcular los metros cúbicos utilizados se dividió la generación anual a disponer entre 550 kg/m³, mientras que de 2015 a 2029 se dividió entre 650 kg/m³. Finalmente, se acumuló la generación anual hasta llegar a la capacidad máxima del terreno.

^{2/} El relleno podría seguir operando hasta el año de 2028, debido a que en el siguiente se alcanza un requerimiento de m³ que es superior a su capacidad máxima (1.3 millones de m³).

Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones realizadas de generación de RSU a disponer.

Aunque el terreno es propiedad del municipio, se debe considerar su costo de oportunidad que es su valor de venta. Por lo tanto, se estimó que el costo por metro cuadrado del terreno de esta alternativa es de \$150, por lo que el monto total del terreno asciende a 21 millones de pesos. Asimismo, se consideró un costo de obra civil de 55.75 millones de pesos. En el cuadro 4.9 se muestra el detalle de los costos de inversión mencionados.

Cuadro 4.9 Costos de inversión para la alternativa 1 (millones de pesos de 2008)

Concepto	Monto
Terreno	21.00
Obra civil y equipamiento	
Excavación	36.02
Báscula	1.05
Laboratorio	0.97
Taller de mantenimiento	0.79
2 camiones de volteo	2.95
1 Bulldozer	4.74
1 compactador	3.70
1 cargador frontal	2.45
1 motoconformadora	2.68
2 camionetas pick up	0.40
Total	55.75

Fuente: Elaboración propia con base en estudios de evaluación de proyectos similares.

Los costos de reinversión, operación y mantenimiento varían de acuerdo al tipo de relleno que se esté operando (véase cuadro 4.10), debido a que existen requisitos adicionales de un relleno sanitario de tipo B a uno del tipo A¹⁶.

Cuadro 4.10 Costos de reinversión, operación y mantenimiento de la alternativa 1 (millones de pesos de 2008)

Año	Concepto	Monto
2009-2014	Costo de operación y mantenimiento de relleno sanitario del tipo B	6.1
2014	Conversión al tipo A del relleno sanitario	5.0
2015-2028	Costo de operación y mantenimiento de relleno sanitario del tipo A	7.5

Fuente: Estos costos deben provenir de las cotizaciones realizadas por empresas constructoras.

Alternativa 2

Se considera un terreno de 20 ha del tipo “zanja” con una capacidad de 1.61 millones de m³, que se encuentra a 10 km del centro de la ciudad. Se supone, al

¹⁶ Los requisitos adicionales en la operación de un relleno del tipo A, en comparación de uno del tipo B, se establece contar con oficinas, servicio médico y seguridad personal, lo cual aumenta los costos de operación y mantenimiento.

igual que en la alternativa 1, que primero se construye un relleno sanitario del tipo B y luego uno del tipo A. El costo de reinversión es igual al de la alternativa 1, sin embargo, los costos de operación y mantenimiento son mayores debido a las características físicas del terreno (véase cuadro 4.11).

Cuadro 4.11 Costos de reinversión, operación y mantenimiento de la alternativa 2 (millones de pesos de 2008)

Año	Concepto	Monto
2009-2014	Costo de operación y mantenimiento de relleno sanitario del tipo B	6.5
2014	Conversión al tipo A del relleno sanitario	5.0
2015-2033	Costo de operación y mantenimiento de relleno sanitario del tipo A	7.9

Fuente: Estos costos deben provenir de las cotizaciones realizadas por empresas constructoras.

Asimismo los costos de inversión y traslado son diferentes por tres razones: primera, la lejanía y las condiciones del terreno lo hacen más barato; segunda, las condiciones naturales (zanja) del terreno permiten disminuir los costos de obra civil; tercera, los costos de traslado aumentan debido al incremento del recorrido que tendrían que hacer los camiones para ir al sitio de disposición final, así como la inversión en 4 camiones adicionales con el fin de conservar la actual eficiencia de recolección.

En el cuadro 4.12, se presentan los costos de inversión para esta alternativa.

Cuadro 4.12 Costos de inversión para la alternativa 2 (millones de pesos de 2008)

Concepto	Monto
Terreno	10.00
Obra civil	
Excavación	19.03
Báscula	1.05
Laboratorio	0.97
Taller de mantenimiento	0.79
2 camiones de volteo	2.95
4 camiones para recolección y traslado	3.90
1 Bulldozer	4.74
1 compactador	3.70
1 cargador frontal	2.45
1 motoconformadora	2.68
2 camionetas pick up	0.40
Total	42.93

Fuente: Elaboración propia con base en estudios de evaluación de proyectos similares.

Para estimar, la vida útil se realizó el mismo procedimiento que para la alternativa 1, es decir, considerando la generación diaria a disponer de RSU y la capacidad en m³ del terreno, se estimó el número de años que podrá operar como sitio de disposición final (véase cuadro 4.13).

Cuadro 4.13 Capacidad y vida útil de la alternativa 2, 2009-2033

Año	Generación diaria a disponer (toneladas) ^{1/}	Generación anual a disponer (toneladas)	Generación anual a disponer (m ³)	Generación acumulada a disponer (m ³)
2009	91.77	33,497	60,903	60,903
2010	93.15	34,001	61,819	122,723
2011	94.55	34,512	62,750	185,472
2012	95.98	35,032	63,694	249,167
2013	97.42	35,559	64,653	313,819
2014	98.89	36,094	65,626	379,445
2015	100.38	36,638	56,365	435,810
2016	101.89	37,189	57,214	493,024
2017	103.42	37,749	58,075	551,099
2018	104.98	38,317	58,949	610,048
2019	106.56	38,893	59,836	669,884
2020	108.16	39,479	60,737	730,621
2021	109.79	40,073	61,651	792,272
2022	111.44	40,676	62,578	854,850
2023	113.12	41,288	63,520	918,370
2024	114.82	41,909	64,476	982,846
2025	116.55	42,540	65,446	1,048,292
2026	118.30	43,180	66,431	1,114,723
2027	120.08	43,830	67,431	1,182,154
2028	121.89	44,490	68,446	1,250,600
2029	123.72	45,159	69,476	1,320,076
2030	125.59	45,839	70,521	1,390,597
2031	127.48	46,529	71,583	1,462,180
2032	129.40	47,229	72,660	1,534,840
2033 ^{2/}	131.34	47,940	73,754	1,608,594

^{1/} Como se puede observar, entre los años 2014 y 2015 se pasa a una generación mayor de 100 toneladas diarias, lo cual significa que por ley se debe utilizar una mayor compactación. Por lo tanto, de 2009 a 2014, para calcular los metros cúbicos utilizados se dividió la generación anual a disponer entre 550 kg/m³, mientras que de 2015 a 2033 se dividió entre 650 kg/m³. Finalmente, se acumuló la generación anual hasta llegar a la capacidad máxima del terreno.

