



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL  
DESARROLLO DE PROYECTOS DE DIGESTIÓN  
ANAEROBIA EN MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**MANUEL ALEJANDRO ARROYO ZAMORA**



**MÉXICO, D.F.**

**AÑO 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**                   **Profesor: Lozano Ríos Leticia**  
**VOCAL:**                         **Profesor: Rodríguez Torreblanca Joaquín**  
**SECRETARIO:**               **Profesor: Durán Moreno Alfonso**  
**1er. SUPLENTE:**           **Profesor: Basave Rivera Héctor Israel**  
**2° SUPLENTE:**              **Profesor: De Anda Aguilar Oscar**

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**TORRE DE INGENIERÍA, TERCER PISO ALA SUR, UNAM**

## **ASESOR DEL TEMA:**

Dr. Alfonso Durán Moreno \_\_\_\_\_

## **SUSTENTANTE:**

Manuel Alejandro Arroyo Zamora \_\_\_\_\_

# Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Problemática .....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivo.....	3
1.4	Objetivos específicos .....	3
1.5	Alcances .....	4
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	4
2.1	Residuos.....	4
2.1.1	Residuos Sólidos Urbanos .....	5
2.1.2	Situación de los RSU en México.....	5
2.1.3	Manejo y Gestión Integral de RSU .....	7
2.1.4	Composición de los RSU.....	9
2.1.5	Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.....	10
2.1.6	Problemáticas derivadas de los residuos .....	11
2.1.7	Normativa.....	13
2.2	Digestión anaerobia.....	15
2.2.1	Sistemas de Digestión Anaerobia .....	17
2.2.2	Desarrollo de instalaciones de DA .....	20
2.2.3	Tecnologías de DA más usadas en el mundo.....	22
2.2.4	Producción y aprovechamiento de Biogás .....	23
2.2.4.1	Equivalencia energética del biogás .....	26
2.2.5	Producción de digestato.....	27
2.2.5.1	Aplicaciones del digestato .....	27
2.3	Estrategias.....	28
2.3.1	Declaraciones estratégicas .....	30
2.3.2	Líneas estratégicas.....	31
2.4	Proyectos de inversión.....	32
2.4.1	Concepto de proyecto.....	32
2.4.2	Proyecto de inversión .....	33
2.4.2.1	Clasificación de proyectos de inversión .....	34
2.4.3	Formulación de Proyecto de Inversión .....	35

2.4.3.1	Estudio de gran visión .....	35
2.4.3.2	Estudio de Pre-factibilidad.....	36
2.4.3.3	Estudio de factibilidad .....	38
2.4.3.4	Proyecto .....	38
2.4.3.5	Realización del proyecto .....	38
2.4.4	Planeación y evaluación de Proyectos de Inversión .....	39
2.4.4.1	Preparación de Proyectos de Inversión.....	39
2.4.4.2	Evaluación del Proyecto .....	43
2.4.4.3	Dirección de proyectos y Sistemas de gestión de proyectos.....	45
2.4.4.4	Financiamiento .....	48
2.4.4.5	Ciclo de inversiones.....	50
2.4.4.6	Asociaciones Público Privadas .....	53
3	METODOLOGÍA .....	54
4	DESARROLLO.....	55
4.1	Análisis de la situación que enfrentan los proyectos de DA en México .....	55
4.1.1	Situación en México, aspectos económicos, técnicos, normativos, financieros, sociales y políticos.....	55
4.1.2	Características de las instalaciones de DA.....	57
4.2	Identificación de barreras que impiden el desarrollo de proyectos de DA en México . .....	58
4.2.1	Barrera económica.....	58
4.2.2	Barrera técnica.....	59
4.2.3	Barrera financiera .....	59
4.2.4	Barreras sociales.....	60
4.2.5	Barrera normativa.....	60
4.2.6	Barreras cruzadas.....	61
4.2.7	Oportunidades .....	62
4.2.7.1	Oportunidades normativas y políticas .....	62
4.2.7.2	Oportunidades de financiamiento .....	63
4.2.7.3	Oportunidades de negocio .....	64
4.3	Establecimiento de alternativas .....	64
4.3.1	Modelo de Negocio integral.....	65
4.3.2	Obtención de recursos a través de programas de financiamiento nacionales o internacionales .....	66

4.3.2.1	Financiamiento a través de instituciones nacionales.....	67
4.3.2.2	Financiamiento a través de instituciones financieras internacionales .....	70
4.3.3	Implementación de políticas a seguir que, buscando una mejor condición ambiental, generen condiciones que propicien el desarrollo de proyectos de plantas de DA.....	73
4.4	Propuesta de estrategia .....	75
4.4.1	Objetivo .....	77
4.4.2	Declaraciones estratégicas .....	78
4.4.2.1	Consideraciones en la Misión .....	78
4.4.2.2	Consideraciones en la Visión .....	79
4.4.2.3	Valores.....	81
4.4.3	Objetivos estratégicos.....	81
4.4.3.1	Líneas estratégicas .....	82
5	RESULTADOS .....	84
5.1	Implementación metodológica de la estrategia propuesta .....	84
5.1.1	Definición del caso de negocio .....	85
5.1.2	Definición de las características de interés del proyecto.....	85
5.1.3	Selección de la tecnología de DA apropiada .....	86
5.1.4	Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras técnicas....	86
5.1.5	Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras económicas y financieras .....	87
5.1.6	Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras sociales ....	87
5.1.7	Establecimiento del modelo de Proyecto .....	88
5.1.8	Establecimiento de las acciones políticas en torno al desarrollo del proyecto.....	88
5.2	Beneficios de la implementación de proyectos de plantas de DA .....	89
5.3	Propuesta de políticas y acciones asociadas a favorecer el desarrollo de proyectos de plantas de DA.....	90
5.3.1	Políticas de Impulso a la generación y empleo de energía eléctrica proveniente de energías renovables.....	91
5.3.2	Políticas que buscan Impulsar tratamientos de residuos para su aprovechamiento energético y económico.....	91
5.3.3	Políticas enfocadas a mejorar las condiciones de financiamiento de proyectos de DA .....	92
5.3.4	Políticas enfocadas a disminuir el vertido de residuos y cambio de uso de suelo ...	92

5.3.5	Políticas que impulsen la separación de los residuos en origen y recolección selectiva.....	92
5.3.6	Políticas enfocadas a la reducción de emisión de contaminantes .....	93
5.4	Alternativas de financiamiento de proyectos de plantas de DA .....	93
5.4.1	Fondos y programas de financiamiento de instituciones nacionales .....	93
5.4.2	Fondos y programas de financiamiento de instituciones internacionales.....	94
5.5	Opciones de comercialización y aprovechamiento de productos de los proyectos de plantas de DA .....	96
5.5.1	Opciones de aprovechamiento del biogás .....	96
5.5.2	Opciones de aprovechamiento del digestato.....	97
6	CONCLUSIONES.....	98
7	BIBLIOGRAFÍA.....	100
8	ANEXOS.....	108
8.1	Fases de la DA.....	108
8.2	Parámetros que afectan al proceso de DA.....	110
8.3	Características del digestato .....	111
8.4	Indicadores de rentabilidad .....	112
8.4.1	Valor Presente Neto (VPN).....	112
8.4.2	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	113
8.4.3	Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI).....	114
8.4.4	Costo Anual Equivalente (CAE) .....	115
8.5	Evaluaciones socioeconómicas.....	116
8.5.1	Ficha Técnica .....	116
8.5.2	Análisis Costo-Beneficio y Análisis Costo-Beneficio Simplificado.....	116
8.5.3	Análisis Costo-Eficiencia Simplificado y Análisis Costo-Eficiencia.....	117
8.6	Modalidades de participación privada.....	118
8.7	Políticas y planes Internacionales respecto al desarrollo de la DA y aprovechamiento del biogás .....	118
8.7.1	Alemania.....	118
8.7.2	Reino Unido .....	119
8.7.3	Dinamarca .....	120
8.7.4	Italia .....	121
8.7.5	España .....	121

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Generación anual de RSU por región.....	6
<b>Tabla 2.</b>	Número y capacidad total instalada de plantas de DA que dan tratamiento a FORSU en Europa. ....	22
<b>Tabla 3.</b>	Número de plantas de DA y capacidad anual total instalada por tecnólogo .....	23
<b>Tabla 4.</b>	Condiciones técnicas y económicas de las plantas de DA Seca por tecnólogo .....	26
<b>Tabla 5.</b>	Condiciones técnicas y económicas de las plantas de DA Húmeda por tecnólogo ...	26
<b>Tabla 6.</b>	Aspectos técnicos y económicos de las tecnologías de DA.....	58
<b>Tabla 7.</b>	Propuesta de políticas para mejora las condiciones de desarrollo de proyectos de DA. ....	74
<b>Tabla 8.</b>	Propuesta de elementos para conformar la declaración de visión de proyectos de DA. ....	80
<b>Tabla 9.</b>	Líneas estratégicas y acciones específicas para el desarrollo de proyectos de plantas de DA en México.....	82
<b>Tabla 10.</b>	Características de digestato típico.....	111
<b>Tabla 11.</b>	Características principales de las modalidades de participación de capital privado en las inversiones de infraestructura. ....	118



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Volúmenes y porcentajes de residuos sólidos urbanos generados en 2012 en las diferentes regiones que conforman la República Mexicana. ....	6
<b>Figura 2.</b>	Etapas que componen el manejo actual de los RSU en México.....	8
<b>Figura 3.</b>	Composición de los RSU generados en la República Mexicana en el año 2011.....	10
<b>Figura 4.</b>	Incremento de la capacidad de tratamiento de residuos instalada por tecnología de DA en Europa. ....	18
<b>Figura 5.</b>	Incremento de la capacidad instalada en sistemas de DA de una etapa en Europa. ...	19
<b>Figura 6.</b>	Requerimiento de refinación del biogás de acuerdo a su uso. ....	25
<b>Figura 7.</b>	Esquema general de la conformación de las estrategias. ....	31
<b>Figura 8.</b>	Relación entre el nivel de incertidumbre y la profundidad de las evaluaciones.....	45
<b>Figura 9.</b>	Metodología empleada para la realización de la tesis.....	55
<b>Figura 10.</b>	Relación entre las barreras que impiden el desarrollo de proyectos de plantas de DA.....	62
<b>Figura 11.</b>	Modelo de negocio general propuesto para proyectos de plantas de tratamiento de FORSU mediante DA. ....	66
<b>Figura 12.</b>	Esquema de la metodología para la implementación de la estrategia.....	89
<b>Figura 13.</b>	Fases de la DA.....	109

# 1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo está dedicado a establecer estrategias que guíen el desarrollo de la formulación de proyectos de plantas de Digestión Anaerobia para tratar la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) que sean factibles de implementar en entidades federativas de la República Mexicana. Estos proyectos pretenden dar solución, o bien, mitigar, las diferentes problemáticas ambientales que se derivan del manejo inadecuado de residuos sólidos orgánicos; así como también, plantear alternativas para el aprovechamiento económico y energético de los productos obtenidos de dicho tratamiento.

## 1.1 Problemática

Actualmente, la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema a resolver que se encuentra presente en diversas poblaciones urbanas de México debido a las grandes cantidades en que se producen. Su mal manejo implica efectos potencialmente nocivos en el ambiente y en la salud de los habitantes, así como también conlleva a destinar una gran cantidad de recursos económicos para su disposición final.

Los proyectos de plantas Digestión Anaerobia (DA) representan una solución a diversos problemas ambientales derivados de la generación y el mal manejo de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), sin embargo se trata de una tecnología con gran retraso en México que requiere grandes inversiones por lo que al evaluar los proyectos de plantas de DA como proyectos de inversión convencionales no resultan económicamente viables. La escasa experiencia y conocimiento de su puesta en práctica, las disposiciones normativas y legales que carecen de sustento, impulso y planificación ambiental generan una situación de completa desventaja para el desarrollo de proyectos de plantas de DA para tratamiento de FORSU en lo que respecta a los aspectos técnicos, sociales, económicos, financieros y políticos.

## 1.2 Justificación

Llevar a cabo proyectos de plantas de DA para tratamiento de la FORSU es una opción para combatir los problemas derivados de la generación y mal manejo de los residuos sólidos urbanos actuales. Sin embargo, la implementación de proyectos de este tipo implica un gran reto a resolver pues para su desarrollo existen barreras a superar que abarcan aspectos sociales, normativos, políticos, económicos, financieros y fiscales, principalmente. Además requieren de una gran inversión y se debe recurrir a la posibilidad de acceder a financiamientos para poder ser llevados a cabo. Es necesario desarrollar estrategias que permitan el desarrollo de este tipo de proyectos aprovechando los beneficios que ofrece y superando las barreras para su desarrollo.

A diferencia de la mayoría de los proyectos de inversión de ingeniería convencionales, que parten de la identificación de una oportunidad de negocio, un proyecto de una planta de DA para tratar la FORSU parte de una motivación ambiental. En este tipo de proyectos que buscan implementar plantas de DA para el tratamiento de FORSU, se tiene por objetivo dar solución y/o mitigar las problemáticas ambientales derivadas de la alta generación, mal manejo y disposición final de RSU; sin embargo el tratamiento de residuos orgánicos con esta tecnología permite cubrir objetivos como:

- Producir energía renovable (electricidad o calor).
- Evitar emisiones de efecto invernadero y lluvia ácida.
- Producir compuestos económicamente valorizables.
- Contribuir a generar productos de mejoramiento de suelo.

Por lo que el tratamiento de residuos con DA puede suponer una actividad de importancia estratégica, lo que conlleva a que el planteamiento de proyectos de plantas de DA sea bajo un esquema de estrategia y oportunidad.

En México, las políticas, leyes y planes de desarrollo presentan en general una postura de apoyo e impulso hacia proyectos que busquen y planteen beneficios ambientales; sin embargo, no se cuenta con una política nacional orientada a cambiar patrones de consumo y conducir a la propuesta del esquema de las “3 R”: reducir, reusar y reciclar, considerando con ello los principios del desarrollo sustentable así como los compromisos internacionales que en la materia han sido suscritos por México.

Respecto al tratamiento de FORSU mediante DA, existe una situación desfavorable debido a que se trata de una tecnología con total rezago en México y no se cuenta con las consideraciones y políticas específicas que faciliten el desarrollo de proyectos de plantas de DA. Resulta necesario elaborar políticas e instrumentos de estrategia que permitan el desarrollo de proyectos que contemplen la tecnología de DA para el tratamiento de residuos.

### **1.3 Objetivo**

Generar una propuesta metodológica de estrategias que guíen las fases de desarrollo de proyectos de plantas de Digestión Anaerobia, estableciendo objetivos y planes de acción a fin de establecer rutas a seguir que permitan implementar proyectos de Digestión Anaerobia en México.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Establecer los beneficios de la implementación de proyectos de plantas de DA.
- Generar una propuesta de políticas y acciones que favorezcan el desarrollo de proyectos de plantas de DA para FORSU en México.
- Investigar alternativas de financiamiento para proyectos de plantas de Digestión Anaerobia.
- Proponer opciones de comercialización y aprovechamiento de los productos de la DA con la finalidad de incrementar la rentabilidad a los proyectos de plantas de DA.

## 1.5 Alcances

Generar una guía que establezca los criterios y acciones necesarios para implementar proyectos de plantas de DA para tratamiento de FORSU en zonas urbanas de México, estableciendo elementos de las fases de formulación y planeación que planteen acciones estratégicas y propuestas políticas que permitan elevar su factibilidad.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Residuos

La intensificación de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes. A la par crecieron la generación de residuos de distintos tipos y los problemas asociados para su disposición adecuada, así como las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas.

Los residuos están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso contenido en recipientes o depósitos y que pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (LGPGIR, 2012).

En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP), (SEMARNAT, 2013). El principal objetivo de la clasificación de los residuos es dar a conocer a los generadores el estado físico, las propiedades y las características inherentes de los residuos, la clasificación se lleva a cabo atendiendo a dichos aspectos, para que en función de sus volúmenes, formas de manejo y concentración, anticipen su comportamiento en el ambiente, la

probabilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud y/o al ambiente.

### **2.1.1 Residuos Sólidos Urbanos**

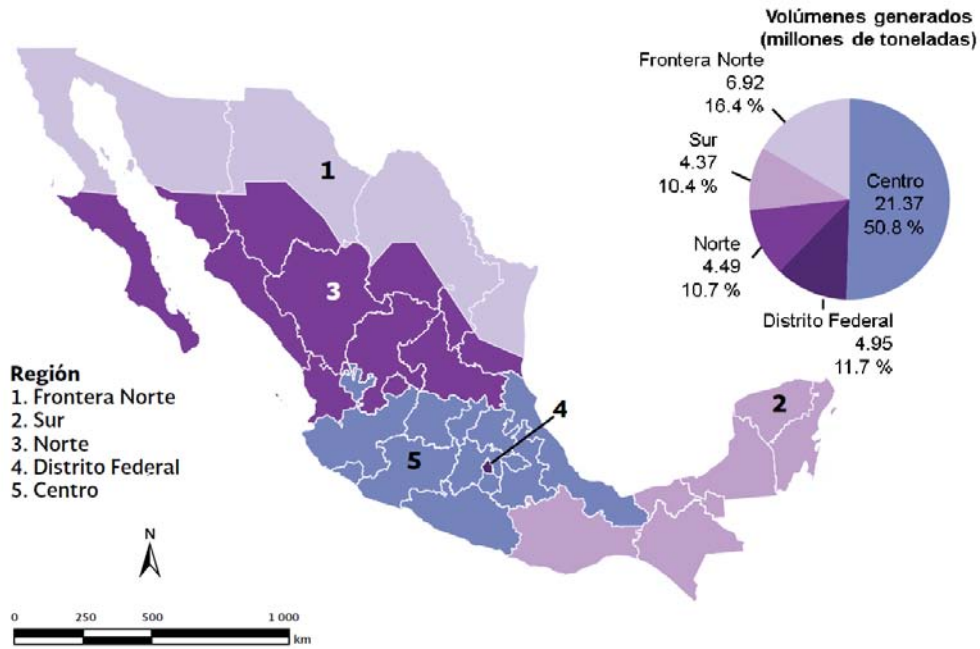
Los RSU son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (LGPGIR, 2012).

### **2.1.2 Situación de los RSU en México**

La generación de RSU en México se ha incrementado notablemente en los últimos años; tan sólo entre 2001 y 2012 creció 33%, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, el gasto de la población, la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento del consumo, falta de acciones de reciclaje, entre otras.

Las cifras sobre la generación de RSU a nivel nacional que se han reportado en los últimos años presentan limitaciones importantes, básicamente porque no se trata de mediciones directas, sino de estimaciones. Son calculadas por la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) conforme a lo establecido en la norma NMX-AA-61-1985 sobre la Determinación de la Generación de Residuos Sólidos. Según dicha dependencia, en 2012 se generaron alrededor de 42 millones de toneladas, lo que equivale a cerca de 115.5 mil toneladas de RSU diariamente.

La generación total de RSU en el país difiere de manera importante a nivel geográfico. Si se considera la regionalización de la Sedesol para el análisis de la generación de residuos, en 2012 la región Centro contribuyó con el 51% de la generación total en el país, seguida por la región Frontera Norte (16.4%) y el Distrito Federal (12 %). En la Figura 1 se pueden observar los volúmenes generados en las diferentes regiones de la República Mexicana (SEMARNAT, 2013; INECC, SEMARNAT, 2012).



**Figura 1.** Volúmenes y porcentajes de residuos sólidos urbanos generados en 2012 en las diferentes regiones que conforman la República Mexicana (SEDESOL, 2013).

Si se analiza la evolución de la generación de RSU por región, que se muestra en la Tabla 1, las regiones que más incrementaron su generación entre 2001 y 2012 fueron: Frontera Norte (168.27%), Centro (35.33%), Sur (42.23%) y el Distrito Federal (13.76%). La única región que mostró una reducción en ese periodo fue la Norte (21.10%), que pasó de 6 a 4.4 millones de toneladas en el mismo periodo.

**Tabla 1.** Generación anual de RSU por región, (SEDESOL, 2013).

Región	Generación anual (millones de toneladas)												% de incremento
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Centro	15.79	16.18	16.58	17.36	17.80	18.17	18.55	18.90	19.27	20.27	20.79	21.37	35.33
Distrito Federal	4.35	4.35	4.38	4.50	4.56	4.60	4.70	4.75	4.78	4.84	4.89	4.95	13.76
Norte	5.69	5.80	5.92	6.33	3.91	3.99	4.05	3.93	4.01	4.26	4.38	4.49	-21.10
Sur	3.07	3.16	3.24	3.45	3.53	3.62	3.70	3.79	3.87	4.12	4.25	4.37	42.23
Frontera Norte	2.58	2.68	2.79	2.97	5.59	5.76	5.91	6.23	6.40	6.57	6.75	6.92	168.27
Total	31.49	32.17	32.92	34.60	35.41	36.14	36.87	37.60	38.33	40.06	41.06	42.10	33.71

### 2.1.3 Manejo y Gestión Integral de RSU

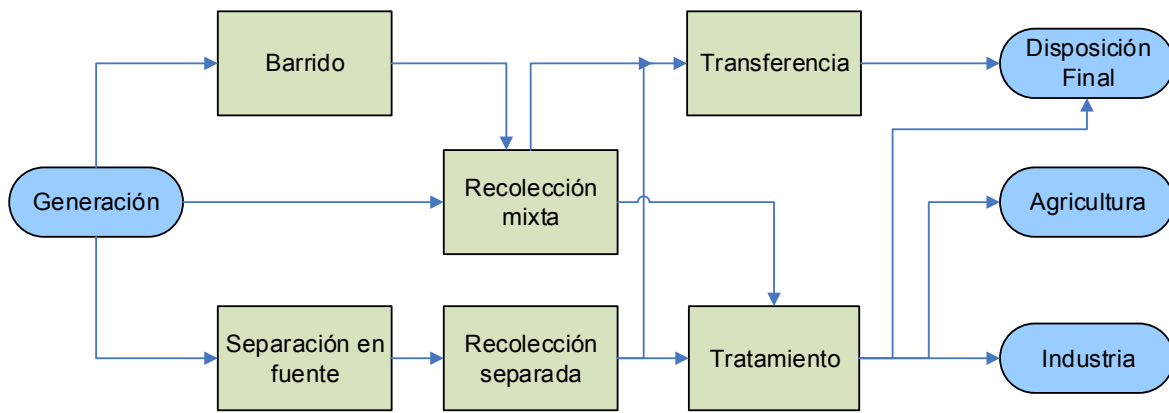
La LGPGIR define la Gestión Integral de Residuos como el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Define, también, el manejo integral de residuos como las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (LGPGIR, 2012).

El manejo adecuado de los RSU reduce la exposición de la población a lesiones, molestias y enfermedades debidas al contacto con los residuos y tiene como objetivo final evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Sin embargo, la situación del manejo de estos residuos dista mucho de ser la adecuada a lo largo del país.

El manejo actual de los RSU se pueden dividir en diferentes etapas; en la Figura 2 se esquematizan las etapas que siguen los RSU desde su generación hasta su disposición final, su recirculación en la industria o su aprovechamiento como productos para la agricultura. Después de la generación, los RSU son transportados a estaciones de transferencia en las que pueden ser sometidos a un tratamiento donde se pueden recuperar materiales útiles para la industria así como obtener productos útiles para agricultura (Centro de investigación y Docencia Económicas, División de Administración Pública, 2012).





**Figura 2.** Etapas que componen el manejo actual de los RSU en México (Centro de investigación y Docencia Económicas, División de Administración Pública, 2012)

El tratamiento de los RSU abarca la transformación física, química, térmica o biológica de los mismos, estas transformaciones sirven para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de la gestión de RSU, para recuperar materiales reutilizables y reciclables, además de la recuperación de productos de conversión (composta), y energía en forma de calor, entre otros (Jiménez Ocampo, 2011).

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan estabilizarlos e inertizarlos para evitar afectaciones nocivas a la salud de la población y a los ecosistemas.

Los RSU que son llevados a disposición final son aquellos que ya no pueden ser reciclados y no tienen ningún uso adicional, por lo cual es la forma menos deseada de tratar los RSU (Jiménez Ocampo, 2011).

En México, el porcentaje de reciclaje de RSU es muy bajo, menor al 4 % y para la estabilización de la fracción orgánica sólo se trata el 2 % a partir del composteo, por lo que tecnologías de tratamiento, que aprovechen los residuos, como la digestión anaerobia se encuentran en total rezago (Cárdenas Guzman, 2011).

La principal estrategia para el manejo adecuado de los RSU ha sido disponerlos en rellenos sanitarios: entre 1995 y 2012 pasaron de 30 a 260 rellenos.

Los avances en materia de rellenos sanitarios han ocurrido principalmente en las grandes ciudades: en 2011 el 90% de las zonas metropolitanas disponían adecuadamente sus residuos, en contraste con el 13% de las localidades rurales o semiurbanas que lo lograban (SEDESOL, 2013).

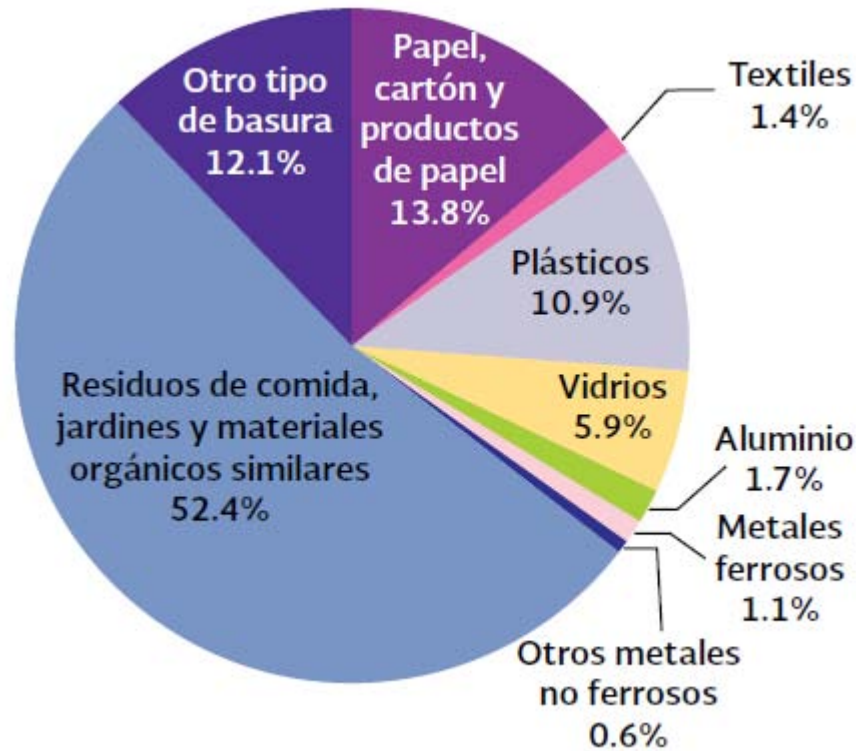
El manejo adecuado de los residuos todavía presenta un rezago importante; según el INEGI, el costo económico asociado a la degradación ambiental por el manejo de los residuos en 2011 fue de 48,148 millones de pesos, es decir, 0.3% del PIB para ese año (INEGI, 2013).

