



República del Ecuador

Ministerio del Ambiente

MITIGACIÓN

EVALUACIÓN DE NECESIDADES TECNOLÓGICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Quito, Junio 2013

Con el apoyo de:



Ministerio del Ambiente

Calle Madrid 1159 y Andalucía
Quito, Ecuador
Teléfono: +593 2987600
www.ambiente.gob.ec

Proyecto coordinado por

Ministerio del Ambiente

Con el apoyo de

PNUMA Risø Centre (URC)
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)
Fundación Bariloche
Fundación Libélula

Equipo nacional de coordinación

Eduardo Noboa, Subsecretario de Cambio Climático
Angel Valverde Gallardo, Coordinador del Proyecto
Freddy Fuertes, Asistente técnico
Janeth Mora, Asistente técnica

Equipo consultor

Diego Suárez	Consultor Líder
Rafael Soria	Consultor
Nayaret Acosta	Consultora

Utilice la siguiente referencia para citar este informe

ENT/MAE/URC/GEF, (2012). Ecuador: Evaluación de Necesidades Tecnológicas para el Cambio Climático. Sector Energía. Quito, Ecuador.

Este documento es el resultado del Proyecto Evaluación de Necesidades Tecnológicas, financiado por el Global Environmental Facility (GEF) e implementado por United Nations Environmental Programme (UNEP) y el UNEP-Risoe Centre (URC), en colaboración con los Centros Regionales Fundación Bariloche y Libélula. El presente informe es el resultado de un proceso liderado por el país, y la visión e información contenida en el informe es resultado del trabajo del Grupo Nacional TNA, liderado por el Ministerio del Ambiente.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE ACRÓNIMOS	xiii
PARTE 1: EVALUACIÓN DE NECESIDADES TECNOLÓGICAS	2
RESUMEN EJECUTIVO	3
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 2: EMISIONES DE GEI Y TECNOLOGÍAS EN USO EN EL SECTOR ENERGÍA A PARTIR DE RSM EN ECUADOR	14
2.1. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ECUADOR	14
2.2. NIVEL ACTUAL Y CRECIMIENTO DE EMISIONES DE GEI	19
2.3. LÍNEA BASE	21
2.3.1. Datos Generales	22
2.3.2. Generación de Residuos	22
2.4. TECNOLOGÍAS EN USO	24
2.4.1. Sitios de disposición final (SDF) de RSM	24
2.4.2. Captación de gas de relleno sanitario.....	25
2.4.3. Reciclaje.....	26
2.4.4. Compostaje y lombricultura	26
2.4.5. Incineración.....	26
2.4.6. Biodigestión.....	26
2.4.7. Gasificación y Pirolisis	28
CAPÍTULO 3: PORTAFOLIO DE TECNOLOGÍAS Y SUS BENEFICIOS EN LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	29
3.1. INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA.....	29
3.1.1. Descripción de la tecnología.....	29
3.1.2. Experiencia Internacional.....	31
3.1.3. Costos de capital y operación.....	33
3.1.4. Mitigación GEI.....	34
3.1.5. Beneficios/Impactos ambientales	38
3.1.6. Beneficios/Impactos sociales.....	39

3.1.7.	Beneficios/Impactos económicos.....	40
3.1.8.	Aplicación potencial en el país.....	43
3.2.	MBT CON RECUPERACIÓN DERDF + CO-INCINERACIÓN EN CEMENTERA.....	44
3.2.1.	Descripción de la tecnología.....	44
3.2.2.	Costos de capital y operación.....	45
3.2.3.	Mitigación ambiental	46
3.2.4.	Beneficios/Impactos ambientales	47
3.2.5.	Beneficios/Impactos sociales.....	47
3.2.6.	Beneficios/Impactos económicos.....	47
3.2.7.	Aplicación potencial en el país.....	47
3.3.	MBT CON RECUPERACIÓN DE RDF + CO- INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICAS A VAPOR DE INGENIO AZUCARERO U OTRAS SIMILARES.....	48
3.3.1.	Descripción de la tecnología.....	48
3.4.	PRODUCCIÓN DE RDF Y PIROLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN	50
3.4.1.	Descripción de la tecnología.....	50
3.4.2.	Costos de capital y operación.....	52
3.4.3.	Mitigación ambiental	52
3.4.4.	Beneficios/Impactos ambientales	52
3.4.5.	Beneficios/Impactos sociales.....	53
3.4.6.	Beneficios/Impactos económicos.....	53
3.4.7.	Aplicación potencial en el país.....	54
3.5.	PRODUCCIÓN DE RDF Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	54
3.5.1.	Descripción de la tecnología.....	54
3.5.2.	Costos de capital y operación.....	57
3.5.3.	Mitigación ambiental	58
3.5.4.	Beneficios/Impactos ambientales	58
3.5.5.	Beneficios/Impactos sociales.....	59
3.5.6.	Beneficios/Impactos económicos.....	59
3.5.7.	Aplicación potencial en el país.....	59
3.6.	PLASMA CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	60
3.6.1.	Descripción de la tecnología.....	60
3.6.2.	Costos de capital y operación.....	63
3.6.3.	Mitigación ambiental	63
3.6.4.	Beneficios/Impactos ambientales	63
3.6.5.	Beneficios/Impactos sociales.....	63

3.6.6.	Beneficios/Impactos económicos.....	64
3.6.7.	Aplicación potencial en el país.....	64
3.7.	CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.	65
3.7.1.	Descripción de la tecnología.....	65
3.7.2.	Mitigación ambiental	67
3.7.3.	Beneficios/Impactos ambientales	68
3.7.4.	Beneficios/Impactos sociales.....	68
3.7.5.	Beneficios/Impactos económicos.....	69
3.7.6.	Aplicación potencial en el país.....	69
3.8.	MBT CON DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	70
3.8.1.	Descripción de la tecnología.....	70
3.8.2.	Costos de capital y operación.....	76
3.8.3.	Mitigación ambiental	78
3.8.4.	Beneficios/Impactos ambientales	78
3.8.5.	Beneficios/Impactos sociales.....	79
3.8.6.	Beneficios/Impactos económicos.....	79
3.8.7.	Aplicación potencial en el país.....	80
	CAPÍTULO 4: PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RSM EN EL ECUADOR	82
4.1.	METODOLOGÍA	82
4.2.	PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS.....	82
4.2.1.	Criterios de Priorización	82
4.2.2.	Metodología de calificación de las tecnologías	86
4.3.	RESULTADOS DE PRIORIZACIÓN	87
4.4.	CONCLUSIONES	87
4.4.1.	Problemática de la disposición final de residuos	87
4.4.2.	Líneas Tecnológicas de aprovechamiento energético de RSM	87
4.4.3.	Tecnologías preseleccionadas	88
4.4.4.	Tecnologías priorizadas.....	89
	PARTE 2: ANÁLISIS DE BARRERAS Y ENTORNO HABILITANTE	91
	RESUMEN EJECUTIVO	92
	CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE BARRERAS Y ENTORNO HABILITANTE	94

5.1.	METAS PRELIMINARES PARA LA TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.....	94
5.2.	ANÁLISIS DE BARRERAS Y MEDIDAS HABILITANTES POSIBLES PARA LAS TECNOLOGÍAS A1, A2 Y A3	98
5.2.1.	Descripción general de las tecnologías priorizadas	99
5.2.2.	Identificación de barreras.....	104
5.2.3.	Medidas identificadas.....	122
5.3.	RELACIONES ENTRE BARRERAS IDENTIFICADAS.....	130
5.4.	MARCO HABILITANTE PARA SUPERAR LAS BARRERAS EN EL SECTOR ENERGÍA, SUBSECTOR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	133
5.4.1.	Marco habilitante para superar barreras comunes a las tecnologías A1, A2 y A3.....	133
5.4.2.	Marco Habilitante por zona de estudio	134
5.4.3.	Marco habilitante por tecnología.....	135
PARTE 3: PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO		137
RESUMEN EJECUTIVO		138
CAPÍTULO 6: PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO DEL SECTOR ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES		143
6.1.	ACCIONES A NIVEL SECTORIAL: ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	143
6.1.1.	Breve descripción del sector.....	143
6.1.2.	Proceso de identificación de barreras y proposición de medidas	148
6.1.3.	Barreras comunes y medidas comunes.....	150
6.2.	PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO SUB-SECTORIAL: ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. ACCIONES COMUNES A IMPLEMENTARSE PARA LAS TRES TECNOLOGÍAS ANALIZADAS.....	157
6.2.1.	Consolidación de estrategia para superar barreras comunes.....	160
6.2.2.	Priorización y caracterización de las medidas propuestas	166
6.3.	PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A1: CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y DE GAS DE BOTADERO DE BASURA PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN RELLENOS SANITARIOS YA EXISTENTES (O BOTADEROS DE BASURA CERRADOS).....	179
6.3.1.	Descripción de la tecnología y razones de priorización.....	179
6.3.2.	Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología.....	181
6.3.3.	Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante	181
6.3.4.	Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A1	184

6.3.5.	Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A1.	186
6.4.	PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A2: TRATAMIENTO MECÁNICO – BIOLÓGICO (MBT) CON DEGRADACIÓN ANAEROBIA Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS	192
6.4.1.	Descripción de la tecnología y razones de priorización.....	192
6.4.2.	Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología.....	193
6.4.3.	Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante	194
6.4.4.	Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A2	196
6.4.5.	Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A2.	199
6.5.	PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A3: PRODUCCIÓN DE PELLETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNOS CEMENTEROS	204
6.5.1.	Descripción de la tecnología y razones de priorización.....	204
6.5.2.	Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología.....	205
6.5.3.	Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante	205
6.5.4.	Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A3	207
6.5.5.	Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A3.	210
PARTE 4: IDEAS DE PROYECTO	215	
CAPÍTULO 7: IDEAS DE PROYECTO	216	
GENERALIDADES.....	216	
7.1. DISEÑO DEL PROGRAMA	218	
7.2. OBJETIVOS DEL PROGRAMA	220	
7.3. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	229	
7.4. IDENTIFICACIÓN DE SOCIOS Y ACTORES.....	233	
7.5. RESPONSABILIDAD DE LA GERENCIA DEL PROGRAMA	234	
7.6. ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACIDAD DE EJECUCIÓN	237	
7.7. PRESUPUESTO Y USO DE FONDOS.....	239	
7.8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	240	
7.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN	246	
7.10. PARAMETRIZACIÓN DEL PROGRAMA	246	
7.11. SOSTENIBILIDAD Y REPLICABILIDAD	246	
7.12. RIESGOS Y GESTIÓN DE RIESGOS	248	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	250	

ANEXOS.....	269
Anexo I. Ayuda Memoria Comisión Técnica Energía	270
Anexo II. Technology Fact Sheets	273
Anexo III. Mapeo de Actores.....	317
Anexo IV. Árbol de Problemas de Sector Energía a partir de Residuos Sólidos	319
Anexo V. Barreras	321
Anexo VI. Lista de participantes en el Taller de Análisis de Barreras y Entorno Habilitante	329
Anexo VII. Presupuesto estimado para implementación del programa de gestión y aprovechamiento total de residuos sólidos municipales	330

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.....	92
Figura 2: Perforación de pozos para instalación de ductos en el antiguo botadero de Zámbriza.....	100
Figura 3: Instalación de ductos para captación de gas en el antiguo botadero de Zámbriza.	100
Figura 4: Antorcha o “flare” usada para quemar el gas recuperado en el antiguo botadero de Zámbriza.....	101
Figura 5: Representación de la línea tecnológica MBT con generación eléctrica.	102
Figura 6: Jerarquía o importancia atribuida a cada tipo de barrera por los participantes del Taller de Análisis de Barreras y Marco Habilitante	131
Figura 7: Comparación de la importancia de cada barrera por tipo de tecnología y lugar geográfico.....	132
Figura 8: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.....	139
Figura 9: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.....	147
Figura 10: Instalación de ductos para captación de gas en el antiguo botadero de Zámbriza.	180
Figura 11: Perforación de pozos para instalación de ductos en el antiguo botadero de Zámbriza.....	180
Figura 12: Antorcha o “flare” usada para quemar el gas recuperado en el antiguo botadero de Zámbriza.	180
Figura 13: Representación de la línea tecnológica MBT con generación eléctrica.	192

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ponderación de los criterios para la priorización de tecnologías en la generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos	4
Tabla 2: Resultados de la priorización de tecnologías en la generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos para las zonas de estudio	5
Tabla 3: Cuadro comparativo de las calificaciones por tecnología e institución por provincia 7	
Tabla 4: Generación de RSM en Ecuador por provincia.....	15
Tabla 5: Composición de Residuos Sólidos Municipales en Ecuador (%)	16
Tabla 6: Contenido de humedad y valor calórico inferior de los RSM en Ecuador.....	17
Tabla 7: Metano generado, recuperado y emitido y CO ₂ e emitido en el DMQ.....	20
Tabla 8: Calificación de las provincias que fueron analizadas para selección de zonas de estudio para proyecto ENT componente energía a partir de residuos	21
Tabla 9: Información general de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo	22
Tabla 10: Ventajas y desventajas de incineración de RSM	30
Tabla 11: Incineración en los países desarrollados	31
Tabla 12: Características de la planta de incineración modular “Usina Verde”	33
Tabla 13: Valores usados para el cálculo de las emisiones de CO ₂ de origen fósil.....	36
Tabla 14: Factor de emisión de GEI usando incineración	37
Tabla 15: Parámetros y valores considerados para el cálculo.....	38
Tabla 16: Costo de mitigación: Incineración con generación de energía eléctrica.....	42
Tabla 17: Ingenios Azucareros en Ecuador.....	49
Tabla 18: Ventajas y desventajas de Gasificación	56
Tabla 19: Ventajas y desventajas del proceso de gasificación con plasma.	62
Tabla 20: Datos típicos de los componentes del gas de relleno sanitario.....	65

Tabla 21: Valores referenciales para un proyecto de aprovechamiento de gas de relleno sanitario en Ecuador.	67
Tabla 22: Composición del biogás	70
Tabla 23: Poder calórico del biogás de acuerdo al contenido de CH4.....	71
Tabla 24: Parámetros que intervienen en la biodigestión	71
Tabla 25: Comparación entre diferentes tecnologías de digestión anaeróbica.	74
Tabla 26: Costos de capital para plantas de biodigestión anaeróbica de RSM en Imbabura, Ecuador.	77
Tabla 27: Costos de O&M para plantas de biodigestión anaeróbica de RSM en Imbabura, Ecuador.	78
Tabla 28: Índices energéticos para una planta de tratamiento de RSM en Imbabura con biodigestión anaeróbica.	80
Tabla 29: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.....	93
Tabla 30: tarifas preferenciales generación con biomasa, Vigentes para proyectos que obtengan su título habilitante de generación, hasta el 31/12/2012	124
Tabla 31: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.....	140
Tabla 32: Barreras identificadas.....	141
Tabla 33: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.....	148
Tabla 34: Barreras identificadas.....	149
Tabla 35: Agrupación de medidas según UNDP (2010)	158
Tabla 36: Agrupación de medidas según UNDP (2010)	159
Tabla 37: Etapas de la curva de aprendizaje de una tecnología UNDP, (2010)	159
Tabla 38: Agregación de medidas propuestas para la estrategia sectorial “Energía a partir de Residuos Sólidos Municipales”	161
Tabla 39: Priorización y caracterización de las medidas propuestas.....	166
Tabla 40: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A1	185
Tabla 41: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A1 ..	187

Tabla 42: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A2	197
Tabla 43: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A2. .	199
Tabla 44: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A3	208
Tabla 45: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A3. .	210

LISTA DE ACRÓNIMOS

CERS	<i>Certified Emission Reduction</i> - Certificados de Reducción de Emisiones
CIE	Corporación para la Investigación Energética
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EFW	<i>Energy from waste</i> - energía a partir de basura
FBI	<i>Fluidized bed incineration</i> - Incineración en cama fluidizada
GAIA	Alianza Global por Alternativas a la Incineración
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INIAP	Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LFG	<i>Landfill gas</i> - Gas de relleno sanitario
LHV	<i>Lower heating value</i> - valor calórico inferior
MAE	Ministerio del Ambiente
MBI	<i>Mass Burn Incineration</i> - Incineración modular
MBT	<i>Mechanical Biological Treatment</i> - Tratamiento Mecánico Biológico
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MtCO ₂	Megatoneladas de dióxido de Carbono
O&M	Operación y Mantenimiento
OECD	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo
PAT	Plan de Acción Tecnológica
PIB	Producto Interno Bruto
PNBV	Plan Nacional para el Buen Vivir
PNGIDS	Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos
RDF	<i>Refused derived fuel</i> - combustible sólido recuperado
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SDF	Sitios de Disposición Final
SENESCYT	Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación
SIN	Sistema Nacional Interconectado
SRF	Combustible Sólidos Derivados
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de Carbono equivalente
TNA	<i>Technology Needs Assessment</i> - Evaluación de Necesidades Tecnológicas
Ton	Tonelada
UNACH	Universidad Nacional de Chimborazo
UPA	Unidad de Producción Agropecuaria
WTE	<i>Waste to energy</i> - energía a partir de basura
YCLIF	<i>Young Connection Leadership and Innovation Fund</i> - Fundación de Conexión Juvenil de Liderazgo e Innovación

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

PARTE 1: EVALUACIÓN DE NECESIDADES TECNOLÓGICAS

RESUMEN EJECUTIVO

Introducción

En el Ecuador, las formas tradicionales de disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM) son los botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios, práctica que produce diversos impactos ambientales directos, y emisión de biogás, que incrementa el Calentamiento Global debido al metano que contiene. El Proyecto de Evaluación de Necesidades Tecnológicas (ENT), encabezado en el Ecuador por el Ministerio del Ambiente (MAE), en el capítulo relacionado a la generación de energía a partir de residuos, busca definir un portafolio de tecnologías de valorización energética de los RSM, priorizarlas según los criterios y características del entorno local, con el objeto de establecer las tecnologías más adecuadas para ser aplicadas a futuro.