^{2/} El relleno podría seguir operando hasta el año de 2033, debido a que en el siguiente se alcanza un requerimiento de m³ que es superior a su capacidad máxima (1.61 millones de m³).

Fuente: Elaboración propia con base en las proyecciones realizadas de generación de RSU a disponer.

4.2.4 Situación con proyecto

En esta sección se simulará que las alternativas entran en operación, por lo que se estimarán los costos de traslado en los que se incurren por seleccionar cada una de ellas.

Costo de traslado alternativa 1

Los costos de traslado dependen de la distancia en que se encuentra esta alternativa del centro de la ciudad “Y”, por lo que siendo un terreno que se localiza a lado del actual tiradero, se considera que sus costos de traslado son iguales a los estimados en la situación sin proyecto y presentados en el cuadro 4.7.

Costos de traslado alternativa 2

Para la estimación de los costos de traslado de esta alternativa se consideraron los camiones actuales más los 4 camiones que se adquieren. El costo del recorrido por camión es el doble al estimado para la alternativa 1, ya que pasan de recorrer 10 km a 20 km (ida y vuelta). En el cuadro 4.14, se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 4.14 Costos de traslado para la alternativa 2, 2008-2033

Año	Generación de RSU diaria (toneladas)	Capacidad al día por camión (toneladas)	Número de camiones óptimos	Número de viajes al día	Tiempo de traslado diario (horas)	Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	Kilómetros recorridos diariamente (km)	Costo operacional diario (pesos de 2008)	Costo de traslado diario (pesos de 2008)	Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)
2008	93.21	7.94	16	24	19.20	672	480	5,280	5,952	2.17
2009	94.61	7.94	16	24	19.20	672	480	5,280	5,952	2.17
2010	96.03	7.94	17	25	20.00	700	500	5,500	6,200	2.26
2011	97.48	7.94	17	25	20.00	700	500	5,500	6,200	2.26
2012	98.95	7.94	17	25	20.00	700	500	5,500	6,200	2.26
2013	100.43	7.94	17	26	20.80	728	520	5,720	6,448	2.35
2014	101.95	7.94	17	26	20.80	728	520	5,720	6,448	2.35
2015	103.48	7.94	18	27	21.60	756	540	5,940	6,696	2.44
2016	105.04	7.94	18	27	21.60	756	540	5,940	6,696	2.44
2017	106.62	7.94	18	27	21.60	756	540	5,940	6,696	2.44
2018	108.22	7.94	18	28	22.40	784	560	6,160	6,944	2.53
2019	109.85	7.94	18	28	22.40	784	560	6,160	6,944	2.53
2020	111.51	7.94	19	29	23.20	812	580	6,380	7,192	2.62
2021	113.18	7.94	19	29	23.20	812	580	6,380	7,192	2.62
2022	114.89	7.94	19	29	23.20	812	580	6,380	7,192	2.62
2023	116.62	7.94	19	30	24.00	840	600	6,600	7,440	2.71
2024	118.37	7.94	19	30	24.00	840	600	6,600	7,440	2.71
2025	120.15	7.94	20	31	24.80	868	620	6,820	7,688	2.80
2026	121.96	7.94	20	31	24.80	868	620	6,820	7,688	2.80
2027	123.80	7.94	20	32	25.60	896	640	7,040	7,936	2.89
2028	125.66	7.94	20	32	25.60	896	640	7,040	7,936	2.89
2029	127.55	7.94	21	33	26.40	924	660	7,260	8,184	2.98
2030	129.47	7.94	21	33	26.40	924	660	7,260	8,184	2.98
2031	131.42	7.94	21	34	27.20	952	680	7,480	8,432	3.07
2032	133.40	7.94	21	34	27.20	952	680	7,480	8,432	3.07
2033	135.40	7.94	22	35	28.00	980	700	7,700	8,680	3.16

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Evaluación de las alternativas

Metodología de evaluación

Debido a que este proyecto tiene como principal objetivo cumplir con la legislación vigente, la metodología conveniente es la de costo-eficiencia. En ésta, se utilizará como indicador de rentabilidad el Costo Anual Equivalente (CAE), con el cual se compararán las alternativas antes descritas y se determinará cuál de ellas es la de menor costo. En la sección 2.2, se describe la fórmula que se utilizará para el cálculo del CAE.

Cabe señalar, que para el cálculo del CAE se considerarán los costos de inversión, reinversión, operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto, así como el valor de rescate.

CAE alternativa 1

Para esta alternativa se consideró un periodo de 20 años y se calculó un valor de rescate por el terreno de 16 millones de pesos considerando un costo por saneamiento de 5 millones de pesos (21-5=16). A continuación se presenta la fórmula utilizada para calcular el CAE y en el cuadro 4.15 se presentan los flujos de los costos considerados.

$$CAE = \frac{VPC - VPR}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^t}} = \frac{138.55 - 1.66}{\frac{1}{0.12} - \frac{1}{0.12(1.12)^{20}}} = 18.33$$

Cuadro 4.15 Cálculo del CAE para la alternativa 1, 2008-2028 (millones de pesos de 2008)

Año	Costo del terreno	Costo de obra civil	Costo de operación	Costo de traslado	VPC	Valor de rescate del terreno con costo de saneamiento	VPR	CAE
2008	21.00	55.75			76.75			
2009			6.10	1.09	6.42			18.33
2010			6.10	1.13	5.76			18.33
2011			6.10	1.13	5.15			18.33
2012			6.10	1.13	4.60			18.33
2013			6.10	1.18	4.13			18.33
2014		5.00	6.10	1.18	6.22			18.33
2015			7.50	1.22	3.95			18.33
2016			7.50	1.22	3.52			18.33
2017			7.50	1.22	3.15			18.33
2018			7.50	1.27	2.82			18.33
2019			7.50	1.27	2.52			18.33
2020			7.50	1.31	2.26			18.33
2021			7.50	1.31	2.02			18.33
2022			7.50	1.31	1.80			18.33
2023			7.50	1.36	1.62			18.33
2024			7.50	1.36	1.44			18.33
2025			7.50	1.40	1.30			18.33
2026			7.50	1.40	1.16			18.33
2027			7.50	1.45	1.04			18.33
2028			7.50	1.45	0.93	16.00	1.66	18.33
Total					138.55		1.66	

Fuente: Elaboración propia

CAE alternativa 2

Para esta alternativa se consideró un periodo de 25 años y se calculó un valor de rescate de 6.17 millones de pesos, para el cual se consideró el valor del terreno y un 30% del valor de los camiones adquiridos en un principio, menos el costo de saneamiento ($10 + 0.3 \cdot 3.9 - 5 = 6.17$). A continuación se presenta la fórmula utilizada para calcular el CAE y en el cuadro 4.16 se presentan los flujos de los costos considerados.