El manejo y la disposición de los residuos se ven ampliamente afectados por diversos hechos entre los que destaca el que no existe en la sociedad una cultura de separación de los residuos en sus fracciones orgánica e inorgánica, que empiece desde los hogares y lugares donde son producidos. La falta de cultura cívica y de respeto y cuidado al ambiente dan lugar a que las personas tiren los residuos en las calles provocando diversas afectaciones y contaminación. Otro hecho que impacta en el manejo y disposición de residuos es que, comúnmente, el servicio de recolección de basura prestado por los gobiernos llega a ser insuficiente por lo que los residuos son abandonados en lugares que no son adecuados o son dispuestos en sitios no controlados.

Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas para la salud de las personas y de los ecosistemas naturales, como ya se mencionó.

#### **2.1.4 Composición de los RSU**

La composición de los RSU es muy variada, tanto en México como en todo el mundo, y depende principalmente de las condiciones climáticas, el ingreso per cápita, las costumbres y el grado de urbanización de la comunidad que genera los residuos pero generalmente en la mayoría de los casos de los RSU generados se componen de textiles, plástico, aluminio, metales ferrosos, papel, cartón y productos de papel y de residuos orgánicos. En la Figura 3 se puede observar la composición de los RSU en México en el año 2011.



**Figura 3.** Composición de los RSU generados en la República Mexicana en el año 2011 (SEDESOL, 2013).

### 2.1.5 Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

La Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) se compone de aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría se pueden degradar rápidamente transformándose en otro tipo de materia orgánica; se componen principalmente por residuos alimenticios, de jardinería y parques, mercados e industrias de alimentos principalmente. Cabe aclarar que los residuos orgánicos comprenden también residuos de madera y cartón, por lo tanto se cuenta con dos fracciones de residuos orgánicos:

- Fracción orgánica digestible: materia orgánica fácilmente degradable, por ejemplo: residuos de alimentos y de jardín.
- Fracción orgánica combustible: materia orgánica con digestión lenta y aquella que no es digestible, por ejemplo: madera, papel, cartón; por

estas características esta fracción es susceptible de valoración en tratamientos de reciclaje y no se considera dentro de la FORSU (Martínez Cervantes, 2014).

La FORSU representa cerca del 50 % de la generación total de los residuos a nivel nacional, como se puede observar en la Figura 3, debido a esta gran cantidad de generación, la baja disponibilidad de terrenos para depositarlos y el rechazo social a los mismos (rellenos sanitarios), alrededor del mundo se han desarrollado técnicas de tratamiento a los que se someten teniendo como objetivo reducir su volumen, potencial contaminante y peligrosidad antes de ser llevados a la disposición final (Jiménez Albarrán, 2013).

Los tratamientos a los que puede ser sometida la FORSU son compostaje, digestión anaerobia y tratamientos mecánico-biológicos principalmente.

#### **2.1.6 Problemáticas derivadas de los residuos**

Uno de los efectos más evidentes del manejo inadecuado y disposición de los RSU es el deterioro estético de las ciudades y del paisaje natural, con la consecuente devaluación de los predios donde se localizan los tiraderos como de las zonas aledañas por el abandono, la acumulación de basura y los olores desagradables que se generan, siendo uno de los efectos fácilmente observados por la población, sin embargo existen otros efectos que representan problemáticas ambientales ocasionadas por motivo de:

- Volumen de vertedero, superficie de suelo y cambio de uso de suelo necesario para establecer los residuos.
- Generación y emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero: la descomposición de los residuos orgánicos produce gases que resultan indeseables no sólo por los olores que generan, sino que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o por su explosividad. Algunos de ellos son también gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global.

- Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades: los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tífus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras.
- Contaminación de los suelos y cuerpos de agua: la descomposición de los residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados, es decir, líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.

Así como problemáticas ambientales, también se presentan impactos a la salud derivados del manejo y disposición final de RSU, que se pueden clasificar en directos e indirectos.

Los impactos directos a la salud, principalmente presentados en recolectores y segregadores son los siguientes:

- Enfermedades infecciosas intestinales: parásitos intestinales,
- Enfermedades respiratorias,
- Enfermedades de la piel,
- Lesiones: en manos, pies, espalda, hernias, etc.,
- Enfermedades transmitidas por distintos vectores (moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, etc.).

Los impactos indirectos a la salud, que se dan a la población en general, se clasifican por el vector del que se transmiten y son los siguientes:

- Mosca común: tifoidea, salmonelosis, disenterías y diarrea infantil, principalmente.
- Mosquitos: malaria, fiebre amarilla, dengue, encefalitis viral.
- Cucaracha: tifoidea, gastroenteritis, infecciones intestinales, disenterías, lepra, intoxicación alimentaria, cólera.
- Ratas: peste bubónica, tifo murino, eptospirosis, fiebre de Harverhill, rickettsiosis vesiculosa, enfermedades diarreicas, disentería, malaria.

### 2.1.7 Normativa

El marco jurídico actual incluye la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), tres Leyes Federales, los Códigos Civil y Penal Federales, las Leyes Orgánicas de la Administración Pública Municipal de cada estado de la República Mexicana, las Leyes Ambientales de cada estado de la República, cuatro Reglamentos de orden Federal, y un importante número de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) en el ámbito de los residuos y emitidas por diversas dependencias del Gobierno Federal, principalmente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (SEMARNAT, 2012).

Para reforzar la legislación sobre residuos, la CPEUM se apoya en leyes como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Estas leyes son reglamentarias de las disposiciones de la CPEUM que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al medio ambiente y a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, respectivamente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Ambas forman parte de un conjunto de normas jurídicas, disposiciones y declaraciones del derecho público y tienen por objeto regular el impacto de la acción

del ser humano sobre el entorno ecológico, con el objeto de asegurar la satisfacción de las necesidades del colectivo social en la perspectiva intergeneracional tomando como punto de partida la calidad de vida.

En la LGPGIR se define qué son los residuos y cómo deben ser gestionados, así como las dependencias del gobierno, responsables de los residuos generados en toda la república y de la importación de residuos foráneos, se describen planes de manejo para la prevención y gestión integral de los residuos, se habla de las sanciones a las que se harán acreedores aquellos que violen las normas estipuladas en esta ley y se promueve la investigación, desarrollo y aplicación de tecnología que reduzcan, minimicen o eliminen la emisión de contaminantes provenientes de la gestión integral de los residuos; así también habla de promover la participación de organizaciones sociales, públicas y privadas, entre otras, en la gestión de residuos sólidos. Esta ley se aplica en toda la extensión del territorio mexicano, sin embargo, la situación de los residuos varía regionalmente y se ha necesitado generar leyes que se aplican localmente en cada estado de la república.

Los artículos 4, 25, 27, 73 y 115 de la CPEUM son la base de los lineamientos para la protección del ambiente en particular, abordan los temas de protección a la salud, cuidado del medio ambiente, conservación de los recursos naturales, prevención y control de la contaminación, elaboración de reglamentos del servicio de limpia pública y transporte de los residuos sólidos (Martínez Cervantes, 2014; Vargas Hernández, 2003).

La responsabilidad de un adecuado manejo de los RSU de acuerdo al artículo 115 Constitucional, recae en los municipios, debiendo éstos de proporcionar los servicios de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos sólidos; sin embargo, prestar dichos servicios cumpliendo con la norma correspondiente, conlleva costos demasiado altos que en las condiciones económicas actuales son difíciles de solventar.

En este sentido los municipios deben cumplir con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los RSU y la Norma Oficial Mexicana NOM-083-

SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y Residuos de Manejo Especial (RME).

## 2.2 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en una mezcla de productos gaseosos o "biogás", formado por gases como metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principalmente, y en digestato, que es una mezcla orgánica con alto contenido de minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación. Se produce naturalmente en nichos anaeróbicos tales como pantanos, sedimentos, los humedales y el tracto digestivo de los rumiantes y ciertas especies de insectos. La DA es también el principal proceso de descomposición que ocurre en rellenos sanitarios, las fases de su proceso se muestran en el anexo 8.1 (IDAE, 2007).

La materia orgánica susceptible del proceso de DA incluye una gran variedad de residuos siendo los principales residuos agrícolas, ganaderos y de granjas, lodos de depuradora, residuos de matadero, pesqueros y la FORSU. Para el tratamiento de la FORSU es necesario conocer su composición fisicoquímica y determinar su grado de biodegradabilidad; los parámetros que afectan la DA se explican en el anexo 8.2

La aplicación del proceso de DA para tratamiento de residuos es usada en diferentes regiones del mundo como un tratamiento de residuos para disminuir el volumen de residuos destinados a los rellenos sanitarios y estabilizar la materia orgánica antes de su disposición final buscando evitar y mitigar futuros impactos al ambiente como los que se mencionan a continuación (Rapport J. Z., 2008; Agencia Andaluza de la Energía, 2011) :



- Lixiviados producidos por la fermentación de los residuos, que contaminan los acuíferos y cauces cercanos a los núcleos de almacenaje de los residuos,
- Volumen de vertedero (y superficie de suelo) necesario para establecer los residuos,
- Emisiones a la atmósfera por parte de las reacciones naturales que se producen por la fermentación de los residuos,
- Molestias a la población (olores).

Pero, además de evitar estos efectos, se ha planteado realizar un aprovechamiento de los residuos producidos como la reducción de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), no sólo por la mencionada disminución de las emisiones de gases de fermentación, sino también por el aprovechamiento de fuentes energéticas diferentes a las derivadas de combustibles fósiles. Así pues, la DA presenta una alternativa sustentable para generar energía si el biogás se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil, aprovechando un recurso que, de otro modo, se perdería, reduciendo así, emisiones de GEIs producidas por los efectos fermentativos, emisiones de GEIs generadas de la quema de combustibles fósiles y el impacto ambiental derivado de los olores de los residuos (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

La composición del biogás producto de la DA depende fundamentalmente de las características del sustrato digerido en el proceso, sin embargo, su concentración de metano (CH<sub>4</sub>) suele ser de 50-70%. Tal contenido de metano le confiere una capacidad de producir energía algo mayor que la mitad de la capacidad del gas natural (97% de CH<sub>4</sub>) (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2010).

La Digestión Anaerobia es una tecnología flexible, y las plantas e instalaciones que la implementan pueden ser construidas en una gran variedad de escalas, desde grandes plantas para tratar aguas residuales y residuos municipales hasta pequeñas plantas para granjas y comunidades pequeñas.

### 2.2.1 Sistemas de Digestión Anaerobia

Los sistemas de Digestión Anaerobia que son empleados en distintas tecnologías se pueden clasificar dependiendo de las características de su proceso, entre las que destacan el número de etapas, temperatura del proceso, contenido de sólidos y tipo de alimentación; excluyendo a la temperatura, la clasificación de las tecnologías más comunes es la siguiente (Arsova, 2010; Pöschl, Ward, & Owende, 2010):

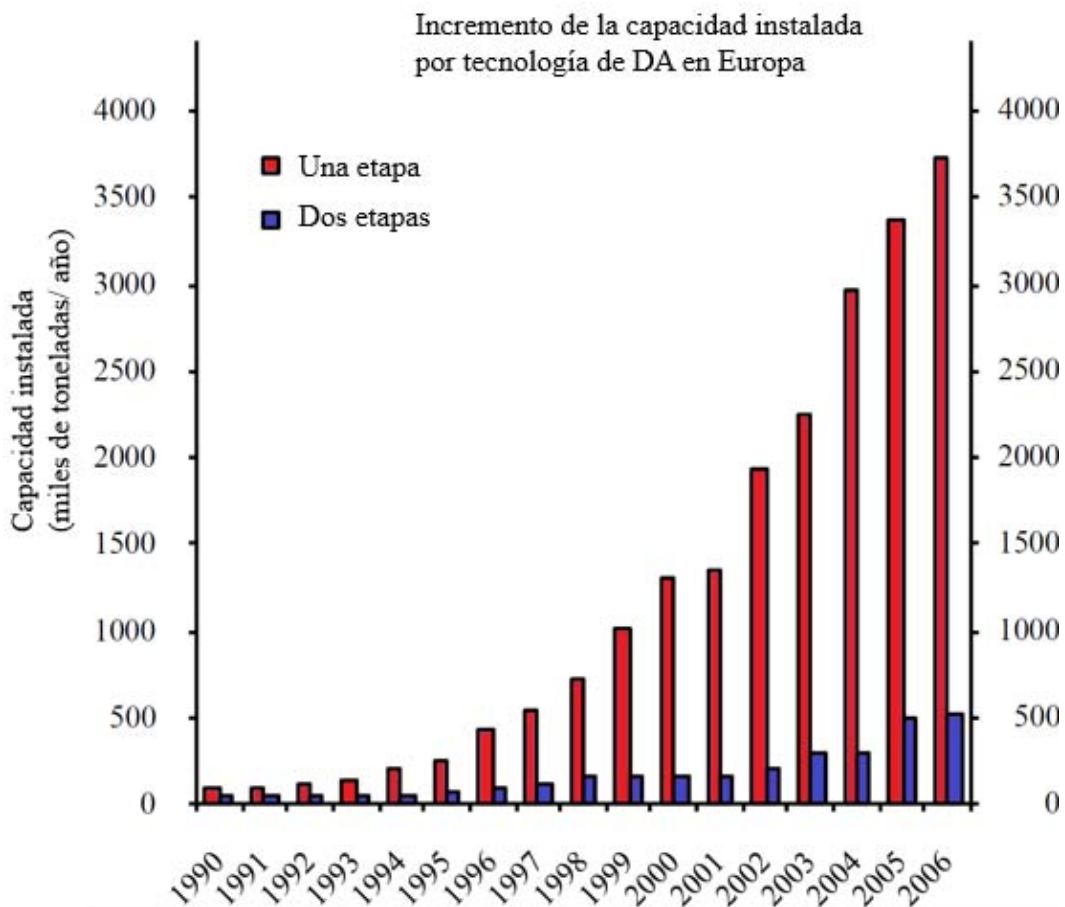
- Sistemas continuos de una etapa:
  - Contenido bajo en sólidos o “húmeda”,
  - Contenido alto en sólidos o “seca”.
- Sistemas continuos de dos etapas:
  - Seca-húmeda,
  - Húmeda-húmeda.
- Sistemas discontinuos:
  - Una etapa,
  - Dos etapas.

El esquema de clasificación para el contenido de sólidos totales de la alimentación es usualmente descrito como alto contenido (>15 – 20 %) o bajo contenido (<15 %) de sólidos. Los sistemas de alto contenido en sólidos también se llaman sistemas secos y los sistemas de bajo contenido de sólidos pueden ser referidos como húmedos.

Los sistemas de una etapa son por lo general diseños más simples, de fácil construcción y operación así como de menor costo, sin embargo su capacidad de carga orgánica se ve limitada por la tolerancia a los cambios de pH que tengan los microorganismos metanogénicos. Los sistemas de dos etapas separan las fases de

la DA, lo que permite mayores cargas pero requiere mayor número de reactores y de sistemas de manejo.

En Europa, cerca del 90% de los sistemas de DA son de una etapa y aproximadamente el 10% son sistemas de dos etapas (Arsova, 2010; Municipal Waste Integration Network, 2006). En la Figura 4 se muestra una gráfica que presenta el incremento de la capacidad instalada por plantas de DA con sistemas de una y dos etapas.

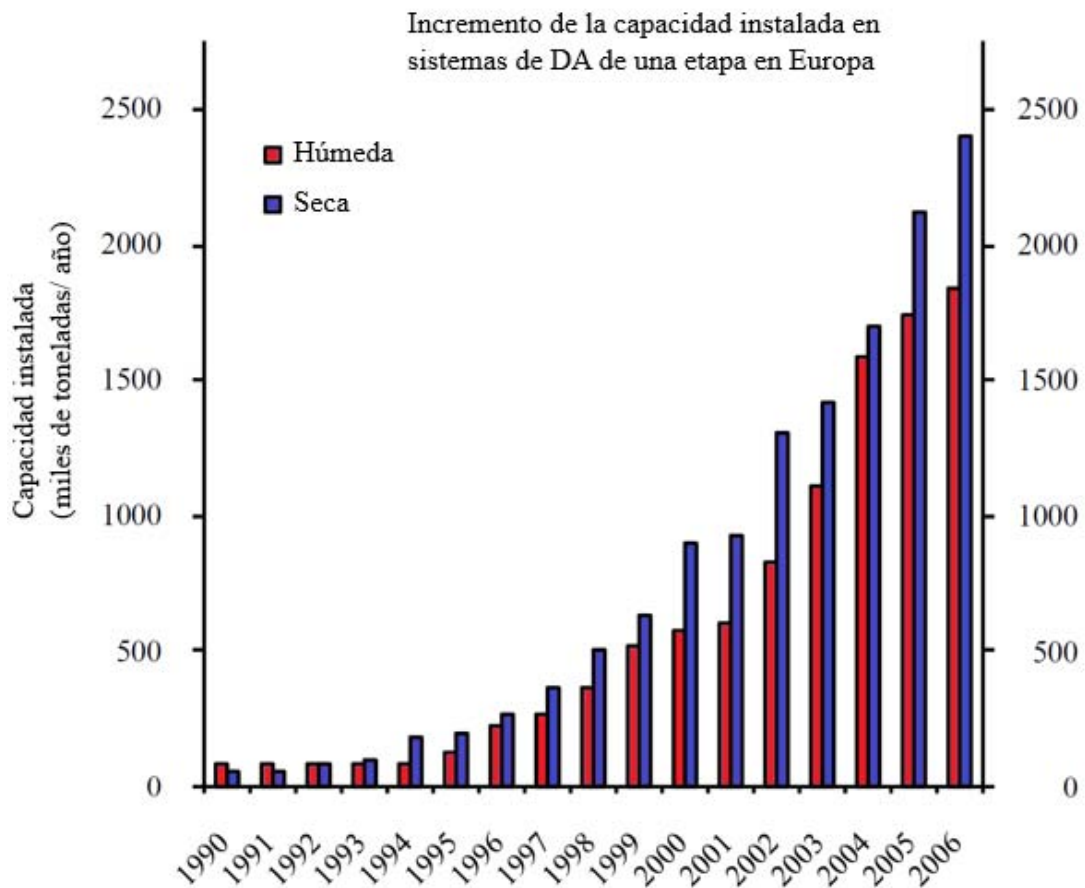


**Figura 4.** Incremento de la capacidad de tratamiento de residuos instalada por tecnología de DA en Europa (Arsova, 2010; Rapport, Zhang, Jenkins, & Williams, 2008).

Antes de que la DA fuera empleada para tratar FORSU se empleaban sistemas de digestión húmeda de una etapa para tratar residuos de agricultura y aguas residuales por lo que en un principio se buscó implementar este tipo de sistemas al tratamiento de FORSU, sin embargo se presentaron diversas

complicaciones que representaron barreras tales como problemas por mayor presencia y difusividad de sustancias tóxicas e inhibidoras, problemas mecánicos en tuberías y bombas debido al tamaño de los sólidos, necesidad de dilución y calefacción, entre otros (Nikita Naik & Tkachenko, 2013). Tales complicaciones suponían barreras para el tratamiento de la FORSU por lo que fueron desarrollados sistemas de digestión seca en Europa al grado de representar el 60% de capacidad de tratamiento instalada de los sistemas de una etapa al 2006. Los sistemas secos pueden tratar corrientes de residuos con contenido de sólidos totales en un intervalo de 20-40% sin necesidad de agregar agua de dilución.

En la Figura 5 se muestra el incremento de las capacidades de tratamiento instaladas para sistemas secos y húmedos; se consideran plantas de DA que tratan otros residuos además de la FORSU .



**Figura 5.** Incremento de la capacidad instalada en sistemas de DA de una etapa en Europa (Arsova, 2010; Rapport, Zhang, Jenkins, & Williams, 2008).

### 2.2.2 Desarrollo de instalaciones de DA

Alrededor del mundo se han desarrollado instalaciones de DA para tratamiento de residuos; sin embargo esta tecnología ha tenido su auge en el continente europeo. Durante los últimos 20 años las tecnologías de DA para tratamiento de FORSU se han desarrollado ampliamente en Europa debido a las políticas de manejo de residuos dirigidas a reducir los impactos a largo plazo a la salud y al ambiente consecuentes de la disposición de residuos en rellenos sanitarios, lo cual se ve reflejado en los altos impuestos de disposición de residuos en rellenos, que en combinación con grandes costos pagados por energías renovables han creado un mercado activo para la DA y para otras tecnologías de tratamiento de RSU en Europa (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

Para el año 2006, en Europa, se contaba con 124 plantas con una capacidad de tratamiento mayor a 3000 toneladas por año de residuos compuestos en al menos 10 % de FORSU, siendo la capacidad total mayor a 4 millones de toneladas de residuos. Esto es el doble de plantas y el cuádruple de capacidad con la que se contaba para el año 2000. La tendencia reciente está dirigida a plantas con capacidades mayores. La problemática principal para la creación de plantas con mayores capacidades era el escalamiento de la tecnología; sin embargo conforme creció el desarrollo de las tecnologías de DA y el acumulamiento de experiencia, la capacidad promedio de las plantas incrementó, siendo para el año 2005 de 43 mil toneladas por año (Rapport J. Z., 2008; Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

A nivel mundial, Europa tiene el mayor número de plantas de Digestión Anaerobia y de capacidad total instalada. La mayoría de las plantas de DA fueron construidas principalmente de acuerdo a la Directiva de la Unión Europea (UE) 1999/ 31/CE relativa al vertido de residuos en la que se requiere a los países miembros que reduzcan la cantidad de residuos dispuestos en rellenos sanitarios en un 65% respecto a los dispuestos en 1995 para el año de 2016. Así también el marco en que se encuadra desarrollo de plantas de DA para los países de la UE se basa en la directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de energías renovables, dicha directiva establece los objetivos 20-20-20 para el año

2020, que consisten en lo siguiente (Rapport J. Z., 2008; Agencia Andaluza de la Energía, 2011; Arsova, 2010):

- Las energías renovables deben suponer una cuota del 20% en el total de las energías de la UE.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%.
- Aumentar la eficiencia energética en un 20%.
- Al menos el 10% del gasto energético en transporte debe proceder de combustibles derivados de fuentes de energía renovables.

Los países miembros de la UE han definido estrategias muy diferentes para alcanzar estos objetivos, que difieren en función de las políticas estatales y de las condiciones de cada país de la Unión, de manera previa al establecimiento de las directivas europeas en materia de energías renovables.

En cuanto al biogás y DA, los principales productores europeos son, por este orden, Alemania, Reino Unido, Dinamarca, e Italia, implementándose en cada uno de estos países unos muy diferentes modelos de negocio, políticas y planes de acción, mismos que se extienden en el anexo 8.7 (Agencia Andaluza de la Energía, 2011).

En Europa existen más de 120 plantas que tratan la FORSU mediante DA, la capacidad total con la que cuentan supera los 4.6 millones de toneladas de residuos por año (Arsova, 2010; IDAE, 2007). En la Tabla 2 se muestra el número y la capacidad total instalada de plantas de DA que tratan la FORSU en Europa (Arsova, 2010).

**Tabla 2.** Número y capacidad total instalada de plantas de DA que dan tratamiento a FORSU en Europa (Arsova, 2010).

País	Número de plantas	Capacidad total (ton/año)
Alemania	55	1 250 000
España	26	1 800 000
Suiza	13	130 000
Francia	6	400 000
Holanda	5	300 000
Bélgica	5	200 000
Italia	5	160 000
Austria	4	70 000
Suecia	3	35 000
Portugal	3	100 000
Reino Unido	2	100 000
Dinamarca	2	40 000
Polonia	1	20 000
<b>Total</b>	<b>127</b>	<b>4 605 000</b>

### 2.2.3 Tecnologías de DA más usadas en el mundo

Existen diferentes tecnologías en el mercado que son usadas para el tratamiento de la FORSU mediante DA. Las diferencias de las tecnologías se encuentran principalmente en el diseño de los reactores y en los parámetros de operación, los cuales dependen de las características de los residuos alimentados. Las características de los residuos alimentados también determinan la necesidad y tipo de pretratamiento, que usualmente representa un gran componente de las

plantas de DA y es necesario para llevar los residuos a las condiciones requeridas y separar materiales susceptibles de reciclaje.

Las principales tecnologías empleadas alrededor del mundo son Kompogas, Valorga, Ros Roca, BTA, Dranco, Citec y Linde (Arsova, 2010). La Tabla 3 muestra el número de plantas y la capacidad instalada de cada tecnología:

**Tabla 3.** Número de plantas de DA y capacidad anual total instalada por tecnólogo (Arsova, 2010).

<b>Tecnología</b>	<b>Número de plantas</b>	<b>Capacidad total (ton/año)</b>
Kompogas	26	533 500
Valorga	19	2 197 000
Ros Roca	17	541 000
BTA	17	300 500
Dranco	15	627 000
Citec	13	469 500
Linde	11	459 000
<b>Total</b>	<b>118</b>	<b>5 127 500</b>

La mayoría de la alimentación de residuos de estas plantas es provisto por entidades federativas que separan sus residuos en la fuente de generación, lo cual representa una gran ventaja técnica al facilitar el pretratamiento de los residuos.