Metodología y Desarrollo

ENYATEC, la consultora contratada para el presente estudio por el MAE, mediante investigación académica, información de proveedores y experiencia propia desarrollada en el sector de generación de energía a partir de residuos, preseleccionó ocho tecnologías que permiten aprovechar el potencial energético de los RSM, a partir de diferentes rutas tecnológicas.

Esta preselección consideró el estado de arte en tecnologías para tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos. Se analizó una bibliografía técnica amplia en las bases de datos CAPES, Science Direct, Elsevier y Scielo, además de diversas investigaciones usando buscadores comunes como Google Scholar. Las tecnologías preseleccionadas son las que mayor número de publicaciones registran desde el año 2000 en todo el mundo. Se descartaron tecnologías en fase de prueba a escala de laboratorio. También se omitió rutas tecnológicas que no tengan como producto final un combustible (gas, sólido, líquido) para ser usado en la generación de energía eléctrica. Existen tecnologías que generan a partir de residuos orgánicos combustibles líquidos, por ejemplo, pero su uso final no es tradicionalmente en el sector energético y si en transporte, como es el caso de algunos biocombustibles.

Los criterios analizados para cada tecnología corresponden a parámetros técnicos (madurez tecnológica, capacidad típica de planta, aplicabilidad según el valor calórico inferior de los residuos, tiempo de vida del proyecto, producción de energía neta), parámetros financieros (costo de capital, costo de operación y mantenimiento), parámetros ambientales relacionados a cambio climático y mitigación (factor de emisión de GEI aproximado de la ruta tecnológica), parámetros económicos (generación de empleo directo, incentivo a otros sectores de la economía), parámetros socio-culturales y ambientales (mejora de la calidad de vida de la población aledaña y de los trabajadores del sector, impacto ambiental – visual – ruido en el área de implantación, incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana, capacitación de los trabajadores), parámetros acerca de la transferencia de tecnología (facilidad de réplica de la tecnología a nivel nacional, dependencia y complejidad tecnológica) y finalmente, parámetros políticos (apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de

residuos, existencia de ordenanzas municipales y otras normas). El detalle de cada ítem puede encontrarse en el Capítulo 4.4 del informe completo.

El portafolio de tecnologías preseleccionadas para obtener energía a partir de RSM es el siguiente:

- Incineración de RSM con recuperación de energía,
- MBT con recuperación de RDF + co-incineración en cementera,
- MBT con recuperación de RDF + co-incineración en termoeléctricas a vapor de ingenios azucareros o similares,
- Producción de RDF y pirólisis con aprovechamiento de syngas y carbón,
- Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas,
- Plasma con aprovechamiento de syngas,
- Recuperación y aprovechamiento energético de gas de relleno sanitario en motores de combustión interna,
- MBT con digestión anaerobia y aprovechamiento de biogás en motores de combustión.

Las características de dichas tecnologías fueron presentadas en un taller realizado el 25/04/2012 en el auditorio principal del MAE a representantes de instituciones públicas, privadas y académicas relacionadas al sector, con el propósito de ser calificadas para su priorización a partir de ciertos criterios preestablecidos por la consultora, a los cuales se sumaron los aportes originados en los asistentes a dicho evento.

Los criterios de selección y la ponderación que resultó del trabajo realizado en el taller, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Ponderación de los criterios para la priorización de tecnologías en la generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos

CAMPO	CRITERIOS A PRIORIZAR	PESO IMPORTANCIA	O
TÉCNICO	Madurez tecnológica	5,75%	17,3%
	Escala: capacidad típica de planta (ton de RSM/día)	2,65%	
	Aplicabilidad dado el valor calórico inferior de los RSM (MJ/kg)	3,35%	
	Tiempo de vida del proyecto (años)	1,00%	
	Producción de energía neta (kWh/ ton de RSM)	4,55%	
FINANCIERO	Costo de capital (miles USD/ ton diaria tratada)	8,80%	18,3%

	Costo O&M (USD/día/ton RSM tratada)	9,50%	
MITIGACIÓN	Factor de emisión GEI (tCO ₂ e/ ton RSM tratado)	15,00%	15,0%
ECONÓMICO	Generación de empleo directo (puesto/ 5 ton RSM tratada)	5,30%	11,3%
	Incentivo a otros sectores de la economía (Ej: reciclaje)	6,00%	
SOCIO-CULTURAL-AMBIENTAL	Mejora calidad de vida de población y trabajadores del sector	3,50%	11,3%
	Impacto ambiental, impacto visual, ruido, etc. en el área de implantación	2,78%	
	Incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana	4,00%	
	Exigencia de mejor capacitación en los trabajadores	1,00%	
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA	Facilidad para replicar a nivel nacional la tecnología	3,75%	7,5%
	Dependencia y complejidad tecnológica	3,75%	
POLÍTICO	Apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de residuos	9,10%	19,5%
	Existencia de ordenanzas municipales, decretos, normas, planes, etc. que favorezcan sistemas integrados de gestión de residuos sólidos.	10,40%	

TOTAL 100%

Fuente: (ENYATEC, 2012)

A continuación, el MAE envió las Fichas Metodológicas de las 8 tecnologías, a todos los asistentes al mencionado taller, para su calificación. Los resultados obtenidos de dicho trabajo, fueron promediados y avalados por la Comisión Técnica del Proyecto, cuya síntesis de muestra en la Tabla 3. Cabe resaltar que las etapas preliminares del Proyecto ENT como la selección de zonas de estudio son descritos en el Capítulo 4 del presente documento. Las tecnologías priorizadas para cada provincia se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2: Resultados de la priorización de tecnologías en la generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos para las zonas de estudio

	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	CHIMBORAZO
1.	Captación de Gas de Relleno Sanitario con aprovechamiento energético	Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros
2.	Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.	

Fuente: (ENYATEC, 2012)

La Comisión Técnica coordinada por la Subsecretaría de Cambio Climático y conformada representantes del SENESCYT, MEER, PNGIDS del MAE e INER, dentro de sus funciones está la revisión y aprobación de informes presentados por la Consultora, además de apoyar con información técnica y valorar los criterios que sirvieron a la priorización del portafolio de tecnologías junto con los actores invitados específicos para el Taller mencionado. Los resultados de esta calificación se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 3: Cuadro comparativo de las calificaciones por tecnología e institución por provincia

A. CHIMBORAZO

CUADRO COMPARATIVOS DE CALIFICACIONES								
INSTITUCIÓN	TECNOLOGÍAS							
	1. INCINERACIÓN MASIVA CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA	2. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO CEMENTERO	3. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICAS A VAPOR	4. PRODUCCIÓN DE PELETS Y PIRÓLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN	5. PRODUCCIÓN DE PELETS Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	6. GASIFICACIÓN POR PLASMA Y APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	7. MBT CON DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGAS	8. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO
MEER	1.404	1.820	1.634	1.444	1.349	1.400	1.979	1.708
USFQ	1.565	1.911	1.622	1.547	1.452	1.623	2.104	2.296
DIR. CHIMBORAZO	1.165	1.852	1.736	1.490	1.395	1.343	1.764	1.637
INER	1.328	1.686	1.513	1.620	1.515	1.613	1.769	1.739
MAE SUB CC	1.635	1.920	1.721	1.624	1.567	1.490	1.971	2.023
PNGIDS	1.067	1.452	1.276	1.071	0.976	1.147	1.415	1.921
SENECYT	1.565	1.911	1.622	1.547	1.452	1.623	2.104	2.296
UNACH	1.208	1.780	1.604	1.620	1.525	1.724	1.648	1.658
ENYATEC	1.259	2.003	1.827	1.580	1.485	1.340	1.896	1.562
TOTALES	10.936	14.331	12.725	11.964	11.232	11.963	14.753	15.278
PROMEDIO	1.367	1.791	1.591	1.496	1.404	1.495	1.844	1.910

B. SANTO DOMINGO

CUADRO COMPARATIVOS DE CALIFICACIONES								
INSTITUCIÓN	TECNOLOGÍAS							
	1. INCINERACIÓN MASIVA CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA	2. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO CEMENTERO	3. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICAS A VAPOR	4. PRODUCCIÓN DE PELETS Y PIRÓLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN	5. PRODUCCIÓN DE PELETS Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	6. GASIFICACIÓN POR PLASMA Y APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	7. MBT CON DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGAS	8. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO
MEER	1.716	1.507	1.936	1.756	1.661	1.712	2.271	2.092
USFQ	1.641	1.741	1.681	1.616	1.521	1.692	2.003	2.451
DIR. SANTO DOMINGO	1.544	1.566	2.011	1.636	1.536	1.587	2.195	2.250
INER	1.536	1.589	1.589	1.585	1.619	1.606	1.796	1.894
MAE SUB CC	1.645	1.744	1.721	1.624	1.567	1.490	1.931	2.074
PNGIDS	1.024	1.223	1.223	1.071	0.976	1.087	1.415	1.973
SENECYT	1.641	1.741	1.681	1.616	1.521	1.692	2.003	2.451
UNACH	1.171	1.594	1.594	1.620	1.525	1.724	1.685	1.710
ENYATEC	1.259	1.817	1.817	1.580	1.485	1.340	1.896	1.614
TOTALES	11.917	12.705	13.434	12.525	11.926	12.590	15.298	16.894
PROMEDIO	1.490	1.588	1.679	1.566	1.491	1.574	1.912	2.112

Fuente: (MAE, 2012)

Conclusiones

Problemática de la disposición final de residuos.

La legislación ambiental ecuatoriana, encabezada por la Constitución vigente, reconoce y establece los derechos de la naturaleza y las personas a vivir en un ambiente sano y limpio. En este contexto, la gestión tradicional del manejo de residuos sólidos, que produce significativos y crecientes impactos ambientales, económicos y sociales, representa un problema creciente. Tampoco se ha aprovechado el potencial energético y bioquímico de los residuos sólidos municipales, cuyo volumen de generación diaria en el Ecuador alcanza las 9000 toneladas, aproximadamente (PNGIDS, 2012).

Líneas tecnológicas de aprovechamiento energético de RSM

En respuesta al reto del manejo ambientalmente adecuado de los residuos sólidos, existen varias líneas tecnológicas que ofrecen diferentes tratamientos (o combinaciones de ellos) para el aprovechamiento energético de todos o ciertos tipos de residuos, mediante procedimientos mecánicos, bioquímicos, termo-físicos, termo químico y biológico, y otros en desarrollo experimental. **Es decir existe una amplia gama de opciones para abordar la industrialización de los RSM para generación eléctrica.** El proyecto ENT se orienta precisamente a la evaluación del portafolio de tecnologías, para seleccionar las más adecuadas a un cierto entorno tecnológico, ambiental, socio cultural, económico y político dado, como son dos provincias del Ecuador: Chimborazo y Santo Domingo de los Tsáchilas.

Tecnologías preseleccionadas

El resultado de la investigación realizada, son 8 tecnologías preseleccionadas, que representan opciones reales de implementación en el país, lo que significaría transformar los RSM de materiales sin valor energético, a materia prima para generación eléctrica y/o térmica, lo que a su vez resuelve parcial o totalmente (según el caso) el impacto ambiental derivado. **Su implementación también supone el fin de los rellenos sanitarios como el único método de disposición final de los RSM**, como tradicionalmente se ha hecho hasta ahora.

Tecnologías priorizadas

Luego del trabajo realizado por los actores invitados al taller, los resultados de la priorización en las dos provincias Chimborazo y Santo Domingo de los Tsáchilas, muestran que tres de las tecnologías han sido seleccionadas por la mayoría de participantes; la particularidad radica en el orden de priorización. Por ejemplo las tecnologías priorizadas por el MEER y la UNACH no coinciden con las priorizadas por las demás instituciones.

De las tecnologías con mayor calificación, la captación de biogás de relleno sanitario con aprovechamiento energético se considera como una solución efectiva a corto plazo, **únicamente para los botaderos o rellenos sanitarios que actualmente se encuentran operando, hasta la implementación de una planta de valorización energética de los RSM.** La razón radica en que esta tecnología no se alinea con la tesis de aprovechamiento intensivo de todos los residuos (mediante clasificación en la fuente, reciclaje, reutilización, etc.), por lo que no debería ser asumida como una solución integral para el manejo de residuos. Adicionalmente, la captación del biogás de un relleno sanitario ya consolidado logra tasas de recuperación de sólo el 30 al 35% del volumen generado una vez que dicho relleno esté próximo a su cierre, por lo que la fracción mayoritaria restante sigue emitiéndose directamente a la atmósfera.

La tecnología de MBT con digestión anaerobia y aprovechamiento de biogás, puede llegar a ser una solución real, siempre y cuando los programas de reciclaje y aprovechamiento de residuos sean ejecutados y haya un cambio cultural sobre la percepción de la basura. En la actualidad es incipiente la reutilización de residuos orgánicos mediante compostaje, por lo que esta tecnología puede requerir de una importante campaña de información general al público para su implementación, como fuente energética.

La pelletización de residuos y su incineración en hornos cementeros es una tecnología que se puede destacar en la zona de Chimborazo, ya que la industria cementera está fuertemente estructurada o posicionada en la localidad, se ubica cerca de los principales centros poblados del norte de la provincia, y brinda una alternativa atractiva para disminuir el uso de combustibles fósiles en esta actividad.

Se concluye entonces, que el análisis de barreras y el entorno habilitante para el Plan de Acción Tecnológica (PAT) se realizarán con las siguientes tecnologías:

- 1. PRODUCCIÓN DE PELLETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO CEMENTERO (Chimborazo)**
- 2. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO (Santo Domingo de los Tsáchilas)**
- 3. MBT CON DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO (Chimborazo y Santo Domingo de los Tsáchilas).**

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Generación y composición de Residuos Sólidos Municipales (RSM): visión mundial.

La cantidad y composición de los residuos sólidos municipales (RSM) depende del tamaño de la población, del grado de urbanización y de su estado económico (PIB). A mayor PIB per cápita, mayor consumo y mayores volúmenes de RSM. A mayor crecimiento económico e ingresos per-cápita, mayor valor calórico de la basura generada (por la más importante presencia de plástico y papel en la basura). Por otro lado, el contenido de humedad es mayor en zonas de bajo ingreso económico debido a mayor presencia de residuos orgánicos y mínimas cantidades de papel y otros materiales secos (LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006), lo que reduce el valor calórico de la basura y, de esta forma, limita el aprovechamiento de la basura a opciones de reciclaje y re-utilización (en contraposición a opciones de generación de electricidad vía combustión).

Emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Sector Residuos: visión mundial.

Las actividades del sector RSM contribuyen entre 3 y 4% con la emisión antropogénica global anual de GEI entre 3 - 3 -4%(PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; IPCC 2001 *apud* IPCC 2006;BAUMERT *et al.*, 2005) a las emisiones antropogénicas global anuales de GEI.Típicamente, las emisiones de metano (CH₄)procedentes de los sitios de disposición final (SDF¹) de RSM, por la descomposición anaeróbica de su fracción orgánica, son la mayor fuente de emisión de GEI del sector residuos(IPCC 2006, 2006;MCKINSEY & COMPANY, 2009). En 2005 el 53% de GEI emitidos en el sector residuos provenía de rellenos sanitarios.

En particular, la disposición de RSM en rellenos sanitarios tiene un potencial de calentamiento global de 21 veces superior en un horizonte de tiempo de 100 años (FORSTER *et al.*, 2007). En 2005, aproximadamente el 91% de los gases emitidos en el sector residuos eran CH₄ y apenas 7% correspondían a N₂O (IPCC, 2006; EPA, 2006). El gas emitido en los SDF (llamado gas de relleno sanitario (LFG²)) tiene un factor de emisión de aproximadamente 1 kg/cap/día(IPCC NGGIP, 2006).

A nivel mundial, los países con mayor contribución de emisiones de GEI en el sector residuos son Estados Unidos y la Unión Europea con aproximadamente 240 MtCO₂e y 140 MtCO₂e respectivamente hasta el año 2000. Estos países en 2005 contribuyeron con aproximadamente 240 y 140 MtCO₂ respectivamente(IPCC, 2006; BAUMERT *et al.*, 2005). Con respecto a los países emergentes (BRICS³), que, si bien sus emisiones per cápita todavía son bajas debido a su cantidad de habitantes, sus emisiones totales ya representan fracciones importantes del total.

¹ SDF: sitio de disposición final de los RSM. Estos pueden ser botaderos a cielo abierto, rellenos sanitarios semi-controlados y rellenos sanitarios controlados.

² LFG: *Landfill gas*. En portugués es conocido como GDL (gás do lixo).

³Brasil, Rusia, India, China y África del Sur; conocidos como los Cinco Grandes.

Por otro lado, tal como se mencionó, el volumen de estos gases emitidos en países en vías de desarrollo es significativo debido a la alta composición orgánica de sus RSM (aprox. 60%) (ZERBOCK, 2003; WORLD BANK, 1999), la inadecuada recolección, los malos sistemas de uso y tratamiento de RSM (IPCC 2006, 2006; MCKINSEY & COMPANY, 2009). La reducción del volumen de estos gases, a nivel global pretende mitigar los efectos del cambio climático que atenta contra el bienestar del ser humano y sus futuras generaciones; por otro lado, a nivel local se prevé reducir los impactos adversos a la salud pública de las comunidades vecinas al sitio de tratamiento y disposición final de RSM (PAPAGEORGIU et al., 2009).