$$CAE = \frac{VPC - VPR}{\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^t}} = \frac{130.75 - 0.36}{\frac{1}{0.12} - \frac{1}{0.12(1.12)^{25}}} = 16.62$$

Cuadro 4.16 Cálculo del CAE para alternativa 2, 2008-2033 (millones de pesos de 2008)

Año	Costo del terreno	Costo de obra civil	Costo de camiones	Costo de operación	Costo de traslado	VPC	Valor de rescate del terreno con costo de saneamiento	VPR	CAE
2008	10.00	39.03	3.90			52.93			
2009				6.50	2.17	7.74			16.62
2010				6.50	2.26	6.98			16.62
2011				6.50	2.26	6.23			16.62
2012				6.50	2.26	5.57			16.62
2013				6.50	2.35	5.02			16.62
2014		5.00		6.50	2.35	7.02			16.62
2015				7.90	2.44	4.68			16.62
2016				7.90	2.44	4.18			16.62
2017				7.90	2.44	3.73			16.62
2018				7.90	2.53	3.36			16.62
2019				7.90	2.53	3.00			16.62
2020				7.90	2.62	2.70			16.62
2021				7.90	2.62	2.41			16.62
2022				7.90	2.62	2.15			16.62
2023				7.90	2.71	1.94			16.62
2024				7.90	2.71	1.73			16.62
2025				7.90	2.80	1.56			16.62
2026				7.90	2.80	1.39			16.62
2027				7.90	2.89	1.25			16.62
2028				7.90	2.89	1.12			16.62
2029				7.90	2.98	1.01			16.62
2030				7.90	2.98	0.90			16.62
2031				7.90	3.07	0.81			16.62
2032				7.90	3.07	0.72			16.62
2033				7.90	3.16	0.65	6.17	0.36	16.62
Total						130.75		0.36	

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Conclusión

Se concluye que la alternativa 2 planteada es la mejor opción, debido a que resuelve la problemática de cumplir con la legislación y es la de menor costo.

4.2.7 Recomendación

Para este tipo de proyectos es importante realizar una evaluación privada para saber quien destinará los recursos necesarios para los costos de operación del sitio de disposición final, ya que en la práctica se ha encontrado que una vez



realizada la inversión, no se cuenta con estos recursos y por consiguiente el proyecto no cumpliría con la norma.

Considerando la idea de “quien contamina paga”, estos proyectos deberían ser financiados con recursos de la población que se beneficia directamente de su realización. Por ejemplo, si se calcula para cada año la tarifa que tendría que pagar cada familia y después se realiza su anualización, se obtendría la tarifa de largo plazo, que para este caso es de 613.77 pesos por familia (véase cuadro 4.17).

Cuadro 4.17 Cálculo de la tarifa de largo plazo, 2009-2033

Año	Población atendida	Familias	Tarifa	VP Tarifa	Tarifa de largo plazo ^{1/}
2008					
2009	114,144	25,366	655.39	585.17	613.77
2010	115,285	25,619	648.91	517.31	613.77
2011	116,438	25,876	642.47	457.30	613.77
2012	117,602	26,134	636.13	404.27	613.77
2013	118,778	26,396	629.81	357.37	613.77
2014	119,966	26,660	623.57	315.92	613.77
2015	121,166	26,926	617.41	279.29	613.77
2016	122,378	27,196	611.28	246.89	613.77
2017	123,602	27,468	605.23	218.25	613.77
2018	124,838	27,742	599.25	192.94	613.77
2019	126,086	28,020	593.31	170.56	613.77
2020	127,347	28,300	587.44	150.78	613.77
2021	128,620	28,583	581.62	133.29	613.77
2022	129,906	28,868	575.88	117.84	613.77
2023	131,205	29,157	570.17	104.17	613.77
2024	132,517	29,449	564.52	92.09	613.77
2025	133,842	29,743	558.94	81.41	613.77
2026	135,180	30,040	553.41	71.97	613.77
2027	136,532	30,341	547.92	63.62	613.77
2028	137,897	30,644	542.50	56.24	613.77
2029	139,276	30,951	537.12	49.72	613.77
2030	140,669	31,260	531.81	43.95	613.77
2031	142,076	31,573	526.54	38.85	613.77
2032	143,497	31,889	521.32	34.35	613.77
2033	144,932	32,208	516.16	30.36	613.77
Total				4,813.89	

^{1/} Aquí se supone que los RSU provienen sólo de las familias, sin incluir comercios, industrias, etc. En caso contrario, se tendría que calcular una tarifa de largo plazo para cada uno de acuerdo a la proporción de residuos generados.

Fuente: Elaboración propia.

$$Tarifa\ de\ Largo\ plazo = \frac{4,813.89}{\frac{1}{0.12} - \frac{1}{0.12(1.12)^{25}}} = 613.77$$

Asimismo, el costo para el país por traslado y disposición final por tonelada de RSU se puede calcular dividiendo el CAE obtenido en el cuadro 4.16 entre la generación a disponer de cada año. Con lo anterior, se obtiene el VP de los

costos por tonelada y se anualizan para estimar el costo por tonelada de largo plazo de 450.33 pesos (véase cuadro 4.18).

Cuadro 4.18 Estimación del costo por tonelada de RSU de largo plazo, 2009-2033.

Año	Generación anual a disponer (toneladas)	Costo por tonelada	VP de los costos por tonelada, 2008	Costo por tonelada de largo plazo, (2009-2033)
2008	33,000		3,532.00	
2009	33,497	496.30	443.13	450.33
2010	34,001	488.95	389.78	450.33
2011	34,512	481.70	342.86	450.33
2012	35,032	474.56	301.59	450.33
2013	35,559	467.52	265.28	450.33
2014	36,094	460.59	233.35	450.33
2015	36,638	453.76	205.26	450.33
2016	37,189	447.03	180.55	450.33
2017	37,749	440.40	158.81	450.33
2018	38,317	433.87	139.69	450.33
2019	38,893	427.44	122.88	450.33
2020	39,479	421.10	108.09	450.33
2021	40,073	414.86	95.07	450.33
2022	40,676	408.71	83.63	450.33
2023	41,288	402.65	73.56	450.33
2024	41,909	396.68	64.71	450.33
2025	42,540	390.80	56.92	450.33
2026	43,180	385.00	50.07	450.33
2027	43,830	379.29	44.04	450.33
2028	44,490	373.67	38.74	450.33
2029	45,159	368.13	34.07	450.33
2030	45,839	362.67	29.97	450.33
2031	46,529	357.29	26.36	450.33
2032	47,229	352.00	23.19	450.33
2033	47,940	346.78	20.40	450.33

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V EVALUACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA

Por cuestiones de crecimiento de la población, olores de residuos sólidos, contaminación, el menor precio de los terrenos ubicados en la periferia de las ciudades, etc, los sitios de disposición final cada vez se ubican a una mayor distancia de la zona donde se generan estos residuos, lo cual provoca que los costos de traslado se incrementen. Ante esto, una solución es la construcción de estaciones de transferencia, donde se acumulen los residuos recolectados y se transporten en vehículos de mayor capacidad a los sitios de disposición final, con lo que se disminuyen los costos de traslado.