#### 2.2.4 Producción y aprovechamiento de Biogás

El interés del biogás no es otro que su aprovechamiento energético, una vez se ha obtenido el biogás, puede utilizarse en prácticamente las mismas aplicaciones energéticas desarrolladas para el gas natural, que principalmente tiene 3 tipos de aprovechamiento:

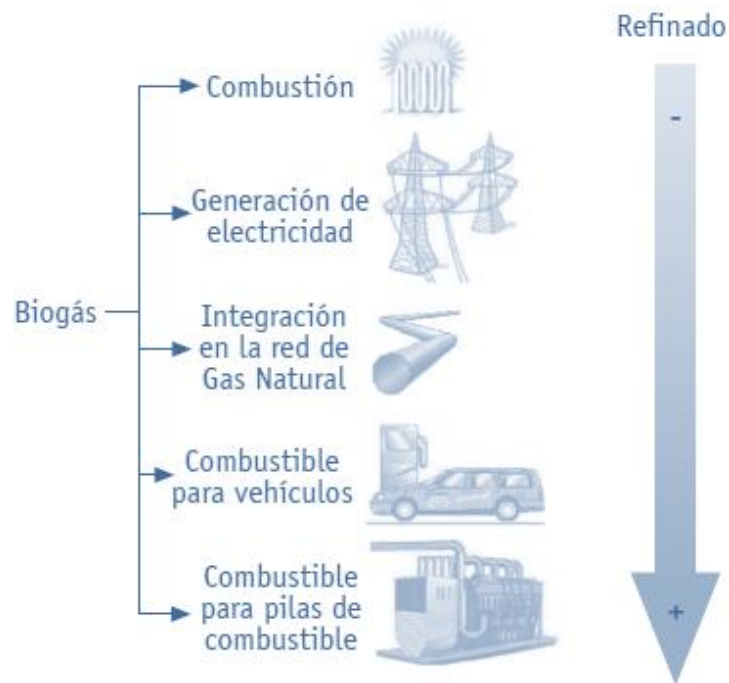


- Energéticas (electricidad y calor),
- Utilización del biogás en redes de gas,
- Utilización como combustible de vehículos.

Su composición, que depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso, suele ser la siguiente (Cuesta Santianes, Martín Sánchez, Vicente Crespo, & Villar Fernández; Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2010):

- 50-70% de metano ( $\text{CH}_4$ ).
- 30-40% de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- $\leq 5\%$  de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), y otros gases.

Debido al alto contenido en metano, el biogás tiene un poder calorífico de  $5.750 \text{ kcal / m}^3$ , algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural y salvo por el contenido de  $\text{H}_2\text{S}$ , es un combustible ideal, por lo que suele someterse a procesos de refinamiento en los que se remueve el  $\text{H}_2\text{S}$  y otras impurezas como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , agua y partículas sólidas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010). Las aplicaciones del biogás así como su nivel de refinación se muestran en la Figura 6.



**Figura 6.** Requerimiento de refinación del biogás de acuerdo a su uso (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

La producción de biogás, además de depender de las condiciones del sustrato, varía debido a factores químicos y físicos que condicionan su producción tales como temperatura del proceso, contenido en sólidos, entre otros; sin embargo las condiciones técnicas y de operación que diferencian los procesos de las diferentes tecnologías se muestran en la Tabla 4 y en la Tabla 5 (Arsova, 2010; Tsilemou, 2006; California integrated Waste Management Board, 2008; Villavicencio Arzola, 2014).

**Tabla 4.** Condiciones técnicas y económicas de las plantas de DA Seca por tecnólogo (Arsova, 2010; Tsilemou, 2006; California integrated Waste Management Board, 2008; Villavicencio Arzola, 2014).

			Tecnología seca				
Aspectos		Unidades	Dranco	Kompogas	Valorga	Bekon	
Técnicos	Rendimiento	Biogás	(Nm <sup>3</sup> /ton)	141	110	118	125
		Metano	(Nm <sup>3</sup> /ton)	74	66	66	75
		Metano	(%)	52	60	56	60
		Energía	(kWh/ton)	206	236	348	206
		Consumo	(kWh/ton)	40	52	173	21
	Operación	Residencia	(días)	21	18	25	19
		Temperatura	(°C)	53	57	55	37
		Sólidos	(%)	22	27	444	50
Económicos	Costos	Costos de inversión	(\$USD año/ton)	467	570	438	476
		Costos de operación	(\$USD año/ton)	47	57	44	24

**Tabla 5.** Condiciones técnicas y económicas de las plantas de DA Húmeda por tecnólogo (Arsova, 2010; Tsilemou, 2006; California integrated Waste Management Board, 2008; Villavicencio Arzola, 2014).

			Tecnología húmeda				
Aspectos		Unidades	BTA	Ros Roca	Strabag	Weltec	
Técnicos	Rendimiento	Biogás	(Nm <sup>3</sup> /ton)	90	115	100	120
		Metano	(Nm <sup>3</sup> /ton)	56	63	63	72
		Metano	(%)	62	55	63	60
		Energía	(kWh/ton)	203	202	240	208
		Consumo	(kWh/ton)	20	12	120	10
	Operación	Residencia	(días)	15	20	21	17
		Temperatura	(°C)	37	38	37	55
		Sólidos	(%)	10	12	10.5	10
Económicos	Costos	Costos de inversión	(\$USD año/ton)	531	489	446	325
		Costos de operación	(\$USD año/ton)	80	73	67	49

#### 2.2.4.1 Equivalencia energética del biogás

De manera aproximada, se puede constatar que el gas natural tiene un contenido de metano del 100%. Por lo tanto, se podría decir que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a la energía de 0,65 m<sup>3</sup> de gas natural (suponiendo que el biogás tiene una

riqueza media en metano del 65%). Por otra parte, la cantidad de CH<sub>4</sub> necesaria para obtener 10 kWh de energía total es de 1 m<sup>3</sup> de metano aproximadamente. Si además, el rendimiento eléctrico de un motor es del 40 – 45%, se puede concluir que 1 m<sup>3</sup> de biogás puede llegar a producir 2,8 kWh de energía eléctrica renovable (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Cuando el biogás ha sido refinado a un alto grado de pureza de metano (97%), se conoce como biometano y puede ser empleado para inyección en las redes de gas natural.

### **2.2.5 Producción de digestato**

La digestión anaerobia genera unos digestatos cuya riqueza en materia orgánica y elementos nutritivos le confieren características ideales para su aprovechamiento.

El digestato es el subproducto semi-líquido resultante de la digestión anaerobia y tiene un uso potencial como fertilizante orgánico. El digestato puede aplicarse de forma directa, o previa separación en sus dos fracciones, sólida y líquida.

El mayor uso que se le da al digestato es la aplicación en la agricultura como fertilizante. Sin embargo, el campo de aprovechamiento del digestato va más allá de su uso en la agronomía, lo cual es importante para generar una mayor oportunidad a tecnologías sustentables que permitan reusar los residuos biodegradables a la vez que se aprovecha la obtención de energía sustentable.

#### **2.2.5.1 Aplicaciones del digestato**

Además del uso agrónomo las aplicaciones actuales del digestato son extracción de nutrientes y producción de combustibles fósiles. La extracción de nutrientes en concentración tiene la ventaja de producir un biofertilizante rentable y comercializable.

Respecto a los residuos orgánicos antes de su digestión, el digestato presenta un mayor grado de mineralización al pasar el nitrógeno y fósforo orgánico a mineral tras la fermentación. Esto lo hace similar a un fertilizante mineral.

Entre las ventajas que presenta el digestato respecto los fertilizantes convencionales destaca el hecho que es más apto para el uso agrícola, genera menos olores, y presenta una mayor calidad higiénica al poseer características de insecticida y fungicida orgánico, por lo que resulta factible su empleo como fertilizante y mejorador de suelo.

Actualmente se están desarrollando otras tecnologías para aprovechamiento del digestato, entre las que destacan: reforestación mediante el empleo de la fracción sólida del digestato y como fertilizante de prados mediante el empleo de la fracción líquida. Estas tecnologías enfrentan como principal barrera la economía del proceso y el desarrollo del mercado de sus productos. Las principales características que definen la calidad del digestato y la factibilidad de su uso como fertilizante se encuentran en el anexo 8.3 (Cárdenas Espinosa, 2010; Dr. Julie Williams, 2011).

## 2.3 Estrategias

Una estrategia es un conjunto de acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo que se llevan a cabo para lograr un determinado fin o. misión. Proviene del idioma griego stratos, “ejército”, y agein, “conducir”, “guiar”. El concepto de estrategia tiene su origen en la milicia: qué se quiere lograr y cómo lograrlo. Hoy en día su uso se ha extendido enormemente; escuchamos hablar de estrategia política, estrategia de negocios, estrategia comercial o de estrategia en el fútbol. El término se utiliza como sustantivo: La Estrategia; como adjetivo: plan estratégico o como adverbio: actuar estratégicamente. El diccionario RAE define así estrategia, “traza para dirigir un asunto”. Sería pues difícil establecer una definición única para tan variadas acepciones.

Son cinco los elementos fundamentales de las estrategias: objetivos o metas, plan de acción o acciones, responsables o líderes de las acciones, recursos

involucrados, plazos de ejecución y en algunos casos podría considerarse también plan contingente. Los tres últimos elementos podrán formar parte del plan de cada una de las acciones que se lleven a cabo para cumplir con las metas.

Las estrategias denotan un programa general de acción y un despliegue implícito de empeños y recursos para obtener objetivos amplios (Flores Galicia, 2014).

Una estrategia, no intenta delinear exactamente como se deben ejecutar las acciones, sino que busca establecer las directrices que permitan tomar decisiones en presencia de obstáculos.

El propósito de una estrategia es determinar y comunicar, a través de un sistema de objetivos y dentro de un contexto, un camino hacia el propósito planteado. La estrategia es un plan amplio, unificado, e integrado que relaciona las ventajas de una organización con los desafíos del ambiente, y se diseña para alcanzar objetivos previamente especificados. Es la respuesta de la administración de un proyecto a su entorno en el transcurso del tiempo y será útil si es consistente con los objetivos establecidos.

Los pasos que llevarán de una situación actual a una futura deseada, constituyen una estrategia. La estrategia parte del “qué lograr” (objetivos) para diseñar el “cómo lograrlo” (qué hacer) y se vale de distintos instrumentos que le permiten “operacionalizarla”, que constituyen el “con qué”. Todo esto bajo aportes e influencias suministrados continuamente por el contexto donde se desenvuelve el proyecto que se pretende realizar con los recursos con los que se cuenta, en el medio donde nos desenvuelve, asociando el estado interno con las expectativas externas (Cárdenas Espinosa, 2010).

Las estrategias son el conjunto de acciones encaminadas a lograr los objetivos del proyecto o empresa que se plantea. Las estrategias se despliegan a partir de la definición y establecimiento de las declaraciones estratégicas.

### 2.3.1 Declaraciones estratégicas

Las declaraciones estratégicas son los puntos nodales y esencia del proyecto; dicho con otras palabras, son las grandes finalidades que se persiguen con su ejecución. Las principales declaraciones estratégicas son la visión, misión, objetivos estratégicos y valores.

La visión es el punto en el que se desea, en un plazo definido, que se encuentre la empresa o proyecto una vez que estén funcionando todos sus elementos. La visión es una declaración estratégica que sigue inmediatamente del análisis y establecimiento de los diferentes escenarios y con la característica de que debe ser posible realizarla.

La misión es, junto con la visión, el gran referente para generar y establecer todos los objetivos; es el principal propósito de la empresa, su razón de ser y de existir (Flores Galicia, 2014).

Los valores son el conjunto de virtudes, sentencias o palabras que determinan el pensamiento corporativo y que encauzan las acciones de la empresa en sí. Los valores se acompañan de los principios, que son frases o sentencias que indican formas específicas de acción de una organización. Tanto valores como principios son pilares que sirven de referente de decisión de los proyectos (Flores Galicia, 2014).

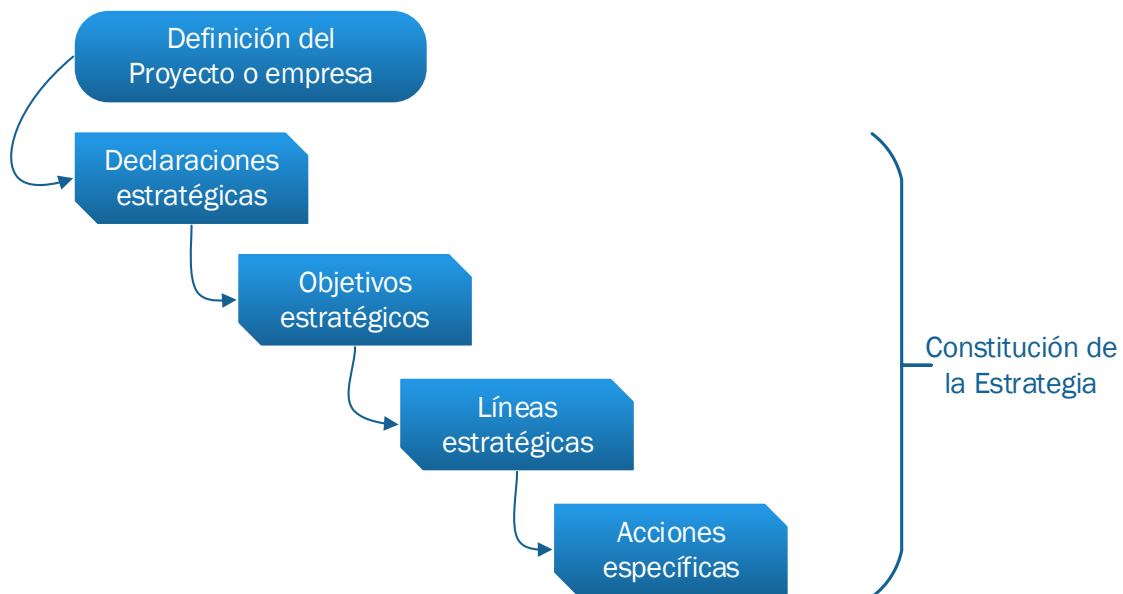
Los objetivos estratégicos son los resultados que se pretenden alcanzar en el futuro; se persiguen hasta su total cumplimiento, van concatenados a las declaraciones estratégicas superiores de la organización y sirven para alinear los factores estratégicos subyacentes (metas, acciones específicas, indicadores), son un referente que marca la pauta para formular las actividades a realizar, convirtiéndose en un método perfectamente definido y ordenado. Son estratégicos porque cumplen las características de ser generales, de amplio espectro y aplican a toda la organización. Así mismo tienen las características de ser alcanzables, cuantificables, y auditables, entre otros (Flores Galicia, 2014).

### 2.3.2 Líneas estratégicas

A partir de cada objetivo estratégico se despliegan líneas estratégicas que son los medios para lograr tal objetivo y sirven de base para desplegar una serie de acciones concretas para cumplir los objetivos. Cada línea cumple con tener definidos los siguientes elementos (Flores Galicia, 2014; Costa, 2010):

- su razón de ser,
- elementos o factores actuales que condicionan la necesidad de generar dicha línea,
- el resultado deseado,
- la relación directa e indirecta sobre cada uno de los objetivos estratégicos dónde exista una vinculación.

En la Figura 7 se muestra un esquema general de la conformación de una estrategia a partir de la definición del proyecto.



**Figura 7.** Esquema general de la conformación de las estrategias (elaboración propia basado en datos de Flores Galicia, 2014; Costa, 2010).



## 2.4 Proyectos de inversión

### 2.4.1 Concepto de proyecto

Un proyecto es una serie de planteamientos encaminados a la producción de un bien o a la prestación de un servicio, con el empleo de una cierta metodología y con miras a obtener una solución de un problema o necesidades que se pretende resolver, entre muchas, una necesidad humana.

Todos los proyectos siguen un patrón conocido como el ciclo de vida del proyecto. Incluyen cinco fases distintas: Inicio, planificación, ejecución, control y seguimiento, y cierre del proyecto. El ciclo de vida del proyecto define las fases que conectan el inicio de un proyecto con su fin; es una guía básica sobre cómo llevar a cabo el desarrollo de un proyecto complejo; sin embargo, el proceso no es lineal, en él algunas de las fases son ciclos dentro de sí mismas y comprenden actividades que se traslapan unas con otras en el tiempo en el que transcurre el desarrollo del proyecto. Las características principales de cada fase del ciclo de vida del proyecto son las siguientes:

1. Inicio. Comprende la constitución del proyecto y la conformación de equipos.
2. Planificación. Elaboración de los planes, programas y presupuestos del proyecto y la integración de los mismos. Dado que los proyectos tienden a cambiar y a adaptarse constantemente, la planificación es una fase iterativa que tiene lugar varias veces durante el ciclo de vida del proyecto.
3. Ejecución. En esta fase se gestiona la ejecución del proyecto, que consiste en reunir recursos y utilizarlos para crear las entregas planeadas previamente. Es la fase más larga y más complicada del ciclo de vida del proyecto y en la que se pueden presentar el mayor número de problemas. Ésta es también una fase iterativa donde la comunicación entre equipos de trabajo y administración de recursos toman un papel muy importante.

4. Control y Seguimiento. Se trata de la monitorización del trabajo realizado, analizando cómo el progreso difiere de lo planificado e iniciando las acciones correctivas que sean necesarias, con lo que se realiza el control del proyecto, la gestión de desvíos y de cambios de alcance.
5. Cierre. Se realiza el cierre técnico y administrativo del proyecto.

#### **2.4.2 Proyecto de inversión**

Existen diversas definiciones de proyectos de inversión, sin embargo se puede considerar que un proyecto de inversión es un conjunto de planes detallados que al asignarle un determinado monto de capital y de recursos, materiales y técnicos, mediante su uso óptimo, podrá producir un bien o un servicio de utilidad para la sociedad en general en un plazo razonable. La asignación de recursos se traduce en la adquisición de diversos activos, tangibles e intangibles necesarios para la producción del bien y/o servicio (Jiménez Ocampo, 2011; Morales Castro & Morales Castro, 2010).

Un proyecto de inversión se inicia con la identificación de una necesidad insatisfecha y constatar que efectivamente no existe el producto, bien o servicio que la satisfaga; de tal manera que los proyectos de inversión se integran por distintos estudios que brindan tal información.

Se pueden identificar las siguientes características distintivas e indispensables que tienen los proyectos de inversión:

- Es único en tiempo, ubicación y contexto.
- Tiene fechas de inicio y término.
- Tiene un objetivo definido que responde a un problema, necesidad u oportunidad.
- Tiene beneficiarios definidos.

- Plantea actividades interrelacionadas y ordenadas.
- Utiliza recursos para realizar las actividades (costos).
- Genera productos y/o servicios (beneficios).
- Implica un grado de incertidumbre (riesgo).
- Eleva el nivel actual de capital físico, humano o social.

Un proyecto de inversión normalmente se fundamenta en estudios de mercado, técnico, económico y financiero, con lo cual justifica y ayuda en la evaluación de las alternativas de diversas inversiones (Morales Castro & Morales Castro, 2010).

#### *2.4.2.1 Clasificación de proyectos de inversión*

Los proyectos de inversión se clasifican en los siguientes tipos:

- Proyectos de infraestructura económica, cuando se trate de la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para la producción de bienes y servicios en los sectores de agua, comunicaciones y transportes, electricidad, hidrocarburos y turismo.
- Proyectos de infraestructura social, cuando se trate de la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para llevar a cabo funciones en materia de educación, ciencia y tecnología, cultura, deporte, salud, seguridad social, urbanización, vivienda y asistencia social.
- Proyectos de infraestructura gubernamental, cuando se trate de la construcción, adquisición y/o ampliación de activos fijos para llevar a cabo funciones de gobierno, así como funciones de desarrollo económico y social distintas a las señaladas en las clasificaciones anteriores.
- Proyectos de inmuebles, cuando se trate de la construcción, adquisición y/o ampliación de inmuebles destinados a oficinas

administrativas, incluyendo las operaciones que se realicen bajo el esquema de arrendamiento financiero.

- Otros proyectos de inversión, cuando se trate de aquellos que no estén identificados en las clasificaciones anteriores (DOF, 2013).

### **2.4.3 Formulación de Proyecto de Inversión**

La formulación, evaluación y realización de los proyectos de inversión siguen un proceso, desde su gestación hasta su puesta en marcha; normalmente consta de las siguientes etapas sucesivas:

1. Gran idea o estudio de gran visión.
2. Estudio de pre-factibilidad.
3. Estudio de factibilidad.
4. Proyecto.
5. Realización del proyecto.

#### **2.4.3.1 Estudio de gran visión**

También es denominado como identificación de la idea, estudio de viabilidad, donde el punto de partida de un proyecto es una necesidad hipotética que puede haber sido observada con frecuencia en la sociedad. Es decir, el concepto del estudio de gran visión se tiene como el propósito de plantear una “situación-problema”, sin predeterminedar su solución, la cual resultará del proceso de formulación del proyecto. Una “situación-problema” se define por las siguientes condiciones necesarias y suficientes (Jiménez Ocampo, 2011; Morales Castro & Morales Castro, 2010):

- Un ente que tiene el problema y toma las decisiones.
- Un objetivo deseado.

- Al menos dos posibilidades o caminos alternativos para alcanzar dicho objetivo.
- Un estado de duda respecto a la elección de alternativas.
- El contexto del problema o conjunto de factores que pudiendo afectar positiva o negativamente el objetivo están fuera del control de las decisiones.

#### *2.4.3.2 Estudio de Pre-factibilidad*

El estudio de gran visión marca el comienzo del estudio de pre-factibilidad que también es llamado anteproyecto preliminar, estudio preliminar, estudio previo de factibilidad o estudio de pre-inversión. En esta etapa se profundiza la investigación de la etapa anterior con el objetivo de demostrar más detalladamente el análisis de distintas alternativas de mercado, tecnología, procesos y capacidades productivas, tamaño, localización, consideraciones de carácter institucional y legal, financiamiento, sistemas de organización, entre otros para poder realizar la estimación de la inversión necesaria para el proyecto de inversión y la determinación de los flujos netos de efectivo necesarios para el cálculo del rendimiento. Tomando en consideración criterios sociales, institucionales, que en casos concretos pueden ser factores determinantes de la viabilidad de la alternativa. Este estudio aborda fuentes secundarias y primarias la investigación de mercado, detalles de la tecnología que se empleará, determinación los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto (Jiménez Ocampo, 2011; Morales Castro & Morales Castro, 2010).

Los elementos que aborda el estudio de Pre-factibilidad son los siguientes:

- Antecedentes del proyecto

En este apartado del proyecto se presenta la localización del área de trabajo, condiciones económicas y sociales de la misma, aclarando las circunstancias que dieron origen a la idea del proyecto para poder

emprenderlo, a qué personas o entidades beneficiará, qué problema específico resolverá, qué beneficios sociales podría aportar.

- Análisis de factibilidad ambiental

Se refiere a los estudios en donde se determina que un programa o proyecto de inversión cumple con la normatividad aplicable en materia ambiental.

- Análisis de factibilidad económica

Son los estudios sobre la cuantificación de los costos y beneficios de un programa o proyecto de inversión en donde se muestre que el mismo es susceptible de generar, por sí mismo, beneficios netos bajo supuestos razonables.

- Análisis de factibilidad legal

Comprende los estudios en donde se determina que un programa o proyecto de inversión cumple con las disposiciones jurídicas aplicables en el ámbito federal, estatal y municipal que corresponda.

- Análisis de factibilidad técnica

Los estudios sobre los materiales, maquinaria, equipo, tecnología y calificación de personal que se requieren para la ejecución y operación de un programa o proyecto de inversión, en donde se determine si el proyecto se apega a las normas establecidas por la dependencia o entidad de la Administración Pública Federal, así como a las prácticas aceptadas de ingeniería y a los desarrollos tecnológicos disponibles (DOF, 2013).

#### ***2.4.3.3 Estudio de factibilidad***

También es denominado proyecto ejecutivo o proyecto definitivo. En esta etapa de la formulación de proyectos son profundizados y afinados todos los detalles de diseño, organización, las alternativas que resultaron viables en el estudio de pre-inversión, enfatizando aquellos elementos que permiten valorar la alternativa del proyecto en su viabilidad técnica, financiera y de mercado, a través de los puntos de vista de los objetivos fijados una vez que se ha decidido llevar a cabo la acción, para lo cual incluye la situación económica general, la situación detallada del mercado de materias primas, la micro-localización, la situación detallada del mercado del producto, la ingeniería básica, los recursos humanos y la organización, la determinación de costos, el cálculo de los indicadores financieros, el cual permite medir la rentabilidad, y un análisis de sensibilidad que permite establecer diversos escenarios (Morales Castro & Morales Castro, 2010; Jiménez Ocampo, 2011; Monsalvo Pérez, 2006; Reyes Cruz, 2001).

#### ***2.4.3.4 Proyecto***

Aquí se agrega el proyecto de ingeniería que incluye la ingeniería de detalle, proyecto de obra civil, procesos tecnológicos y el financiamiento, así como su repercusión en el rendimiento del proyecto (Morales Castro & Morales Castro, 2010; Jiménez Ocampo, 2011; Monsalvo Pérez, 2006; Reyes Cruz, 2001).

#### ***2.4.3.5 Realización del proyecto***

Se refiere a la obra de ingeniería, cronograma de actividades, cronograma financiero, licitación, adquisiciones, coordinación, supervisión de la obra, instalaciones, pruebas, puesta en marcha y operación, mantenimiento y venta del bien o servicio, así como el establecimiento de planes alternativos para el adecuado funcionamiento del proyecto de inversión y su adaptabilidad a las circunstancias que se presenten en el entorno que opere la inversión (Morales Castro & Morales Castro, 2010; Jiménez Ocampo, 2011; Monsalvo Pérez, 2006; Reyes Cruz, 2001).

#### **2.4.4 Planeación y evaluación de Proyectos de Inversión**

La planeación y evaluación de proyectos de inversión es la recopilación, creación y análisis en forma sistemática de un conjunto de antecedentes, que permitan juzgar cuantitativa y cualitativamente, las ventajas y desventajas de asignar recursos a una determinada propuesta de inversión; dicho de otra forma, es un conjunto de elementos que permitirán juzgar la conveniencia de realizar o no una determinada inversión, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de manera que resuelva una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable, asignando los recursos económicos con que se cuentan a la mejor alternativa (Monsalvo Pérez, 2006; Reyes Cruz, 2001).