Según el IPCC (2007), la tendencia es que las emisiones de GEI en el sector residuos, especialmente del CH₄ de los vertederos, se estabilice y disminuya en muchos países desarrollados como resultado del aumento de la recuperación del gas de vertederos, combinado con el uso de reciclaje, reducción en la generación de residuos y estrategias alternativas de gestión térmica y biológica de residuos. Sin embargo, las emisiones de CH₄ de vertederos aumentan en los países en desarrollo debido al aumento de la población y al uso de los sistemas convencionales de disposición final de RSM (BOGNER et al., 2007).

Recuperación energética a partir de RSM

La obtención de energía (*WTE*⁴ o *EFW*⁵) es una alternativa de gerenciamiento de RSM⁶ que puede disminuir el uso de rellenos sanitarios, evitando emisiones de GEI (CH₄ y N₂O). Esta disminución se debe a dos motivos principales:

- a) Con la obtención de energía se evita la emisión de una cantidad de metano generada en rellenos sanitarios y botaderos de cielo abierto.
- b) La energía obtenida a partir de los RSM, cuyos procesos tecnológicos mayoritariamente liberan CO₂ de origen biogénico, generalmente reemplaza una cantidad de energía que tradicionalmente sería generada usando combustibles fósiles generados a través de plantas termoeléctricas convencionales (PAPAGEORGIU et al., 2009; BAUMERT et al., 2005; MCKINSEY & COMPANY, 2009).

El CO₂ biogénico, liberado a partir de la fracción orgánica de los RSM no es contabilizado en los inventarios nacionales de GEI; a diferencia del CO₂ liberado por la combustión de combustibles fósiles que deben ser contabilizados por no ser parte del ciclo de carbono (IPCC, 2006). Los GEI emitidos por rellenos sanitarios (CH₄, NO₂) deben ser cuantificados en el sector residuos. Sin embargo, si estos gases (GDD) son usados para generar energía o calor, entonces los gases de la combustión deben ser cuantificados y declarados en el sector energía. De igual forma, si los RSM son usados para generar energía, entonces los gases GEI deben ser declarados en el sector energía, recordando que el CO₂ de origen biogénico sólo es cuantificado para fines informativos pero no debe ser declarado en los inventarios nacionales (IPCC, 2006).

⁴ WTE: *Waste to energy*

⁵ EFW: *Energy from waste*

⁶ Las rutas de destino y disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM) pueden ser jerarquizadas basándose en el criterio de residuo final mínimo, esto es conocido como Sistema Integrado de Gerenciamiento de Residuos Sólidos (SIGRS). Para el SIGRS, las rutas deben ser priorizadas en la siguiente orden: 1) reducción de generación de residuos en la fuente; 2) reutilización de los residuos producidos; 3) reciclaje; 4) recuperación de energía, y 5) relleno sanitario (OLIVEIRA, B. L., 2000).

Líneas tecnológicas

Son varias las líneas tecnológicas disponibles para obtener energía a partir de los RSM (WTE). Éstas pasan por procesos termoquímicos, termo-físicos, mecánicos, biológicos y bioquímicos, basada en (CHAE-GUN, 2005; ZANETTE, 2009; IPCC, 2011).

Las líneas tecnológicas más conocidas actualmente para obtener energía a partir de RSM son: recuperación y aprovechamiento de gas de relleno sanitario (IPCC 2011, 2011; MCKINSEY & COMPANY, 2007, 2009), incineración de RSM con recuperación de energía, combustión de combustible sólidos derivados SRF, tratamientos biológicos para producción de biogás, etc. (BOVEA *et al.*, 2010a; PIRES *et al.*, 2011; SINGH, R. P. *et al.*, [S.d.]; ZHANG, D. Q. *et al.*, 2010). Otros tratamientos térmicos avanzados como gasificación y pirólisis con recuperación de energía también empiezan a tornarse alternativas para la gestión de RSM como será analizado en la secuencia.

En ese sentido, este **Informe de la Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA)**, del sector energía a partir de RSM, tiene como objetivos principales:

Explicar cómo son seleccionadas las tecnologías para mitigación de gases GEI originadas por las prácticas del Sector Residuos.

Pre-seleccionar entre 6 – 15 tecnologías para ser analizadas previo a la etapa de priorización. Las características de estas tecnologías (descripción de la tecnología, costos de las tecnologías, potencial de aplicación en el país, así como los beneficios sociales, de mitigación, económicos y ambientales) deben sintetizarse en “Hojas de Datos de las Tecnologías”.

Priorizar un número mínimo de tecnologías (2 – 3), tomando como referencia la síntesis de las “**Hojas de Datos de las Tecnologías**” y los puntos de vista de las partes interesadas en el proyecto, que serán expuestos durante un taller. La priorización toma como metodología la ponderación de parámetros en una matriz multi-criterio.

Metodologías existentes para seleccionar tecnologías de mitigación

Una de las metodologías para seleccionar las tecnologías de mitigación de gases GEI en el sector energía, a partir de RSM, es la curva de costos de abatimiento de GEI que presenta en su eje horizontal la cantidad de emisiones evitadas y en su eje vertical el costo por tonelada evitada. Sin embargo, esta metodología considera únicamente criterios ambientales – económicos de mitigación del cambio climático y no aborda el problema con un enfoque multi-criterio.

Varios estudios que usan la metodología de curva de costos de abatimiento de emisiones de GEI en el sector residuos trabajan con un reducido número de alternativas tecnológicas (IPCC 2011, 2011; MCKINSEY & COMPANY, 2007, 2009). Esto se debe, en parte, a la reducida disponibilidad de datos tecnológicos y económicos para tecnologías emergentes.

Así McKinsey & Company (2009) analiza a nivel mundial, en un horizonte hasta el 2030, un escenario de abatimiento de GEI debido a: 1) uso directo de LFG en industrias cercanas; 2) reciclaje de RSM; 3) generación de energía eléctrica a partir LFG; y, 4) compostaje.

El uso directo de LFG presenta los mayores costos negativos (aprox. - 45 USD / tCO₂e) para una cantidad de 200 MtCO₂e evitadas por año. Por otro lado, la alternativa de generación eléctrica a partir de LFG es más importante en términos de cantidad de emisiones GEI evitadas, a pesar de sólo ser viables a mayores costos. Lo que más resalta es el potencial de abatimiento de GEI que presentan las tecnologías de reciclaje, que conseguirían evitar aproximadamente 900 MtCO₂e por año a un costo promedio de - 16,5 USD/ tCO₂e.

La curva de abatimiento de GEI puede variar significativamente al considerar otras tecnologías, procesos de pre-tratamiento de los RSM y nuevas alternativas tecnológicas (como incineración) ya ampliamente usada en países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OECD, por sus siglas en inglés) (VATTENFALL, 2007; BAUMERT et al., 2005; MCKINSEY & COMPANY, 2009). Durante el avance del presente estudio se detallan diversas alternativas tecnológicas que pueden contribuir al desarrollo sustentable del país, evitando la emisión de gases GEI. Las tecnologías, que posteriormente serán priorizadas usando como metodología un análisis multi-criterio, serán plasmadas en el Plan de Acción Tecnológica (PAT).

Este estudio propone el uso de una metodología de matriz multi criterio, que a diferencia de la metodología de costos marginales de abatimiento, permite considerar otras variables relevantes además de los costos. Los criterios analizados para cada tecnología corresponden a parámetros técnicos (madurez tecnológica, capacidad típica de planta, aplicabilidad según el valor calórico inferior de los residuos, tiempo de vida del proyecto, producción de energía neta), parámetros financieros (costo de capital, costo de operación y mantenimiento), parámetros ambientales relacionados a cambio climático y mitigación (factor de emisión de GEI aproximado de la ruta tecnológica), parámetros económicos (generación de empleo directo, incentivo a otros sectores de la economía), parámetros socio-culturales y ambientales (mejora de la calidad de vida de la población aledaña y de los trabajadores del sector, impacto ambiental – visual – ruido en el área de implantación, incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana, capacitación de los trabajadores), parámetros acerca de la transferencia de tecnología (facilidad de réplica de la tecnología a nivel nacional, dependencia y complejidad tecnológica) y finalmente, parámetros políticos (apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de residuos, existencia de ordenanzas municipales y otras normas). El detalle de cada ítem puede encontrarse en el Capítulo 4.4 del informe completo.

Selección de las Provincias para Estudio

Con el objeto de seleccionar las provincias del Ecuador para la aplicación del presente estudio, la Comisión Técnica encabezada por el MAE, realizó un análisis de diversos criterios planteados para el efecto. El documento que resume dicho trabajo se encuentra en el **Anexo 1**, por lo que no se abunda aquí en mayores detalles.

Dicha evaluación determinó que sean Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo las provincias seleccionadas para el estudio, en razón de su representatividad como zonas climáticas, geográficas, culturales y económicas diferentes (Costa y Sierra centro respectivamente), y cuyos resultados pueden ser probablemente replicados en sitios similares en cada región, lo que determinó en gran medida la decisión final. Se descartó la provincia de El Oro, porque presentaba similitudes con Santo Domingo de los Tsáchilas.

CAPÍTULO 2: EMISIONES DE GEI Y TECNOLOGÍAS EN USO EN EL SECTOR ENERGÍA A PARTIR DE RSM EN ECUADOR

El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) en su política 4.4 estipula la necesidad de “Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida”. A partir de este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos relacionados con conservación, patrimonio hídrico, cambio de matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de vulnerabilidades y tratamiento transversal de la gestión ambiental. En particular, la política 4.5 está orientada a “fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática, con énfasis en el proceso de cambio climático”. Este pensamiento es uno de los pilares más importantes que sustentan el trabajo llevado a cabo por el MAE en el área de mitigación de GEI en Ecuador.

En el seno del MAE el Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIDS) es el encargado del tema de RSM. Este departamento lidera tres áreas: asistencia técnica a municipios, normativa nacional y capacitación en temas afines a gestión de residuos.

En la secuencia se presenta el estado del arte con relación al sector energía, específicamente en el subsector de RSM.

2.1. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN ECUADOR

Ecuador tiene una población de aproximadamente 14,5 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional de 1,95% (INEC, 2010) y una estimada de 1,1% entre 2010 y 2030 (UNICEF, 2010; MAE- PNUD- GEF, 2011). Según datos del mes de marzo 2012 proporcionados por el PNGIDS (ver referencia MAE-PNGIDS, 2012), la tasa de generación de RSM media es de 0,58 kg/hab/día. Esto representa una generación de RSM a nivel nacional de aproximadamente 9.000 ton/día, de las cuales el 61% se concentra en el sector urbano. La Tabla 4 muestra la generación de RSM por provincia, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales. El servicio de recolección de basura llega a 77% de la población a nivel nacional (INEC, 2012). La penetración del servicio de recolección varía mucho entre el sector urbano y rural: en el nivel urbano nacional esta tasa alcanza aproximadamente 87%, mientras que en los sectores rurales la media es de 22% (INEC, 2001).

Tabla 4: Generación de RSM en Ecuador por provincia

	ÁREA URBANA (proyección) Ton/día	ÁREA RURAL (proyección) Ton/día	TOTAL (Ton/día)
CARCHI	56,8	31,3	88,2
ESMERALDAS	122,4	172	294,4
IMBABURA	157,1	103,3	260,4
SUCUMBIOS	58,8	35,5	94,3
NAPO	24,4	33,2	57,6
ORELLANA	30,2	48,6	78,8
PICHINCHA	1313,4	520,2	1833,7
COTOPAXI	267,1	97,8	364,9
CHIMBORAZO	148,7	68,5	217,2
PASTAZA	26	24,8	50,9
TUNGURAHUA	202,2	165,3	367,5
MANABI	546,7	284,7	831,4
SANTO DOMINGO	185,4	83,3	268,6
BOLIVAR	21,3	35	56,3
GUAYAS	1806,4	329,9	2136,3
LOS RIOS	271,6	178,3	450
SANTA ELENA	107,5	84,9	192,4
AZUAY	296,2	160,9	457,2
CAÑAR	59,7	78,3	138
MORONA SANTIAGO	39	47,3	86,3
EL ORO	297,3	64,4	361,7
LOJA	146,8	111,2	258
ZAMORA CHINCHIPE	24,5	26,6	51,1
GALAPAGOS	9,9	2	11,9
ZONAS NO DELIMITADAS	0	24	24
TOTAL PAÍS	6219,6	2811,6	9031,2

Fuente:(MAE-PNGIDS, 2012)

La Tabla 5 presenta la composición porcentual de los residuos sólidos municipales en Ecuador. Se aprecia que la fracción orgánica es alta: ésta varía entre una media de 61% para las ciudades más desarrolladas (Quito y Guayaquil) y una media de 64 – 70 % en el resto del país. Incluso existen municipios en donde la fracción orgánica llega a cerca de 80%. Usando los datos de la Tabla 4: Generación de RSM en Ecuador por provincia puede ser calculada una media nacional de: 64% de orgánico, 5% de cartón, 5% de papel, 9% de plástico, 3% de vidrio, 2% de metal y 12% de otros.

Tabla 5: Composición de Residuos Sólidos Municipales en Ecuador (%)

	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (%)						
	Orgánicos	Cartón	Papel	Plástico	Vidrio	Metales	Otros
CARCHI							
TULCAN	79,60	4,16	1,22	8,07	2,16	1,70	2,49
BOLIVAR	59,20	3,54	13,40	16,40	1,56	1,55	4,37
ESPEJO	60,50	2,46	2,84	1,82	0,77	0,25	30,40
MIRA	68,30	3,75	4,75	15,50	1,25	1,88	4,63
MONTUFAR	81,00	6,08	6,08	3,64	0,44	0,06	2,66
IMBABURA							
IBARRA	66,14	6,00	2,96	10,53	2,30	1,39	10,68
OTAVALO	65,15	4,00	2,49	6,93	1,55	0,44	19,44
ANTONIO ANTE	55,15	10,00	14,40	14,78		3,48	15,27
COTACACHI	33,46	5,83	2,10	10,04	2,95	1,49	44,13
URCUQUI	54,34	5,25	3,43	18,06	1,13	2,65	15,14
PIMAMPIRO	65,00	3,40	6,00	8,40	4,50	0,90	11,80
SUCUMBIOS							
LAGO AGRIO	58,90	1,47	3,00	9,81	2,79	1,36	22,70
GONZALO PIZARRO	71,00	9,30	1,70	7,20	1,10	7,00	2,10
SUCUMBIOS	73,20	5,80		5,50		3,30	12,20
CASCALES	48,50	1,00	1,00	1,00	1,50	0,70	46,20
CUYABENO	67,70	4,96	4,77	15,98	5,33	1,24	0,02
ORELLANA							
AGUARICO	53,70	12,60	9,90	10,90	1,90	2,00	9,00
PICHINCHA							
QUITO	61,00	4,00	4,60	13,80	3,20	1,20	12,20
COTOPAXI							
LA MANA	71,00		9,00	7,00	3,00	4,00	6,00
SALCEDO	53,00	5,00	3,00	8,00	3,00	2,00	26,00
SIGCHOS	40,00	5,00	15,00	25,00	5,00	2,00	8,00
CHIMBORAZO							
CHUNCHI	69,00	4,00	5,00	6,00	3,00	0,00	11,49
GUAMOTE	81,00	3,00	4,00	12,00	1,00	0,00	
GUANO	78,00	2,00	8,00	10,00	1,00	0,00	0,38

PALLATANGA	70,00	1,00	1,00	11,00	4,00	0,00	13,40
CUMANDA	59,00	3,00	3,00	17,00	3,00	2,00	13,26
BOLIVAR							
GUARANDA	74,06	0,82	4,02	5,57	0,59	0,28	14,66
SAN JOSE DE CHIMBO	74,04	0,77	4,02	5,62	0,60	0,30	14,65
SAN MIGUEL	73,88	0,79	3,99	5,61	0,59	0,29	14,85
GUAYAS							
GUAYAQUIL	60,60	4,00	5,70	8,00	2,40	2,60	16,70
BALAO	56,45	3,97	0,38	4,16	1,70	0,57	32,77
CAÑAR							
AZOGUES	47,56	6,00	6,38	18,58	3,68	1,45	16,35
CAÑAR	69,47	3,48	3,48	5,65	1,24	0,71	19,44
EL TAMBO	65,88	5,45	5,45	7,73	1,99	1,05	16,64
MORONA SANTIAGO							
MORONA	49,81	6,97		11,95	9,96	16,93	4,37
HUAMBOYA	64,90	8,50	10,40	6,10	3,34	2,06	4,70
SAN JUAN BOSCO	64,70	4,20	9,20	6,60	5,40	4,20	5,70
LOGROÑO	65,04	6,00	6,00	8,02	4,50	3,40	7,04
PABLO SEXTO	53,30	3,30	10,00	10,00	6,70	10,00	6,70
TIWINZA	74,00	9,18	4,60	6,12	1,53	3,06	1,51
ZAMORA CHINCHIPE							
ZAMORA	66,80	5,20	5,20	6,10	1,92	1,43	13,35
CHINCHIPE	58,00	11,50	6,50	9,00	6,50	5,43	3,07
YACUAMBI	71,42	4,90	6,90	7,60	3,90	1,20	4,08
YANTAZA	82,40	3,54	3,54	8,57	1,37		0,58
EL PANGUI	71,40	6,70	7,42	10,10	2,96	1,02	0,39
CENTINELA DEL CONDOR	63,30	6,70	10,40	6,00	2,70	2,70	8,20
PALANDA	65,00	12,00	8,00	7,00	3,00	2,00	3,00

Fuente:(MAE-PNGIDS, 2012)

Como muestran los resultados de la Tabla 6, la caracterización típica de la basura presenta un alto contenido de humedad, de aproximadamente 51 % y una media de valor calórico inferior (LHV) de 5,5 MJ/kg.