En este capítulo se presenta, como ejemplo, el caso hipotético de la evaluación de una estación de transferencia, con el objetivo de facilitar a instituciones y dependencias públicas la elaboración del estudio de evaluación requerido por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Pública (UISHCP) para proyectos que pretendan utilizar recursos públicos federales.

Por lo anterior, se describirá la situación actual, sin proyecto y con proyecto con el fin de presentar los elementos más importantes a considerar en la evaluación de este tipo de proyectos. Finalmente, se realiza la estimación de los indicadores de rentabilidad, para determinar si el proyecto presentado es conveniente (rentable) o no para el país.

Cabe señalar, que este ejemplo sirve sólo para realizar la evaluación de estaciones de transferencia con características similares a las descritas más adelante, ya que cada proyecto tiene particularidades que deben ser analizadas por separado.

5.1 Situación actual

5.1.1 Oferta

Para este caso, se supone una ciudad "X" que cuenta con un sitio para la disposición final de residuos sólidos que se encuentra a 31.25 km y cuya vida útil es de 21 años. Asimismo, dispone de 17 camiones tipo redilas, para el servicio de recolección, los cuales transportan 3.85 toneladas por viaje¹⁷, realizando en promedio dos viajes al día.

La recolección se realiza de lunes a domingo en una jornada de 8 horas al día. Se estima que cada camión destina 1:30 hrs en llegar a su capacidad de recolección, mientras que tarda 2:30 hrs en el recorrido (ida y vuelta) al sitio de disposición final. Cada camión cuenta con un chofer y un ayudante.

Con base en las características antes mencionadas del servicio, se calculó la oferta de traslado disponible, la cual asciende a 130.9 toneladas al día ($17 \times 2 \times 3.85 = 130.9$), es decir, 47,778.5 toneladas al año¹⁸.

5.1.2 Demanda

La cobertura del servicio es del 80%, atendiendo a una población de 151,203 habitantes en el año 2008. Según la información proporcionada por el personal del sitio de disposición final, de lunes a domingo se depositan (recolectan) un promedio de 96.8 toneladas por día. Considerando que se recicla 3% de los residuos durante la recolección, la generación diaria de la población atendida en el año 2008, es de 99.8 toneladas, es decir, se tiene una generación per cápita de 0.66 kg/persona-día ($99.8 \times 1,000 / 151,203 = 0.66$).

¹⁷ La capacidad de los camiones recolectadores es de 3.97 toneladas, pero se recicla 3% de los residuos durante la recolección, lo que hace que cada camión transporta al sitio de disposición final 3.85 toneladas por viaje.

¹⁸ Se consideran 365 días al año.

Con base en lo anterior, se estimó la demanda futura por los servicios de recolección de residuos sólidos, considerando una tasa anual de crecimiento poblacional y de generación per cápita del 1% y 0.5%, respectivamente¹⁹. En el cuadro 5.1 se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 5.1 Estimación de la demanda por servicios de recolección de RSU, 2008-2028

Año	Población	Población atendida (80%)	Generación per cápita (kg/persona-día)	Generación diaria recolectada (toneladas)	Generación diaria a disponer (toneladas)	Generación anual a disponer (toneladas)
2008	189,004	151,203	0.660	99.8	96.8	35,332
2009	190,894	152,715	0.663	101.3	98.3	35,864
2010	192,803	154,242	0.667	102.8	99.7	36,404
2011	194,731	155,785	0.670	104.4	101.2	36,951
2012	196,678	157,342	0.673	105.9	102.8	37,508
2013	198,644	158,915	0.677	107.5	104.3	38,072
2014	200,630	160,504	0.680	109.2	105.9	38,645
2015	202,637	162,109	0.683	110.8	107.5	39,226
2016	204,662	163,730	0.687	112.5	109.1	39,817
2017	206,709	165,367	0.690	114.2	110.7	40,416
2018	208,776	167,021	0.694	115.9	112.4	41,024
2019	210,863	168,691	0.697	117.6	114.1	41,642
2020	212,972	170,377	0.701	119.4	115.8	42,268
2021	215,102	172,081	0.704	121.2	117.5	42,904
2022	217,253	173,802	0.708	123.0	119.3	43,550
2023	219,425	175,540	0.711	124.9	121.1	44,205
2024	221,620	177,296	0.715	126.7	122.9	44,871
2025	223,836	179,069	0.718	128.6	124.8	45,546
2026	226,075	180,860	0.722	130.6	126.7	46,232
2027	228,335	182,668	0.726	132.5	128.6	46,927
2028	230,619	184,495	0.729	134.5	130.5	47,634

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes planteados.

¹⁹ El Consejo Nacional de Población (CONAPO) proporciona proyecciones de la población de los municipios y la tasa de crecimiento de la generación per cápita se puede inferir del histórico de generación recolectado durante la visita de campo.

5.1.3 Interacción oferta-demanda

El objetivo de esta sección es mostrar la razón de porqué se está proponiendo este proyecto. Por lo cual, se estimarán los costos de traslado, en los que incurren los camiones al transportar los residuos sólidos de la zona de recolección al sitio de disposición final. Esta información es necesaria, ya que este tipo de proyectos tiene como finalidad reducir estos costos.

El costo de traslado se compone de los costos del tiempo del chofer y ayudante, así como el costo operacional de los camiones (costo del combustible, del desgaste del vehículo y de su mantenimiento). Por lo tanto, para su cálculo, se consideraron el número de viajes que se realizan al día por todos los camiones, el tiempo de traslado, el costo del tiempo del chofer y del ayudante, así como los kilómetros recorridos al día. Además, se calculó que los camiones circulan a una velocidad promedio de 25 km/hr, realizando un recorrido (ida y vuelta) de 62.5 km en 2:30 hrs.

El procedimiento que se siguió para calcular los costos de traslado se describen a continuación:

- El número de viajes se calculó por medio del número de camiones con los que se cuenta para realizar la recolección y el número de viajes que realizan al día, es decir, 17 camiones realizan 2 viajes diariamente, por lo que el número total de viajes al día es de 34.
- El tiempo de traslado se calculó multiplicando el número de viajes por el tiempo de duración de cada uno (2:30 hrs). El resultado que se obtuvo fue de 85 horas al día.
- Por lo tanto, el costo del tiempo del chofer y ayudante, se estimó con la retribución por hora que reciben, la cual asciende a \$25 y \$10. Lo anterior, se multiplicó por el número de horas diarias utilizadas para el traslado de

los residuos sólidos, con lo cual se obtuvo un costo de \$2,975 $((25+10)*85=2,975)$.