En la actualidad una inversión inteligente requiere de un proyecto bien estructurado y evaluado que indique la pauta a seguir como la correcta asignación de recursos, igualar el valor adquisitivo de la moneda presente en la moneda futura y estar seguros de que la inversión será realmente rentable, decidir el ordenamiento de varios proyectos en función a su rentabilidad y tomar una decisión de aceptación o rechazo.

##### **2.4.4.1 Preparación de Proyectos de Inversión**

La preparación y formulación del proyecto tiene por objetivo la recopilación y análisis de los antecedentes e información que permitan justificar la ejecución del proyecto así como llevar a cabo la identificación concisa de los diversos factores que impulsan su creación. En esta etapa se abordan los siguientes aspectos (MIDEPLAN):

##### **Análisis de actores**

Consiste en identificar a los actores y grupos afectados o involucrados en el proyecto, sus intereses y expectativas, con el propósito de aprovechar y potenciar el apoyo de éstos cuando sus intereses son coincidentes o complementarios al proyecto y disminuir la oposición de personas y grupos con intereses opuestos al proyecto. Los interesados también pueden ejercer influencia sobre el proyecto, los entregables y los miembros del equipo. Además, conocer a detalle a los



involucrados e interesados ayuda a disminuir la oposición y conseguir el apoyo de los indiferentes. Para los interesados, un proyecto puede tener resultados tanto positivos como negativos. Algunos se benefician con el éxito de un proyecto, mientras que otros perciben resultados negativos. Ignorar a los interesados negativos puede traer como consecuencia un aumento en la probabilidad de fracaso del proyecto.

### Análisis y definición del problema

Se compone de la identificación del problema, sus efectos, las causas que lo generan y los medios que contribuirán a su solución.

El punto más importante para formular, preparar y evaluar un proyecto es identificar correctamente el problema. Ello constituye el primer paso para mejorar la situación actual. Lo más común es que se conozcan los efectos de un problema, pero es necesario un análisis que arroje un diagnóstico que identifique sus causas.

Un proyecto que se diseñe enfocándose en las causas, directas e indirectas, de un problema tendrá mayores impactos y de más largo plazo. Para la identificación del problema central, sus causas y efectos existen distintas herramientas o métodos.

Cabe señalar, sin embargo que el error más común que se comete es aquél en que se confunde un problema con la “ausencia de infraestructura, equipamiento o servicios”; no es lo mismo decir “falta un hospital”, que “existen altas tasas de personas con ciertos problemas de salud en un lugar específico (problema). En este caso, no se propone directamente construir un hospital, sino encontrar y valorar diversas estrategias para disminuir las altas tasas de tales problemas.

El problema puede ser identificando a través de la apreciación de situaciones o hechos que no son deseados y provocan efectos negativos en la sociedad mediante detectar disfuncionalidades en las intervenciones sociales existentes y contrastar la situación a analizar respecto a niveles habituales, normales o estándares. Esto implica utilizar referencias de variables económicas, sociales,

productivas u otras. Estas referencias pueden estar dadas por: niveles promedio a nivel nacional o regional, estándares definidos por políticas sectoriales o regionales, acuerdos tomados con organismos internacionales, entre otros.

Las fuentes de información que permiten respaldar el problema identificado pueden ser: revisión de estudios existentes, aplicación de cuestionarios y/o entrevistas a los afectados o autoridades relacionadas al tema, consulta a expertos.

Una vez definido el problema, es necesario realizar las siguientes acciones a fin de formular el proyecto contemplando todos los factores que inciden en la generación del problema:

- Diagnóstico de la Situación Actual,
- Identificación de Área de Estudio y Área de influencia,
- Identificación y proyección de la Población Objetivo,
- Definición de la Demanda Actual y Proyectada,

La demanda se define como el requerimiento que realiza la población afectada sobre el conjunto de bienes o servicios, por unidad de tiempo, necesarias para satisfacer su necesidad.

- Establecimiento de la Oferta Actual y Proyectada

La oferta es la cantidad del bien o servicio provista en el área de influencia. Para su estimación se deben considerar aspectos tales como:

- Capacidad de la infraestructura existente
  - Equipos y personal capacitado disponible
  - Cumplimiento de normas de calidad del servicio
- Definir el déficit Actual y Proyectado

El déficit corresponde a la diferencia entre la demanda total y la oferta, reflejando los requerimientos por el bien o servicio de la población afectada por el problema.

### Identificación y formulación de alternativas

Se identifican las posibles alternativas que permitan dar solución al problema definido. Un problema puede solucionarse de diversas maneras. Las fases para la formulación de alternativas son las siguientes:

- Identificación de Alternativas

La primera alternativa a analizar es la denominada optimización de la situación base; que consiste en identificar medidas de bajo costo que puedan mejorar la situación actual, eliminando parcial o totalmente el problema.

Las medidas contempladas en la optimización de la situación base permiten disminuir parte del déficit calculado, por lo tanto, la dimensión y costos del proyecto pueden ser menores que los contemplados originalmente. Junto con ello, los beneficios atribuibles al proyecto también pueden variar, ya que parte del problema podría estar solucionado.

- Configuración de Alternativas de Solución

Los factores que determinan las diferentes alternativas son: el tamaño, la localización y la tecnología, siendo unos más relevantes que otros, según el tipo de proyectos. El tamaño se refiere a la capacidad de producción del bien o servicio, para un periodo determinado, generalmente el período empleado es por año.

## Evaluación de las alternativas y selección de la opción óptima

Una vez identificadas las alternativas de solución se deben evaluar los costos y beneficios que generan, además de su viabilidad técnica, político – social, ambiental y económica a fin de determinar cuál de ellas es óptima.

### 2.4.4.2 Evaluación del Proyecto

La evaluación tiene por objetivo establecer la conveniencia técnico-económica de ejecutar el proyecto.

Existen tres diferentes niveles de evaluación: Conceptualización, Perfil y Pre-factibilidad. Para cada nivel el grado de incertidumbre en los datos va disminuyendo, aumentado el detalle y confianza de la información.

La evaluación a nivel de Conceptualización se realiza durante la planeación estratégica del proyecto de inversión y su resultado se conoce como Ficha Técnica. A diferencia del estudio a nivel perfil, la conceptualización se realiza en un formato de ficha y con un enfoque de definición de la planeación estratégica del proyecto de inversión.

La evaluación a Nivel Perfil consiste en detallar la información incluida en el nivel de conceptualización a través de la utilización de información secundaria (estudios elaborados previamente para otros proyectos, publicaciones de investigación, estadísticas u otras fuentes) e información básica obtenida en trabajo de campo. Para este tipo de evaluación, la información a utilizar, para efectos de la cuantificación y valoración de los costos y beneficios específicos del proyecto, debe permitir el cálculo de indicadores de rentabilidad, los cuales se explican en el anexo 8.4.

La evaluación a nivel Pre-factibilidad: consiste en incrementar el grado de certeza de la evaluación a través de información primaria completa (estudios específicos realizados para el proyecto). La información utilizada para el análisis a nivel de pre-factibilidad, deberá ser verificable e incluir las fuentes de información de la misma.

Para la evaluación de un proyecto se puede adoptar un enfoque costo-beneficio o un enfoque costo-eficiencia, dependiendo si es posible cuantificar y/o valorar los beneficios del proyecto.

En un enfoque en el que se emplea un análisis costo-beneficio (ACB), el objetivo de la evaluación es determinar si los beneficios que se obtienen son mayores que los costos involucrados. Para ello, es necesario identificar, medir y valorar los costos y beneficios del proyecto.

Los beneficios que genera un proyecto dependerán de la naturaleza del mismo y su cuantificación consiste en asignar unidades de medida apropiadas para cada beneficio identificado. Es necesaria, también, una valoración de los beneficios, que implica asignar un valor monetario a los beneficios identificados y cuantificados.

Los costos del proyecto se constituyen de todos aquellos recursos utilizados para su materialización, en las etapas de diseño, ejecución y operación; su cuantificación consiste en asignar unidades de medida apropiada a los costos identificados y su valoración se realiza principalmente a través de los precios de mercado (MIDEPLAN).

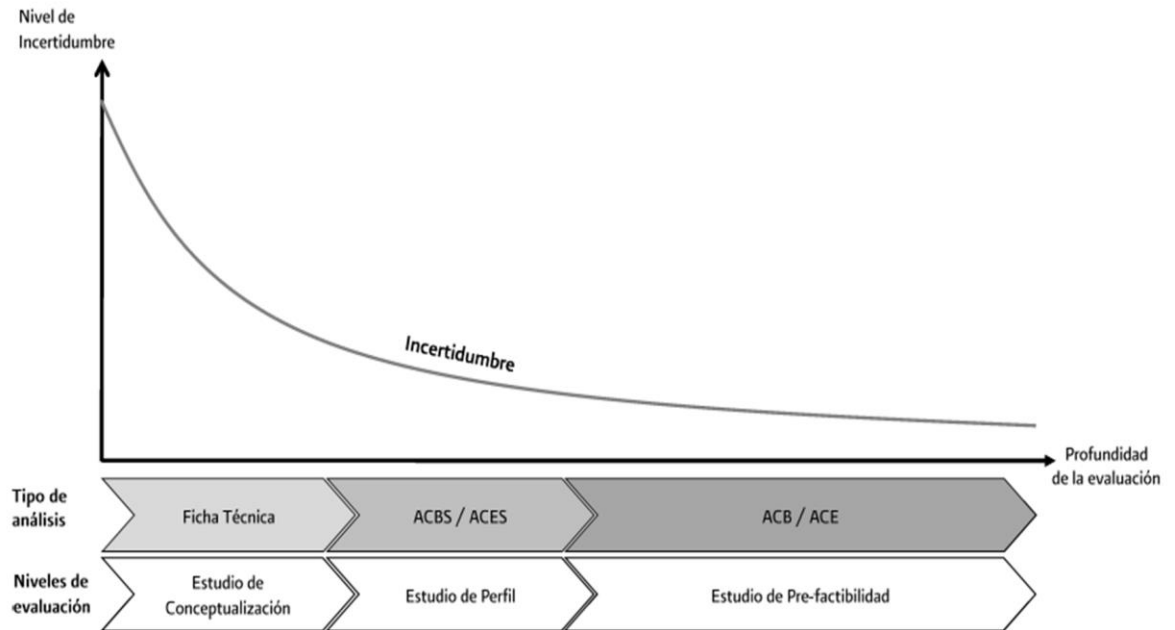
Un análisis costo-eficiencia (ACE) es una evaluación socioeconómica que permite asegurar el uso eficiente de los recursos cuando se comparan dos alternativas de solución, bajo el supuesto de que generan los mismos beneficios.

El contenido del ACE es el mismo que el del análisis costo-beneficio, excepto por lo que se refiere a la cuantificación de los beneficios y, por lo tanto, al cálculo de los indicadores de rentabilidad. Adicionalmente, en el análisis costo-eficiencia se incluye la evaluación de, cuando menos, una segunda alternativa del programa o proyecto de inversión, de manera que se muestre que la alternativa elegida es la más conveniente en términos de costos.

Tanto el ACB como el ACE son realizados en las evaluaciones a nivel perfil y a nivel pre-factibilidad, difiriendo la certidumbre de su contenido; para evaluaciones a nivel perfil se emplea la versión simplificada de cada análisis, ACBS

y ACES, y para evaluaciones a nivel pre-factibilidad se emplean los estudios con un desarrollo completo, el contenido y descripción de cada estudio se encuentra en el anexo 8.5.

La relación entre los niveles de profundidad de las evaluaciones socioeconómicas y la incertidumbre de las estimaciones de los proyectos se ilustra en la Figura 8.



**Figura 8.** Relación entre el nivel de incertidumbre y la profundidad de las evaluaciones (SHCP).

#### 2.4.4.3 Dirección de proyectos y Sistemas de gestión de proyectos

La dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. La aplicación de conocimientos requiere de la dirección eficaz de los procesos apropiados.

Los procesos de dirección de proyectos se agrupan en cinco categorías:

- Grupo del Proceso de Iniciación. Aquellos procesos realizados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto ya

existente, mediante la obtención de la autorización para comenzar dicho proyecto o fase.

- Grupo del Proceso de Planificación. Aquellos procesos requeridos para establecer el alcance del proyecto, refinar los objetivos y definir el curso de acción necesario para alcanzar los objetivos para cuyo logro se emprendió el proyecto.
- Grupo del Proceso de Ejecución. Aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto a fin de cumplir con las especificaciones del mismo.
- Grupo del Proceso de Seguimiento y Control. Aquellos procesos requeridos para dar seguimiento, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes.
- Grupo del Proceso de Cierre. Aquellos procesos realizados para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos, a fin de cerrar formalmente el proyecto o una fase del mismo.

Los procesos de dirección de proyectos se aplican globalmente y a todos los grupos de industrias.

Existe un acuerdo general en cuanto a que se ha demostrado que la aplicación de los procesos de dirección de proyectos aumenta las posibilidades de éxito de una amplia variedad de proyectos, esto es a lo que se le conoce como Buenas prácticas. Del análisis y recopilación de las prácticas de numerosos proyectos exitosos se han diseñado diversos sistemas de gestión de proyectos.

Un sistema de gestión de proyectos es un conjunto de herramientas, técnicas, metodologías, recursos y procedimientos utilizados para gestionar de forma eficaz un proyecto hasta su conclusión. El sistema es un conjunto de procesos

y de funciones de control correspondientes, que se consolidan y combinan en un todo funcional y unificado.

El contenido del sistema de gestión de proyectos variará dependiendo del área de aplicación, influencia de la organización, complejidad del proyecto y disponibilidad de los sistemas existentes. Las influencias de la organización conforman el sistema para ejecutar los proyectos dentro de esa organización. Un sistema de gestión es flexible en el sentido de que se ajusta o adapta a cualquier exigencia impuesta por la organización (Project Management Institute (Guía del PMBOK), 2004).

Existen diversos sistemas de gestión ampliamente empleados para el desarrollo de proyectos, los más destacados, desarrollados por diversas instituciones, son los siguientes:

- Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMI, Project Management Institute),
- Standard for Portfolio Management (PMI),
- Standard for Program Management (PMI),
- Organizational Project Management Maturity Model (PMI),
- Project Management (ISACF, Information Systems Audit and Control Foundation),
- Project Definition Rating for Industrial Projects (CII, Construction Industry Institute),
- Project Definition Rating Index for Building Projects (CII, Construction Industry Institute),
- Front End Loading (IPA, Independent Project Analysis).



#### 2.4.4.4 *Financiamiento*

Todo proyecto tiene costos independientemente de quién los pague. Siempre que un proyecto se lleve a cabo, se utilizan recursos económicos provocando costos a fin de obtener beneficios que ayuden a solucionar un problema, o bien, que aumenten o mejoren la producción de algún bien o servicio.

Si los recursos financieros con los que cuenta la empresa u organización para la realización del proyecto no son suficientes para atender las necesidades de inversión es claro que la realización del proyecto es imposible. Por lo tanto, es necesaria la realización de un estudio de financiamiento, cuyo propósito es determinar la manera de captar recursos financieros a fin de destinarlos a la inversión que se analiza en el proyecto.

La ejecución del proyecto depende en gran medida de que existan los recursos financieros suficientes para efectuar los pagos y adquisiciones en los plazos previstos.

Las etapas del proceso de financiamiento son las siguientes:

- 1) Determinación las necesidades del financiamiento. Se realiza un análisis de los costos de ejecución del proyecto, es decir, la inversión inicial, tomando en consideración también otras inversiones que es necesario realizar en la vida útil del proyecto.

También se debe analizar la disponibilidad de recursos propios para la ejecución del proyecto, tomando en cuenta para ello de la liquidez o disponibilidad en el corto plazo, el cual podría constituirse en capital propio para financiar la inversión inicial, así como los rendimientos generados por la operación del proyecto, los cuales permitirán cubrir el plazo del préstamo o cualquier otro compromiso financiero que se haya adquirido. El establecimiento de los recursos del proyecto, saldrá de la propia empresa y de los presupuestos de ingresos y gastos, donde se logran los excedentes de las operaciones.

La discrepancia o faltante entre el total de la inversión y el total de los recursos propios serán las necesidades financieras del proyecto.

Cuando ya se tienen identificadas las necesidades de financiamiento, se establecen las utilidades de las operaciones con el objetivo de saber la capacidad y el límite de endeudamiento que permite el proyecto. Estos gastos se consiguen a partir del flujo de fondos.

2) Identificar las posibles fuentes de financiamiento. Para el financiamiento de un proyecto, el primer aspecto a examinar son las posibles fuentes de financiamiento. Estas pueden ser:

- Fuentes Internas: Estas fuentes pueden ser por capital propio, el cual es aportado al inicio por medio de los capitalistas y responsables del proyecto.
- Fuentes Externas: se obtienen a través de distintos mecanismos e instituciones. Las fuentes externas se pueden obtener por medio de mercado de capitales, bancos y, cooperación y desarrollo.
- Mercado de Capitales. Las necesidades de capital se resuelven, según ofreciendo participaciones en el negocio, existiendo para esto distintas alternativas y procedimientos según las circunstancias. Los más comunes son las acciones y Obligaciones o Bonos.
- Bancos e Instituciones de Fomento. A través de la banca se pueden obtener créditos a corto, mediano y largo plazo, que presenten condiciones adecuadas a las características del proyecto, y pueden ser nacionales o extranjeros. También por medio de instituciones privadas en forma de créditos con proveedores y fabricantes de equipo.
- Cooperación para el Desarrollo. Comprende inversiones reembolsables y no reembolsables a través de organismos

internacionales que destinan recursos técnicos y financieros a países en desarrollo.

- 3) Análisis de las alternativas. Cuando se tienen diversas fuentes de financiamiento y a diversos plazos, tasas de interés y períodos de financiamiento, es necesario analizar y comparar cada alternativa para escoger la fuente de financiamiento que más conviene, tomando en consideración las necesidades del proyecto, o también, se puede hacer una combinación de varias fuentes de financiamiento, si esto se adecua más al proyecto.

#### *2.4.4.5 Ciclo de inversiones*

Una de las principales funciones de las administraciones públicas locales (estatales y municipales) es la prestación eficaz y eficiente de servicios públicos, es decir, otorgarlos cuando son requeridos y resuelven o impiden un problema a la comunidad en el preciso momento en que sus efectos en el bienestar de la población serán maximizados, incurriendo en el menor costo posible, ya que es responsabilidad, sobre todo de las autoridades locales, procurarles beneficios a la sociedad y cuidar de los recursos públicos dándoles una buena aplicación.

Pero el uso de recursos económicos representa un costo para la sociedad, debido a que al ser utilizados para ejecutar un proyecto público determinado, ya no podrán serlo para otras actividades económicas que también podrían generar beneficios debido a la escasez de dichos recursos.

Los proyectos de inversión se someten a evaluaciones socioeconómicas que terminarán su rentabilidad social, tras lo que se podrá elegir, de entre todos los proyectos que se ha propuesto realizar, aquellos que sean los más rentables.

Las evaluaciones socioeconómicas del proyecto son empleadas con el punto de vista de la sociedad en su conjunto, con el objeto de conocer el efecto neto de los recursos utilizados en la producción de los bienes o servicios sobre el bienestar de la sociedad. Dichas evaluaciones deben incluir todos los factores del programa

o proyecto, es decir, sus costos y beneficios independientemente del agente que los enfrente. Ello implica considerar adicionalmente a los costos y beneficios directos, las externalidades y los efectos indirectos e intangibles que se deriven del programa o proyecto (DOF, 2013).

Si en la evaluación el proyecto resulta rentable, quiere decir que es conveniente para la sociedad la ejecución de dicho proyecto, ya que en su conjunto tendrá mayores beneficios netos que si no se realizara el proyecto.

En México, para acceder a recursos federales a través de la implementación de Proyectos de Inversión por parte de las entidades federativas, los proyectos se tendrán que registrar en el Sistema de Inversiones de la Unidad de Inversiones (UI) de la SHCP.

El Gobierno Federal tomó la iniciativa de llevar a cabo el Presupuesto Basado en Resultados, cuyo objetivo general es mejorar la eficiencia, eficacia y calidad del gasto público a partir de la implementación y consolidación de éste. A través de esta iniciativa se busca fortalecer, entre otros aspectos, el Sistema de Inversión Pública en México y, con ello, coadyuvar a generar mayor beneficio a la sociedad con el uso eficiente de los recursos públicos.

El Sistema de Inversión Pública busca consolidar el sistema de evaluación y priorización de proyectos de inversión con la aplicación de metodologías de análisis para todo el Ciclo de inversiones. La estructura de la metodología global del Ciclo de inversiones es la siguiente:

1. Planeación Estratégica de la Inversión: busca fomentar la alineación entre las metas y objetivos planteados en el marco estratégico del Gobierno federal y los Programas y Proyectos de Inversión (PPIs), conceptualizados por las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF).

2. Análisis y evaluación: busca analizar los beneficios netos estimados para cada PPI con el fin de garantizar que éstos sean viables desde el punto de vista socioeconómico.
3. Priorización: se basa en el establecimiento de un esquema para ordenar las opciones de inversión y optimizar la asignación de recursos públicos con el fin de maximizar su impacto en el bienestar social.
4. Presupuestación: consiste en asignar recursos a los PPIs registrados en la Cartera de Programas y Proyectos de Inversión.
5. Seguimiento a la ejecución: establece un método de monitoreo de la ejecución de los PPIs para fomentar que ésta se apegue a lo definido en las etapas de Planeación Estratégica y de Análisis y Evaluación.
6. Evaluación EX-Post: busca comparar los resultados planeados con los alcanzados, con la finalidad de analizar las desviaciones entre ambos, para así generar aprendizaje y mejora continua de los PPIs similares en las dependencias o entidades de la APF (SHCP).

La etapa de Análisis y Evaluación de PPIs es la más importante del Ciclo de Inversiones ya que en ella se determina la viabilidad y conveniencia de realizar un PPI. Con este propósito se identifican, cuantifican y valoran sus principales costos y beneficios para establecer su rentabilidad desde un punto de vista socioeconómico. Lo anterior permite a las dependencias y entidades de la APF identificar aquellos PPIs con un mayor beneficio neto y determinar la conveniencia de realizarlos, considerando un horizonte de tiempo determinado.

Los tipos de evaluaciones socioeconómicas establecidas que serán aplicables a los programas y proyectos de inversión que consideren realizar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal son: Ficha técnica, Análisis Costo-Beneficio simplificado, Análisis costo-Beneficio, Análisis Costo-Eficiencia simplificado y Análisis Costo-Eficiencia.

#### *2.4.4.6 Asociaciones Público Privadas*

Los proyectos de inversión con características ambientales y sociales suelen ser proyectos de muy elevadas inversiones y poca rentabilidad. Con el objetivo de facilitar su desarrollo y a partir de la necesidad de hacer viable este tipo de proyectos nacen las Asociaciones Público Privadas (APPs) en las que se da la colaboración de los sectores público y privado para conjuntar sus fortalezas minimizando aspectos restrictivos para dichos fines. Por lo mismo, el esquema de APP incrementa el alcance de inversión del gobierno, mejora la eficiencia, aumenta la flexibilidad en la adjudicación e incrementa la certeza jurídica.

Las Asociaciones Público Privadas (APPs) son modalidades o esquemas de inversión a largo plazo que incorporan técnicas, distribución de riesgos, objetivos y recursos entre particulares y el Gobierno. Su propósito es crear o desarrollar infraestructura productiva de largo plazo. Es decir, se trata de contratos entre el sector público y la iniciativa privada para la planeación, construcción, operación y mantenimiento de obras de infraestructura pública de largo plazo, así como la prestación de servicios relacionados con las mismas (CMCI, 2012). Las modalidades de participación privada en proyectos de inversión se presentan en el anexo 8.6.

Para el gobierno de México, la provisión de infraestructura y servicios públicos constituye una de las prioridades en su agenda de desarrollo, es por ello que un esquema de asociación público privada es un importante complemento de la inversión pública tradicional (SHCP).

Las APPs se clasifican de la siguiente manera:

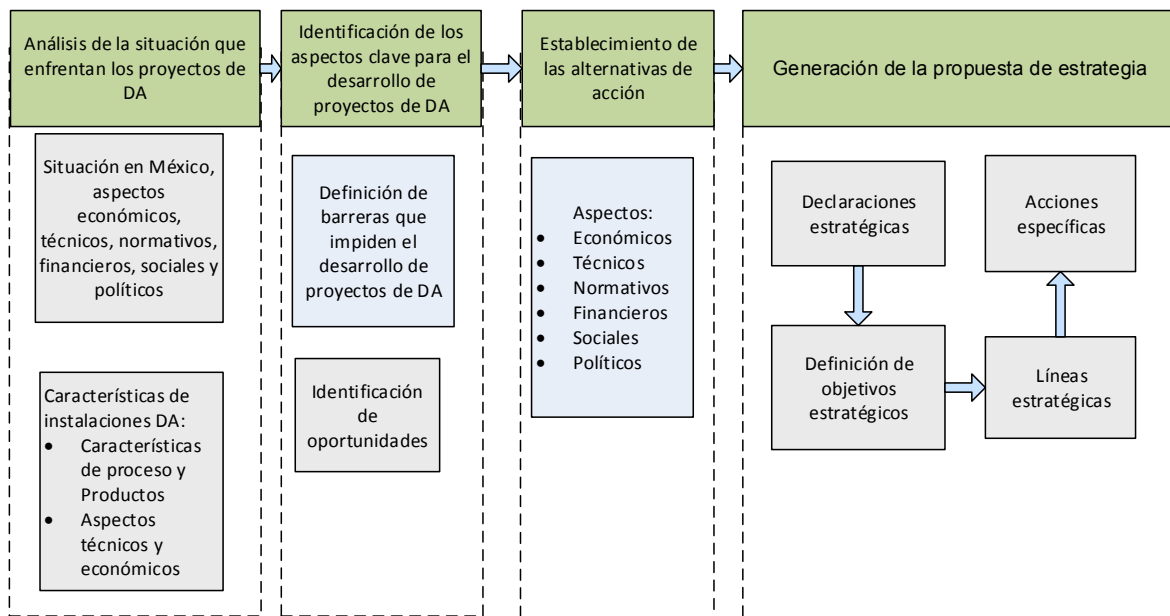
- a) Proyecto de asociación público privada puro: donde el origen de los recursos para el pago de la prestación de servicios al sector público o al usuario final y de los costos de inversión, operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura, provengan en su totalidad de recursos federales presupuestarios.