Tabla 6: Contenido de humedad y valor calórico inferior de los RSM en Ecuador

	Poder calorífico inferior (kJ/kg)	LHV	Contenido de humedad(%)
CARCHI			
TULCAN	4.771,3		57,8%
BOLIVAR	7.478,4		52,4%
ESPEJO	4.240,2		46,0%
MIRA	6.891,4		54,2%
MONTUFAR	4.056,9		60,5%
IMBABURA			
IBARRA	5.856,7		52,1%
OTAVALO	5.193,2		50,1%
ANTONIO ANTE	8.102,3		53,9%
COTACACHI	6.849,7		33,3%
URCUQUI	7.897,5		46,9%
PIMAMPIRO	5.335,5		51,1%
SUCUMBIOS			
LAGO AGRIO	5.891,8		46,3%
GONZALO PIZARRO	4.677,4		54,8%
SUCUMBIOS	4.513,9		54,1%
CASCALES	4.438,4		37,9%
CUYABENO	6.815,2		54,1%
ORELLANA			
AGUARICO	6.478,8		50,3%
PICHINCHA			
QUITO	6.700,8		49,7%
COTOPAXI			
LA MANA	4.720,0		54,1%
SALCEDO	5.684,6		43,9%
SIGCHOS	9.809,5		44,1%
CHIMBORAZO			
CHUNCHI	4.724,6		52,7%
GUAMOTE	5.857,6		60,3%
GUANO	5.457,5		59,1%
PALLATANGA	5.768,4		51,8%
CUMANDA	7.422,3		48,2%
BOLIVAR			
GUARANDA	4.637,7		54,3%
SAN JOSE DE CHIMBO	4.647,0		54,2%
SAN MIGUEL	4.651,6		54,2%
GUAYAS			
GUAYAQUIL	5.430,8		48,8%
BALAO	4.864,6		43,9%
CAÑAR			
AZOGUES	8.199,3		44,4%
CAÑAR	4.979,9		52,8%
EL TAMBO	5.568,6		52,6%
MORONA SANTIAGO			
MORONA	5.319,5		41,4%
HUAMBOYA	4.921,6		54,2%
SAN JUAN BOSCO	4.735,7		51,9%

LOGROÑO	5.122,5	51,9%
PABLO SEXTO	5.444,2	45,8%
TIWINZA	4.610,1	57,5%
ZAMORA CHINCHIPE		
ZAMORA	4.906,1	52,2%
CHINCHIPE	5.390,4	50,2%
YACUAMBI	4.974,0	55,5%
YANTZAZA	4.982,5	60,3%
EL PANGUI	5.604,1	56,9%
CENTINELA DEL CONDOR	4.941,0	52,6%
PALANDA	5.146,7	54,8%
PROMEDIOS	5632.17	51,3%

Fuente: Cálculos hechos por ENYATEC, (2012),
considerando datos de MAE-PNGIDS, (2012)

2.2. NIVEL ACTUAL Y CRECIMIENTO DE EMISIONES DE GEI.

El Primer Comunicado Nacional de Ecuador enviado al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC) muestra en su inventario de GEI que el sector residuos es responsable por la emisión de 64.020t de CH₄ en el año 1990 (MAE, 2001). El Segundo Comunicado Nacional muestra que entre 1990 y 2006 hubo un incremento de 74,2% de emisiones de CH₄ en el sector residuos, llegando a 115.523 tCH₄ en 2006.

El sector agrícola es la principal fuente de emisiones de metano en Ecuador, seguido por el sector de residuos, como resultado de actividades de tratamiento de aguas residuales y por la disposición de residuos sólidos en tierra (MAE- PNUD- GEF, 2011). Analizando la cantidad de metano emitido anualmente en unidades de CO₂equivalente (CO₂e), se aprecia que en el año 2006 las emisiones del sector residuos llegaron a 8 millones de tCO₂e, observándose que la contribución del sector residuos en las emisiones de metano es de 12% aproximadamente.

Las emisiones GEI per cápita en Ecuador son de 1,5 – 3 tCO₂e en 2010. A pesar de que las emisiones de Ecuador no son significativas a nivel latino-americano, es importante el desarrollo de proyectos de mitigación y adaptación a los cambios climáticos que la emisión de GEI puede ocasionar. Los países en vías de desarrollo como Ecuador no cuentan con los mecanismos para enfrentar los efectos del cambio climático, enmarcándonos como un país vulnerable a cualquier evento extremo relacionado al clima.

La investigación realizada por SORIA, (2010) “Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Sector Residuos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito –Ecuador y Estimativa del Potencial de Abatimiento y Costos Marginales de Abatimiento para dos Alternativas de Mitigación”, revela importantes informaciones:

La generación de CH₄ en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), fue calculada según la metodología IPCC 2006 de decaimiento de segundo orden. La generación de metano de antiguos botaderos de basura que funcionaron hasta 1980, del botadero de Zámiza que funcionó hasta el 2002 y del actual relleno sanitario de El Inga. SORIA (2010) asumiendo varias premisas de crecimiento poblacional, incremento de reciclaje, incremento de tasa de cobertura de servicio de recolección, etc. construye un escenario de generación de metano para el sector residuos en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) hasta el 2020.

La relación entre el metano generado, recuperado y emitido se aprecia en la Tabla 7 para un escenario hasta 2020 en el DMQ. El metano recuperado se debe a la actual captación y quema de gas en el antiguo botadero de Zámbriza, así como a la captación y quema del gas en el nuevo relleno sanitario de El Inga.

Tabla 7: Metano generado, recuperado y emitido y CO₂e emitido en el DMQ

AÑO	CH4 generado(Gg)	CH4 recuperado(Gg)	CH4 emitido(Gg)	CO₂e emitido (Gg)
2003	8,14	0,00	8,14	203,51
2004	9,17	0,00	9,17	229,29
2005	10,15	0,43	9,72	243,03
2006	11,09	0,93	10,16	254,05
2007	11,98	4,79	7,19	179,71
2008	12,84	5,13	7,70	192,54
2009	13,66	5,46	8,19	204,84
2010	14,44	5,78	8,67	216,66
2011	15,20	6,08	9,12	228,03
2012	16,48	6,59	9,89	247,18
2013	17,69	7,08	10,62	265,42
2014	18,85	7,54	11,31	282,81
2015	19,96	7,98	11,98	299,42
2016	21,02	8,41	12,61	315,31
2017	22,01	8,80	13,20	330,11
2018	22,95	9,18	13,77	344,32
2019	23,87	9,55	14,32	357,98
2020	24,74	9,90	14,85	371,14
TOTAL	294,25	103,64	190,61	4765,35

Fuente: (SORIA, R. A., 2010)

Usando los datos presentados en la Tabla 7 es posible estimar un factor de emisión de CO₂e para la línea base. Así considerando que 745.000⁷ ton de RSM serán dispuestas en 2012 (no se debe olvidar que la línea base considera la emisión debida a la basura depositada en todos los años pasados) el factor de emisión es:

$$\text{Factor Emisión Línea Base} = 247.180 \frac{tCO_2e}{\text{año}} \div 745.000 \frac{\text{ton RSU}}{\text{año}}$$

⁷Este valor es calculado por SORIA, (2010) en base a proyecciones econométricas que consideran el crecimiento promedio de la población en el cantón Quito según datos del INEC, 2010.

$$\text{Factor Emisión Línea Base} = 0,3318 \frac{tCO_2e}{\text{ton RSU}}$$

Este es un factor de emisión referencial, pues es calculado para la ciudad de Quito en base a diversos supuestos hechos por SORIA (2010).

No existen publicaciones de inventario de emisiones de metano originadas en rellenos sanitarios en otras provincias de Ecuador. En general, los datos necesarios para desarrollar la metodología IPCC (2006) de inventario de GEI a partir de rellenos sanitarios son escasos. Por esta razón se deberán usar valores medios (Ver metodología IPCC 2006) para calcular la línea base de emisiones en otras provincias de Ecuador.

2.3. LÍNEA BASE

Una aproximación al manejo de los residuos sólidos en el Ecuador en términos generales está descrita en la Parte 1 del presente estudio. La línea base de las zonas de estudio para el proyecto ENT (Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo) está detallada en base a la información proporcionada por el Programa Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIRS) del MAE (Anexo 2), la investigación propia de ENYATEC y entrevistas a los funcionarios municipales encargados de la gestión de los RSM de los cantones visitados por el equipo consultor, conjuntamente con técnicos de dicho Programa, entre los meses de enero y abril del presente año (Tabla 8).

En un primer análisis conjunto entre la Comisión Técnica y la consultora, se decidió descartar los cantones de Pallatanga y Cumandá pertenecientes a la provincia de Chimborazo debido a que estos cantones se encuentran alineados respecto al manejo de residuos con la Provincia de Guayas, por su cercanía geográfica y aspectos orográficos comunes.

Tabla 8: Calificación de las provincias que fueron analizadas para selección de zonas de estudio para proyecto ENT componente energía a partir de residuos

PROVINCIA	CANTONES	ACTIVIDADES REALIZADAS
Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo	Entrevista y visita al botadero operado actualmente y al Complejo Ambiental que incluye un relleno sanitario, facilidades para clasificación de residuos sólidos y compostaje
	La Concordia	Entrevista únicamente. Los residuos se envían al botadero de Santo Domingo de los Tsáchilas.
Chimborazo	Riobamba	Entrevista y visita al botadero
	Guano	Entrevista y visita al botadero
	Chambo	Entrevista. Los residuos se envían al botadero de Riobamba
	La Unión (Colta)	Entrevista y visita al botadero
	Penipe, Guamote, Alausí y Chunchi	Datos del PNGIDS.

Fuente: (MAE, 2012)

2.3.1. Datos Generales

En la gestión de RSM de Chimborazo destacan los proyectos de estructuración de mancomunidades entre los municipios de Riobamba, Guano y Chambo y de Alausí, Guamote y La Unión (Colta). En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas existe un convenio formal para que el cantón Santo Domingo reciba los residuos sólidos de La Concordia. Los datos generales de las zonas de estudio en cuestión se presentan en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9: Información general de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo

PROVINCIAS	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	CHIMBORAZO
Población (2011)	410.937	431.415
Zona urbana	61,8%	40,5%
Zona rural	38,2%	59,5%
Cantones	2	10
Principales Actividades económicas	Ganadera, agrícola, Comercial	Agrícola, Textil

Fuente: INEC, 2012

2.3.2. Generación de Residuos

La generación de residuos sólidos a nivel global es de 292 Ton/día en Santo Domingo y 189 Ton/día en Chimborazo, con una composición mayoritariamente orgánica en las dos provincias.

Tasa de Recolección

La información proporcionada por el PNGIDS refleja que la tasa de recolección de las dos provincias no tiene los mismos niveles: la tasa de cobertura es de 100% y 78% en las zonas urbanas de Santo Domingo y Chimborazo, respectivamente, y de 90% y 34% para las zonas rurales.

Disposición final de RSM

En la provincia de Chimborazo, existe un relleno sanitario ubicado en Chunchi, y 6 botaderos, incluido el de la capital provincial, Riobamba.

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, existe un botadero en operación, que acoge los residuos de la Concordia y Santo Domingo cumplió ya su capacidad máxima de disposición. En este sentido, se diseñó y construyó un complejo Ambiental ubicado a 32 Km al sur de la cabecera cantonal de Santo Domingo para el aprovechamiento y disposición final de los residuos generados en esta provincia. Sin embargo, el reclamo de ciertas comunidades vecinas al proyecto u los requerimientos financieros han demorado la entrada en funcionamiento del complejo ambiental, lo que ha demandado de varias acciones por parte de la municipalidad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Una vez que el Complejo Ambiental sea completado, incluirá facilidades para clasificación y recuperación de fracciones reutilizables de los RSM, compostaje de los residuos orgánicos y celdas para residuos hospitalarios y comunes, que serán construidas progresivamente.

Aprovechamiento de RSM

La recuperación de residuos actualmente es mínimo, aunque según datos reportados por los cantones involucrados en el estudio, en todos ellos existe algún método de reciclaje, como por ejemplo minadores informales, programas piloto de compostaje, lombricultura, etc. Ninguna de las dos provincias, cuentan con sistemas estructurados de separación en fuente, reciclaje formal o aprovechamiento de orgánicos a gran escala, aunque en la cabecera provincial de Santo Domingo se ha lanzado un programa piloto de clasificación en dos barrios de la ciudad.

Aspectos financieros

El principal método de recaudación por el servicio de recolección de basura es a través de planilla de agua potable en Chimborazo y planilla del servicio eléctrico en Santo Domingo.

La Tabla anterior refleja también el costo de gestión de RSM por tonelada de residuos, el cual tiene que ser financiado por los diferentes municipios; este costo muestra un amplio rango debido principalmente al régimen tarifario aplicado, y las condiciones de cada cantón. Cabe resaltar que el porcentaje máximo de recuperación debido al cobro del servicio de recolección y disposición final de basura llega al 50% (Cantón Chunchi-Chimborazo), valor que significa que el financiamiento utilizado para soportar todo el sistema de recolección, barrido, transporte y disposición de residuos en botaderos o por relleno sanitario de todos los cantones no es económicamente viable, ya que demanda de recursos adicionales provenientes del presupuesto general de los municipios. A esto se suma la real dificultad de incremento las tasas de pago por gestión integral, por razones socio-económicas y políticas, que enfrentan los municipios, lo que impide llegar a niveles de autosustentación para cada sistema de gestión de residuos vigente.

Aspecto Socio Cultural

Para la población en general, los residuos son materiales que prácticamente no tienen valor y deben ser dispuestos lo más alejado posible de las ciudades. Por otro lado, hay una creciente campaña de reutilización y reciclaje a cargo de asociaciones o grupos organizados de minadores, que procuran extraer ciertos materiales del flujo de residuos, a

nivel de la recolección domiciliaria o los botaderos existentes en las dos provincias, aunque con muy limitados resultados. Se observó que la población vecina, no acepta la implementación del Complejo Ambiental de Santo Domingo de los Tsáchilas, por algunas razones que exponen. Por otro lado está la oferta de mano de obra calificada para operar plantas de producción de energía a partir de RSM, que deberá ser capacitada una vez que se seleccione e implemente una tecnología, lo que ocurriría a nivel nacional.

Aspecto Legal

El marco legal ambiental y sanitario ecuatoriano, promueve entre otros elementos de corte general, el uso racional de los recursos disponibles, las energías renovables y el respeto a la naturaleza, como aspectos básicos de la política del buen vivir. La legislación del Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC), permite la implementación de tecnologías de generación eléctrica a partir de biomasa residual, con tarifas preferenciales. Sin embargo, se advierte un vacío en la legislación ambiental vigente, que establezca los términos específicos para plantas energéticas que usen RSM, lo que será requerido una vez que se inicien algunos proyectos en el país.

2.4. TECNOLOGÍAS EN USO

La generación de energía a partir de RSM en media y gran escala es una alternativa tecnológica no explorada en el país, existiendo apenas pequeños proyectos piloto con tecnología MBT⁸ que aprovechan energéticamente estos residuos. Otras rutas tecnológicas como incineración, pirólisis y gasificación han sido modestamente estudiadas desde un punto de vista tecnológico, pero no se ha analizado su potencial de generación energética y peor aún su potencial para abatir GEI, entre otros beneficios ambientales.

Esta sección describe los métodos, procesos y tecnologías usadas actualmente para el tratamiento y disposición final de los RSM en Ecuador. En la secuencia se detalla las características del escenario base en el sector residuos y se exponen los avances tecnológicos relacionados a la posibilidad de mitigación de GEI debido al uso de RSM como insumo para la generación eléctrica.

2.4.1. Sitios de disposición final (SDF) de RSM

Los sitios de disposición final de RSM en el Ecuador son mayoritariamente botaderos de basura a cielo abierto y botaderos controlados, que existen en zonas rurales y ciudades de medio y pequeño tamaño. El uso de rellenos sanitarios también es una práctica creciente, especialmente en ciudades de medio y grande tamaño. En Ecuador existen 215 sitios de disposición final (SDF) de RSM registrados hasta inicio de 2012, de los cuales el 77% son botaderos a cielo abierto, un 3% son botaderos controlados y 20% son rellenos sanitarios (MAE-PNGIDS, 2012).

Aproximadamente el 35% de los rellenos sanitarios existentes son manuales y el 65% son mecanizados. Hasta marzo 2012 apenas un 23% de los actuales rellenos sanitarios tenían licencia ambiental (MAE-PNGIDS, 2012).

⁸MBT: *Mechanical Biological Treatment*, en la mayoría de casos se ha visto el uso de pequeños biodigestores.

Es necesario recalcar que las cuatro ciudades de mayor población en el país (Guayaquil, Quito, Cuenca y Ambato) han mostrado el interés por aplicar a MDL con varios proyectos relevantes para la gestión de sus rellenos sanitarios (MAE- PNUD- GEF, 2011). Sin embargo, oficialmente únicamente Quito cuenta con dos proyectos MDL, en el sector residuos, aprobados ante la Junta Ejecutiva MDL: el de Zámbriza (registrado en 2007) y el de El Inga (registrado en 2011), de los cuales únicamente el primero emite CERS desde 2009 (UNFCC, 2012).