- Los kilómetros recorridos diariamente se obtienen de multiplicar el número de viajes por el número de kilómetros recorridos en cada uno. Se obtuvo que diariamente, entre todos los camiones, recorren 2,125 km.
- Con lo anterior, se calculó el costo operacional diario el cual se obtiene de multiplicar los 2,125 km por el costo de recorrer cada km (\$11). Por lo tanto, el costo operacional ascendió a \$23,375.
- Para calcular el costo de traslado diario, se sumaron el costo del tiempo del chofer y ayudante, y el costo operacional, con lo que se obtuvo \$26,350.
- Finalmente, el costo de traslado diario se multiplicó por 365 días al año, resultado un costo anual de traslado de 9.6 millones de pesos.

Los resultados obtenidos con base en las características antes mencionadas se muestran en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Costos de traslado de los RSU, 2008-2028

Concepto	Monto
Número de viajes al día	34
Tiempo de traslado diario (horas)	85
Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	2,975
Kilómetros recorridos diariamente	2,125
Costo operacional diario (pesos de 2008)	23,375
Costo diario de traslado (pesos de 2008)	26,350
Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)	9.6

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes planteados.

5.1.4 Problemática

Con base en los resultados obtenidos en la interacción de la oferta y demanda, se considera que los costos de traslado son “altos”, por lo que se propone la construcción de una estación de transferencia con el fin de reducirlos.

5.1.5 Optimización de la situación actual

Las optimizaciones dependerán de las condiciones de la situación actual, para este caso se considera modificar las rutas de recolección, debido a que se encontró que los camiones circulan por zonas donde ya se realizó el servicio. Con esta optimización, se recalculó el número óptimo de camiones necesarios para la recolección, con base en la generación diaria de residuos sólidos recolectados y la capacidad por camión. Los resultados se obtienen en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3 Número óptimo de camiones y viajes al día, 2008-2028

Año	Generación diaria de RSU recolectados (toneladas)	Capacidad por camión (toneladas)	Número de camiones óptimos	Número de viajes al día
2008	99.79	7.94	13	26
2009	101.30	7.94	13	27
2010	102.82	7.94	13	27
2011	104.37	7.94	14	28
2012	105.94	7.94	14	28
2013	107.53	7.94	14	28
2014	109.15	7.94	14	29
2015	110.79	7.94	14	29
2016	112.46	7.94	15	30
2017	114.15	7.94	15	30
2018	115.87	7.94	15	31
2019	117.61	7.94	15	31
2020	119.38	7.94	16	32
2021	121.18	7.94	16	32
2022	123.01	7.94	16	32
2023	124.86	7.94	16	33
2024	126.74	7.94	16	33
2025	128.64	7.94	17	34
2026	130.58	7.94	17	34
2027	132.54	7.94	17	35
2028	134.54	7.94	17	35

¹¹ La capacidad diaria por camión se calculó multiplicando el número de recolecciones que realiza al día (2 viajes) por la capacidad del camión ($3.97 \times 2 = 7.94$).
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Situación sin proyecto

Una vez considerada la optimización antes descrita en la situación actual, se tiene la situación sin proyecto, en la que en este caso, se tendrán costos de traslado menores, debido a que se reorganizó el número de camiones necesarios para ofrecer el servicio de recolección. Por lo tanto, en el cuadro 5.4 se muestran los costos de traslado en la situación sin proyecto.

Cuadro 5.4 Costos de traslado en la situación sin proyecto, 2008-2028

Año	Número de viajes al día	Tiempo de traslado diario (horas)	Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	Kilómetros recorridos diariamente	Costo diario de operación y mantenimiento (pesos de 2008)	Costo diario de traslado (pesos de 2008)	Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)
2008	26	65	2,275	1,625	17,875	20,150	7.35
2009	26	65	2,275	1,625	17,875	20,150	7.35
2010	26	65	2,275	1,625	17,875	20,150	7.35
2011	27	68	2,363	1,688	18,563	20,925	7.64
2012	27	68	2,363	1,688	18,563	20,925	7.64
2013	28	70	2,450	1,750	19,250	21,700	7.92
2014	28	70	2,450	1,750	19,250	21,700	7.92
2015	28	70	2,450	1,750	19,250	21,700	7.92
2016	29	73	2,538	1,813	19,938	22,475	8.20
2017	29	73	2,538	1,813	19,938	22,475	8.20
2018	30	75	2,625	1,875	20,625	23,250	8.49
2019	30	75	2,625	1,875	20,625	23,250	8.49
2020	31	78	2,713	1,938	21,313	24,025	8.77
2021	31	78	2,713	1,938	21,313	24,025	8.77
2022	31	78	2,713	1,938	21,313	24,025	8.77
2023	32	80	2,800	2,000	22,000	24,800	9.05
2024	32	80	2,800	2,000	22,000	24,800	9.05
2025	33	83	2,888	2,063	22,688	25,575	9.33
2026	33	83	2,888	2,063	22,688	25,575	9.33
2027	34	85	2,975	2,125	23,375	26,350	9.62
2028	34	85	2,975	2,125	23,375	26,350	9.62

Fuente: Elaboración propia con base en la información obtenida sobre la generación diaria de residuos sólidos a disponer y del trabajo de campo.

5.3 Situación con proyecto

En esta sección se describirán las principales acciones a realizar por el proyecto propuesto, con el objetivo de reducir los “altos” costos de traslado. Asimismo, se

simulará que el proyecto entra en operación, estimando los costos que la sociedad incurrirá para el traslado de los residuos sólidos.

5.3.1 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de una estación de transferencia que se encuentre a 6.25 km de la ciudad y a 25 km del sitio de disposición final. El costo de inversión que incluye la obra civil y el terreno (1 hectárea), asciende a 8.5 millones de pesos.

Adicionalmente, se estimó un costo de 2.5 millones de pesos, por la adquisición de dos tráilers con los que se transportarán los residuos sólidos de la estación de transferencia al sitio de disposición final. El número de tráilers propuesto se estimó con base en la generación diaria de residuos a disponer.

La estación de transferencia estaría equipada con un sistema de tolva para compactación, oficinas generales, taller mecánico, bodega, rampa de descarga de residuos, patio de maniobras, estacionamiento para vehículos, así como una caseta de control de acceso.

5.3.2 Demanda

En este caso, la demanda es igual a la presentada en la situación actual, es decir, la generación de residuos sólidos se comporta de la misma manera.