- b) Proyecto de asociación público privada combinado: donde el origen de los recursos para el pago de la prestación de servicios al sector público o al usuario final y de los costos de inversión, operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura provengan del sector público, ya sea a través de recursos federales presupuestarios, recursos del Fondo Nacional de Infraestructura u otros recursos públicos federales no presupuestarios (DOF, 2013).

### **3 METODOLOGÍA**

Tras la revisión de la información bibliográfica de los fundamentos teóricos de esta tesis, en los que se describen la situación en torno a la generación y manejo de residuos en México, características de la tecnología de DA, características del desarrollo de proyectos de plantas de DA, los conceptos de estrategias y proyectos de inversión, así como el marco legal y político en torno a los residuos en México, se elaboró un análisis en el que se determina el problema que enfrenta el desarrollo de los proyectos de plantas de DA, estableciendo las barreras que hay en los diferentes aspectos que impiden la implementación de proyectos de plantas de DA en México así como sus causas; se realizó una identificación de las oportunidades de desarrollo. Tras la definición de la problemática, se generaron alternativas que den solución mediante la superación de las barreras y aprovechamiento de las oportunidades del desarrollo de proyectos de plantas de DA en México.

Tras la revisión de las políticas mexicanas en las que se enmarcan los proyectos ambientales, de infraestructura, servicios públicos, energías renovables y tratamiento de residuos como lo son los proyectos de plantas de DA, se generan propuestas políticas que impulsen el desarrollo de éstos y de características ambientales en general, así como también se proponen políticas que promuevan un mejor manejo de residuos que implique una disminución de las emisiones y afectaciones al ambiente y salud de la población. El diagrama de la metodología empleada se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Metodología empleada para la realización de la tesis.

## 4 DESARROLLO

### 4.1 Análisis de la situación que enfrentan los proyectos de DA en México

#### 4.1.1 Situación en México, aspectos económicos, técnicos, normativos, financieros, sociales y políticos.

El empleo de la DA aplicada a FORSU es una tecnología inexistente en México, no se cuenta con normas y especificaciones precisas con las que deba cumplir el proceso, salvo las mismas con las que deben de cumplir los sitios de tratamiento y disposición final de residuos como lo son los rellenos sanitarios y las plantas de composta; la LGEEPA y la LGPGIR plantean una disposición inclinada a promover la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren el manejo y gestión actual de los residuos así como que ayuden a mitigar los efectos nocivos al ambiente. Aun así, la escasa regulación sobre los sitios de disposición final como los rellenos sanitarios propicia una situación completamente favorecedora para estos, a pesar de las problemáticas ambientales y a la salud que generan, pues su implementación resulta más sencilla y los costos de operación que comprenden tratar y disponer los residuos se mantienen por debajo de los de cualquier otro tratamiento, como sucede respecto a la DA. Así también, el



cumplimiento de las normas y especificaciones establecidas sobre ellos son difícilmente verificadas por lo que el incumplimiento de los lineamientos establecidos es pasado por alto y no se realizan observaciones a fin de desarrollar e implementar mejoras.

En lo correspondiente a los factores financieros, desde el punto de vista de negocio dentro de la gestión de residuos, el empleo de la DA únicamente para dar tratamiento a la FORSU no resulta rentable puesto que requiere de grandes inversiones y los costos de operación son muy altos, la implementación de este tipo de proyectos es promovida por la entidad federativa interesada y por lo tanto ocupa recursos federales para los cuales está establecido que la TIR requerida debe ser por lo menos del 12%, la cual difícilmente es alcanzada. Los montos de inversión son muy elevados y, al ser vistos únicamente como negocio en la gestión de residuos, los proyectos de plantas de DA contemplan muy pocos beneficios sociales, teniendo una situación desfavorable frente otros proyectos o programas de inversión que también requieren financiamiento de los recursos federales. En contraste con este panorama, existen diversos programas con fondos para dar financiamiento mediante subvenciones y préstamos a proyectos con características de infraestructura social, sustentabilidad, energías renovables y ambientales tal y como lo son los proyectos para dar tratamiento a la FORSU mediante DA. Así también, existen programas y fondos internacionales dedicados a dar préstamos y en ocasiones subvenciones a proyectos con características ambientales, de energías renovables y de estructura que promuevan el desarrollo del país en el que se lleva a cabo el proyecto.

Socialmente, los patrones de consumo de la población se encuentran en incremento por lo que la generación de residuos per cápita también incrementa. La falta de cultura de aprovechamiento de residuos, conocimiento y apatía de la población por las temáticas ambientales conlleva a una generación mixta de residuos que provoca contaminación y emisiones nocivas en todas las fases de la gestión de residuos.

En lo que corresponde al aspecto técnico, México carece totalmente de experiencia en el empleo de DA para dar tratamiento a la FORSU por lo que se dificulta su implementación. El proceso de DA es afectado por las características de generación de residuos por lo que su rendimiento y eficiencia se ve comprometido por las características de generación de los residuos, debido a las cuales el proceso requiere un pretratamiento previo de separación en orgánicos e inorgánicos, así mismo, el requerimiento de pretratamientos eleva los costos de inversión. Una ventaja aparente de los rellenos sanitarios es que aceptan residuos orgánicos e inorgánicos mientras que la DA sólo da tratamiento a la FORSU.

En el ámbito económico, los principales elementos son las diferencias de costos de operación y de inversión que hay entre el tratamiento de residuos mediante DA y la disposición en rellenos sanitarios. Vista únicamente desde el punto de vista de negocio en la gestión de residuos, la DA no es un negocio atractivo, sin embargo, los beneficios sociales, ambientales y estructurales que conlleva el empleo de DA no son considerados al ser evaluado, muy por el contrario, el empleo de DA para dar tratamiento a la FORSU es considerado funcionalmente equivalente al relleno sanitario. El empleo de DA ofrece distintos beneficios que deben ser considerados. Los productos de la DA son potencialmente susceptibles de una valoración que puede dar beneficios económicos a los proyectos de plantas de DA, elevando su rentabilidad.

#### **4.1.2 Características de las instalaciones de DA**

Alrededor del mundo, y principalmente en Europa, las instalaciones que dan tratamiento a la FORSU mediante DA difieren unas de otras tanto en la tecnología empleada como en los residuos tratados, las diferencias dependen principalmente de las características de generación de residuos en cada sitio y de los objetivos particulares que cada entidad busca cumplir, como cantidad de residuos tratados y aprovechamiento de residuos. Para la DA se puede tener un estimado de sus principales aspectos técnicos y económicos para instalaciones de tecnologías de DA seca y DA húmeda, como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Aspectos técnicos y económicos de las tecnologías de DA.

Aspectos		Unidades	DA seca	DA húmeda	
Técnicos	Rendimiento	Biogás	(Nm <sup>3</sup> /ton)	124	106
		Metano	(Nm <sup>3</sup> /ton)	70	64
		Concentración de metano	(%)	57	60
		Energía	(kWh/ton)	249	213
		Consumo	(kWh/ton)	72	41
	Operación	Residencia	(días)	21	18
		Temperatura	(°C)	51	42
		Sólidos	(%)	136	11
Económicos	Costos	Costos de inversión	(\$USD año/ton)	488	448
		Costos de operación	(\$USD año/ton)	43	67

Dar una adecuada selección de la tecnología de DA a implementar deberá de hacerse con base en los aspectos técnicos y económicos siguientes:

- Aspectos económicos: costos de inversión y costos de operación.
- Aspectos técnicos: Requerimiento de pretratamiento de residuos y tratamientos de los subproductos, condiciones de operación y rendimiento del proceso.

## 4.2 Identificación de barreras que impiden el desarrollo de proyectos de DA en México

Las principales barreras que se presentan para el desarrollo de proyectos de plantas de DA en México son técnicas, financieras, sociales, económicas, normativas y políticas.

### 4.2.1 Barrera económica

La barrera económica se debe a los siguientes factores:

- Los costos de inversión son muy elevados,
- Altos costos de operación de la planta al requerir de personal operativo calificado respecto a los costos de operación de instalaciones de

relleno sanitario, en los que el personal requerido requiere menor capacitación,

- Costos por tratamiento y disposición mayores a los de los rellenos sanitarios debido al costo integral del proceso,
- Costos por pretratamiento de los residuos requerido al tratarse residuos generados en composición mixta,
- Costos por equipos de proceso para separación de residuos.

#### **4.2.2 Barrera técnica**

La barrera técnica se debe a los siguientes factores:

- Es una tecnología cuya aplicación a RSU es inexistente en México, por lo que no se cuenta con experiencia en su desarrollo e implementación, así como en lo que corresponde al tratamiento de residuos con las características de los residuos generados en México,
- Requiere separación de residuos degradables y no degradables,
- Únicamente se aplica a los desechos degradables, dejando a un lado la FIRSU,
- Requiere de manejo especial de residuos en cuanto a tiempo y distancias de transporte,
- Su rendimiento se condiciona por las características físicas y químicas de los residuos,
- Capacidad de tratamiento.

#### **4.2.3 Barrera financiera**

La barrera financiera se debe a los siguientes factores:

- Elevados montos de inversión,

- No es rentable desde el punto de vista del caso de negocio únicamente para disposición de residuos,
- Los montos de inversión provenientes de las entidades federativas son limitados por los beneficios que presenten y por la existencia de otros proyectos que también requieran financiamiento,
- Tasa de retorno de inversión baja, respecto a los requerimientos para inversiones con recursos federales,

#### 4.2.4 Barreras sociales

La barrera sociales se deben a los siguientes factores:

- Cultura de consumo que desenlaza en una generación de residuos per cápita mayor cada año,
- Generación mixta de residuos,
- Rechazo hacia la implementación de instalaciones de tratamiento de residuos en zonas próximas a las comunidades por motivo de malos olores, emisiones y posibles afectaciones a la salud,
- Desconocimiento de las consecuencias del manejo de residuos y falta de interés respecto al mismo,
- Desconocimiento de los beneficios del tratamiento de residuos a través de DA,

#### 4.2.5 Barrera normativa

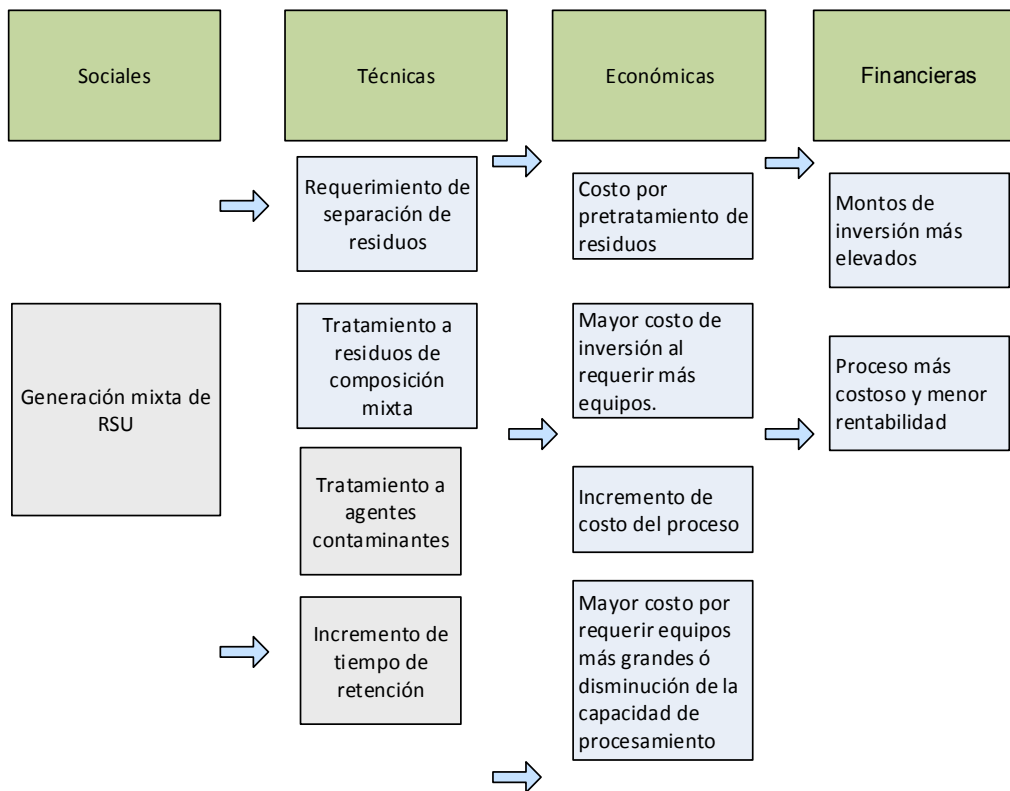
En lo que respecta al cuadro normativo, no se trata propiamente de una barrera puesto que al ser, la DA aplicada a FORSU, una tecnología inexistente en México, no se cuenta con normas y especificaciones precisas con las que deba cumplir el proceso, salvo las mismas con las que deben de cumplir los sitios de tratamiento y disposición final de residuos como lo son los rellenos sanitarios y las plantas de composta. La falta de normas que regulen las plantas y procesos de DA

aunado a la pobre legislación sobre los rellenos sanitarios genera una situación desfavorable para los proyectos de plantas de DA.

#### **4.2.6 Barreras cruzadas**

Factores de diferentes barreras influyen en factores de otras barreras incrementando el efecto negativo sobre el objetivo de desarrollar proyectos de plantas de DA.

Las barreras económicas están íntimamente relacionadas a las barreras técnicas y estas a su vez a las barreras sociales debido a que se crea una cadena consecencial en la que las condiciones de generación de residuos impactan directamente en las condiciones y requerimientos en las que debe diseñarse el proceso de DA, esto impacta directamente en los costos por requerimiento de equipos y de proceso lo cual eleva los costos del tratamiento, lo cual impacta directamente en el monto de inversión requerido y en la rentabilidad del proyecto, disminuyendo así los beneficios y el aspecto atractivo de realizar una inversión en este tipo de proyectos. La relación entre las barreras sociales, técnicas, económicas y financieras se ilustra en la Figura 10.



**Figura 10.** Relación entre las barreras que impiden el desarrollo de proyectos de plantas de DA.

#### 4.2.7 Oportunidades

Se encuentran oportunidades de desarrollo en torno a los proyectos de DA que, de aprovecharse, implican cambios en el concepto y desarrollo del proyecto, en su modelo de negocio, en los beneficios que representaría a la sociedad y en la viabilidad de su implementación. Tales oportunidades se encuentran en los marcos normativos, financieros y modelo de negocio.

##### 4.2.7.1 Oportunidades normativas y políticas

En lo que respecta al marco normativo, al ser la DA una tecnología de tratamiento de la FORSU con implementación inexistente en México, no se cuenta con normas y especificaciones precisas con las que deba cumplir el proceso, salvo las mismas con las que deben de cumplir los sitios de tratamiento y disposición final de residuos como lo son los rellenos sanitarios y las plantas de composta, si bien esto genera condiciones favorables para la operación de otras tecnologías de

tratamiento y disposición de residuos, también representa situaciones favorables para la DA; la LGEEPA y la LGPGIR plantean una disposición a promover la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren el manejo y gestión actual de los residuos así como que ayuden a mitigar los efectos nocivos al ambiente. El PND plantea la incentivación de la separación de residuos para su aprovechamiento, la promoción de tecnologías limpias, eficientes y de bajo carbono; dentro de sus estrategias busca lograr un manejo integral de residuos que incluya el aprovechamiento de sus productos, minimice los riesgos a la población y al medio ambiente.

Entre las estrategias y líneas de acción del Programa Desarrollo Innovador 2013-2018 se encuentra el promover la innovación en los sectores, bajo el esquema de participación de la academia, sector privado y gobierno, promocionar la investigación y aplicación de nuevas tecnologías así como el mejoramiento de incentivos para la investigación y desarrollo tecnológico, facilitar el acceso a fuentes de financiamiento y capitalización en las diferentes etapas de innovación en el sector servicios.

#### *4.2.7.2 Oportunidades de financiamiento*

A pesar de las barreras que enfrentan los proyectos de DA en torno a la obtención de recursos y su financiamiento, existen oportunidades que pueden ser aprovechadas en este marco. Al ser, esta tecnología, innovadora en el sector servicios, tanto en el aspecto de la gestión de residuos como en la producción de energía renovable, las estrategias y acciones del programa Desarrollo Innovador suponen facilitar el acceso a fuentes de financiamiento y capitalización.

Existen diversos programas y fondos de financiamiento en México especialmente diseñados para proyectos que cubran características como innovación tecnológica, desarrollo de energías renovables, desarrollo sustentable, reducción de emisiones y manejo y gestión de residuos tales como lo son el PRORESOL, el Fondo de Innovación y Tecnología Sustentable; así también diversos fondos y programas de bancos internacionales y organizaciones enfocados a impulsar proyectos de países, como México, en vías de desarrollo.



Además existen oportunidades de financiamiento por mercado de capitales debido a los bonos de carbono que se generan por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, esto a través de instituciones como el Banco Mundial o la fundación Hilton.

#### **4.2.7.3 Oportunidades de negocio**

Ante la problemática derivada del manejo de residuos y operación de los sitios de disposición final, en especial de rellenos sanitarios, el tratamiento de la FORSU mediante DA se presenta no sólo como necesidad sino como oportunidad de negocio debido a la necesidad de implementar más y nuevos sitios de disposición final.

Otra gran oportunidad de negocio consiste en el aprovechamiento de los productos de la digestión anaerobia mediante su comercialización. El biogás tiene potencial de aprovechamiento en lo que respecta a su uso como combustible de vehículos, en generación de electricidad y puede también ser inyectado en la red de gas natural.

El digestato tiene potencial de aprovechamiento en el mercado de fertilizantes. Los mercados en los que pueden incursionar los productos de la DA son mercados que existen en México y que bajo una adecuada estrategia pueden ser explotados. Establecer modelos de negocio aprovechando el digestato y biogás producidos por la DA permite elevar la rentabilidad de sus proyectos así como incrementar los beneficios ambientales y reducir el volumen de residuos enviados a disposición final.

### **4.3 Establecimiento de alternativas**

Para poder establecer alternativas de acción que permitan el desarrollo de proyectos de plantas de DA, es necesario partir de la premisa de que el tratamiento de residuos mediante DA no es una alternativa equivalente a la disposición de residuos que se lleva a cabo en los rellenos sanitarios; puesto que trata únicamente la FORSU y, a diferencia de otras tecnologías, genera productos que tienen un potencial valorizable en diferentes mercados, el proceso de DA estabiliza y reduce

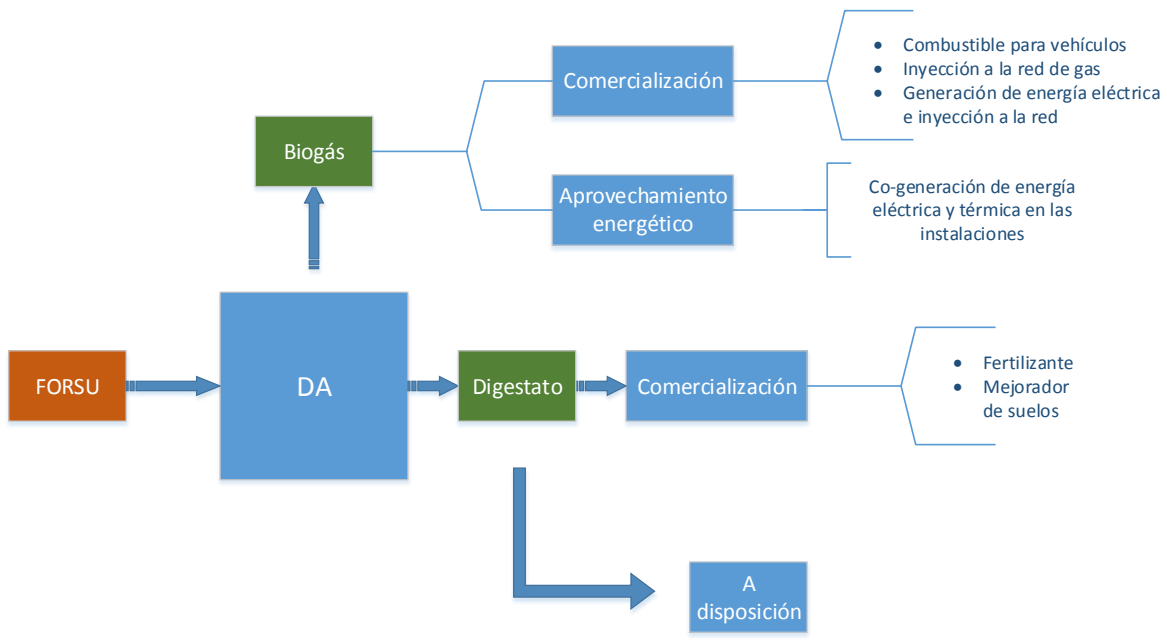
el volumen de los residuos que serían enviados a disposición final, sin embargo el aprovechamiento del digestato generado reduce aún más el volumen de residuos enviados a disposición final.

Se proponen las siguientes alternativas de cara a la situación que enfrentan los proyectos de plantas de DA para tratamiento de la FORSU en México:

- Crear un modelo de negocio del proyecto que considere alternativas de comercialización y aprovechamiento de los productos del proceso de DA.
- Obtención de recursos a través de programas de financiamiento nacionales o internacionales.
- Implementación de políticas a seguir que, buscando una mejor condición ambiental, generen condiciones que propicien el desarrollo de proyectos de plantas de DA.
- Implementación de normas de calidad y estándares aplicables a plantas de DA exitosas de otros países cuyas características de proceso sean similares a las de proyectos de plantas de DA a desarrollar en México.

#### **4.3.1 Modelo de Negocio integral**

Se propone un modelo de negocio que plantea un cambio de enfoque, en el cual no solamente se pretende dar tratamiento a la FORSU mediante el proceso de DA sino también se busca aprovechar los productos de dicho proceso, otorgando beneficios económicos, energéticos y ambientales. La Figura 11 muestra un esquema del modelo de negocio integral propuesto para proyectos de plantas de DA que den tratamiento a la FORSU.



**Figura 11.** Modelo de negocio general propuesto para proyectos de plantas de tratamiento de FORSU mediante DA.

- Las vías de comercialización del digestato son comercializarlo como fertilizante y como mejorador de suelo.
- Las vías de comercialización del biogás son venderlo como combustible para vehículos, venta para inyección a la red de gas natural y venta de energía eléctrica producida por su combustión. Así también, una vía de aprovechamiento es su uso para co-generación de energía eléctrica para consumo en las instalaciones del proyecto.

#### 4.3.2 Obtención de recursos a través de programas de financiamiento nacionales o internacionales

Dar aprovechamiento a los diversos programas de financiamiento nacionales e internacionales enfocados para proyectos con características como las de los proyectos de plantas de DA es una opción viable para facilitar el desarrollo de estos proyectos.

#### *4.3.2.1 Financiamiento a través de instituciones nacionales*

En México, para poder acceder a recursos federales a través de la implementación de Proyectos de Inversión por parte de las entidades federativas, los proyectos deben ser registrados en el Sistema de Inversiones de la Unidad de Inversiones (UI) de la SHCP. En el artículo 34 de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria se establece el procedimiento que las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal deberán observar para efecto de la programación de recursos destinados a programas y proyectos de inversión.

Los proyectos de DA son de carácter primordialmente ambiental y de desarrollo de infraestructura social; sin embargo, debido a las características del manejo, valorización y aprovechamiento de los productos de la DA, adquieren características de desarrollo sustentable y desarrollo de energías renovables. A continuación se presenta un listado de las instituciones capaces de otorgar fondos públicos para el desarrollo de proyectos de inversión en México con estas características:

- FONADIN

Programa: PRORESOL

Tipo de Financiamiento: subvención

Concepto del financiamiento: Apoyos Financieros No Recuperables a gobiernos municipales y estatales, a fin de incentivar la participación privada en proyectos de inversión de infraestructura de servicios enfocados a residuos sólidos.

Características: financiamientos por monto equivalente de hasta el 50% del costo total de los estudios de diagnóstico integral y estudios de factibilidad. Financiamientos para la realización del proyecto por un monto equivalente hasta 50% del costo total correspondiente a la inversión.

- SAGARPA/FIRA

Programa FONAGA verde

Concepto del financiamiento: Constitución de montos de reserva para cobertura de incumplimientos por parte de los acreditados. Dentro de todos los conceptos de inversión destinados al desarrollo de proyectos de biocombustibles, producción de fuentes renovables de energía y eficiencia energética

Monto máximo de reserva por proyecto de hasta 10% del patrimonio del fondo.

- SAGARPA

Programa de fomento a la agricultura/bioenergía y sustentabilidad

Tipo de financiamiento: Incentivos y apoyos económicos

Concepto del financiamiento: incentivos, serán para personas físicas o morales que se dediquen a procesos productivos primarios en actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas y pesqueras, otorgando incentivos para promover prácticas sustentables, como el aprovechamiento, generación y uso de energías renovables, el uso eficiente de la energía, la producción sustentable de bioenergéticos, cultivos orgánicos, la producción y uso de bioinsumos, y nuevos productos de la bioeconomía.

Características: Monto de hasta 10 millones de pesos por concepto de Proyectos integrales de la bioeconomía; proyectos de producción de biofertilizantes y abonos orgánicos; y proyectos de producción de fertilizantes minerales orgánicos

- SENER

Fondo Para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE)

Tipo de financiamiento: subvenciones

Concepto del financiamiento: Recursos no recuperables a proyectos que cumplan con los objetivos de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Características: Montos no especificados, el patrimonio del fondo superior a mil millones de pesos.

- BANOBRAS

Créditos a estados y municipios

Financiamiento a través de créditos

Concepto del financiamiento: Otorgamiento de créditos para financiamiento en la construcción de proyectos y asistencia técnica.

Financiamiento a Proyectos de Fuente de Pago Propia

Financiamiento a través de créditos

Concepto del financiamiento: Los créditos se otorgan al sector privado para que desarrollen proyectos derivados de Concesiones, Contratos de Obra Pública o de Prestación de Servicios Públicos, para diseñar, construir, mantener y operar Infraestructura Pública.

Características: Créditos Simple, Créditos en Cuenta Corriente, Arrendamientos Financieros, Garantías de Pago Oportuno y Programa de Liquidez a Contratistas.