2.4.2. Captación de gas de relleno sanitario

En pocos municipios existe la infraestructura para la recuperación del LFG emitido por los SDF de RSM, gas que en todos los casos es simplemente quemado en una antorcha. Algunos de estos municipios son Quito, Cuenca, Atuntaqui y Otavalo⁹. El proyecto de captación de LFG realizado en el antiguo botadero a cielo abierto de Zámbriza, en Quito, es quizás el más representativo con relación a la aplicación de tecnología de mitigación de GEI en el sector residuos debido a su tentativa de generación eléctrica a partir del LFG recuperado.

En el año 1997 se inició el proceso de contratación de los estudios que solucionarían el problema de los gases GEI emitidos por el botadero de cielo abierto de Zámbriza. Finalmente en el año 2006 la firma ecuatoriana *Alquimiatec* asociada con capitales y técnica alemana (Green Gas y ARA *CarbonCarbonFinance* GmbH) comenzaron los trabajos de recuperación, recolección y tratamiento del LFG. Para eso se perforaron 52 pozos con 25 metros de profundidad, sumando más de 1.300m de perforación total, se utilizó 1.000m³ de grava y tierra, e internamente se instalaron 6.500m de tubería de polietileno de alta densidad. Fruto de estas obras es posible actualmente captar un aproximado de 2.000m³/h de LFG, volumen que es simplemente quemado en una antorcha que opera entre 900 y 2.000 °C.

El proyecto de recuperación y tratamiento de LFG de Zámbriza fue el primero en ser registrado como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por la Junta Ejecutiva MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático (CMNUCC). Sin embargo, solo generó CERS en 2009 por un valor de 28.800 ton CO₂e. El proyecto fue inaugurado en 2007 ante las autoridades. La infraestructura necesaria y los estudios técnicos demandó de una inversión de 4.557.344 USD (ALQUIMIATEC S.A.; NOBLE CARBON CREDITS LIMITED, 2004).

Varias pruebas fueron hechas en Zámbriza a partir del 2005 para determinar la cantidad exacta de LFG que el botadero generaba. Así, el proyecto inicial estimaba que, dependiendo de la cantidad y calidad del LFG, en 2008 sería posible instalar unidades de generación eléctrica (moto-generadores) con una potencia media de 2,5MWe que generarían 14,1GWh por año (GREENGAS, 2007). Esta segunda etapa del proyecto no se llevó a la práctica por varias razones: a) No existe un consumidor directo que demande esta energía; b) Por mucho tiempo no era factible para pequeños productores la venta de electricidad al sistema nacional interconectado (SIN); c) El LFG recuperado tiene un alto contenido de humedad, hecho que dificulta su uso en motores de combustión interna.

Así, se verifica que en Ecuador la práctica común por parte de los rellenos sanitarios con infraestructura para la captación de LFG es la quema simple del mismo. A pesar de ser esta

⁹ Información no oficial, recopilada por ENYA durante viajes de campo en 2011 y 2012.

la única iniciativa MDL en la actualidad, el proyecto se encuentra quemando biogás con un 17-19% de metano, según visita realizada en marzo de 2012, a cargo de otra empresa local.

Ninguna otra provincia de Ecuador aprovecha energéticamente los RSM, por esta razón no se profundiza en estos detalles.

2.4.3. Reciclaje

En 52 cantones del país existen prácticas de reciclaje de materiales inorgánicos, a pesar de que en muchos de estos municipios el reciclaje es informal y desarrollado por minadores (MAE-PNGIDS, 2012). En algunos municipios existen asociaciones y cooperativas de minadores organizados, como es el caso de Pallatanga y Cumandá en la Provincia de Chimborazo.

La capital del país recicla entre 3 – 4% del total de RSM gracias a aproximadamente 250 catadores¹⁰ organizados; básicamente se separa PET, plástico de alta densidad, plástico fino, cartón, aluminio, vidrio y chatarra.

2.4.4. Compostaje y lombricultura

El MAE – PNGIDS (hasta marzo 2012) ha identificado 11 municipios a nivel nacional que practican compostaje y/o lombricultura con la fracción orgánica de los RSM (MAE-PNGIDS, 2012). Estas tecnologías son muy conocidas y dominadas en las zonas agrícolas del país. En pequeña escala estas tecnologías son ampliamente aplicadas por granjas, haciendas, colegios experimentales agropecuarios, etc. Estas técnicas no permiten generar energía eléctrica, apenas abonos orgánicos.

2.4.5. Incineración

El uso de incineración de RSM no es una práctica común en Ecuador. No existen experiencias relacionadas a la incineración en grande escala de residuos municipales comunes. Únicamente se tiene experiencia en incinerar residuos peligrosos y hospitalarios en pequeña escala.

Tan solo en nueve cantones del país se cuenta con incineración de residuos hospitalarios (MAE-PNGIDS, 2012). Estos cantones son Eloy Alfaro, Muisne, San Lorenzo, Salcedo, Rocafuerte, Pedernales, Chillanes, Cuenca y Biblian. Extraoficialmente, se conoce que en hospitales de Quito, Ibarra, Guayaquil y Ambato también se incineran residuos hospitalarios aisladamente.

2.4.6. Biodigestión

Los reportes oficiales demuestran la inexistencia de generación eléctrica proveniente de otros tipos de biocombustibles diferentes al bagazo de caña de azúcar, como el biogás

¹⁰Popularmente conocidos como “minadores”.

producido mediante la biometanización de residuos orgánicos. Este tipo de tecnología tiene un gran potencial en Ecuador, un país con vocación agropecuaria y con mayor proporción de orgánicos en su basura urbana.

Por iniciativa de la Dirección de Biomasa y Cogeneración del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), desde fines del 2007 se han desarrollado algunos proyectos orientados a subsanar esta deficiencia en el aprovechamiento de residuos municipales para producción de biogás combustible para generación eléctrica y térmica, que pueden ser implementados desde pequeñas UPAs que produzcan 40 kg/día de residuos (que equivale a 10 vacas lecheras o cerdos aproximadamente).

La generación de energía a partir de RSM, en media y grande escala, es una alternativa tecnológica no explorada en el país, existiendo apenas pequeños proyectos piloto con tecnología MBT que aprovechan energéticamente estos residuos. Una muestra tangible es el biodigestor educativo instalado por el MEER en el Jardín Botánico de Quito donde se demuestra la transformación de 130 Kg/día de majada de vaca y cortes vegetales, en biogás más abonos orgánicos líquidos y sólidos. El biodigestor de 12m³ genera aproximadamente 6m³/día de biogás, almacenado en "salchichas" de membrana geo-textil, para ser consumido en un motor de combustión interna conectado a un generador eléctrico de 0.75 kWe + 2 hornillas de cocineta prendidas durante 2 horas.

Existen también trabajos de contexto comunitario, aislados y de pequeña escala desarrollados por fundaciones y ONGs. Así por ejemplo, el proyecto "Biodigestores en Nono" planteado por la Corporación para la Investigación Energética (CIE), con capital de "Young Connection Leadership and Innovation Fund" (YCLIF), planifica la construcción de tres biodigestores comunitarios en Nono. Adicionalmente, la CIE ejecutó un proyecto piloto de instalación de 10 biodigestores de pequeña escala en comunidades de la Provincia de Bolívar entre 2004 – 2006 (CIE, 2009).

La consultora AQUALIMPIA instaló varios biodigestores de media escala con tecnología alemana, los mayores son: a) 3.000m³ instalados en la empresa Florana Farms S.A. en el Cantón Pedro Vicente Maldonado; b) 1.200m³ instalado en el Cantón Latacunga(AQUALIMPIA, 2010).

El emprendimiento más grande de biodigestión en Ecuador fue implementado por la empresa procesadora de alimentos PRONACA S.A., que instaló en su hacienda de "Valle Hermoso", ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsachilas, un biodigestor de 11.000m³ de volumen que produce biogás a partir de residuos de 60.000 pollos y 700 cerdos aproximadamente. El biogás generado actualmente es quemado en una antorcha. Está prevista la instalación de un grupo generador de electricidad para autoconsumo.

PRONACA tiene registrados tres proyectos MDL ante la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático (UNFCCC, 2012).

1. Proyecto de granja de cerdos Tropicales Plata.

Fecha de registro: 2006.

Tipo: Captura de Metano.

CER's emitidos: 38.000 ton CO₂e en el 2007.

2. Proyecto de granja de cerdos Afortunados

Fecha de registro: 2006.

Tipo: Captura de Metano.

CER's emitidos: 33.000 ton CO₂e en el período 2007 – 2011.

3. Proyecto de granja de cerdos Valentina – San Javier

Fecha de registro: 2006.

Tipo: Captura de Metano.

CER's emitidos: 65.000 ton CO₂e en el período 2007 – 2010.

2.4.7. Gasificación y Pirolisis

Otras rutas tecnológicas como pirolisis y gasificación han sido modestamente estudiadas usando residuos agrícolas, pero no se ha analizado el potencial de generación eléctrica a partir de RSM y peor aún, el potencial para abatir GEI, entre otros beneficios ambientales.

En Ecuador existe una planta piloto de gasificación y una planta piloto de pirolisis, ambas instaladas en el cantón La Concordia (en las instalaciones de la Estación Experimental del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)). Estas plantas son parte de un convenio interinstitucional entre el INIAP, la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, (SENESCYT) y la Corporación para la Investigación Energética, (CIE). Aquí se estudia el uso de la biomasa vegetal (cuesco de palma africana, nueces, raquis de banano, cáscara de arroz, etc.) para la producción de carbón y gas combustible (SYNGAS) usando procesos de gasificación, pirolisis, aglomeración y briquetado.

La planta piloto de carbonización tiene una capacidad de producción de 300 kg de briquetas de carbón por día, mientras que la planta de pirolisis produce aproximadamente 13 kWh/día a partir de la combustión del SYNGAS en un motor.

El funcionamiento de la planta piloto de pirolisis fue un logro de la CIE, organismo que solucionó en el camino diversos problemas de diseño, constructivos y operativos. La construcción de la planta piloto fue realizada por completo en Quito, en Industrias Unidas. Por otro lado, la planta de gasificación fue importada directamente de la India, y posteriormente instalada y operada en Ecuador. Por lo que se concluye que la experiencia que se tiene en gasificación es muy limitada, especialmente con relación al diseño de la tecnología.

Aún no existe en el Ecuador una masa crítica de conocimiento que permita la incursión en mediana y grande escala de estas nuevas tecnologías. Es aún necesaria mucha investigación sobre el tema.

CAPÍTULO 3: PORTAFOLIO DE TECNOLOGÍAS Y SUS BENEFICIOS EN LA MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

En esta sección se describe brevemente los principios y características de cada una, el potencial de mitigación de GEI, datos de costo (operativo y de capital) y los beneficios e impactos en el sector ambiental, social y económico.

3.1. INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

3.1.1. Descripción de la tecnología

La tecnología de generación eléctrica a partir de la incineración de RSM consiste en el aprovechamiento del poder calorífico del material combustible presente en los RSM a través de la combustión para la generación de calor (OLIVEIRA, B. L., 2000). Es un proceso de combustión a altas temperaturas para reducir el volumen de los RSM y producir calor y/o electricidad (ENVIRONMENT AGENCY, 2006a). Incineración no debe ser considerado como un método de disposición final de residuos, pues éste proceso genera ceniza y otras partículas que aún deberán ser dispuestas en un relleno sanitario (ZERBOCK, 2003).

Incineración es un proceso eficiente para reducir el volumen de RSM y la demanda por espacio en rellenos sanitarios (LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006). Las ventajas de mayor trascendencia de la tecnología de incineración son: reducción de volumen (aproximadamente 80-95%), reducción de masa (aproximadamente 70%), desinfección completa de residuos hospitalarios e industriales y recuperación de energía (ZHANG *et al.*, 2010; ZERBOCK, 2003; HE *et al.*, 2009).

Hay tres tipos de tecnología de incineración: a) incineración masiva, usando incineradores de parrilla¹¹ (*MassBurnIncineration*- MBI), b) incineración modular; c) incineración en lechofluidizado(*Fluidized bed incineration*- FBI)(WORLD BANK, 1999; HENRIQUES, 2004;CHENG; HU, Y., 2010a). La de mayor uso es incineración masiva debido a su elevada versatilidad (acepta casi todo tipo de RSM). La segunda tecnología más usada en el mundo es incineración modular, excepto en Japón, en donde la tecnología de cama fluidizada ocupa la segunda posición (WORLD BANK, 1999;CHENG; HU, Y., 2010a; ZHANG, D. Q. *et al.*, 2010;ECONOMOPOULOS, 2010).

Plantas comunes de incineración masiva tienen dos o tres cámaras de combustión con una capacidad de entre 100 y 3.000 ton/día. Por otro lado, incineradores modulares pueden procesar entre 5 y 150 ton/día de RSM por unidad (WORLD BANK, 1999; USINA VERDE, 2010).

El proceso de incineración es algo diferente cuando utiliza dos cámaras de combustión, los gases generados en la primera cámara son completamente combustionados en la segunda cámara, proveyendo un control primario de polución (WORLD BANK, 1999). Autores como RUTH, (1998),OLIVEIRA, (2004) explican que la cámara primaria es receptora directa de la

¹¹Grate Incinerator

basura, aquí la temperatura de operación varía entre 500°C y 900°C. En todas las configuraciones, la alimentación de oxígeno en esta cámara es sub-estequiométrica, evitándose así gradientes elevados de temperatura. En esas condiciones controladas se evita la volatilización de grandes cantidades de metales presentes en la basura (plomo, cromo, mercurio, cadmio, etc.). Además, se minimiza la formación de óxidos nitrosos (NO_x) que surgen apenas a temperaturas más elevadas.

Ya la fase gaseosa generada en la cámara primaria es encaminada para la cámara secundaria. Ahí la atmósfera es altamente oxidante (exceso de oxígeno) y la temperatura varía entre 1.000°C y 1.250°C. Ahora, los diversos gases generados en la cámara anterior son oxidados a CO₂ y H₂O. A esa temperatura, la probabilidad de existencia de moléculas con gran número de átomos como dioxinas y compuestos furanos altamente nocivos a los seres humanos es baja.

Para aplicar incineración es aconsejable el uso de residuos de mayor poder calorífico como plásticos, papeles, etc. (OLIVEIRA, B. L., 2000). Varios autores (WORLD BANK, 1999; ZERBOCK, 2003) sugieren que el valor del poder calorífico inferior (*low heating value-LHV*) debe ser por lo menos 6 MJ/kg de RSM a lo largo de las cuatro estaciones del año¹², y el valor calorífico anual promedio nunca debe caer bajo de 7MJ/kg; un valor inferior de poder calorífico inviabilizaría económicamente a la alternativa de incineración, especialmente para generación de energía eléctrica.

La Tabla 10 presenta un cuadro comparativo de las principales ventajas y desventajas para incineración masiva.

Tabla 10: Ventajas y desventajas de incineración de RSM

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Uso directo de la energía térmica para generación de vapor (CHP) y/o energía eléctrica.	Inviabilidad con residuos de menor poder calorífico y con residuos clorados.
Alimentación continua de RSM.	Humedad excesiva y residuos de menor poder calorífico perjudican la combustión.
Presencia muy baja de ruido y malos olores.	Necesidad de equipamientos auxiliares y combustibles adicionales para mantener la combustión.
Requiere un área pequeña para la instalación.	Metales tóxicos pueden quedar concentrados en las cenizas.
	Posibilidad de emisión de dioxinas y furanos cancerígenos.
	Altos costos de inversión, de operación y mantenimiento.

Fuente: (OLIVEIRA, B. L., 2000).

¹² La humedad de la materia orgánica varía según la cantidad de lluvia en cada estación del año.

3.1.2. Experiencia Internacional

A pesar de que menos del 1% de los RSM es incinerado en América Latina, la incineración constituye a nivel mundial una de las alternativas más usadas como método de gestión integrada de residuos (HENRIQUES, 2004). La Tabla 11 muestra, para países OECD en 1997, el número de incineradores y el porcentaje de los RSM incinerados por país, además de la fracción de usinas que cuentan con recuperación energética. Muchas de estas usinas han sido desactivadas debido a la rigidez de las normas ambientales con relación a los gases emitidos. A partir del 2000, la mayor parte de plantas cuentan con recuperación energética y rigurosos procedimientos para tratamiento de gases efluentes. La estimativa a nivel mundial, en 2004, de potencia instalada para generación eléctrica con plantas de incineración es mayor a 5.000 MWe (HENRIQUES, 2004).

Tabla 11: Incineración en los países desarrollados

País	População (milhões)	Produção de lixo (milh.t/ano)	Número de incineradores	% incinerado	Recuperação de energia
Suíça	7	2,9	29	80	80 % das usinas
Japão	123	44,5	1893	72	Principais
Dinamarca	5	2,6	32	65	100% das usinas
Suécia	9	2,7	21	59	100% das usinas
França	56	18,5	100	41	68% da capac.
Holanda	15	7,1	9	39	50% das usinas
Alemanha	61	40,5	51	30	
Itália	58	15,6	51	17	30% da capac.
USA	248	180,0	168	19	75 % das usinas
Espanha	38	11,8	21	15	24 % das usinas
Reino Unido	57	35,0	7	5	25 % da capac.