5.3.3 Oferta

Con la construcción de la estación de transferencia, el proceso de traslado de los residuos se reconfigurará, por lo que se necesitarán menos camiones para realizar el servicio de recolección debido a que ya no tendrán que ir hasta el sitio de disposición final. Por lo tanto, se estimó el número óptimo de camiones y de viajes necesarios con base en la generación de residuos, la distancia a la estación de transferencia y la velocidad de circulación.

Se consideró que los camiones circularían a la misma velocidad y tendría el mismo horario (8 hrs) que en la situación sin proyecto, por lo que el tiempo de recorrido (ida y vuelta) sería de 30 minutos, con lo que podrían realizar hasta 4 viajes²⁰ (cada uno) a la estación de transferencia. En el cuadro 5.5, se muestran los cálculos realizados para estimar el número óptimo de camiones y de viajes.

Cuadro 5.5 Número óptimo de camiones y viajes en la situación con proyecto, 2009-2028

Año	Generación diaria de RSU recolectados (toneladas)	Capacidad por camión al día ^{1/} (toneladas)	Número de camiones óptimos	Número de viajes al día
2009	101.30	15.88	7	26
2010	102.82	15.88	7	26
2011	104.37	15.88	7	27
2012	105.94	15.88	7	27
2013	107.53	15.88	7	28
2014	109.15	15.88	7	28
2015	110.79	15.88	7	28
2016	112.46	15.88	8	29
2017	114.15	15.88	8	29
2018	115.87	15.88	8	30
2019	117.61	15.88	8	30
2020	119.38	15.88	8	31
2021	121.18	15.88	8	31
2022	123.01	15.88	8	31
2023	124.86	15.88	8	32
2024	126.74	15.88	8	32
2025	128.64	15.88	9	33
2026	130.58	15.88	9	33
2027	132.54	15.88	9	34
2028	134.54	15.88	9	34

^{1/} Esta capacidad se estimó respecto a la capacidad por viaje de cada camión (3.97 toneladas) y el número de recolecciones que puede realizar al día (4 viajes). Por lo tanto, $3.97 \times 4 = 15.88$.
Fuente: Elaboración propia.

Además, se contará con dos tráilers con capacidad de 25 toneladas cada uno, que transportarán los residuos de la estación de transferencia al sitio de disposición final, recorriendo (ida y vuelta) 50 km en dos horas, por lo que podrán realizar hasta 3 viajes al día, considerando que destinan tiempo en la carga y descarga de

²⁰ La estimación de 4 viajes se realizó de la siguiente manera: 4 viajes a la estación de transferencia equivalen a 2 hrs, más 4 viajes de recolección en donde se destinan 6 hrs, se tiene un total de 8 hrs al día.

los residuos. En el cuadro 5.6 se presentan el número de viajes necesarios por año para el traslado de los residuos.

Cuadro 5.6 Número de tráilers y viajes para la situación con proyecto, 2009-2028

Año	Generación de RSU diaria a disponer (toneladas)	Capacidad por camión al día (toneladas)	Número de tráilers óptimos	Número de viajes al día
2009	98.3	75	2	4
2010	99.7	75	2	4
2011	101.2	75	2	5
2012	102.8	75	2	5
2013	104.3	75	2	5
2014	105.9	75	2	5
2015	107.5	75	2	5
2016	109.1	75	2	5
2017	110.7	75	2	5
2018	112.4	75	2	5
2019	114.1	75	2	5
2020	115.8	75	2	5
2021	117.5	75	2	5
2022	119.3	75	2	5
2023	121.1	75	2	5
2024	122.9	75	2	5
2025	124.8	75	2	5
2026	126.7	75	2	6
2027	128.6	75	2	6
2028	130.5	75	2	6

¹⁷ Esta capacidad se estimó respecto a la capacidad por viaje de cada camión (25 toneladas) y el número de viajes que realizan al día ($25 \times 3 = 75$).

Fuente: Elaboración propia con base en la capacidad de los tráilers al día y la generación diaria de residuos sólidos a disponer.

5.3.4 Interacción oferta-demanda

En esta sección se estimarán los costos de traslado que se tendrían si se realizara el proyecto. Por lo tanto, considerando el número de camiones y tráilers descritos, así como los viajes que realizarán, en los cuadros 5.7 y 5.8 se muestran los resultados obtenidos con base en el proceso de traslado en la situación con proyecto.

Cuadro 5.7 Costo de traslado de los camiones recolectores en la situación con proyecto, 2009-2028

Año	Número de viajes al día	Tiempo de traslado diario (horas)	Costo del tiempo del chofer y ayudante al día (pesos de 2008)	Kilómetros recorridos diariamente	Costo diario de operación y mantenimiento (pesos de 2008)	Costo diario de traslado (pesos de 2008)	Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)
2009	26	13	455	325	3,575	4,030	1.47
2010	26	13	455	325	3,575	4,030	1.47
2011	27	14	473	338	3,713	4,185	1.53
2012	27	14	473	338	3,713	4,185	1.53
2013	28	14	490	350	3,850	4,340	1.58
2014	28	14	490	350	3,850	4,340	1.58
2015	28	14	490	350	3,850	4,340	1.58
2016	29	15	508	363	3,988	4,495	1.64
2017	29	15	508	363	3,988	4,495	1.64
2018	30	15	525	375	4,125	4,650	1.70
2019	30	15	525	375	4,125	4,650	1.70
2020	31	16	543	388	4,263	4,805	1.75
2021	31	16	543	388	4,263	4,805	1.75
2022	31	16	543	388	4,263	4,805	1.75
2023	32	16	560	400	4,400	4,960	1.81
2024	32	16	560	400	4,400	4,960	1.81
2025	33	17	578	413	4,538	5,115	1.87
2026	33	17	578	413	4,538	5,115	1.87
2027	34	17	595	425	4,675	5,270	1.92
2028	34	17	595	425	4,675	5,270	1.92

Fuente: Elaboración propia con base en la generación de residuos y en el número de camiones disponibles.

Cuadro 5.8 Costo de traslado de los tráilers en la situación con proyecto, 2009-2028

Año	Número de viajes al día	Tiempo de traslado diario (horas)	Costo del tiempo del chofer al día (pesos de 2008)	Kilómetros recorridos diariamente	Costo diario de operación y mantenimiento (pesos de 2008)	Costo diario de traslado (pesos de 2008)	Costo anual de traslado (millones de pesos de 2008)
2009	4	8	280	200	7,600	7,880	2.88
2010	4	8	280	200	7,600	7,880	2.88
2011	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2012	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2013	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2014	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2015	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2016	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2017	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2018	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2019	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2020	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2021	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2022	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2023	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2024	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2025	5	10	350	250	9,500	9,850	3.60
2026	6	12	420	300	11,400	11,820	4.31
2027	6	12	420	300	11,400	11,820	4.31
2028	6	12	420	300	11,400	11,820	4.31

¹⁷ Se consideró que sólo es necesario un chofer para la operación de cada tráiler, por lo que se supuso que su costo del tiempo es de \$35 por hora.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el costo de traslado se compone del costo incurrido por los camiones recolectores al desplazarse a la estación de transferencia y el costo de los tráilers de transportar los residuos al sitio de disposición final. En el cuadro 5.9 se presenta el costo anual de traslado para la situación con proyecto.