#### *4.3.2.2 Financiamiento a través de instituciones financieras internacionales*

Existen diversas instituciones a nivel internacional cuyo interés es impulsar el crecimiento en infraestructura de países en desarrollo así como impulsar proyectos que ayuden a mitigar o presenten soluciones a problemáticas ambientales, como lo son reducción emisiones, creación de nuevas tecnologías verdes, aprovechamiento de energías renovables, entre otros. A continuación se presenta una lista de instituciones internacionales que proporcionan diversas alternativas de financiamiento a proyectos de inversión en México que se enmarcan en dentro de sus objetivos.

- Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)
  - Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF)

Tipo de financiamiento: subvención.

Concepto del financiamiento: Financiamiento para la ejecución de proyectos de infraestructura municipal en los estados fronterizos al norte del país.

Características: Montos de hasta 8 millones de dólares para asistencia en el costo de la construcción del proyecto.

- Programa de apoyo a comunidades (PAC)

Tipo de financiamiento: Subvención.

Concepto del financiamiento: Financiamiento para apoyar proyectos en sectores ambientales promovidos por entidades públicas de los estados fronterizos al norte del país.

Montos no reembolsables hasta por quinientos mil dólares.

- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)

Financiamiento vía préstamos, líneas de crédito, participaciones accionarias, financiamiento estructurado.

Concepto del financiamiento: movilización de recursos para la prestación oportuna de servicios financieros múltiples, de alto valor agregado, a clientes de los sectores públicos y privado de los países accionistas.

Montos no definidos.

- Banco Interamericano de Desarrollo

Fondo Multilateral de Inversiones

Financiamiento a través de préstamos, donaciones, garantías e inversiones.

Concepto del financiamiento: soluciones financieras flexibles a sus países miembros para financiar el desarrollo económico y social a través de préstamos y donaciones a entidades públicas y privadas en América Latina y el Caribe, así como programas nacionales y regionales de cooperación técnica en diversas áreas.

- Global Innovation Fund

Financiamiento a través de préstamos, donaciones e inversiones.

Concepto del financiamiento: inversión en proyectos innovadores con alto potencial de impacto social en gran escala, así como también asistencia técnica y acceso a redes de colaboración y de intercambio de experiencias. Contempla tres etapas de financiamiento, según el avance que se tenga del proyecto:



- Etapa Piloto: se otorgan fondos semilla para apoyar el lanzamiento y puesta a prueba del proyecto innovador.
- Etapa de Transición: apoyo a proyectos que buscan expansión a partir de la demostración de éxito a pequeña escala.
- Etapa de Escalamiento: apoyo a proyectos con amplio registro de impacto social y efectividad, usualmente para fomentar su replicación en otros países.

Financiamientos por montos que van desde 30,000 hasta 10 millones de libras esterlinas.

- Clinton Foundation

Programas enfocados al cambio climático y energías renovables.

Ofrece financiamiento mediante donaciones y como intermediario en compra/venta de bonos de carbono.

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Fondo Verde para el Clima

Diversas modalidades para asignación de recursos.

El Fondo Verde para el Clima es un mecanismo financiero que maneja recursos que serán asignados para acciones que tengan que ver con adaptación, mitigación y sector privado. El flujo de recursos es desde los países desarrollados hacia los países en desarrollo.

- International Development Finance Club (IDFC)

Se trata de una asociación que se compone de representantes de diversos países cuyo fin es definir y superar los obstáculos financieros que se enfrentan para el desarrollo social. Cuenta con diversos

programas de apoyo a proyectos en los países miembros entre los que destacan los dedicados a los sectores de Desarrollo sustentable y Energías renovables. En lo que respecta a México su representante es NAFIN.

- International Renewable Energy Agency IRENA

Provee fondos a gobiernos de países en desarrollo en forma de préstamos para apoyar en la consecución de sus metas de desarrollo y el desarrollo de economías sustentables.

El monto por préstamo se encuentra entre los 5 y los 15 millones de dólares y está limitado a un monto de préstamos totales de 50 millones de dólares.

- Banco Mundial

El Banco Mundial proporciona fondos para dos tipos básicos de operaciones: operaciones de inversión y operaciones de financiamiento para políticas de desarrollo. Las operaciones de inversión proporcionan financiamiento (en la forma de préstamos o créditos y donaciones) a los gobiernos para cubrir los gastos específicos relacionados con los proyectos de desarrollo económico y social en una gran variedad de sectores. Las operaciones de financiamiento para políticas de desarrollo suministran apoyo directo e incondicional a los gobiernos para llevar a cabo reformas institucionales y de políticas encaminadas a lograr resultados específicos en términos de desarrollo.

#### **4.3.3 Implementación de políticas a seguir que, buscando una mejor condición ambiental, generen condiciones que propicien el desarrollo de proyectos de plantas de DA.**

La falta de políticas que impulsen y regulen el desarrollo de proyectos de características sustentables y de protección al ambiente genera una situación muy

desfavorecedora para los proyectos de DA, es por ello que se requiere implementar nuevas y más completas políticas que impulsen la implementación de la tecnología de DA, que busquen disminuir la presencia de tratamientos como los rellenos sanitarios y que se basen en experiencias internacionales exitosas en el desarrollo de proyectos de plantas de DA; en la Tabla 7 se enmarca la propuesta de políticas a implementar para dar mayor viabilidad al desarrollo e implementación de proyectos de plantas de DA.

**Tabla 7.** Propuesta de políticas para mejora las condiciones de desarrollo de proyectos de DA.

Políticas
<p><b>Impulsar la generación y empleo de energía eléctrica proveniente de energías renovables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidades de conexión a la red de energía eléctrica nacional.</li> <li>• Otorgamiento de primas a los prestadores de servicios eléctricos por suministrar un porcentaje de energía proveniente de fuentes renovables.</li> <li>• Reducción y condonación de impuestos por suministrar energía renovable.</li> <li>• Priorización de la adquisición, transporte y retribución de energía por parte de los operadores de la red.</li> <li>• Creación de certificados de energías renovables comerciables cuyo mecanismo consista en otorgar beneficios económicos a cambio de los certificados.</li> </ul>
<p><b>Impulsar tratamientos de residuos para su aprovechamiento energético y económico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otorgamiento de incentivos económicos y fiscales por dar tratamientos de aprovechamiento de residuos.</li> <li>• Creación de sistemas de bonos y compensaciones por motivo empleo de recursos renovables y empleo de tecnologías innovadoras.</li> <li>• Creación de bonos por reducción de emisiones de contaminantes.</li> <li>• Fomento al desarrollo e incursión a mercados de los productos de los tratamientos de residuos.</li> </ul>
<p><b>Mejorar condiciones de financiamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de programas que incluyan subvenciones de capital necesario y/o préstamos a bajo interés.</li> <li>• Crear fondos de financiamiento para impulsar el desarrollo de productos valorizables a partir de residuos.</li> </ul>

- Fomentar la participación del sector privado en el manejo y gestión de los residuos.

#### Disminuir el vertido de residuos y cambio de uso de suelo

- Creación de medidas que disminuyan y/o prohíban depósito de residuos orgánicos en sitios de disposición final sin un tratamiento previo que implique su máximo aprovechamiento y estabilización.
- Creación de impuestos por disponer residuos orgánicos en rellenos sanitarios.
- Establecer mayores impuestos y cuotas sobre el cambio de uso de suelo, así como los requerimientos.
- Creación de impuestos sobre actividades de vertido de residuos orgánicos en rellenos sanitarios.

#### Separación de los residuos en origen y recolección selectiva

- Aumento a las exigencias y estándares por parte de los vertederos para la aceptación de los residuos.
- Implementar programas de recolección selectiva de residuos.
- Creación de programas sociales de fomento de separación de residuos
- Creación de proyectos piloto dirigidos a impulsar medidas de separación de residuos.
- Aumento de las actividades de separación de residuos en instalaciones de gestión y disposición de residuos.

#### Reducción de emisión de contaminantes

- Creación de programas de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes a nivel nacional.
- Establecer límites permisibles, impuestos y multas por motivo de emisiones de gases contaminantes.

## 4.4 Propuesta de estrategia

Los proyectos de DA son flexibles y por lo tanto la estrategia también debe ser flexible; su desarrollo debe ser adecuado a los requerimientos de cada proyecto y a las condiciones específicas de la zona donde se pretenda implementar siendo, entonces, específico para cada región, por lo que se definen criterios y objetivos mínimos con características generales que pretenden facilitar la superación de las barreras que impiden su desarrollo y generar condiciones a través de acciones

propuestas que eleven la probabilidad de éxito de su implementación; sin embargo los objetivos y aspectos de la estrategia pueden y deben ser adecuados a las condiciones de cada proyecto a la vez que es posible agregar otros criterios y acciones que aporten beneficios al desarrollo de la estrategia para implementar proyectos de DA en México.

La propuesta de estrategia se sustenta por una parte en aumentar la factibilidad económica de los proyectos de DA mediante el diseño e implementación de un modelo de negocio general en el que se eleven los flujos de beneficios económicos, en el cual se plantea como entradas el tratamiento de la FORSU y la comercialización de los productos de la DA; por otra parte la estrategia busca aprovechar las oportunidades y superar las barreras presentes en los rubros técnico, financiero, social, económico, normativo y político en torno al desarrollo de los proyectos de DA en México.

Por lo anterior, la elaboración de la propuesta de estrategia se realizó partiendo de la definición de elementos de los objetivos del proyecto y siguiendo a sus elementos subsecuentes como niveles inferiores hasta llegar a las acciones específicas, que son en sí los elementos que definen la estrategia.

La propuesta de estrategia se establece para tomar lugar en las fases de formulación del proyecto “Estudio de gran visión” y de “Estudio de pre-factibilidad” puesto que es en estas fases donde se define la problemática a resolver por el proyecto y, sobre todo, se define el modelo de proyecto a implementar.

Las condiciones que pueden diferir en cada proyecto son las siguientes:

- Cantidades generadas de residuos,
- Demanda y porcentaje de residuos generado que se pretenda tratar (capacidad de tratamiento),
- Características de los residuos (composición mixta, composición, pH, humedad, nutrientes, potencial de generación de biogás),

- Características de los productos (composición de biogás como el contenido de metano, humedad, contaminantes, etc., y características físicas y químicas del digestato como lo son la relación de nutrientes, contaminantes, composición, humedad, pH, entre otros),
- Población objetivo
- Área de influencia
- Partes interesadas y afectadas

#### 4.4.1 Objetivo

Como ya se mencionó en el punto anterior, cada proyecto tendrá características diferentes y diferirá en su objetivo general; sin embargo, el objetivo del proyecto incluye el implementar plantas de tratamiento de la FORSU mediante DA, además de establecer fines referentes a dar continuidad a la gestión de residuos y mejora de su manejo, también deberá considerar los siguientes fines:

- Disminución del volumen de residuos enviados a disposición final.
- Disminución del cambio de uso de suelo de áreas destinadas a sitios de disposición final.
- Reducción de emisiones de contaminantes.
- Disminuir riesgos y daños a la salud de la población.
- Evitar propagación de fauna nociva.
- Aprovechamiento energético y económico de los productos del tratamiento de la FORSU mediante DA.
- Fomentar la incursión de la iniciativa privada en la prestación de servicios dentro de la gestión de residuos.

Estableciendo estos fines dentro del objetivo del proyecto se enmarcan aspectos sociales, ambientales, económicos y financieros que al ser atendidos

repercuten en la superación de las barreras al desarrollo de proyectos de DA de dichos aspectos.

#### **4.4.2 Declaraciones estratégicas**

Las declaraciones estratégicas son los ejes del proyecto, si bien el proyecto a realizar en determinada entidad buscará ciertos objetivos principales, como dar continuidad a la disposición de residuos tras el cierre de una instalación previa, disminuir el impacto a la salud y al ambiente, hacer un aprovechamiento de los residuos, etc., será definido por la entidad federativa responsable de acuerdo a sus intereses y necesidades; sin embargo, para poder establecer una adecuada estrategia es importante considerar en cada declaración estratégica los aspectos siguientes:

##### **4.4.2.1 Consideraciones en la Misión**

La misión del proyecto a implementar contendrá los resultados previstos y esperados de la presencia de la planta de DA dando tratamiento a los residuos en un plazo, en un área de influencia y a una población objetivo, establecidos desde la planeación del proyecto.

Además de lo correspondiente al tratamiento de residuos, es importante que en la misión forme parte dar aprovechamiento económico a los productos del tratamiento de FORSU mediante DA. El aprovechamiento del digestato producido implica directamente una gran disminución del volumen de residuos enviados a disposición final, esto además de que el digestato ya es por sí mismo un producto degradado y estabilizado.

El aprovechamiento del biogás supone beneficios económicos, existen varios escenarios de aprovechamiento en los que destacan el disminuir costos dentro del proyecto al ser aprovechado en sus propias instalaciones para producción de energía eléctrica y energía térmica; al ser vendido para su uso como combustible; para ser incorporarlo a las redes de gas natural; generar electricidad y ser incorporada a las redes eléctricas para consumo de la población.

Una manera más de dar aprovechamiento económico al biogás es crear un mercado de bonos de carbono debido a la consecuente reducción de emisiones de GEIs.

El establecimiento de tipo de empresa es necesario al existir la posibilidad de que el proyecto se lleve a cabo por una asociación público-privada entre la entidad federativa interesada y una empresa encargada de la operación y prestación del servicio del tratamiento.

En el establecimiento de la Misión, se requiere realizar la definición y alcance de los servicios, esto es enmarcar el papel del proyecto en lo que respecta a la gestión de residuos. El papel del proyecto en las etapas de la gestión puede ser desde dar únicamente el tratamiento a la FORSU previo a la disposición final hasta incluir también más etapas como lo son la recolección y separación de los residuos así como pretratamientos; además, el proyecto puede generar una situación con condiciones favorables para dar tratamiento y aprovechamiento a la FIRSU.

Los propósitos del proyecto que deberán enunciarse en la misión son los siguientes:

- Establecer una comercialización del digestato producido en el proceso para su aprovechamiento económico.
- Establecer un aprovechamiento energético y económico del biogás producido en el proceso.
- El papel del proyecto dentro de la gestión de RSU.
- Declaración del tipo de empresa que se encargará del proyecto puesto en marcha.

#### *4.4.2.2 Consideraciones en la Visión*

El mercado objetivo de los proyectos de DA es la FORSU generada en el área de interés, sin embargo al ser un servicio cuya implementación es interés de la entidad federativa y así también lo es el consumo del servicio, el consumo de la



oferta del servicio es asegurado. A diferencia de proyectos convencionales con un modelo de negocio que pretende incursionar y generar demanda en un mercado definido, los proyectos de DA se introducen al mercado por necesidad y decisión del único consumidor.

Al tratarse de proyectos de estructura social cuya implementación es responsabilidad de las entidades federativas, éstas mismas planean y definen los elementos que componen la visión desde la formulación del proyecto y son objetivos concretos; los elementos, con las características de sus objetivos, se explican en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Propuesta de elementos para conformar la declaración de visión de proyectos de DA.

Elementos	Descripción	Observaciones
Capacidad de tratamiento	La capacidad de tratamiento se define y es constante en un plazo definido de tiempo.	La capacidad de tratamiento de las instalaciones (oferta) suele ser inferior a la generación de residuos de la población en el área de interés (demanda).
Comercialización y/o aprovechamiento de los productos del tratamiento de Da	Se deben definir las vías de aprovechamiento de los productos de la DA, se define también el segmento del mercado a cubrir en el que se pretende introducir cada producto.	Cada producto de la DA tendrá su propio mercado cuyo aprovechamiento será independiente y además de dar solución a problemáticas ambientales, buscará elevar la rentabilidad del proyecto ayudando a superar las barreras que impiden su implementación.
Población objetivo	Se determina la población objetivo que será beneficiada por el proyecto basado en la generación de residuos.	La selección de la población objetivo y el área de influencia están estrechamente relacionados, las
Área de influencia	Se determinará el área de influencia del proyecto basado	características de los residuos y los requerimientos del

	en elementos de la logística del manejo de los residuos.	proceso permitirán dar selección de estos elementos.
--	--	--

#### 4.4.2.3 Valores

Respecto a la declaración de los valores y su relevancia en la estrategia para el desarrollo del proyecto, ésta declaración tiene un impacto indirecto puesto que los valores promoverán la forma de actuar de la empresa y los elementos que la conforman. Los valores que debe considerar en forma general el desarrollador del proyecto son:

- Empresa limpia,
- Protección al ambiente,
- Máxima calidad de procesos, así como de calidad de productos generados,
- Máximo aprovechamiento de productos,
- Impulsar el desarrollo social,
- Máxima reducción de emisión de contaminantes,

#### 4.4.3 Objetivos estratégicos

Los objetivos estratégicos necesarios para superar las barreras que impiden el desarrollo de proyectos de plantas de DA, a partir de las declaraciones estratégicas anteriores, engloban los rubros de cada barrera y de cada oportunidad identificada; es decir los rubros económico, técnico, financiero, social, normativo, político y de negocio; se plantean cuatro grandes objetivos:

- Dar aprovechamiento energético y económico a los productos del proceso de DA.
- Dar aprovechamiento de las oportunidades normativas, financieras y de negocio en torno al proyecto.

- Dar financiamiento al proyecto a través de recursos provenientes de fondos que permitan elevar la rentabilidad del proyecto.
- Establecer políticas y que favorezcan el desarrollo de proyectos de plantas de DA para FORSU.

#### 4.4.3.1 Líneas estratégicas

Las líneas estratégicas buscan la consecución de los objetivos estratégicos y parten de su definición basándose en la problemática identificada, la definición de las barreras y oportunidades. De las líneas estratégicas se despliegan las acciones específicas que buscarán el logro de los objetivos.

Las líneas estratégicas y sus acciones específicas se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Líneas estratégicas y acciones específicas para el desarrollo de proyectos de plantas de DA en México

Línea estratégica	Dar aprovechamiento energético y económico a los productos de la DA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar aprovechamiento energético al biogás mediante generación y consumo de energía eléctrica en las instalaciones del proyecto.</li> <li>• Dar aprovechamiento económico al biogás mediante su comercialización como combustible.</li> <li>• Dar aprovechamiento económico al biogás mediante su venta para inyección a la red de suministro de gas natural.</li> <li>• Dar aprovechamiento económico al digestato mediante su comercialización como fertilizante.</li> <li>• Dar aprovechamiento económico al digestato mediante su comercialización como mejorador de suelo.</li> </ul>
	Dar aprovechamiento a las oportunidades normativas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar cumplimiento a la normativa aplicable en México a los tratamientos de RSU.</li> <li>• Implementar y dar cumplimiento a especificaciones normativas de calidad de proceso empleadas en países con amplio desarrollo de la tecnología de DA aplicada a RSU.</li> <li>• Implementar y dar cumplimiento a especificaciones normativas de calidad de biogás producido por DA empleadas en países con amplio desarrollo de la tecnología de DA aplicada a RSU.</li> <li>• Implementar y dar cumplimiento a especificaciones normativas de calidad de digestato producido por DA empleadas en países con amplio desarrollo de la tecnología de DA aplicada a RSU.</li> </ul>

- Implementar y dar cumplimiento a especificaciones normativas de tratamiento de biogás producido por DA para su posterior empleo como combustible, inyección a redes de gas natural y generación de electricidad empleadas en países con amplio desarrollo de la tecnología de DA aplicada a RSU.
- Implementar y dar cumplimiento a especificaciones normativas de calidad de digestato producido por DA para su posterior empleo como fertilizante y/o mejorador de suelo empleadas en países con amplio desarrollo de la tecnología de DA aplicada a RSU.

#### Dar aprovechamiento a las oportunidades financieras en torno al proyecto

- Obtener financiamiento para la implementación del proyecto mediante el otorgamiento de recursos provenientes de fondos de programas de financiamiento nacionales, como modalidad prioritaria de subvención y, en segundo término, en modalidad de préstamo.
- Obtener financiamiento para la implementación del proyecto mediante el otorgamiento de recursos provenientes de fondos de programas de financiamiento internacionales nacionales, como modalidad prioritaria de subvención y, en segundo término, en modalidad de préstamo.
- Obtener financiamiento a través del aprovechamiento de bonos de carbono a generar por la implementación del proyecto vía mercado de capitales como primera opción; en segundo término establecer la comercialización de los bonos de carbono.
- Establecer asociaciones público-privadas para la implementación y ejecución del proyecto en las que el sector privado otorgue financiamiento.

#### Implementar políticas que generen condiciones de desarrollo de proyectos de plantas de DA para tratamiento de RSU

- Establecer políticas que regulen las características de tratamiento y disposición final de RSU.
- Establecer políticas de impuestos sobre la disposición final de RSU.
- Establecer políticas que impulsen la generación y empleo de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables como la DA.
- Establecer políticas de aprovechamiento energético y económico de residuos.
- Establecer políticas que mejoren las condiciones de financiamiento de proyectos de inversión con características ambientales, estructurales, innovadores y de desarrollo de manejo de residuos.
- Establecer políticas que regulen el vertido de residuos y cambio de uso de suelo para la disposición de residuos.
- Establecer políticas que impulsen la generación separada de residuos así como su recolección y manejo selectivo.
- Establecer políticas enfocadas en la reducción de emisiones de contaminantes.

### Generar condiciones técnicas favorables para el tratamiento de residuos mediante DA

- Establecer una recolección separada de residuos.
- Implementar tecnología de DA más adecuada para tratamiento de residuos y aprovechamiento de productos.
- Dar selección de sitio considerando las características de proceso de DA.
- Establecer pretratamientos convenientes para los residuos a tratar.
- Establecer manejo de residuos no digeribles.
- Establecer captación, tratamiento y manejo del biogás producido.
- Establecer manejo y tratamiento del digestato producido.

### Generar impactos sociales que repercutan en mejorar el desarrollo de proyectos de plantas de DA

- Programas de concientización de beneficios del tratamiento de residuos mediante DA dirigidos a la población objetivo en el área de influencia.
- Programas de concientización y cultura de separación de residuos dirigidos a la población objetivo en el área de influencia.
- Programas de concientización, contacto y aceptación de las características del proceso de DA y relación con el entorno de las instalaciones del proyecto de DA dirigidos a la población objetivo en el área de influencia.
- Programas de participación ciudadana en actividades en torno al tratamiento de residuos mediante DA en las diferentes fases del proyecto.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Implementación metodológica de la estrategia propuesta

Los elementos desarrollados conforman la estrategia, sin embargo, ésta debe ser implementada de tal forma que se enfoque a la formulación del proyecto de planta de DA que se pretende implementar, por lo que las acciones de la estrategia se ubican en las fases de formulación de proyectos “Estudio de gran visión”, “Estudio de pre-factibilidad” y “Estudio de factibilidad”. La estrategia define las acciones y plantea criterios sobre los cuales será posible desarrollar e implementar un proyecto de planta de DA para tratamiento de la FORSU; siendo así, las acciones de la estrategia se incorporan en una serie de pasos para dar definición al modelo de proyecto a implementar.

Se propone la siguiente metodología en la que se aplica la estrategia para desarrollar modelos de proyecto de plantas de DA para dar tratamiento a la FORSU en entidades mexicanas.

#### **5.1.1 Definición del caso de negocio**

Se lleva a cabo dentro de la fase de Estudio de gran visión; se proponen las siguientes acciones:

- Se identifican los antecedentes del proyecto y la entidad federativa identifica la necesidad del proyecto.
- La entidad federativa establece los objetivos que pretende cumplir con la implementación del proyecto.
- Se plantean las declaraciones estratégicas y los objetivos estratégicos del proyecto.
- Se detectan y definen las barreras y oportunidades para el desarrollo de proyectos.

#### **5.1.2 Definición de las características de interés del proyecto**

Este paso se lleva a cabo en la fase de formulación del proyecto Estudio de pre-factibilidad , en ella se efectúan las siguientes acciones:

- Se definen las características del área de influencia y población objetivo del proyecto.
- Se identifican las características de residuos así como las cantidades de generación.
- Se establece la oferta y demanda del tratamiento de residuos así como su alcance.
- Se identifican las partes afectadas e interesadas de la implementación del proyecto.

- Se establece la modalidad de empresa que se encargará del desarrollo y de la ejecución del proyecto.

### **5.1.3 Selección de la tecnología de DA apropiada**

Se lleva a cabo en las fases de Estudio de pre-factibilidad y Estudio de factibilidad, llevando a cabo las evaluaciones con el nivel de definición correspondiente, como se explica en la sección 2.4.4.2. Se realizan las siguientes acciones:

- Se determina la tecnología de DA más conveniente para tratar los residuos.
- Se determinan las características de los productos.
- Determinación de la normatividad aplicable y selección de normas extranjeras que se tomen como referencia para el desarrollo del proyecto y características del proceso de DA y sus productos.

### **5.1.4 Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras técnicas**

En la fase de Estudio de pre-factibilidad se efectúan las siguientes acciones para superar las barreras técnicas:

- La selección del sitio de la planta del proyecto, basando la decisión en el manejo de los residuos requerido debido a las características de los residuos a tratar y de los requerimientos del proceso.
- Se establecen los pretratamientos convenientes a los residuos alimentados.
- Se determinan el manejo y los tratamientos convenientes a los productos del proceso de DA para su aprovechamiento.
- Se establece el manejo y recolección de los residuos.

### **5.1.5 Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras económicas y financieras**

En la fase de Estudio de pre-factibilidad se efectúan las siguientes acciones para superar las barreras financieras:

- Se establecen las fuentes de financiamiento a partir de recursos de fondos internacionales o nacionales, la modalidad de financiamiento de principal interés es subvención.
- Se establece el aprovechamiento de los bonos de carbono que genera el proyecto; la principal vía es lograr financiamiento por mercado de capitales, también se considera la comercialización de los bonos.

En la fase de Estudio de pre-factibilidad se efectúan las siguientes acciones para superar las barreras económicas:

- Creación de modelos de negocio de proyecto que den aprovechamiento a los productos de la DA.
- Se establecen las vías de comercialización y aprovechamiento energético de los productos de la DA.

### **5.1.6 Establecimiento de las acciones estratégicas para superar las barreras sociales**

Durante las fases de desarrollo del proyecto se deben llevar a cabo acciones de comunicación y concientización de la población objetivo, para lo cual se propone establecer programas y acciones de comunicación que busquen la concientización de la población objetivo en el área de influencia principalmente. Las acciones comprenden el establecimiento de programas de las siguientes características:

- Promover la concientización de beneficios del tratamiento de residuos mediante DA.
- Establecer una cultura de separación de residuos.