Fuente: (HENRIQUES, 2004)

En los países desarrollados OECD la incineración es aceptada como una de las principales alternativas para el tratamiento de RSM (ENVIRONMENT AGENCY, 2006a; PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2010), pese a que aún hay regiones en Europa en donde la incineración no es calificada como un tratamiento, ni es adoptada dentro de los planes de gestión integrada de residuos sólidos (MOUSTAKAS *et al.*, 2005), como en el caso de Castellón, Comunidad Valenciana en España, que no presenta ninguna planta similar en su geografía (BOVEA *et al.*, 2010b).

El caso de China es peculiar, éste país en comparación con los países desarrollados presenta RSM con valores caloríficos muy bajos (entre 2.800 – 6.730 kJ/kg) como para que se justifique el uso de basura como fuente de energía, calificando así a sus RSM como “pobres” para incineración debido a la alta concentración de residuos alimenticios y a su alto contenido de humedad (ZHANG *et al.*, 2010; LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006). Por otro lado, China tiene sus propias razones para expandir la incineración de RSM: el crecimiento de su economía, la necesidad por proveer de energía al país y la expectativa de incremento del valor calórico inferior de sus RSM debido al amplio uso de LNG (CHENG; HU, Y., 2010b; LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006; CHENG; HU, Y., 2010a).

Esto se constata al analizar la tasa de crecimiento de generación de RSM en China que es de 8 – 10% por año (CHENG; HU, Y., 2010b; CHENG; HU, Y., 2010a) y el rápido

crecimiento de la incineración en China, que fue introducida a finales de 1980's y que hasta finales de 1990's ya tenía 30 plantas de media y grande escala operando (ZHANG *et al.*, 2010). En el año 2006 ya eran 70 plantas de incineración de RSM con una capacidad total de 33.010 ton/día (ZHANG, D. Q. *et al.*, 2010), con una potencia instalada de 800MWe (CHENG; HU, Y., 2010b). A pesar de eso solo 4,5% del total de basura es incinerado, un 40% va para botaderos sin control, un 24% va a rellenos sanitarios controlados y un 30% no es recolectado (ZHANG, D. Q. *et al.*, 2010).

Como ya se mencionó, la incineración en China enfrenta problemas económicos debido al bajo poder calorífico y alto contenido de humedad de sus RSM; por esta razón, además China es uno de los países con más alto índice de emisión de dioxinas (aproximadamente 10 Kg I-TEQ/año¹³), de las cuales 20,5% se debe a incineración de RSM, por lo cual el control de emisiones por contaminantes orgánicos es un reto para este país. Al contrario, en países desarrollados en donde la incineración es la mayor fuente de dioxinas, la contribución de incineración de RSM (338 g I-TEQ/año) al total de emisión de dioxinas es muy bajo (3,3%) (CHENG; HU, Y., 2010b).

El uso de incineración como estrategia de manejo integral de residuos sólidos también se justifica en naciones que están ubicadas en islas, en donde por un lado la superficie es reducida y no se justifica el uso de tierras en rellenos sanitarios; y por otro lado, el costo de transporte de la basura hasta el continente es caro (WORLD BANK, 1999). El caso de Taiwán es ejemplar, ahí la incineración es el método primario y más usado para tratamiento de RSM (53,34% de los RSM son incinerados), que se ha consolidado gracias a subsidios del gobierno central para los gobiernos locales; la capacidad instalada en Taiwán es mayor a 21.900 ton/día con una potencia de 450.980 kWe instalada en 24 plantas de incineración en operación hasta el año 2010 (TSAI; CHOU, 2006; KUO *et al.*, [S.d.]).

En Latinoamérica, el porcentaje de RSM tratados con incineración es menor a 1% (HENRIQUES, 2004). En Brasil, el primer incinerador municipal fue instalado en 1896 en Manaus para procesar 60 ton/día de residuos domésticos, ésta unidad fue desactivada en 1958 por problemas de mantenimiento. En Sao Paulo, se usa incineradores para tratamiento de animales muertos desde 1869, pero solo en 1913 fue instalado el primer incinerador de RSM con una capacidad de 40 ton/día (HENRIQUES, 2004).

Hoy, según HENRIQUES, (2004), la incineración en Brasil se caracteriza por la gran cantidad de incineradores de muy pequeño tamaño (cerca de 325 incineradores hasta el año 2002), instalados en hospitales, casas de salud, etc., dispersos por el país (MENEZES, R. *et al.*, 2000; LINO; ISMAIL, 2011). Son equipos muy simples, con capacidades inferiores a 100 kg/h. La gran mayoría, están actualmente desactivados o incinerando de forma precaria, en general con emisiones de gases bastante elevadas. El principal problema enfrentado fue la falta de capacitación en el personal para la operación y mantenimiento. El más grande en territorio brasileiro está ubicado en Cubatão, Estado de Sao Paulo, con una capacidad de 49 ton/día (MENEZES, R. *et al.*, 2000).

Los altos costos y problemas ambientales han llevado a que varios incineradores sean retirados de funcionamiento en muchas ciudades, entre ellas Buenos Aires, México DF, Sao Paulo y Nueva Delhi (WORLD BANK, 1999).

¹³ Medida comparativa de concentración de toxicidad.

3.1.3. Costos de capital y operación

La incineración es usualmente cuestionada por sus altos costos de capital y operativos. Los costos varían en función del tamaño de la planta (capacidad) y del LHV de los residuos (WORLD BANK, 1999). Para mayores capacidades instaladas se constatan economías de escala en costos de capital y costos operativos; de igual forma, para mayores LHV la rentabilidad de la planta incrementa.

Costos de capital:

Para tecnologías de incineración masiva se argumenta que el tamaño ideal para asegurar la rentabilidad económica de la planta es entre 240 ton/día (10 ton/h) – 720 ton/día (30 ton/h) por línea, siempre recomendando que sean instaladas por lo menos dos líneas. Un típico factor de capacidad para este tipo de plantas es 85%.

La empresa brasilera Usina Verde, que comercializa plantas de incineración modular con recuperación energética afirma que el tamaño óptimo para que la planta sea económicamente viable en Brasil es 150 ton/día. La Tabla 9 exhibe algunos datos de esta planta:

Tabla 12: Características de la planta de incineración modular “Usina Verde”.

CARACTERÍSTICAS PLANTA	USINA VERDE
Ubicación	Rio de Janeiro, Brasil
Capacidad de la planta (ton de RSM /día)	150
Costo de capital (millones USD2004)	20
Costo operativo anual (millones USD2004)	17 - 29
Potencia (MW)	2,8
Energía generada (MWh/h)	3,3
Energía exportable (MWh/h)	2,8
Eficiencia de recuperación energética (calor recuperado de la combustión) (%)	7-15
Área (m ²)	13.000
Sistema de back-up	Diesel

Fuente: usinaverde.com.br

Una parte del alto costo de capital de la incineración se debe a la inversión en el tratamiento de los gases que se emiten al ambiente, incluyendo filtros, precipitadores electrostáticos y depuradores de alta tecnología. En Estados Unidos el costo incrementado por esta preocupación (filtros *scrubbers secos* y *semi-secos*), puede llegar a ser el 35% del total

(WORLD BANK, 1999). La inversión en tratamiento de los gases depende de la exigencia de las normas ambientales que determinan los niveles de emisión permitidos.

Los equipos necesarios para la producción de energía eléctrica (turbinas, calderos y condensadores) incrementan el costo de una planta de incineración que únicamente produzca agua caliente en 30% (WORLD BANK, 1999).

En Suecia se registra una planta de incineración masiva con recuperación energética de 1.260 ton/día con un costo de capital de 286 millones USD. Los ingresos de esta planta varían entre 36 – 70 millones USD/año, con lo cual el período de recuperación de capital es 10 años (CLMATETECHWIKI, 2006).

Costos O&M:

Los costos operativos fijos corresponden a la administración y salarios, generalmente representa un 2% del total de costos instalados. Los costos operativos variables corresponden al consumo de químicos para la limpieza de los gases, al consumo de electricidad (puede existir autoconsumo), al consumo de agua y al costo por la disposición final de los residuos, estos son estimados en el rango de 12 USD/ton de RSM incinerado en Estados Unidos (WORLD BANK, 1999). Por otro lado, los costos de mantenimiento corresponden al eventual arreglo de partes de máquinas y a la conservación de la instalación, estos son estimados en 1% del total de inversión en obras civiles más 2,5% de la inversión en maquinaria.

El alto costo inicial para el financiamiento y los costos operativos requeridos para implementar plantas de incineración son la mayor barrera para adoptar exitosamente ésta tecnología en países en desarrollo (ZERBOCK, 2003). Normalmente estos costos son cubiertos por capitales extranjeros (WORLD BANK, 1999).

Existen importantes barreras técnicas que inviabilizan económicamente a la incineración, este es el caso del valor calorífico y del contenido de humedad de los RSM que influyen directamente sobre los costos operativos. Incineradores operando con RSM de bajo valor calorífico y alto contenido de humedad operan consumiendo combustibles adicionales¹⁴ (diesel, bunker, carbón) la mayor parte del tiempo para mantener estable la combustión (LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006). También un alto contenido de humedad demandará de tratamientos adicionales¹⁵ para secar los RSM antes de alimentar la cámara de combustión.

3.1.4. Mitigación GEI

La obtención de energía a partir de la incineración de RSM (*WTE*¹⁶ o *EFW*¹⁷) es una alternativa de gerenciamiento de RSM¹⁸ que puede disminuir el uso de rellenos sanitarios,

¹⁴Dependiendo del poder calorífico de los RSM es posible que ningún combustible adicional sea requerido para mantener el proceso de incineración (OLIVEIRA, B. L., 2004). La cantidad de combustible adicional depende también del tipo de tecnología de incineración (material refractario, aislante térmico, interface refractario – acero, quemadores, sopladores y sincronía entre las cámaras de combustión) (OLIVEIRA, B. L., 2004).

¹⁵Cuando los RSM presentan alta humedad es necesario dejar los residuos por 2 -3 días en un pozo con ventilación para evaporar parte de la humedad antes de alimentar al incinerador (LIU, ZHIQIANG *et al.*, 2006).

¹⁶ WTE: *Waste to energy*

¹⁷ EFW: *Energy from waste*

¹⁸ Las rutas de destino y disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM) pueden ser jerarquizadas basándose en el criterio de residuo final mínimo, esto es conocido como Sistema Integrado de Gerenciamiento de Residuos Sólidos (SIGRS). Para el SIGRS, las rutas deben ser priorizadas en la siguiente orden: 1) reducción

evitando así emisiones de GEI (CH₄ y N₂O). Esta disminución de GEI sucede debido a dos razones:

Emisión de GEI evitadas con incineración en comparación a la línea base.

Usando incineración de RSM se evita la emisión de una cantidad muy grande de CH₄ que se generaría en rellenos sanitarios y botaderos de cielo abierto en el caso de que una x cantidad de basura sea depositada ahí como es usual en la línea base. Por otro lado, la incineración de RSM emite CO₂ de origen biogénico que no es contabilizada, CO₂ de origen fósil (proveniente de plásticos, caucho, etc.), y pequeñas cantidades de N₂O y CH₄.

La Ecuación 1 indica el método de cálculo del CO₂ fósil contenido en los RSM.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = DSM \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12$$

(Ecuación 1)

En donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ durante el año del inventario, Gg/año

DSM = cantidad total de RSM en peso húmedo incinerado, Gg/año

WF_j = fracción del tipo de residuo del componente *j* en los RSM (en peso húmedo) incinerados

dm_j = contenido de materia seca en el componente *j* de los RSM, (fracción)

CF_j = fracción de carbono en la materia seca del componente *j*, (fracción)

FCF_j = fracción de carbono fósil en el carbono total del componente *j*

OF_j = factor de oxidación, (fracción)

44/12 = factor de conversión de C en CO₂

con: *j* = componente de los RSM incinerados, como papel/cartón, textil, residuos de alimentos, madera, residuos de jardín y parques, caucho y cuero, plásticos, metal, vidrio, otros residuos inertes.

La metodología IPCC, 2006 recomienda valores por defecto que son resumidos en la Tabla 13. Esta tabla muestra la composición de basura de la ciudad de Quito, tomada para el ejemplo de cálculo.

de generación de residuos en la fuente; 2) reutilización de los residuos producidos; 3) reciclaje; 4) recuperación de energía, y 5) relleno sanitario (OLIVEIRA, B. L., 2000).

Tabla 13: Valores usados para o cálculo das emissões de CO₂ de origem fóssil

	RESIDUOS ORGÁNICOS (%)	RESÍDUOS DE JARDÍN (%)	PAPEL (%)	MADERA (%)	TEXTIL (%)	PANALES DESECHABLES (%)	PLÁSTICO S Y OTROS INERTES (%)
WF	0,62	0,04	0,12	0,01	0,02	0,01	0,18
dm	0,40	0,40	0,90	0,85	0,80	0,40	1,00
CF	0,38	0,49	0,44	0,50	0,30	0,60	0,50
FCF	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20	0,10	1,00
OF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
WF*dm*CF*	0,0000	0,0000	0,0005	0,0000	0,0010	0,0002	0,0917
FCF*OF							

Fuente:(SORIA, R., 2010)

Así la sumatoria de WF*dm*CF* FCF*OF para cada tipo de residuo es 0,0934 gC_{fóssil}, o su equivalente de 0,3425 GgCO_{2fóssil} por cada Gg/año de RSM incinerado.

Las emisiones de CH₄ que vienen de la incineración de los residuos son el resultado de una combustión incompleta. Los factores determinantes son la temperatura, el tiempo de residencia y la proporción de aire/RSM. Una estimativa de emisiones de CH₄ puede ser obtenida considerando un proceso de incineración semi-continuo con carga mecánica para lo cual el factor de emisión es 6 kg de CH₄/Gg de residuos (IPCC, 2006).

Las emisiones NO₂ provenientes de la incineración son determinadas en función del tipo de tecnología, de las condiciones de combustión, del método para la reducción de NO₂, la composición de los RSM, el tipo de control de los contaminantes del aire, el contenido de nitrógeno de los RSM y la fracción de exceso de aire. El NO₂ es emitido en procesos de combustión a temperaturas relativamente bajas, entre 500 y 950 °C. Considerando un proceso de incineración semi-continuo con carga mecánica el factor de emisión es 50 kg de N₂O/Gg de RSM incinerados (IPCC 2006, 2006).

La Tabla 14 resume los factores de emisión de los gases GEI que surgen durante la incineración de RSM (para Quito). Los factores de calentamiento GWP fueron tomados de IPCC *et al.*, (2000).

Tabla 14: Factor de emisión de GEI usando incineración

	CO₂fósil	CH₄	NO₂	TOTAL
Ton gas emitido/ton RSM incinerado	0,34250	0,000006	0,00005	
Factor de calentamiento global (GWP ¹⁹ a 100 años)	1	21	310	
tCO₂e/tonRSM	0,3425	0,000126	0,0155	0,3581

Fuente: Elaboración propia

Emisiones evitadas en el Sistema Nacional Interconectado (SNI)

La energía obtenida a partir de la incineración de los RSM generalmente reemplaza una cantidad de energía que tradicionalmente sería generada usando combustibles fósiles en plantas termoeléctricas convencionales (PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; BAUMERT *et al.*, 2005; MCKINSEY & COMPANY, 2009). La emisión de CO₂ liberado por el sistema nacional de generación eléctrica es medida por un *factor de intensidad de emisión* de CO₂ del sistema nacional interconectado (SNI), considerando la mezcla de las diferentes fuentes y la mezcla del margen constructivo y operativo. Así, en 2011 este factor para proyectos de energías renovables no convencionales es 0,6467 tCO₂/MWh (MAE, 2011).}

<i>Factor de intensidad de emisión</i> de CO ₂ del SNI: tCO ₂ /MWh	0,6467
---	--------

Si se considera por ejemplo una planta de incineración con recuperación energética de capacidad igual a 1 ton de RSM por día y los datos de la Tabla 15, se puede calcular la cantidad de energía eléctrica generada a partir de la recuperación del calor de la planta de incineración. En la secuencia se calcula la cantidad de tCO₂ no emitidas por el SNI.

¹⁹ GWP: *Global Warming Potential*

Tabla 15: Parámetros y valores considerados para el cálculo

PARAMETRO	VALOR	REFERENCIA
Poder calorífico inferior (LHV)	6.000 KJ/Kg	ENYA,2012
Eficiencia de la planta en la transformación de calor a electricidad	18,5%	(IPT, 2000)
Factor de capacidad	80%	(OLIVEIRA, B. L., 2004)
Factor de planta	98%	(OLIVEIRA, B. L., 2004)

Fuente: (SORIA, R., 2010)

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de la generación eléctrica para una planta de 1 ton/día.

$$\text{Potencia eléctrica bruta} = 1000 \frac{\text{kgdeRSU}}{\text{dia}} \times 6.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kgdeRSU}} \times 1 \frac{\text{dia}}{86400\text{seg}} \times 18,5\%$$

$$\text{Potencia eléctrica bruta} = 12,8 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia eléctrica líquida} = 12,8 \text{ kW} \times 98\% = 12,6 \text{ kW}$$

Así la energía que se genera por año es:

$$\text{Energía eléctrica} = 12,6 \text{ kW} \times 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}} \times 80\% = 88,3 \frac{\text{MWh}}{\text{año}}$$

Las emisiones de CO₂e evitadas en el SNI se calculan a continuación:

$$88,3 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \times 0,6467 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{MWh}} = 57 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{año}}$$

Así puede ser considerado un factor de emisión negativo de CO₂e por tonelada de RSM incinerado con aprovechamiento energético.

$$\frac{57 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}}{1 \frac{\text{tonRSU}}{\text{dia}}} = 0,16 \frac{\text{tCO}_2}{\text{ton RSU}}$$

Factor de emisión de la generación eléctrica a partir de incineración
=
-0,16 $\frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{tonRSU}}$

3.1.5. Beneficios/Impactos ambientales

La incineración es usualmente cuestionada por el potencial de emisiones tóxicas para el aire como gases ácidos (SO_x, HCl, HF, NO_x, etc.), compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos poli-aromáticos (PAH), bifenil policlorinado (PCBs) y dibenzo-p-dioxina

policlorinatado/- furanos (PCDD/Fs), y metales pesados. También puede generar considerables volúmenes de residuos sólidos como ceniza de fondo, ceniza en el aire y material particulado que se genera en diferentes momentos del proceso y que de igual forma deberán ser dispuestos en un relleno sanitario (RUTH, 1998; CHENG; HU, Y., 2010b; ZHANG *et al.*, 2010; ENVIRONMENT AGENCY, 2006b; HE *et al.*, 2009).