Cuadro 5.9 Costo anual de traslado para la situación con proyecto en millones de pesos de 2008, 2009-2028

Año	Costo anual de traslado por camiones	Costo anual de traslado de trailers	Costo total anual de traslado
2009	1.47	2.88	4.35
2010	1.47	2.88	4.35
2011	1.53	3.60	5.13
2012	1.53	3.60	5.13
2013	1.58	3.60	5.18
2014	1.58	3.60	5.18
2015	1.58	3.60	5.18
2016	1.64	3.60	5.24
2017	1.64	3.60	5.24
2018	1.70	3.60	5.30
2019	1.70	3.60	5.30
2020	1.75	3.60	5.35
2021	1.75	3.60	5.35
2022	1.75	3.60	5.35
2023	1.81	3.60	5.41
2024	1.81	3.60	5.41
2025	1.87	3.60	5.47
2026	1.87	4.31	6.18
2027	1.92	4.31	6.23
2028	1.92	4.31	6.23

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Evaluación del proyecto

El propósito de evaluar un proyecto es determinar si el resultado de su ejecución tendrá un incremento en la riqueza del dueño del proyecto o para la sociedad. Por lo tanto, para decidir si un proyecto es conveniente, se deben identificar, cuantificar y valorar todos los costos y beneficios que resulten de su ejecución, para calcular indicadores de rentabilidad pertinentes y así tomar una decisión.

5.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de costos

La construcción de la estación de transferencia provocará costos por compra de tráilers, obra civil, de operación y mantenimiento. El terreno donde se realizará el proyecto fue donado hace dos años por el municipio, sin embargo, aunque en el momento que se ejecuta el proyecto no se destinan recursos en la compra del terreno, éste tiene un costo de oportunidad que debe ser reflejado en el flujo de efectivo, ya que, este terreno tiene un uso alternativo, como venderlo o rentarlo.

Por lo tanto, en el cuadro 5.10 se presentan los montos de inversión para cada costo identificado.

Cuadro 5.10 Costos del proyecto en millones de pesos de 2008

Concepto	Monto
Costo del terreno	8.00
Costo de construcción (obra civil)	0.50
Costo por adquisición de 2 tráilers	2.50
Costo anual de operación y mantenimiento ^{1/}	1.08

^{1/} Siendo este un ejemplo, se supusieron costos de operación y mantenimiento constantes, sin embargo, en la práctica estos deben ser variables debido al incremento anual de la generación de residuos.
Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios

Con base en las características de este tipo de proyectos se identifican los siguientes beneficios:

1. Ahorro en costos de traslado
2. Liberación de recursos por reducción en el uso de camiones recolectores
3. Valor de rescate del terreno y obra civil

Ahorro en costos de traslado

Con la construcción de la estación de transferencia, los costos de traslado de residuos disminuyen, debido a que se utilizan trailers que tienen una mayor capacidad y por lo tanto, necesitan realizar menos viajes para trasladar la generación diaria de residuos. En el cuadro 5.11 se presentan los costos de traslado en la situación sin proyecto y con proyecto, calculando su diferencia con el objetivo de estimar los ahorros provocados por el proyecto.

Cuadro 5.11 Ahorros en costos de traslado, 2009-2028 (millones de pesos de 2008)

Año	Costos de traslado en la situación sin proyecto	Costos de traslado en la situación con proyecto	Ahorros en costos de traslado
2009	7.35	4.35	3.01
2010	7.35	4.35	3.01
2011	7.64	5.12	2.51
2012	7.64	5.12	2.51
2013	7.92	5.18	2.74
2014	7.92	5.18	2.74
2015	7.92	5.18	2.74
2016	8.20	5.24	2.97
2017	8.20	5.24	2.97
2018	8.49	5.29	3.19
2019	8.49	5.29	3.19
2020	8.77	5.35	3.42
2021	8.77	5.35	3.42
2022	8.77	5.35	3.42
2023	9.05	5.41	3.65
2024	9.05	5.41	3.65
2025	9.33	5.46	3.87
2026	9.33	6.18	3.15
2027	9.62	6.24	3.38
2028	9.62	6.24	3.38

Fuente: Elaboración propia.

Liberación de recursos

Debido al proyecto, se necesitará de un menor número de camiones para realizar el servicio, por lo tanto, se liberarán recursos que podrán utilizarse para otros fines. En el cuadro 5.12 se presenta un comparativo del número de camiones que se utilizan en la situación sin proyecto y con proyecto, con el fin de determinar en qué años habrá liberación de recursos.

Cuadro 5.12 Comparativo del uso de camiones recolectores en la situación sin proyecto y con proyecto, 2009-2028

Año	Situación sin proyecto	Situación con proyecto
2009	13	7
2010	13	7
2011	14	7
2012	14	7
2013	14	7
2014	14	7
2015	14	7
2016	15	8
2017	15	8
2018	15	8
2019	15	8
2020	16	8
2021	16	8
2022	16	8
2023	16	8
2024	16	8
2025	17	9
2026	17	9
2027	17	9
2028	17	9

Fuente: Elaboración propia con base en la estimación de camiones óptimos para la situación sin proyecto y con proyecto.

Como se puede observar en el cuadro 5.12, en el primer año de operación del proyecto se dejarían de utilizar 6 camiones para proporcionar el servicio de recolección, por lo que habrá un beneficio por liberación de recursos. Asimismo, se sombrearon los años donde se incorpora una nueva unidad dependiendo de la situación analizada. Por ejemplo, en el año 2011, en la situación sin proyecto es necesario adicionar una unidad por lo que se destinarán recursos para su compra;

en el año 2016, sucede lo mismo pero ahora para ambas situaciones. Por lo tanto, comparando los años en donde se incorporan nuevas unidades, se tiene que sólo en los años 2011 y 2020, se obtienen ahorros por liberación de recursos, debido a que en la situación con proyecto no es necesario comprar una nueva unidad para realizar el servicio.

Una vez identificados y cuantificados el número de camiones que se ahorraran para ofrecer el servicio de recolección, se asignó un valor de reventa (30% de su valor de venta), para los 6 camiones que se liberaran en el año 2009, de 720 mil pesos y un valor de 400 mil pesos para los camiones que se dejan de comprar en los años 2011 y 2020. En el cuadro 5.13 se muestra un flujo de los beneficios obtenidos por la liberación de recursos.