- Crear un mayor conocimiento, y aceptación de las características del proceso de DA así como contacto con las instalaciones del proyecto de DA.
- Participación ciudadana en actividades en torno al tratamiento de residuos mediante DA en las diferentes fases del proyecto.

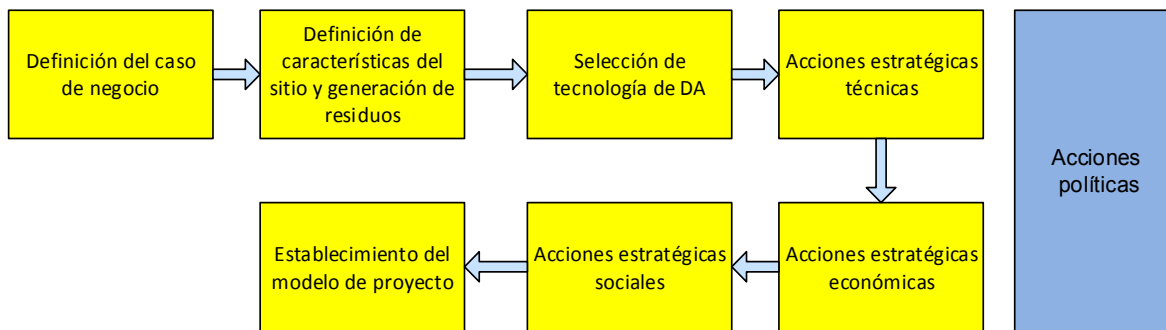
#### **5.1.7 Establecimiento del modelo de Proyecto**

Se establece el modelo de proyecto basado en las consideraciones anteriores e incorporando las acciones estratégicas anteriormente establecidas, El modelo de proyecto será resultado de las fases de formulación de proyecto Estudio de gran visión y Estudio de pre-factibilidad, el nivel de detalle y el nivel de incertidumbre aumentan su precisión al progresar el desarrollo del proyecto, sin embargo, la implementación de la estrategia el desarrollo de proyectos de plantas de DA se realiza en las fases de formulación de proyecto antes mencionadas.

#### **5.1.8 Establecimiento de las acciones políticas en torno al desarrollo del proyecto**

La entidad federativa que implementará el proyecto alternadamente deberá buscar generar mejores condiciones de desarrollo de proyectos mediante la implementación de políticas que regulen los tratamientos y disposición final de RSU, generen condiciones que impulsen el aprovechamiento de tecnologías que ofrecen beneficios ambientales como la DA, así como políticas enfocadas a la reducción en la generación de residuos y emisiones de contaminantes.

La metodología de la implementación de la estrategia se muestra en forma esquemática en la Figura 12.



**Figura 12.** Esquema de la metodología para la implementación de la estrategia.

## 5.2 Beneficios de la implementación de proyectos de plantas de DA

El tratamiento de la FORSU mediante el empleo de la DA y el aprovechamiento energético y económico de sus productos ofrece los siguientes beneficios ambientales, energéticos y sociales:

- Reducción potencial de la contaminación del agua,
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por motivo de la descomposición de los residuos,
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por motivo de la sustitución, y consiguiente ahorro, de combustibles fósiles al emplear el biogás para producción de electricidad o como combustible,
- Es un tratamiento que por sus características evita la lixiviación en el suelo y contaminación a los mantos acuíferos,
- Disminución del volumen de residuos enviados a disposición final,
- Combate el cambio de uso de suelo destinado a rellenos sanitarios,
- Combate el deterioro estético de los paisajes naturales,
- Producción de energía renovable al dar aprovechamiento al biogás,
- Reduce los riesgos y daños a la salud que convencionalmente se asociaban al manejo y disposición de residuos,

- Es un tratamiento de residuos susceptible de tener una aceptación social al no generar los inconvenientes de otros tratamientos como lo son la generación de malos olores y depreciación de los predios aledaños a las instalaciones,
- De desarrollarse en asociación con la iniciativa privada, el tratamiento de residuos presentaría mejoras en su eficiencia y cumplimiento de normatividad, así como un menor empleo de fondos federales al ser financiado también por el sector privado,
- Manejo y disposición adecuada de residuos orgánicos,
- Mejora el sistema de gestión de RSU,
- Propicia condiciones favorables para el aprovechamiento de los residuos inorgánicos susceptibles de valorización,
- El digestato producido puede emplearse como fertilizante y mejorador de suelo, lo cual genera ingresos económicos al proyecto y disminuye la dependencia de fertilizantes inorgánicos,
- Mitiga la dependencia de combustibles fósiles al aprovecharse el biogás,
- Contribuye a los objetivos de reducción de emisiones de las políticas nacionales y de los tratados y acuerdos internacionales.

### **5.3 Propuesta de políticas y acciones asociadas a favorecer el desarrollo de proyectos de plantas de DA**

A continuación se presenta la propuesta de políticas y acciones para ayudar al desarrollo de proyectos de plantas de DA, la entidad federativa que busque la implementación de la DA para dar tratamiento a la FORSU deberá apoyarse en sus facultades y objetivos de desarrollo para implementar la propuesta de políticas y acciones, así como también adecuarlas a sus intereses. Esta propuesta se basa en las políticas y planes de acción empleadas en los países con mayor desarrollo de

DA como lo son Alemania, España, Inglaterra e Italia, principalmente, como se analiza en la sección 2.2 del presente trabajo y con referencia en el anexo 8.7.

Las políticas propuestas son las siguientes:

### **5.3.1 Políticas de Impulso a la generación y empleo de energía eléctrica proveniente de energías renovables**

- Facilidades de conexión a la red de energía eléctrica nacional.
- Otorgamiento de primas a los prestadores de servicios eléctricos por suministrar un porcentaje de energía proveniente de fuentes renovables.
- Reducción y condonación de impuestos por suministrar energía renovable.
- Priorización de la adquisición, transporte y retribución de energía por parte de los operadores de la red.
- Creación de certificados de energías renovables comerciables cuyo mecanismo consista en otorgar beneficios económicos a cambio de los certificados.

### **5.3.2 Políticas que buscan Impulsar tratamientos de residuos para su aprovechamiento energético y económico**

- Otorgamiento de incentivos económicos y fiscales por dar tratamientos de aprovechamiento de residuos.
- Creación de sistemas de bonos y compensaciones por motivo empleo de recursos renovables y empleo de tecnologías innovadoras.
- Creación de bonos por reducción de emisiones de contaminantes.
- Fomento al desarrollo e incursión a mercados de los productos de los tratamientos de residuos.

### **5.3.3 Políticas enfocadas a mejorar las condiciones de financiamiento de proyectos de DA**

- Creación de programas que incluyan subvenciones de capital necesario y/o préstamos a bajo interés.
- Creación de fondos de financiamiento para impulsar el desarrollo de productos valorizables a partir de residuos.
- Fomentar la participación del sector privado en el manejo y gestión de los residuos.

### **5.3.4 Políticas enfocadas a disminuir el vertido de residuos y cambio de uso de suelo**

- Creación de medidas que disminuyan y/o prohíban depósito de residuos orgánicos en sitios de disposición final sin un tratamiento previo que implique su máximo aprovechamiento y estabilización.
- Creación de impuestos por disponer residuos orgánicos en rellenos sanitarios.
- Establecer mayores impuestos y cuotas sobre el cambio de uso de suelo, así como los más estrictos requerimientos para su empleo.
- Creación de impuestos sobre actividades de vertido de residuos orgánicos en rellenos.

### **5.3.5 Políticas que impulsen la separación de los residuos en origen y recolección selectiva**

- Aumento a las exigencias y estándares por parte de los vertederos para la aceptación de los residuos.
- Implementar programas de recolección selectiva de residuos.
- Creación de programas sociales de fomento de separación de residuos

- Creación de proyectos piloto dirigidos a impulsar medidas de separación de residuos.
- Aumento de las actividades de separación de residuos en instalaciones de gestión y disposición de residuos.

#### **5.3.6 Políticas enfocadas a la reducción de emisión de contaminantes**

- Creación de programas de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes a nivel nacional.
- Establecimiento de los límites permisibles de emisiones de gases, así como el establecimiento de impuestos y multas por motivo de emisiones de gases.

### **5.4 Alternativas de financiamiento de proyectos de plantas de DA**

Los proyectos de plantas de DA pueden acceder a diferentes fuentes de financiamiento, que provienen de programas con fondos de recursos nacionales e internacionales; la modalidad ideal de financiamiento es por subvención, sin embargo también es posible que acceda a financiamiento por préstamos, créditos y mercado de capitales.

Los programas y fondos de financiamiento a los que pueden acceder los proyectos de plantas de DA son los siguientes.

#### **5.4.1 Fondos y programas de financiamiento de instituciones nacionales**

- FONADIN

Programa: PRORESOL

Tipo de Financiamiento: subvención.

- SAGARPA/FIRA

Programa FONAGA verde

Concepto del financiamiento: Constitución de montos de reserva para cobertura de incumplimientos por parte de los acreditados.

- SAGARPA

Programa de fomento a la agricultura/bioenergía y sustentabilidad

Tipo de financiamiento: Incentivos y apoyos económicos.

- SENER

Fondo Para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE)

Tipo de financiamiento: subvenciones.

- BANOBRAS

Créditos a estados y municipios

Concepto del financiamiento: Otorgamiento de créditos para financiamiento en la construcción de proyectos y asistencia técnica.

Financiamiento a través de créditos.

#### **5.4.2 Fondos y programas de financiamiento de instituciones internacionales**

- Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN)

- Fondo de Infraestructura Ambiental Fronteriza (BEIF)

Tipo de financiamiento: subvención.

- Programa de apoyo a comunidades (PAC)

Tipo de financiamiento: Subvención.

- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)

Financiamiento vía préstamos, líneas de crédito, participaciones accionarias, financiamiento estructurado.

- Banco Interamericano de Desarrollo

- Fondo Multilateral de Inversiones

Financiamiento a través de préstamos, donaciones, garantías e inversiones.

- Global Innovation Fund

Financiamiento a través de préstamos, donaciones e inversiones.

- Clinton Foundation

Programas enfocados al cambio climático y energías renovables.

Ofrece financiamiento mediante donaciones y como intermediario en compra/venta de bonos de carbono.

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Fondo Verde para el Clima

Diversas modalidades para asignación de recursos.

- International Development Finance Club (IDFC)

Cuenta con diversos programas de apoyo a proyectos en los países miembros entre los que destacan los dedicados a los sectores de Desarrollo sustentable y Energías renovables. En lo que respecta a México su representante es NAFIN.

- International Renewable Energy Agency IRENA



Provee fondos a gobiernos de países en desarrollo en forma de préstamos para apoyar en la consecución de sus metas de desarrollo y el desarrollo de economías sustentables.

- Banco Mundial

El Banco Mundial proporciona fondos para dos tipos básicos de operaciones: operaciones de inversión y operaciones de financiamiento para políticas de desarrollo. Las operaciones de inversión proporcionan financiamiento (en la forma de préstamos o créditos y donaciones) a los gobiernos para cubrir los gastos específicos relacionados con los proyectos de desarrollo económico y social en una gran variedad de sectores. Las operaciones de financiamiento para políticas de desarrollo suministran apoyo directo e incondicional a los gobiernos para llevar a cabo reformas institucionales y de políticas encaminadas a lograr resultados específicos en términos de desarrollo.

## **5.5 Opciones de comercialización y aprovechamiento de productos de los proyectos de plantas de DA**

Los productos del proceso de la digestión anaerobia son el biogás y el digestato, ambos valorizables; las opciones de comercialización y aprovechamiento se presentan a continuación.

### **5.5.1 Opciones de aprovechamiento del biogás**

- Aprovechamiento energético: mediante producción de energía eléctrica en las instalaciones del proyecto.
- Aprovechamiento económico mediante su comercialización como combustible para vehículos.
- Aprovechamiento económico mediante su venta para inyección a la red de gas natural.

- Aprovechamiento económico mediante la generación de energía eléctrica y posterior venta e inyección a la red de suministro eléctrico.

#### **5.5.2 Opciones de aprovechamiento del digestato**

- Aprovechamiento económico mediante su comercialización como fertilizante orgánico de alto valor agregado
- Aprovechamiento económico mediante su comercialización como mejorador de suelo.

## 6 CONCLUSIONES

El rezago en el desarrollo tecnológico para dar tratamiento y disposición a los RSU que existe en México conlleva grandes consecuencias ambientales y sanitarias.

Los proyectos de plantas de DA para dar tratamiento a la FORSU cuentan con gran auge en países europeos debido a un proceso evolutivo en su desarrollo y acumulación de experiencia, en México el proceso de implementación de proyectos de plantas de DA requiere llevar a cabo un aprovechamiento directo de experiencias internacionales en el desarrollo de DA, como la de los países con mayor éxito y presencia de DA para así implementar esta tecnología con el mejor aprovechamiento de tiempo y de recursos.

Los proyectos de plantas de DA presentan una alternativa integral para dar continuidad a la gestión de residuos al dar un aprovechamiento económico y energético a los residuos. Esta tecnología da tratamiento únicamente a la FORSU dejando a un lado la FIRSU; sin embargo genera una situación favorable para dar aprovechamiento a la FIRSU.

Las barreras que enfrentan los proyectos de plantas de DA comprenden diferentes rubros, para poder superar tales barreras es necesario que el modelo de proyectos cambie el enfoque clásico de ser únicamente una alternativa de tratamiento de residuos para darles disposición. El cambio de enfoque que se propone establece que los residuos aún son susceptibles de valoración y genera nuevos modelos de negocio al proponer un aprovechamiento energético y económico de los productos de la DA. Así también, el desarrollo de estos proyectos requiere cambios en aspectos que potencialmente mantienen en rezago el desarrollo del país, como lo son aspectos sociales de cultura de consumo y generación de residuos, aspectos normativos laxos que mantienen sistemas como los rellenos sanitarios en la principal alternativa de tratamiento y disposición de residuos, políticas débiles en cuanto al apoyo e impulso de transición tecnológica y cuidado al ambiente.

La propuesta de estrategia está dirigida a las entidades federativas de México; su implementación se lleva a cabo dentro de las fases de desarrollo de proyectos Estudio de gran visión y Estudio de pre-factibilidad principalmente, esta estrategia establece un modelo de negocio de proyecto que ofrece entradas económicas para elevar su factibilidad a partir del aprovechamiento de los productos del proceso de DA, establece las alternativas de financiamiento que contribuyen a disminuir el costo de inversión para la entidad federativa y establece acciones para lograr la aceptación social y superación de las barreras técnicas que dificultan el desarrollo de proyectos de plantas de DA.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Andaluza de la Energía. (2011). *Estudio Básico del Biogás*. Andalucía, España.
- Alcaide Tour, A. (2012). *Residuos Sólidos Urbanos una consecuencia de la vida*. España: Universidad Jaume I.
- Arsova, L. (Mayo de 2010). *Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product*. Columbia, New York, United States: Earth Engineering Center Columbia University.
- Banco de programas y proyectos de Inversión Pública. Gobierno del Estado de Oaxaca. (2013). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión pública. Guía Básica*. Oaxaca, México.
- Baxter, D., & Al Seadi, T. (2013). *AD of the organic fraction of MSW, System overview for source and central separated waste*. Biosantech.
- BM. (2010). <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS>. Banco Mundial.
- Borrello, F. (2011). "Tratamiento de residuos y aprovechamiento de biogás para calefacción y generación de energía". Universidad de Buenos Aires Facultad de Ingeniería.
- Buenrostro, O. (2006). *La producción de Residuos Sólidos Municipales y sus implicaciones ambientales*.
- California integrated Waste Management Board. (2008). *Current Anaerobic Digestion Technologies used for Treatment of Municipal Solid Waste*. Sacramento, California, Estados Unidos: CEPA.
- Cárdenas Espinosa, R. (17 de 12 de 2010). *mailxmail.com*. Obtenido de Planificación de proyectos. Enfoque de marco lógico: [www.mailxmail.com/curso-planificación-proyectos-enfoque-marco-logico/estrategia-proyecto-1-2](http://www.mailxmail.com/curso-planificación-proyectos-enfoque-marco-logico/estrategia-proyecto-1-2)
- Cárdenas Guzman, G. (5 de Diciembre de 2011). ¡Qué desperdicio! *El Universal*. Recuperado el 27 de marzo de 2014, de <http://www.eluniversal.com.mx/cultura/67096.html>
- Cavinato, C. (2011). *Anaerobic Digestion Fundamentals*. Venecia.
- Centro de investigación y Docencia Económicas, División de Administración Pública. (Enero de 2012). Recuperado el 31 de Octubre de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792012000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792012000100007&script=sci_arttext)
- Chagumaira, I., Fyfield, N., Mangan, A., Roper, Y., Vella, D., & Wong, J. (2011). *Biogas plant proposal*. Devikulum, India: Faculty of Engineering and Industrial Sciences. Swinburne University of Technology.
- CMCI. (2012). *Agenda asociaciones público-privadas. Agenda e incidencia de la industria de la construcción en México*, 164-171. México.

- COFEPRIS. (2008). Revisión al Reglamento Plafest-Fertilizantes. *Proyecto Reglamento Plafest Cofepris*. México.
- Costa, J. (07 de 06 de 2010). *EstrategiayNegocio.com*. Recuperado el 17 de 08 de 2014, de [estrategiaynegocio.com/proceso-de-definicion-de-lineas.estrategicas/](http://estrategiaynegocio.com/proceso-de-definicion-de-lineas.estrategicas/)
- Cuesta Santianes, J., Martín Sánchez, J., Vicente Crespo, G., & Villar Fernández, S. (s.f.). *Informe de Vigilancia Tecnológica madri+d, Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento*. Madrid, España: Fundación madri+d para el Conocimiento.
- Dae-Yeol, C., Usama, Z., Binxin, W., & Shulin, C. (2007). *Producing Energy and Fertilizer From Organic Municipal Solid Waste*. Washington: Department of Biological Systems Engineering Washington State University.
- Daniel Sztern, M. A. (2001). *MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS*. Uruguay: ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD.
- De Baere, L., & Mattheeuws, B. (2014). Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. En L. Pelloni, & K. Thomé-Kozmiensky, *Waste Management: Recycling and recovery* (págs. 517-526).
- Department of Energy and Climate Change. (2011). *Anaerobic Digestion. Strategy and Action Plan*. Londres.
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Digestate-Solutions. (2013). Distribution and transportation of digestate. <http://www.digestatesolutions.co.uk/>.
- DOF. (Lunes 30 de diciembre de 2013). LINEAMIENTOS para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión. D.F., México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF. (31 de Diciembre de 2013). LINEAMIENTOS que establecen las disposiciones para determinar la conveniencia de llevar a cabo un proyecto mediante un esquema de asociación público privada. distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- DOF-07-02. (2006). LEY DE PRODUCTOS ORGÁNICOS. México: CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H.CONGRESO DE LA UNIÓN.
- Dr. Julie Williams, D. S. (2011). *Digestates: Characteristics, Processing and Utilisation*. Inglaterra: Inaugural Bio-Methane Regions Event.
- Duran Moreno, A., Garcés Rodríguez, M., Velasco, A., Delgadillo Hernández, N., Moreno Gutiérrez, A., & Gutiérrez Lara, R. (2013). Mexico city's municipal solid waste characteristics and composition analysis. México, D.F.

- Eisenmann. (s.f.). *High performance Biogas Plants*. Recuperado el 12 de Agosto de 2014, de <http://www.eisenmann.us.com/Portals/133998/docs/ormalingen.pdf>
- Endar, S. (2009). *Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste for Energy Production*. Alemania: KIT Scientific Publishing.
- EPA1. (2012). *SUMMARY OF THE EPA MUNICIPAL SOLID WASTE PROGRAM*. EUA.
- Ewing, T. (2010). High Solids Anaerobic Digestion for Energy and Nutrient Recovery. *Washington Bioenergy Research Symposium*. Washington State University.
- FAO. (2013). *Conservación de los recursos para una agricultura sostenible; Materia orgánica y actividad biológica*. Food and Agriculture Organization .
- Fernandez-Güelfo L.A., Á.-G. C. (2011). Dry-thermophilic anaerobic digestion of simulated organic fraction of Municipal Solid Waste: Process modeling. *Bioresource Technology*(102), 606-611.
- Flores Galicia, C. A. (2014). *Plan de Negocio*. México: Talentum.
- Fondo Europeo de Desarrollo Regional. (2010). *Informe complementario de soluciones viables para el aprovechamiento de biogás en Extremadura*. Extremadura, España.
- Fulvia Tambone, P. G. (2009). Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. Italia.
- Gábor Kiss Köfalusi, G. E. (2006). Los productos y los Impactos de la descomposición de residuos solidos urbanos en sitios de disposición final. (79), 39-51.
- GIZ. (2012). *Guia de planificación para proyectos de biogás en Chile*. Chile.
- Gonzalez, S. P. (2011). Propuesta tecnologica para la valorizacion de la fraccion organica de los residuos solidos urbanos generados en el Distrito federal. Mexico D.F.
- H. Hartmann, B. A. (2006). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: an overview. *Water Science & Technology* , Vol 53 (No 8 pp 7–22 Q ). IWA Publishing .
- Hagenmeyer, D. o. (2003). Digestión anaerobia seca versus digestión anaerobia húmeda. Pamplona : LINDE-KCA-DRESDEN GMBH.
- Hartmann, H., & Ahring, B. K. (2005). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. *4th International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, (págs. 34-51). Copenhagen, Dinamarca.

- Heriberto Bárcenas Ramírez, J. J. (s.f.). *BORDO PONIENTE, UN RELLENO SANITARIO REUTILIZABLE?* Ingeniería para el Control de Residuos de Residuos Municipales e Industriales, S.A. de C.V. (INCREMI, S.A. DE C.V.).
- Hernández, A. G. (2006). *DERECHO AMBIENTAL Y GARANTÍAS CONSTITUCIONALES*. Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Hilkiah, I., Ayotamuno, M., Eze, C., Ogaji, S., & Probert, S. (2008). Designs of anaerobic digesters from producing biogas from municipal solid-waste. *Elsevier. Applied Energy*, 430-438.
- Hofmann, F. (2009). *Renewable Energy Project Development Programm East Africa*. Berlin: GTZ.
- IDAE, (. p. (2007). Biomasa: Digestores anaerobios. España: BESEL, S.A. (Departamento de Energía).
- INE. (2007). *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA*. Retrieved 2012 йил 14-octubre from <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>
- INECC, SEMARNAT. (2012). *Diagnóstico Básico Para la Gestión Integral de los Residuos 2012 Versión extendida*. México.
- INEGI. (2011). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, 2011. Módulo 6. Residuos Sólidos Urbanos*. México.
- INEGI. (2013). *Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México 2003-2011*. México.
- INEGI. (1999). *Estadísticas del medio ambiente México*. México.
- J. Mata, A. (2003). *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. Barcelona, España: IWA Publishing.
- Jiménez Albarrán, R. (2013). *Comparación de Alternativas para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos de la Ciudad de México*. México.
- Jiménez Ocampo, U. (2011). *Guía para el desarrollo de estudios de preinversión en materia de residuos sólidos urbanos*. D.F., México.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The Anaerobic Digestion of Solid Organic Waste. *Waste Management*.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. (2003). México.
- LGEEPA. (2013). *LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE*. México.
- LGPGIR. (2012). *Ley General para la Prevencion y Gestión Integral de los Residuos*. México.



- Lissens, G., Vandevivere, P., De Baere, L., Biey, E., & Verstraete, W. (2001). Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion. *Water science & Technology*, 44. 91-102.
- Lusk, P., Wheeler, P., & Rivard, C. (1996). *Deploying anaerobic digesters: Current status and future possibilities*. Colorado, USA: National Renewable Energy Laboratory.
- M.S. Rao, S. S. (2003). Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimisation. *Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies, Faculty of Engineering Sciences*. Devi Ahilya University, Khandwa Road Campus, Indore, MP PIN—452 017, India.
- Marín, N. (27 de agosto de 2012). Prioridad, la separación de basura. *El Sol de México*.
- Martin Kratzeisen, N. S. (2009). Applicability of biogas digestate as solid fuel. Alemania.
- Martínez Cervantes, H. (2014). *Evaluación de Impacto Ambiental y de Riesgo Ambiental de una Planta Piloo de Digestión Anaerobia*. México.
- Martínez, S. (2012). Desarrollo de proceso eficiente en la generación de electricidad mediante el uso de biogás en proyectos del sector agropecuario. *Tesis de licenciatura*. México, DF: Instituto Politécnico Nacional.
- Mata, Á. (2002). *Digestión anaeróbica de residuos sólidos urbanos*. Barcelona: Diputación Barcelona.
- Mes, T., Stams, A., & Reith, J. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. En J. Reith, R. Wijffels, & H. Baerten, *Bio-methane & Bio-hydrogen*. Holanda: Dutch Biological Hydrogen Foundation.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. Mc Graw-Hill.
- METCALF & EDDY, I. (1973). *Wastewater Engineering. Collection Treatment Disposal*. . McGraw Hill.
- MIDEPLAN. (s.f.). Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos. Chile: Ministerio de Planificación.
- Mihic, S. (2004). *Biogas fuel for internal combustion engines*. Serbia & Montenegro: Annals of the faculty of engineering hunedoara Tome II. Fascicole 3.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *El sector del biogás agroindustrial en España*. Madrid.
- Monsalvo Pérez, M. (Mayo de 2006). Instrumentos Financieros y Métodos para Evaluar Proyectos de Inversión. Distrito Federal, México.