El nivel de emisiones de dioxinas y furanos²⁰ permitido en plantas de incineración de RSM significa una probabilidad de contraer cáncer de 7 en cada 100 millones de personas que vivan alrededor de las instalaciones (HENRIQUES, 2004). Esas probabilidades son casi 250 veces menores de las que tendrían los vecinos alrededor de un relleno sanitario (HENRIQUES, 2004). Estudios comparativos de la cantidad de emisiones entre plantas de incineración y termoeléctricas en Taiwán arrojaron como conclusión que las emisiones de NOx y SOx en plantas termoeléctricas convencionales son 16 veces más elevadas que en plantas de incineración; por otro lado, las emisiones de CO₂ son mayores en unidades de incineración de que en plantas termoeléctricas debido al contenido de carbono y valor calórico diferente entre RSM y un combustible fósil (KUO *et al.*, [S.d.]).

De igual forma, la emisión de metales pesados durante la incineración de RSM es relacionada a riesgos para la salud humana, así el cadmio está asociado a cáncer de pulmón, mercurio asociado a daños en el hígado y plomo asociado a daños en el cerebro (HENRIQUES, 2004).

A pesar del gran número de estudios sobre los posibles afecciones a la salud humana ocasionada por la incineración (CHENG; HU, Y., 2010b; HENRIQUES, 2004), aún hay autores como (ENVIRONMENT AGENCY, 2006b) que niegan estas externalidades negativas argumentando que “no están conscientes de ningún estudio que conclusivamente ligue resultados negativos en la salud humana con generación de energía usando plantas de incineración”.

A nivel mundial existen fuertes presiones de grupos ambientalistas (Coalición Ciudadana Anti-incineración, la Alianza Global por Alternativas a la Incineración (GAIA), Greenpeace, etc.) en contra de la incineración y sus variantes, con recuperación energética, como mecanismo de gestión integral de los residuos. Estas organizaciones defienden la puesta en marcha de planes de basura cero, basados en la reducción de la generación de residuos, la separación en origen, el compostaje y el reciclado de residuos (GAIA, 2011a, 2011b).

3.1.6. Beneficios/Impactos sociales

Incentivos a tecnologías de incineración de RSM se contraponen a la visión de planes de Basura Cero, que involucran más a la comunidad, basándose en nuevos enfoques que visan solucionar el problema de sustentabilidad. Estos planes de “basura cero” apuntan a reducir la generación de residuos y a recuperar materiales descartados a través de la reutilización, el compostaje y el reciclaje. Además de estas medidas, los planes de “basura cero” apuntan a intervenir en los procesos de producción de modo de reducir el uso de materiales y fabricar productos de larga duración y reutilizables, reciclables o compostables.

La tecnología de incineración masiva de RSM, sin etapas de reciclaje y mismo con etapas de reciclaje en donde se verifica que igualmente altas cantidades de materiales reciclables son incinerados para mantener estable la combustión debido a su alto contenido energético, se contrapone a estrategias de Basura Cero.

²⁰Dioxina es un nombre genérico para una familia de combinaciones relacionadas que incluye policlorinato-dibenzo-dioxina (pCDD) y policlorinato-dibenzo-furano (pCDF). Existen 75 clases diferentes del grupo pCDD y 135 de pCDF, incluyendo varias combinaciones que son cancerígenas.

La tecnología es determinante en el modo de acción de las naciones. Así, la adopción de incineración como tecnología padrón puede incentivar el consumo indiscriminado de materia prima sin preocuparse por el destino final de los residuos. Esta tecnología puede desincentivar planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador.

3.1.7. Beneficios/Impactos económicos

Este tipo de tecnología por demandar de alta inversión de capital es difícil de financiar. Las formas de financiamiento posibles son: pago de los ciudadanos por el servicio de incineración de sus residuos sólidos, ingresos por la venta de electricidad o calor, subsidios. Estas tres formas pueden también operar en conjunto.

Lo ideal es que los ingresos cubran los costos de operación y mantenimiento, incluyendo depreciación y gastos financieros.

Los ingresos originados por los pagos de los ciudadanos deben ser estudiados con cuidado, pues dependen del nivel de ingresos de la comunidad y de su capacidad de pago. Este valor generalmente es cobrado en las planillas entre los otros servicios públicos que se presta (3-4% de la planilla como máximo). Aparentemente estos pagos representan un ingreso fijo, pero dependerá en gran medida de la eficiencia en el cobro que cada municipio tenga.

A los sectores industriales se podría fijar un tributo superior por la incineración que estos generen. En general, este valor debe ser estudiado porque puede motivar a que las industrias y ciudadanos busquen su propia forma de deshacerse de los residuos (plantas de incineración propias, relleno sanitario, verter en ríos y quebradas, etc.). Por un lado, la falta de estos residuos afectará al funcionamiento de la planta que quedaría sobre dimensionada; por otro lado, la falta de estos ingresos puede conducir a la quiebra de la planta.

Para financiar este tipo de plantas puede también pensarse en fijar un impuesto por el uso de rellenos sanitarios, o algún tipo de subsidio a los emprendedores que opten por plantas de incineración.

Por otro lado, con relación a la venta de energía eléctrica, es importante asegurarse de que exista una demanda constante por la cantidad de energía generada y también definir contratos de venta con minoristas o grandes consumidores, de forma que se asegure el mercado anticipadamente. En caso de esto no concretarse se enfrenta un gran riesgo de que el proyecto sea no financiable.

Los subsidios pueden ser pensados de varias formas: conceder un valor inicial para la construcción, definir tasas de interés bajas para financiamiento a través de bancos, imponer impuestos en otros sectores por la generación de residuos, etc.

Con relación al costo de abatimiento de gases GEI de esta tecnología en el Distrito Metropolitano de Quito, SORIA (2010) hace un estudio completo comparando dos escenarios: a) la línea base descrita por la disposición y tratamientos vigentes en antiguos botaderos a cielo abierto, antiguo botadero de Zámbriza y nuevo relleno sanitario de El Inga; b) incineración con recuperación energética para producción de electricidad, con venta de créditos de carbono. El horizonte de análisis fue 20 años. Usando la siguiente ecuación se determinó el costo de abatimiento:

$$\text{Costo Marginal de Mitigación} = \left(\frac{\text{Costo de Mitigación} - \text{Costo de Referencia}}{\text{Emisiones de Referencia} - \text{Emisiones de Mitigación}} \right)$$

Los costos de abatimiento se presentan en la Tabla 16:

Así el escenario con mitigación en el período de 2010 a 2020 tiene un costo total de 872'152.039 USD, representando un aumento de 491 millones de dólares para el abatimiento de 1,81 millones tCO₂e, lo que resulta en un costo marginal medio de 289 USD/tCO₂e.

Tabla 16: Costo de mitigación: Incineración con generación de energía eléctrica

	Costo de mitigación. (Incineración)	Costo de referencia.	Costo total de mitigación.	Emisiones de referencia de CO ₂ e.	Emisiones de mitigación (Incineración) de CO ₂ e.	CO ₂ e evitado con incineración	Costo marginal de mitigación.
AÑO	(USD)	(USD)	(USD)	(Gg)	(Gg)	(Gg)	USD / Gg CO ₂ e
2010	\$76.646.729	\$31.207.500	\$45.439.229	216,66	70,63	146,04	311.151
2011	\$78.125.643	\$33.116.889	\$45.008.755	228,03	130,19	97,84	460.029
2012	\$78.442.285	\$33.525.697	\$44.916.588	247,18	131,80	115,38	389.292
2013	\$78.758.927	\$33.934.505	\$44.824.422	265,42	133,41	132,01	339.558
2014	\$79.075.568	\$34.343.313	\$44.732.255	282,81	135,02	147,79	302.670
2015	\$79.392.210	\$34.752.121	\$44.640.089	299,42	136,62	162,79	274.211
2016	\$79.708.852	\$35.160.929	\$44.547.923	315,31	138,23	177,08	251.576
2017	\$80.025.494	\$35.569.737	\$44.455.756	330,11	139,84	190,27	233.641
2018	\$80.342.135	\$35.978.545	\$44.363.590	344,32	141,44	202,88	218.671
2019	\$80.658.777	\$36.387.354	\$44.271.423	357,98	143,05	214,93	205.978
2020	\$80.975.419	\$36.796.162	\$44.179.257	371,14	144,66	226,48	195.070
TOTAL	\$872.152.039	\$380.772.752	\$491.379.287	3.258,38	1.444,89	1.813,49	289.259

Fuente: (SORIA, 2011)

3.1.8. Aplicación potencial en el país

La operación, reparación y mantenimiento de este tipo de tecnología demanda de experticia técnica y mayor preparación profesional; éstas características adicionales generalmente están ausentes en escenarios para países en desarrollo (WORLD BANK, 1999). En el caso de usar esta tecnología en Ecuador, es imprescindible realizar esfuerzos en capacitación de un grupo de profesionales que progresivamente se especialice en esta área.

Algunos autores (ZERBOCK, 2003; WORLD BANK, 1999) sugieren que la incineración es una tecnología inapropiada para la mayoría de países de bajos ingresos debido fundamentalmente a la composición de su basura que muestra bajos poderes calóricos y altos contenidos de humedad, que inviabilizarían económicamente al proyecto debido a los altos costos operativos por consumo adicional de combustible de back-up.

“La cantidad de infraestructura adicional y el planeamiento requerido para implementar incineración en países en desarrollo generalmente están fuera del alcance de las posibilidades reales con las que estas naciones cuentan para viabilizar económicamente estos proyectos, especialmente cuando no se dependa de argumentos como el potencial de venta de la energía generada” (ZERBOCK, 2003).

Según WORLD BANK, (1999) es importante entonces hacer análisis de costo beneficio con relación a los siguientes puntos:

- Alto costo de capital y la necesidad de capitales extranjeros.
- Instalaciones con alta complejidad técnica que requiere de personal calificado.
- Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos.
- Requerimientos especiales con relación a la cantidad y composición de los RSM (valor del poder calórico superior a 6 MJ/kg).
- Necesidad de un sistema integral de tratamiento de residuos en estado maduro y con una institucionalidad fuerte.
- Demanda de energía constante a precios establecidos.
- Se debe considerar la distancia de transporte de la basura.
- Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios.
- Desarrollo de la ciudad e impulso al turismo.
- Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos.
- Transferencia de tecnología hacia los trabajadores.
- Creación de puestos de trabajo.
- Sustentabilidad en la generación de energía.
- Cuestiones políticas – ideológicas

3.2. MBT CON RECUPERACIÓN DERDF + CO-INCINERACIÓN EN CEMENTERA

3.2.1. Descripción de la tecnología

La recuperación de combustibles sólidos (SRF²¹ o RDF²²) en Europa está regida y certificada según la norma CEN-TC 343 (Comité Europeo para la Estandarización (CEN)-Comité Técnico (TC) 343 para combustibles recuperados sólidos (VAINIKKA *et al.*, 2012). Así se regula la calidad según el tipo de proceso, según el poder calórico y según el contenido de cloro y mercurio. El RDF puede ser preparado a partir de residuos domiciliarios, comerciales y de algunos industriales, a través de varios procesos mecánicos y biológicos (MBT²³). Si se usa más procesos mecánicos el RDF tendrá mayor contenido biodegradable del que tuviera si se usara más procesos biológicos GOHLKE, (2009) *apud* VAINIKKA *et al.*, (2012).

Uno de los pre-tratamientos más conocidos entre los biológicos es el “*biodrying*”. Inicialmente la basura es picada y luego la humedad es reducida por el secado biológico a menos del 15% (ECONOMOPOULOS, 2010). La energía necesaria para el secado es generada por la descomposición aeróbica exotérmica de la materia orgánica biodegradable. El secado biológico estabiliza a los RSM tratados debido a que el tiempo de residencia es corto (5-14 días dependiendo del fabricante del reactor) (ECONOMOPOULOS, 2010). El secado biológico o “*bio-drying*” en conjunto con otros procesos de separación mecánica convierte los RSM en combustibles sólidos recuperados (*solid recovered fuel* SRF). Materiales metálicos férricos y no férricos como aluminio son recuperados por un lado y por otro es separado el SRF (ECONOMOPOULOS, 2010).

Así, usando procesos mecánicos y biológicos se consigue la producción de combustibles recuperados sólidos (RDF, SRF). Se constata entonces, que la característica principal de los RDF es poseer alto contenido de plásticos y celulosa principalmente debido a su alto poder calórico (AL-SALEM *et al.*, 2009). Generalmente el RDF es prensado en forma de pastillas, pellets, briquetas, etc. (MORCOS, 1989). La humedad del RDF es aproximadamente 12% (UNFCC, 2011).

Según varias referencias: (“Appendix 5 - *European Directive 2000/76 (waste incineration)*”, 2006), (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012), los combustibles SRF tienen 3 aplicaciones principales: a) co-incineración en plantas termoeléctricas para remplazar a una parte del combustible principal (generalmente de carbón); b) co-incineración en plantas de cogeneración usando incineradores de lecho fluidizado con burbujeo (BFB²⁴) y con circulación (CFB²⁵); c) co-incineración en hornos para fabricación de cemento (*kiln*).

La co-incineración es entendida como el proceso de incineración de combustibles derivados de residuos (RDF, SRF), conjuntamente con combustibles tradicionales líquidos, sólidos o gaseosos en procesos industriales que típicamente demandan incineración, combustión en

²¹ SRF: *Solid Recovered Fuel*, o *Specified Recovered Fuel*. La diferencia entre SRF y RDF es que los primeros deben cumplir con normas específicas como la CEN-TC 343.

²² RDF: *Refuse- Derived Fuel*

²³ *Mechanical Biological Treatment*

²⁴ BFB: *Bubbling Fluidized Bed*

²⁵ CFB: *Circulating Fluidized Bed*

calderas, etc. (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012).

Este trabajo estudia la posibilidad de la co-incineración de RDF en hornos para fabricación de cemento. El combustible SRF entra en el proceso en lugar de una fracción del combustible tradicional.

En Europa existen varios ejemplos de este tipo de iniciativas, en 2003 más de 100 hornos para fabricación de cemento usaban RDF. Algunos estudios reportan que en 1997 hubo 1,8 millones de ton/año de RDF co-incineradas en hornos cementeros en Europa, con expectativas de crecimiento acelerado (GENON; BRIZIO, 2008).

3.2.2. Costos de capital y operación

No existe información con relación a los costos para esta tecnología en Ecuador.

Una vez que la mayor inversión de capital está hecha (hornos pertenecientes a la empresa cementera), se espera que el costo de capital sea mucho menor en comparación a tecnologías de incineración masiva de RSM por ejemplo.

Con relación a los costos de capital para las plantas MBT con producción de RDF, se verifican economías de escala según la capacidad de la planta. El costo varía entre 30 millones USD para plantas de 50 mil ton RSM/año y 70 millones USD para capacidades de 500 mil ton RSM/año. Los costos operativos varían entre 3 millones USD/año y 16 millones USD/año para las capacidades indicadas (ECONOMOPOULOS, 2010).

Los costos de almacenamiento del combustible RDF y costos de transporte son considerados altos con relación al transporte masivo del combustible tradicional debido a la baja densidad del RDF (GENON; BRIZIO, 2008). Por otro lado el costo del RDF es bajo y el riesgo tecnológico es mínimo (VAINIKKA *et al.*, 2012).

Un análisis de costos y financiamiento debe ser analizado caso por caso, dependerá de la estructura industrial del país, de la capacidad real de los hornos de cemento para recibir una cierta cantidad de DRF en función de la diferencia de poder calórico (LHV) cuando sea comparado con el combustible tradicional, del costo en el mercado del combustible DRF, de la diferencia del costo operativo entre el modo normal y operando con RDF y del flujo de caja considerando gastos e ingresos por uso de RDF (GENON; BRIZIO, 2008). Ocasionalmente también serán importantes los ingresos por venta de CERS en mercados de carbono y las políticas de incentivo a las energías renovables existentes.

Las industrias cementeras de Europa reducen sus costos operativos entre 30 -40% por el uso de RDF en lugar de combustibles tradicionales (carbón básicamente) (GENON; BRIZIO, 2008).

3.2.3. Mitigación ambiental

El uso de combustibles RDF en hornos para fabricación de cemento puede evitar el consumo de hasta 30 – 40% del combustible tradicional (GENON; BRIZIO, 2008). Según IPCC (2006), los factores de emisión típicos en el sector energía por combustión de carbón y GN son 94,6 tCO₂/TJ y 56,1tCO₂/TJ respectivamente. Los RSM (fracción no orgánica) tienen un factor de emisión por combustión de 91,7 tCO₂/TJ (IPCC 2006, 2006). El factor de emisión para fuel oil es 77,4 tCO₂/TJ, el llamado bunker estaría dentro de este grupo.