Cuadro 5.13 Flujo de los beneficios por liberación de recursos, 2009-2028 (millones de pesos de 2008)

Año	Liberación de recursos
2009	0.72
2010	0.00
2011	0.40
2012-2019	0.00
2020	0.40
2021-2028	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en el número de camiones utilizados en la situación sin proyecto y con proyecto.

Valor de rescate

Como beneficio por valor de rescate se considera el terreno y la obra civil donde se realizó la estación de transferencia, ya que pueden venderse en el momento que termina la vida útil del proyecto, al mismo costo de oportunidad considerado, es decir, 8.5 millones de pesos. Por simplicidad, no se considera el valor de venta de los tráilers y camiones, sin embargo, debe calcularse cuando se evalúan este tipo de proyectos, tomando en cuenta su vida útil.

5.4.3 Indicadores de rentabilidad (evaluación del proyecto)

A continuación en el cuadro 5.14 se presenta el flujo de efectivo del proyecto y el cálculo de los indicadores de rentabilidad con una tasa social de descuento de 12%.

Cuadro 5.15 Flujo de efectivo y cálculo de los indicadores de rentabilidad, 2008-2028 (millones de pesos de 2008)

Año	Costo de construcción	Costo del terreno	Costo de los trailers	Costo de operación y mantenimiento	Liberación de recursos	Ahorro en Costos de traslado	Valor de rescate	Flujo neto	Flujo descontado
2008	8	0.5	2.5					-11	-11
2009				1.08	0.72	3.01		2.65	2.36
2010				1.08		3.01		1.93	1.54
2011				1.08	0.4	2.51		1.83	1.31
2012				1.08		2.51		1.43	0.91
2013				1.08		2.74		1.66	0.94
2014				1.08		2.74		1.66	0.84
2015				1.08		2.74		1.66	0.75
2016				1.08		2.97		1.89	0.76
2017				1.08		2.97		1.89	0.68
2018				1.08		3.19		2.11	0.68
2019				1.08		3.19		2.11	0.61
2020				1.08	0.4	3.42		2.74	0.70
2021				1.08		3.42		2.34	0.54
2022				1.08		3.42		2.34	0.48
2023				1.08		3.65		2.57	0.47
2024				1.08		3.65		2.57	0.42
2025				1.08		3.87		2.79	0.41
2026				1.08		3.15		2.07	0.27
2027				1.08		3.38		2.30	0.27
2028				1.08		3.38	8.50	2.30	0.24

Fuente: Elaboración propia con base en los costos y beneficios del proyecto.

Indicador	Resultado
Valor Presente Neto (millones de pesos de 2008)	4.17
Tasa Interna de Retorno	17.55%



Como se puede observar el Valor Presente Neto (VPN) asciende a 4.17 millones de pesos, lo cual significa que al realizar este proyecto el país está generando una riqueza adicional por este monto. Asimismo, se obtiene una Tasa Interna de Retorno del 17.55%, la cual es mayor que la tasa social de descuento, lo que indica que con el proyecto se obtiene una rentabilidad superior a la mínima requerida por la UISCHP.

Al igual que en proyecto de construcción de un sitio de disposición final, en el cuadro 5.16 se calcula un costo anual de largo plazo por tonelada que traslada a la estación de transferencia. El resultado que se obtiene es que este costo asciende a 65.24 pesos por tonelada.

Cuadro 5.16 Cálculo del costo por tonelada de largo plazo, 2009-2028

Año	Costo total (millones de pesos de 2008)	Flujo descontado del costo total (millones de pesos de 2008)	VP del costo total (millones de pesos de 2008)	CAE total (millones de pesos de 2008)	Generación anual de RSU a disponer (toneladas)	Costo por tonelada de RSU (pesos de 2008)	Flujo descontado de los costos por tonelada (pesos de 2008)	VP de los costos por tonelada de RSU (pesos de 2008)	Costo por tonelada de largo plazo de RSU para 2009-2028 (pesos de 2008)
2008	11.00	11.00	19.07					487.32	
2009	1.08	0.96		2.55	35863.91	71.18	63.55		65.24
2010	1.08	0.86		2.55	36403.58	70.12	55.90		65.24
2011	1.08	0.77		2.55	36951.41	69.08	49.17		65.24
2012	1.08	0.69		2.55	37507.51	68.06	43.25		65.24
2013	1.08	0.61		2.55	38071.94	67.05	38.05		65.24
2014	1.08	0.55		2.55	38644.80	66.05	33.47		65.24
2015	1.08	0.49		2.55	39226.43	65.08	29.44		65.24
2016	1.08	0.44		2.55	39816.68	64.11	25.89		65.24
2017	1.08	0.39		2.55	40415.87	63.16	22.78		65.24
2018	1.08	0.35		2.55	41024.12	62.22	20.03		65.24
2019	1.08	0.31		2.55	41641.50	61.30	17.62		65.24
2020	1.08	0.28		2.55	42268.13	60.39	15.50		65.24
2021	1.08	0.25		2.55	42904.35	59.50	13.64		65.24
2022	1.08	0.22		2.55	43550.02	58.61	11.99		65.24
2023	1.08	0.20		2.55	44205.48	57.75	10.55		65.24
2024	1.08	0.18		2.55	44870.84	56.89	9.28		65.24
2025	1.08	0.16		2.55	45546.20	56.05	8.16		65.24
2026	1.08	0.14		2.55	46231.68	55.21	7.18		65.24
2027	1.08	0.13		2.55	46927.38	54.40	6.32		65.24
2028	1.08	0.11		2.55	47633.67	53.59	5.56		65.24

Fuente: Elaboración propia.

Bibliografía

Documentos:

Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), 2006, "Evaluación social del sistema integral de residuos sólidos en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas", Julio 2006.

Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), 1996, "Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos".

"Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos", publicada en el D.O.F. el 8 de Octubre de 2003.

Ministerio de Planificación del Gobierno de Chile (MIDEPLAN), "Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables".

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial", NOM-083-SEMARNAT-2003, publicada al D.O.F. el 20 de Octubre de 2004.

Sitios Internet:

Centro de Estudios de Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP): <http://www.cepep.gob.mx/>

Consejo Nacional de Población (CONAPO): <http://www.conapo.gob.mx/>

Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES):

<http://www.eclac.cl/ilpes/>

Instituto Nacional de Información Estadística y Geográfica (INEGI):

<http://www.inegi.gob.mx/>

Ministerio de Planificación del Gobierno de Chile (MIDEPLAN):

<http://www.mideplan.cl/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT):

<http://www.semarnat.gob.mx/>