- Montes, C. (2008). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*. España.
- Morales Castro, A., & Morales Castro, J. (junio de 2010). El ABC de la elaboración de proyectos de inversión. (123), 15-21. D.F, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración.
- Muche, H., & Zimmermann, H. (1985). *The purification of biogas*. GTZ.
- Municipal Waste Integration Network. (Abril de 2006). *Municipal Solid Waste (MSW) Options: Integrating Organics Management and Residual Treatment/Disposal*. Alberta, Canada.
- Nikita Naik, E., & Tkachenko, R. (15 de Mayo de 2013). *The Anaerobic Digestion of Organic Municipal Solid Waste in California*. California, Estados Unidos: University of California.
- NMX-AA-024. (1984). *Norma Mexicana NMX-AA-024-1984 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Nitrógeno*. México.
- NMX-AA-028-SCFI. (2001 ). *ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA*. México: Secretaria de economía .
- NMX-AA-067. (1985). *Norma Mexicana NMX-AA-067-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Relación Carbono / Nitrogeno*. México.
- NMX-AA-30. (2001). *ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-030-1981)* . México.
- NMX-AA-34. (2001). *ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LAS NMX-AA-020-1980 Y NMX-AA-034-1981)*. México.
- NOM-83-SEMARNAT-. (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-83-SEMARNAT-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 . México*.
- Novarino, D., & Chiara, M. (2012). *Anaerobic digestion of extruded OFMSW*. Elsevier. *Bioresource Technology*, 104. 44-50.
- Núñez Barba, E., & Castañeda Ortega, R. (Marzo-Abril de 2013). Registro de Proyectos de Inversión, Requisito para acceder a Recursos Federales. *Federalismo Hacendario*, 179, 94-107. México: Indetec.

- ONU. (1998). PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO .
- Ostrem, K. (2004). *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. E.U.A.: Columbia University.
- Pascual, Pascual, A., Ruiz, B., Gómez, P., Flotats, X., & Fernández, B. (2011). *Situación y potencial de generación de biogás. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Madrid: IDAE.
- Perea, E. (2013). Sagarpa busca reducir importación de fertilizantes del 70 al 30%. <http://imagenagropecuaria.com/2013/sagarpa-busca-reducir-importacion-de-fertilizantes-del-70-al-30/>. México.
- PNPGIR, S. (2009-2012). *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México.
- Pöschl, M., Ward, S., & Owende, P. (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Elsevier. Applied Energy*, 3305-3321.
- Project Management Institute (Guía del PMBOK). (2004). *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos*. Estados unidos: Project Management Institute.
- Rapport, J. Z. (Marzo de 2008). *California Integrated Waste Management Board, University of California*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2012, de [www.calrecycle.ca.gov/Publications/.../Organics%5C2008011.pdf](http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/.../Organics%5C2008011.pdf)
- Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B., & Williams, R. (2008). *Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste*. California, USA: California Integrated Waste Management Board.
- Reyes Cruz, J. (2001). *Proyectos de Inversión*. Hidalgo, México: Escuela Superior Tepeji del Río.
- SAGARPA. (2012). *Aprovechamiento de los subproductos de los Biodigestores*. México, DF: SAGARPA.
- SAGARPA. (2012). *Uso de Fertilizantes*. México.
- Secretaría del Medio Ambiente (GEM). (2011). *Secretaría del Medio Ambiente Gobierno del Estado de México*. Retrieved 2012 йил 14-noviembre from [http://portal2.edomex.gob.mx/sma/cuida\\_medioambiente/documentos\\_consulta/relleno\\_san\\_antonio/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/sma/cuida_medioambiente/documentos_consulta/relleno_san_antonio/index.htm)
- SEDESOL. (2004). *MANUAL TÉCNICO SOBRE GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES*. México: Secretaría de Desarrollo Social.
- SEDESOL. (2013). *Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas*. México.

- SEDESOL, *Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas*. (2008). México.
- SEMARNAT. (2006). *Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. México.
- SEMARNAT. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. (I. SEMARNAT, Ed.) México.
- SEMARNAT. (2013). *Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. México.
- SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012*. México.
- SEMARNAT2. (2006). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. México.
- SHCP. (s.f.). *Manual de la Metodología Global de las Etapas que componen el Ciclo de Inversiones*. México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- SHCP. (s.f.). *Metodología Global de las Etapas que componen el Ciclo de Inversiones*. México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Teodorita AL SEADI, C. L. (2012). *Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser*. Inglaterra.
- Tsilemou, K. (2006). *Approximate cost functions for solid waste treatment facilities*. *Waste Management Research*, 310-322.
- Vargas Hernández, J. (2003). *La legislación mexicana en materia ambiental. En Memorias del Primer encuentro internacional de derecho ambiental*. México, D.F.: SEMARNAT.
- Verma, S. (2002). *Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solids Wastes*. E.U.A.: Columbia University.
- Vila, R. A. (2009). *JORNADA PARA LA INNOVACIÓN. Aprovechamiento como fertilizante de los digestatos derivados de la producción de biogás a partir de residuos agroalimentarios*. Moncada: Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Villavicencio Arzola, P. (2014). *Bases biotecnológicas y análisis de tecnologías de la Digestión Anaerobia para el tratamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos Municipales (RSOM)*. Distrito Federal, México.
- Wellinger. (2005). *Biogas Production and Utilisation. International Energy Agency (IEA)*.
- WRAP. (2011). *New Markets for Digestate from Anaerobic Digestion*. Inglaterra.

## 8 ANEXOS

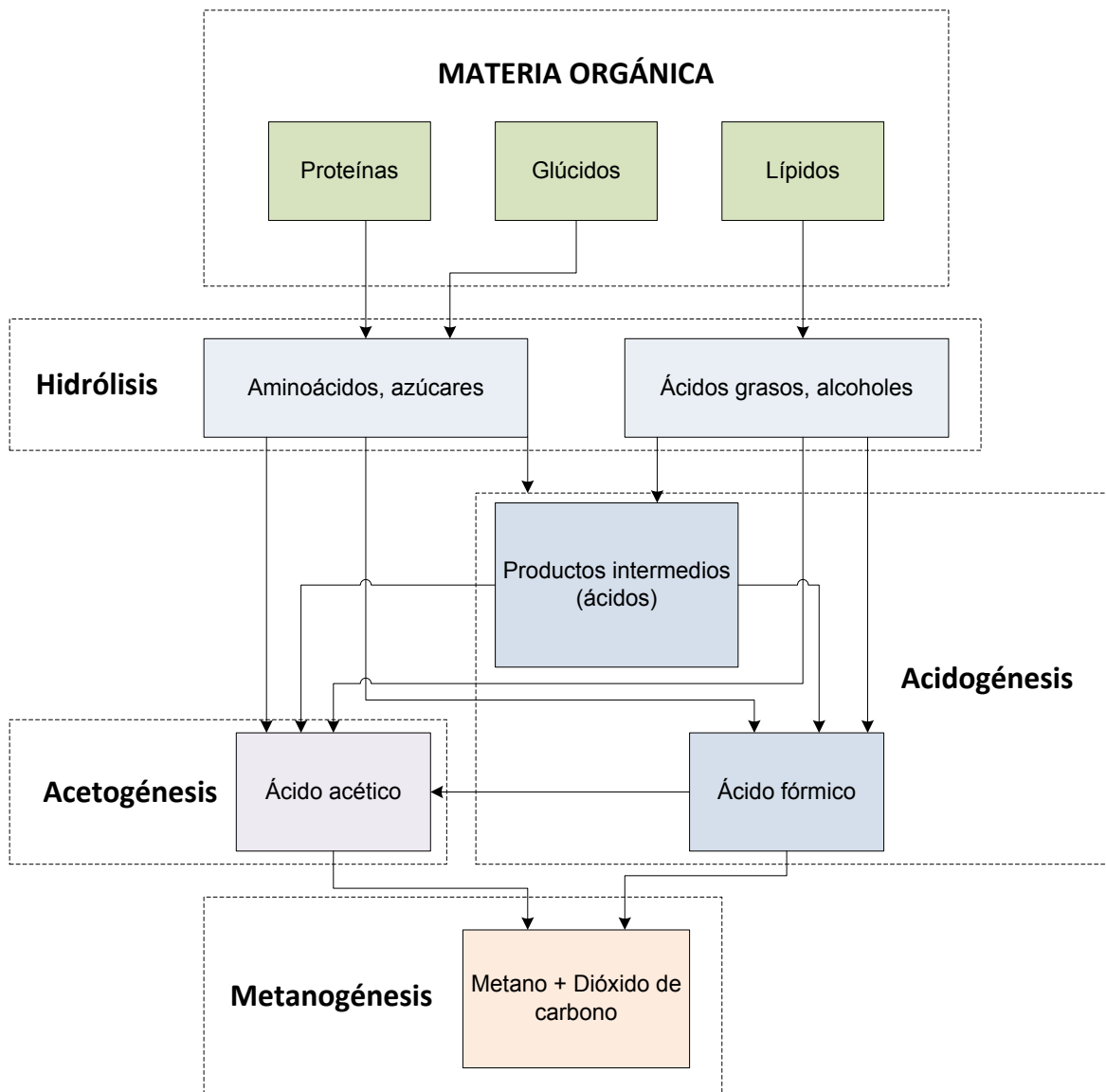
### 8.1 Fases de la DA

La DA está caracterizada por que se identifica la existencia de varias etapas consecutivas diferenciadas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; en las que intervienen 5 grandes poblaciones de microorganismos que transforman la materia orgánica. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre los microorganismos, que tienen diferentes velocidades de crecimiento y sensibilidad a los compuestos intermedios (Agencia Andaluza de la Energía, 2011; IDAE, 2007).

En las etapas ocurren los siguientes hechos, derivados uno de otro, en el siguiente orden:

- La fragmentación de los compuestos orgánicos de cadena larga a cargo de las bacterias hidrolíticas acidogénicas posibilita que se desarrolle la reacción de acetogénesis.
- Derivado de la acetogénesis, la existencia de acetato,  $H_2$  y  $CO_2$  posibilita la existencia de sustrato para la actividad de la metanogénesis.
- La retirada del hidrógeno molecular del medio por parte de la reacción de metanogénesis impide que se inhiba la reacción de acetogénesis.

El esquema completo de las etapas del proceso de DA se presenta a continuación:



**Figura 13.** Fases de la DA, elaboración propia con datos de (Agencia Andaluza de la Energía, 2011; IDAE, 2007)

## 8.2 Parámetros que afectan al proceso de DA

El proceso de DA es depende en gran medida por las condiciones en las que se desarrolla. Desde el punto de vista económico, para lograr que el proceso sea rentable es preciso obtener la producción máxima de biogás por lo que resulta de especial importancia el control de dichas condiciones.

Los factores físicos y químicos que condicionan este proceso son varios, tales como:

- Relación entre nutrientes
- Intervalo de temperatura: psicrófilico (< 20°C), mesófilico (20 °C – 40°C) y termófilico (>40 °C)
- pH
- Contenido en sólidos
- Tiempo de retención en que el substrato está sometido a la acción de los microorganismos. Tiempo de residencia o tiempo de retención hidráulica
- Inhibidores
- Agitación

### 8.3 Características del digestato

En la Tabla 10 se muestran los valores comunes de los componentes del digestato típico producido por DA.

**Tabla 10.** Características de digestato típico (Dr. Julie Williams, 2011)

Parámetro	Valor
Sólidos Totales (ST) %	4.5
Sólidos Volátiles (SV) %ST	75
pH	8.1
N- Total [kg/m <sup>3</sup> ]	7.2
N-Amoniacal [kg/m <sup>3</sup> ]	4.9
P [kg/m <sup>3</sup> ]	0.7
K [kg/m <sup>3</sup> ]	1
Pb [mg/kg]	<5.0
Cd [mg/kg]	0.12
Cu [mg/kg]	71
Cr [mg/kg]	5.7
Hg [mg/kg]	<0.05
Ni [mg/kg]	5.2
Zn [mg/kg]	309



## 8.4 Indicadores de rentabilidad

Para realizar la evaluación de un proyecto de inversión es necesario utilizar diversos criterios que permitan conocer las ventajas y desventajas que se obtendrían de realizar la inversión. Estos criterios son los indicadores o índices de rentabilidad, que hacen posible determinar la rentabilidad de un proyecto a partir de los flujos económicos proyectados.

Estos indicadores, que en principio permiten identificar la conveniencia de realizar o no un proyecto, pueden ser, además, utilizados para analizar un conjunto de proyectos, decidir entre dos o más opciones alternativas, estudiar la decisión de postergar o no una inversión, entre otras cosas.

Los indicadores de rentabilidad empleados en la evaluación de proyectos de inversión son los siguientes:

### 8.4.1 Valor Presente Neto (VPN)

El VPN es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social de descuento. Para el cálculo del VPN, tanto los costos como los beneficios futuros del programa o proyecto de inversión son descontados, utilizando la tasa social de descuento para su comparación en un punto en el tiempo o en el "presente". Si el resultado del VPN es positivo, significa que los beneficios derivados del programa o proyecto de inversión son mayores a sus costos. Alternativamente, si el resultado del VPN es negativo, significa que los costos del programa o proyecto de inversión son mayores a sus beneficios.

Definición de TSD, valor de TSD.

La fórmula del VPN es

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

- Bt: son los beneficios totales en el año t
- Ct: son los costos totales en el año t
- Bt-Ct: flujo neto en el año t
- n: número de años del horizonte de evaluación
- r: es la tasa social de descuento
- t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

#### 8.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR se define como la tasa de descuento que hace que el VPN de un programa o proyecto de inversión sea igual a cero. Esto es económicamente equivalente a encontrar el punto de equilibrio de un programa o proyecto de inversión, es decir, el valor presente de los beneficios netos del programa o proyecto de inversión es igual a cero y se debe comparar contra una tasa de retorno deseada.

La TIR se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

- Bt: son los beneficios totales en el año t
- Ct: son los costos totales en el año t
- Bt-Ct: flujo neto en el año t
- n: número de años del horizonte de evaluación

- TIR: Tasa Interna de Retorno
- t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Es importante resaltar que no se debe utilizar la TIR por sí sola para comparar alternativas de un programa o proyecto de inversión, ya que puede existir un problema de tasas internas de rendimiento múltiple. Las tasas internas de rendimiento múltiple ocurren cuando existe la posibilidad de que más de una tasa de descuento haga que el VPN sea igual a cero.

#### 8.4.3 Tasa de Rendimiento Inmediata (TRI)

La TRI es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo para la entrada en operación de un programa o proyecto de inversión con beneficios crecientes en el tiempo. A pesar de que el VPN sea positivo para el programa o proyecto de inversión, en algunos casos puede ser preferible postergar su ejecución.

La TRI se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$TRI = \frac{B_{t+1} - C_{t+1}}{I_t}$$

Donde:

- $B_{t+1}$ : es el beneficio total en el año t+1
- $C_{t+1}$ : es el costo total en el año t+1
- $I_t$ : monto total de inversión valuado al año t (inversión acumulada hasta el periodo t)
- t: año anterior al primer año de operación
- t+1: primer año de operación

El momento óptimo para la entrada en operación de un proyecto, cuyos beneficios son crecientes en el tiempo, es el primer año en que la TRI es igual o mayor que la tasa social de descuento.

#### 8.4.4 Costo Anual Equivalente (CAE)

El CAE es utilizado frecuentemente para evaluar alternativas del programa o proyecto de inversión que brindan los mismos beneficios; pero que poseen distintos costos y/o distinta vida útil. El CAE es la anualidad del valor presente de los costos relevantes menos el valor presente del valor de rescate de un programa o proyecto de inversión, considerando el horizonte de evaluación de cada una de las alternativas. El CAE puede ser calculado de la siguiente manera:

$$CAE = (VCP) \frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1}$$

Donde:

- VPC: Valor presente del costo total del proyecto de inversión (debe incluir la deducción del valor de rescate del programa o proyecto de inversión)
- r: indica la tasa social de descuento
- m: indica el número de años de vida útil del activo

El VPC debe calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$(VCP) = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

- Ct: costos totales en el año t
- r: es la tasa social de descuento

- t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones
- n: número de años del horizonte de evaluación

La alternativa más conveniente será aquella con el menor CAE. Si la vida útil de los activos bajo las alternativas analizadas es la misma, la comparación entre éstas se realizará únicamente a través del valor presente de los costos de las alternativas.

## **8.5 Evaluaciones socioeconómicas**

Las evaluaciones socioeconómicas a las que se someterán los proyectos de inversión consisten en lo siguiente:

### **8.5.1 Ficha Técnica**

La ficha técnica consistirá en una descripción detallada de la problemática o necesidades a resolver con el programa o proyecto de inversión, así como las razones para elegir la solución presentada.

### **8.5.2 Análisis Costo-Beneficio y Análisis Costo-Beneficio Simplificado**

El análisis costo-beneficio simplificado consistirá en una evaluación socioeconómica a nivel de perfil y deberá contener los mismos elementos y apartados que el análisis costo-beneficio. La información utilizada para la Evaluación a nivel de perfil, deberá ser verificable e incluir las fuentes de la misma en la sección de bibliografía.

El análisis costo-beneficio, es una evaluación socioeconómica del proyecto a nivel de pre-factibilidad, y consistirá en determinar la conveniencia de un proyecto de inversión mediante la valoración en términos monetarios de los costos y beneficios asociados directa e indirectamente, incluyendo externalidades, a la ejecución y operación de dicho programa o proyecto de inversión. Se entiende por externalidades los efectos positivos y/o negativos que cause el programa o proyecto de inversión a terceros y que no hayan sido retribuidos o compensados a los mismos.

El análisis costo-beneficio de los programas o proyectos de inversión deberá incluir las principales conclusiones de la factibilidad técnica, legal, económica y ambiental, así como los estudios de mercado y otros específicos de acuerdo al sector y al proyecto de inversión.

### **8.5.3 Análisis Costo-Eficiencia Simplificado y Análisis Costo-Eficiencia**

El análisis costo-eficiencia es una evaluación socioeconómica que permite asegurar el uso eficiente de los recursos cuando se comparan dos alternativas de solución, bajo el supuesto de que generan los mismos beneficios. Dicha evaluación se deberá realizar a nivel pre-factibilidad; el análisis costo-eficiencia simplificado consistirá en una evaluación socioeconómica a nivel de perfil.

El contenido del análisis costo-eficiencia será el mismo que el del análisis costo-beneficio, excepto por lo que se refiere a la cuantificación de los beneficios y, por lo tanto, al cálculo de los indicadores de rentabilidad. Adicionalmente, en el análisis costo-eficiencia se incluye la evaluación de, cuando menos, una segunda alternativa del programa o proyecto de inversión, de manera que se muestre que la alternativa elegida es la más conveniente en términos de costos.

## 8.6 Modalidades de participación privada

Las modalidades de participación privada se presentan en Tabla 11. Las autoridades municipales deberán definir la modalidad de contrato que más convenga al sistema encargado de la gestión de los residuos en el municipio, de conformidad con lo establecido en su legislación en la materia.

**Tabla 11.** Características principales de las modalidades de participación de capital privado en las inversiones de infraestructura.

Modalidad de contrato	Descripción
Contrato de Prestación de Servicios Parcial	Una o varias empresas privadas se responsabilizan solamente de la operación y mantenimiento parcial del sistema.
Contrato de Prestación de Servicios Integral	Responsabilidad total de una o varias empresas privadas para construir, administrar, operar y dar mantenimiento al sistema.
Empresa Mixta	El Organismo Operador (OO) y una o varias empresas privadas constituyen una nueva empresa para la prestación de servicios.
Título de Concesión	Contrato de Prestación de Servicios Integral con responsabilidad de una o varias empresas privadas de invertir para ampliar coberturas

## 8.7 Políticas y planes Internacionales respecto al desarrollo de la DA y aprovechamiento del biogás

A continuación se describen las políticas generales para el desarrollo de la DA que implementan los países europeos con mayor presencia de DA (Rapport J. Z., 2008; Agencia Andaluza de la Energía, 2011; Arsova, 2010).

### 8.7.1 Alemania

El modelo de negocio predominante en Alemania consiste en pequeñas unidades de metanización en granjas (más del 70% del total).

El marco normativo regulador actualmente en vigor en Alemania es el Texto Refundido de la Ley de Energías Renovables (Erneuerbare Energien Gesetz, EEG84), en vigor desde el 1 de Enero de 2009, que se basa en favorecer la generación de electricidad procedente de fuentes de energía renovables frente a las fuentes de energía tradicionales, mediante una prima económicamente más seductora, y mayores facilidades para la conexión a red. Además, las autoridades priorizan la adquisición, transporte y retribución de las energías renovables por parte de los operadores de red.

### **8.7.2 Reino Unido**

El Reino Unido es el segundo productor de biogás en Europa, si bien la producción se basa mayoritariamente en la generación de biogás de vertedero, siendo prácticamente testimonial la producción en plantas no asociadas a depuradoras o vertederos. Esto se debe a la política establecida por la norma “Renewables Obligation Order”, que establece la obligatoriedad para los productores eléctricos de la generación de un porcentaje mínimo, variable según el periodo, de energías renovables en su suministro energético. Lo novedoso de esta política es la obtención de Certificados de Energías Renovables (ROCs), con los que se justifica esta producción. Estos certificados son transferibles, de tal modo que un productor que no llega al cupo necesario de energía procedente de renovables en su suministro puede obtener estos certificados de otro productor que haya cubierto sobradamente este porcentaje mínimo (no obstante, le queda la opción de pagar una multa (“buy-out price”) proporcional al déficit.

Gran Bretaña tiene un modelo de retribución variable, regulado por la orden de obligatoriedad de las renovables. El operador de las plantas cobra por la energía generada el precio de mercado y obtiene además un certificado de renovables (Renewable Obligation Certificate ROC).

Cada operador está obligado a generar un porcentaje determinado de energía a partir de energías renovables que se incrementa año tras año. El cumplimiento con la obligación se justifica a través de los certificados ROC adquiridos. Si un explotador no alcanza el porcentaje fijado, está obligado a pagar



una sanción (buy-out-price), determinada anualmente por el OFGEM (Office of Gas and Electricity Markets). La sanción se ingresa en un fondo y se reparte anualmente entre los operadores que han comprado ROCs.

Los precios para energía renovables se fijan semestralmente en subastas de energías renovables (green power auctions), realizadas por la agencia de compra de energías no fósiles (Non-Fossil Purchasing Agency).

### 8.7.3 Dinamarca

A pesar de que Dinamarca posee una población de menos de 6 millones de habitantes, constituye un referente europeo y mundial en el campo de las renovables, en general, y de la digestión anaerobia, en particular. Constituye un caso singular, por presentar un modelo de negocio muy característico, forjado a base de cooperativas agrícolas y ganaderas. Es decir, varios pequeños productores de residuos se agrupan bajo una organización cuyo objetivo es el de explotar conjuntamente una instalación de producción de biogás. De este modo, obtienen por un lado, un destino para los residuos generados difíciles de gestionar, eliminando el coste del tratamiento, del almacenamiento, u otros costes asociados, y por otro lado, obtienen un rendimiento económico del proceso.

Además, el marco político de Dinamarca en materia de residuos, incluye las siguientes políticas, que han reforzado la apuesta por la digestión anaerobia en el país:

- Las leyes estatales prohíben el depósito en vertedero de la materia orgánica, que debe ser reciclada o incinerada.
- Los impuestos sobre las actividades de incineración de materia orgánica son muy elevados.
- Entre un 20 y un 50% del capital necesario para la instalación ha sido sufragado por el estado mediante subvenciones (actualmente ya no se subvenciona).

- El marco legal determina un precio mínimo para la electricidad obtenida mediante digestión anaerobia.
- Préstamos a bajo interés para los sistemas de calefacción urbana.
- Se puede afirmar que Dinamarca es el país más especializado en co-digestión a nivel mundial.

#### 8.7.4 Italia

El grueso de la producción de biogás del país se debe a la generación de biogás de vertedero, en los últimos años ha aumentado considerablemente la producción en digestores, debido a la aplicación de un modelo similar al aplicado en el Reino Unido: Existe una obligación legal para los productores eléctricos de suministrar un determinado porcentaje de energía procedente de energías renovables, lo que se acredita mediante la adquisición de “Certificados Verdes”, similares a los ROCs anteriormente mencionados.

El cambio se ha debido al reconocimiento por parte del GRTN (operador y gestor de red en Italia) de las plantas de biogás a partir de residuos vegetales y materia orgánica como posibilidad de obtención de estos certificados, lo que anteriormente no se producía.

El modelo de mercado es, generalmente, en forma de plantas pequeñas-medianas, aunque, puntualmente, existen plantas centralizadas (cooperativas) de mayor tamaño.

#### 8.7.5 España

Actualmente, existen varios planes y normas legales que determinan, por un lado, las líneas a seguir desde el punto de vista de las actuaciones de la administración, y por otro, el marco legal aplicable para el sector del biogás.

Los Planes que marcan las líneas a seguir en este campo son los siguientes:

Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010

Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015

Planificación Sectorial de Gas y Electricidad 2008-2016

Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013

Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía

El Plan Nacional Integrado de Residuos, publicado en BOE de 26 de febrero de 2009, constituye el documento base para las estrategias de gestión de los diferentes residuos que se generan en España, aglutinando varios planes, como el de Neumáticos Fuera de Uso, el de Vehículos al Final de su Vida Útil, etc.

En dicho Plan se incluye la Estrategia Española de Reducción de la Cantidad de Residuos Biodegradables Destinados a los Vertederos. En la misma, se establece una serie de medidas encaminadas a minimizar el volumen de residuos biodegradables que tienen entrada en los vertederos. Entre estas medidas, podemos encontrar las siguientes:

- Fomento de la separación de los residuos en origen, a nivel domiciliario
- Aumento de las actividades de separación en plantas de gestión
- Aumentar las exigencias por parte de los vertederos para la aceptación de los residuos
- Actividades de valorización: Compostaje, biometanización, valorización energética (incineración)
- Adecuación de los procesos de biometanización al tratamiento de FORSU

La Planificación Sectorial de Gas y Electricidad 2008-2016 incluye la producción de energías renovables con objetivos concretos sobre la producción de

energía a partir de biogás, la cual debía duplicarse para el año 2011, con respecto a 2006, y triplicarse para el 2016..

El Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética tiene como objetivo básico adaptar la estructura energética andaluza a las exigencias europeas, reduciendo las emisiones de GEIs y la importación de combustibles, mejorando la eficiencia energética autonómica, así como la utilización de fuentes de energía renovables.

Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía establece los siguientes objetivos:

- Minimización de residuos urbanos, con los objetivos de potenciar la recogida selectiva y dotar, por tanto, a los Municipios de equipamientos suficientes.
- Control y gestión de residuos urbanos, con los objetivos de completar las infraestructuras para la gestión y potenciar el aprovechamiento energético.
- Construcción de vertederos controlados en zonas de menor densidad de población, o como apoyo a otras instalaciones.
- Construcciones para el aprovechamiento de biogás.
- Promoción del reciclaje, del aprovechamiento de biomasa, de la recogida selectiva en el origen, tratamiento de residuos inertes, etc.