El factor de emisión por la combustión de RDF es determinado en función de su composición. En ese sentido, RDF con mayor fracción de biomasa (origen biogénico) es más atractivo desde el punto de vista de mitigación de gases GEI. Dado que las emisiones de carbono de origen biogénico no son contabilizadas en los inventarios nacionales, a las industrias les interesa usar RDF con alta fracción de biomasa para disminuir sus emisiones globales y alcanzar sus metas. Las propiedades del combustible RDF (humedad, poder calorífico LHV, contenido biodegradable, humedad, etc.) son definidas en Europa por la norma CEN 343. Existen dificultades en medir el contenido de carbono en RDF, unas de las herramientas propuestas en 2007 es la prueba de carbono 14 (CEN, 2011).

Un estudio de caso en Finlandia publicado por (HOKKANEN; SALMINEN, 1997) publica factores de emisión para combustible RDF, hecho a partir de residuos de celulosa provenientes de una industria de papel, co-incinerados en una planta termoeléctrica. Contabilizando solamente CO₂ y N₂O, que son responsables por emisiones GEI, se puede obtener un factor de emisión para RDF de 100 tCO₂e/TJ. Es importante definir caso por caso la cantidad de carbono de origen fósil (plástico, caucho, etc.) y la de origen biogénico que no debe ser declarada.

Según VAINIKKA et al. (2012) la co-incineración de SRF en hornos para fabricación de cemento puede motivar una reducción de emisiones de GEI de la orden de 2.5 tCO₂e/ton de RDF (en base seca) y de 1,5 tCO₂e/ton de RDF co-incinerando en plantas termoeléctricas.

Aproximadamente un 50% de los RSM podrían ser convertidos en RDF (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009). Un valor típico de valor calórico para combustibles RDF es 10 MJ/kg (VAINIKKA *et al.*, 2012).

La reducción de gases GEI para esta ruta tecnológica ocurre no solo por la sustitución de una fracción del combustible de línea base (carbón generalmente) por RDF (con alta fracción de carbono de origen biogénico), sino también por abatimiento de gases debido a prácticas de reciclaje. Así por ejemplo, el reciclaje de metales férricos tiene un factor de emisión de -0,43 tCO₂e/ton y para metales no férricos -11,6 tCO₂e/ ton (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009). El vidrio reciclado después de ser tratado adecuadamente puede originar un sustituto para la grava que es una materia prima en la fabricación de cemento, el factor de emisión por esta práctica es -0,0027 tCOe/t (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009). Otras fuentes de reducción de GEI es el aprovechamiento de los metales recuperados de la ceniza pos-incineración y el uso de la ceniza como insumo para fabricación de cemento (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; KIKUCHI, 2001; WU *et al.*, 2011). El estudio de PAPAGEORGIU *et al.*(2009) considera que el factor de emisión de la co-incineración de RDF en hornos de cemento tiene un factor de emisión total de -0,376 tCO₂e/ton de RSM.

3.2.4. Beneficios/Impactos ambientales

La ganancia ambiental de usar combustibles RDF en procesos industriales, como la fabricación de cemento, radica en que una determinada cantidad de energía liberada por la combustión desde un combustible tradicional es substituida por el equivalente de energía a partir de RDF. El alto contenido orgánico biogénico en el combustible RDF asegura una disminución de emisiones GEI. Usando esta tecnología a gran escala puede pensarse en sustituir hasta 30 – 40% del combustible tradicional por RDF.

Además de la disminución de gases GEI esta tecnología tiene un importante potencial de mitigación debido al reciclaje de materiales metálicos ferrosos y no ferrosos, vidrio, metales provenientes de la ceniza e incluso de la propia ceniza.

Los rellenos sanitarios solamente albergarían una parte de los residuos pos-combustión que ya es un material inerte.

Por otro lado, se corre un riesgo al fabricar RDF sin tener un mercado seguro para comercializarlo. Es importante que las empresas cementeras y termoeléctricas se comprometan en usar este combustible, caso contrario los combustibles RDF pueden ir a parar en rellenos sanitarios convencionales en donde emitirán metano debido a su fracción orgánica aún no estabilizada.

3.2.5. Beneficios/Impactos sociales

Las alternativas de reciclaje constituyen importantes fuentes de generación de empleo. Una planta de reciclaje para 30 ton/día de RSM da trabajo a aproximadamente 10 trabajadores. Una planta de reciclaje puede ofrecer mejores condiciones laborales para quienes antiguamente trabajaban como minadores en los botaderos de basura. De igual forma, una planta de reciclaje demanda también de personal calificado para desarrollar tareas de mantenimiento y planificación.

3.2.6. Beneficios/Impactos económicos

La co-incineración permite alcanzar significativos ahorros económicos al evitar la combustión de combustibles más caros, ingresos por proyectos MDL, venta de materiales reciclados, economía por el aprovechamiento de ceniza y metales pesados presentes en la ceniza. Los ingresos por estos rubros son de gran importancia para empresas del tamaño de las cementeras, catalogadas como industrias energo-intensivas.

3.2.7. Aplicación potencial en el país

Los combustibles RDF pueden ser aprovechados en la industria del cemento, en centrales termoeléctricas, en la industria azucarera-alcoholera, en la industria alimenticia, etc.

Según EPCE, (2012) la capacidad instalada de producción de cemento es de 5.6 millones de toneladas por año en un mercado que consumió 5.3 millones de toneladas en el 2010. El mercado del cemento ecuatoriano desde el lado de la oferta está conformado por cuatro empresas: Holcim, Lafarge, Industrias Guapán y Cemento Chimborazo. Las dos primeras empresas multinacionales privadas, respectivamente número dos y uno en el mercado mundial del cemento. Industrias Guapán pertenece en más del 99% al Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. Cemento Chimborazo en su mayoría es propiedad del Ministerio de Industrias y Productividad por 72,5%, 14% propiedad de la Empresa Pública Cementera del Ecuador EP (EPCE), 9,5% de los Trabajadores a través de un Fideicomiso constituido por la EPCE y el saldo del 4% es parte del portafolio de inversiones de la Corporación Financiera Nacional e inversionistas privados.

La capacidad instalada del sector privado es creciente (80% 1996 - 85% 2008). Holcim tiene una capacidad de 3.6 millones de t/a; Lafarge dispone de una capacidad instalada de 1.6 millones de t/a; industrias Guapán dispone de una capacidad instalada de 0.45 millones de t/a; y Cemento Chimborazo dispone de una capacidad instalada de 0.35 millones de t/a. (EPCE, 2012).

La Cementera Chimborazo usa combustible crudo residual (fuel oil) con un clinker de 10.000 toneladas métricas. La Cementera Holcim en el 2009, consumió principalmente 84.842 toneladas métricas de pet coke, 1.038 toneladas métricas de bunker para hornos, y en el 2008 también consumió 28.369 toneladas métricas de carbón (HOLCIM, 2009). Holcim ya usa una importante cantidad de cascarilla de arroz para co-incineración en sus hornos, resaltando sus metas de sustentabilidad y reducción de CO₂e.

El potencial para uso de RDF en las zonas cercanas a las cementeras es grande, pero al no existir experiencias similares en Ecuador puede haber aversión al riesgo e inicialmente un rechazo a la propuesta. Sin embargo, puede proponerse pequeñas fracciones de RDF al inicio, por ejemplo, 5% durante los primeros 5 años. Este valor ya incentivaría a la formación de un mercado de RDF en Ecuador, con las ventajas y desventajas ya conocidas.

3.3. MBT CON RECUPERACIÓN DE RDF + CO- INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICAS A VAPOR DE INGENIO AZUCARERO U OTRAS SIMILARES

3.3.1. Descripción de la tecnología

La propuesta es idéntica a la anterior con relación a la producción de pellets, la diferencia es el destino final de estos. Aquí se propone su uso como combustible en termoeléctricas a vapor (ciclo Rankine) que operan con bagazo de caña de azúcar u otras pequeñas

industrias que tienen calderos a biomasa (cuesco de palma, cascarilla de arroz, residuos agro-forestales, etc.)

En el caso de los ingenios azucareros, esta actividad tiene un gran potencial dado que existen épocas bien marcadas de no zafra, en donde la cantidad de bagazo disponible para la combustión en los calderos es muy pequeña. En este sentido, el uso de un combustible adicional, de valor calórico razonable, fácil de manejar y almacenar como los pellets, representa la oportunidad de incrementar el factor de operación de la planta al incrementar la cantidad de energía eléctrica generada anualmente. El beneficio económico por la venta de esta electricidad es importante para este tipo de empresas que tienen altos costos de capital invertidos e idealmente no deberían tener una potencia instalada poco operativa que retrase el tiempo de recuperación de capital.

Según el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador, una división de la Fundación para la Investigación Azucarera del Ecuador (FIADE), el área de producción de caña de azúcar en Ecuador es de aproximadamente 110.000 has. de las cuales la mayoría se utiliza para la fabricación de azúcar y el resto para la elaboración artesanal de panela y alcohol. En el 2006 la superficie cosechada para producción de azúcar fue 69,156 ha, de las cuales el 89% se concentra en la Cuenca Baja del Río Guayas (provincias de Guayas, Cañar y Los Ríos), donde están ubicados los ingenios de mayor producción: ECUDOS, San Carlos y Valdez. El 11% restante corresponde a los ingenios IANCEM en la provincia de Imbabura y Monterrey en la provincia de Loja como lo muestra la Tabla 17.

Tabla 17: Ingenios Azucareros en Ecuador

INGENIOS	TOTAL HECTAREAS			PRODUCCIÓN	
	SEMBRADAS	COSECHADAS	TCH	TOTAL CAÑA	SACOS 50 KG.
INGENIO VALDEZ	20,100	19,312	75	1,368,608	
INGENIO SAN CARLOS	22,500	21,344	79	1,666,856	3,159,765
INGENIO ECUDOS	24,800	22,200	78	1,541,246	3,197,650
INGENIO MONTERREY	2,200	2,200	85	187,000	3,276,049
INGENIO IANCEM	3,300	2,924	82	240,940	330,990
INGENIO ISABEL MARIA	1,200	1,176	75	82,320	426,464
					139,944
TOTAL	74,100	69,156		5,086,970	10,530,862

Fuente: (CINCAE, 2008)

El crecimiento de la superficie cultivada de caña para la producción de azúcar ha sido muy notorio en los últimos años, pasando de 48.201 ha en 1990 a 69,156 ha en el 2006. Este incremento será más notorio en los próximos años debido al uso previsto de alcohol como carburante. De la misma forma, se han establecido plantas de procesamiento de alcohol, para la industria farmacéutica y de bebidas alcohólicas, así como con miras al procesamiento de etanol, para carburante, que estaría próximo a ser usado a nivel general en automotores a gasolina.

A partir del 2005, los tres ingenios más grandes han iniciado programas de co-generación de energía eléctrica, para usar los residuos de bagazo de las fábricas. Actualmente, son tres las empresas generadoras de electricidad a bagazo que aportan energía al sistema nacional interconectado, estas son: Valdez (Ecoelectric) con 9 MW, Ecudos con 29,8 MW y San Carlos con 35 MW.

Dado que la industria de la caña de azúcar está creciendo, el uso de pellets hechos a partir de RSM como combustible complementario al bagazo de caña de azúcar representa una gran oportunidad para este segmento industrial que podría incrementar la producción eléctrica anual, volviendo así más rentables a sus inversiones.

No se detallará costos, beneficios ambientales, impactos sociales, impactos económicos y mitigación de GEI porque estos valores son similares a los analizados para el caso de aplicación en industria cementera.

3.4. PRODUCCIÓN DE RDF Y PIROLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN

3.4.1. Descripción de la tecnología

La pirólisis es un proceso termo-químico que puede ser usado para el tratamiento de RSM, este ha ganado importancia en los últimos años debido a preocupaciones ambientales causados por la incineración tradicional (HE *et al.*, 2009; BUAH *et al.*, 2007; MALKOW, 2004). Entre los problemas de la incineración tradicional están la producción de grandes volúmenes de gas muy contaminantes, residuos peligrosos como ceniza y una imagen pública mala (BUAH *et al.*, 2007).

La pirolisis sucede por el calentamiento indirecto de la materia orgánica en una atmósfera libre de oxígeno que permite la descomposición química de esta materia en gases, líquidos y sólidos (carbón y ceniza) que pueden ser usados para producir calor y/o electricidad posteriormente (SENNECA, 2007; ENVIRONMENT AGENCY, 2006^a). En la práctica no es posible trabajar con una atmósfera libre de oxígeno por lo que la pirolisis sucede por la combustión con cantidades controladas de oxígeno (SENNECA, 2007; CHEREMISINOFF, 2003).

Dependiendo del control de las variables del proceso (tamaño de partícula, temperatura, velocidad de calentamiento, composición del material, tiempo de residencia, porosidad, análisis próximo, valor calórico, etc.) los productos de la pirolisis variarán en cantidad y tipo. Así, para pirolisis rápidas (alta velocidad de calentamiento) se obtendrá más fracciones líquidas, mientras que con pirolisis lentas se obtendrá más fracción sólida (carbón y ceniza) (SENNECA, 2007; AHMED, I. I.; GUPTA, 2010; BUAH *et al.*, 2007; SØRUM *et al.*, 2001a; LUO *et al.*, 2010; MA *et al.*, 2010). LUO *et al.*, (2010) concluye que partículas pequeñas ocasionan mayores contenidos de H₂ y CO tanto para pirolisis como para gasificación de RSM.

A diferencia de la incineración, entendido como la quema de RSM con alto exceso de aire para asegurar combustión completa de todos los materiales combustibles, la pirolisis es un proceso en donde el control de la cantidad de oxígeno durante la reacción termoquímica es fundamental para obtener los productos deseados.

Según BUAH *et al.*, (2007) las variables del proceso de pirolisis pueden ser optimizadas para producir solamente carbón sólido, gas o líquido (aceite). El carbón sólido puede ser usado como combustible sólido o como un “aceite de carbón” (*char-oil*), lodo de carbón (*char-waterslurry*) para combustible; alternativamente el carbón puede ser usado para producir carbón coque o para carbón activado. Los líquidos producidos pueden ser usados como combustible, incorporados a una refinería de petróleo, mejorados usando catálisis para llegar a combustible Premium o usado como insumo para industria química. Los gases generados tienen medio y alto valor calórico y pueden contener energía suficiente para satisfacer la demanda interna de energía de la planta. A pesar de la variedad de productos, lo más común es usar la pirolisis para la obtención de carbón que servirá para el consumo final o como insumo para otros procesos.

El tamaño de partícula del material incinerado es un factor importantísimo que debe ser cuidadosamente seleccionado para determinar su degradación térmica, los resultados muestran que diferentes combinaciones de productos pueden ser obtenidos en función del tamaño de partícula y consecuentemente, puede desencadenar en errores en la predicción de la cantidad y tipo de productos (BUAH *et al.*, 2007). BUAH *et al.*, (2007) describe cómo análisis termo-gravimétricos han sido ampliamente usados por otros autores para caracterizar el tamaño de partícula para excremento animal (Raman *et al.*, 1981), cascarilla de arroz (Williams and Besler, 1993), llantas (Williams and Besler, 1995), plásticos (Cunliffe *et al.*, 2003), etc.

En ese sentido, a nivel global existe la tendencia a usar combustibles RDF como insumo para la pirolisis dado que el tamaño y composición es más homogénea (CHEREMISINOFF, 2003). La composición típica de RDF es 75% en peso de papel / carbón y 25% en peso de plásticos (SØRUM *et al.*, 2001a). El poder calórico varía según la composición pero puede considerarse un valor medio de 12 – 13 MJ/kg (CHEREMISINOFF, 2003).

BUAH *et al.* (2007), usando pirolisis de RDF, determinó que conforme la temperatura incrementó de 400 a 700°C la composición de los productos varió para carbón entre 49,8 a 32,3% de peso, para aceite incrementó de 30 a 50% de peso, y para el gas incrementó de 18,6 a 20,1% de peso. BUAH *et al.*, (2007) describe cómo otros autores obtuvieron composiciones parecidas para pirolisis de RDF a partir de RSM: Lin *et al.*, (1999) obtuvo a 500°C una composición de 28% en peso de aceites, 30% en peso de gases y 42% en peso de sólidos; Rampling and Hickey, (1988) verificaron que incrementando la temperatura entre 300 y 700 °C se obtenía de 50 a 30% en peso de carbón, de 32 a 49% en peso de aceites y de 18 a 22% en peso de gases.

Así, debe ser analizado cuál es el objetivo de la producción dependiendo de las condiciones de mercado, de transporte, de almacenamiento, tecnológicas, etc. El mayor valor calórico se concentra en el carbón sólido, el transporte se facilita para líquidos y los gases pueden generar energía para la misma planta.

Los gases producidos generalmente son tratados en una cámara secundaria de oxidación y luego deben pasar por equipos de remoción de material particulado como precipitadores electrostáticos. Este gas posee medio y alto contenido energético y puede ser quemado en calderas a gas, motores de combustión interna e incluso en turbinas a gas (HENRIQUES, 2004).

La planta propuesta aquí sigue esta línea de procesos: a) los RSM son pre-tratados mecánicamente (separación del material reciclable, material no combustible y material combustible); b) producción de RDF; c) pirolisis de RDF; d) aprovechamiento energético de los productos (sólidos, líquidos y gases).

3.4.2. Costos de capital y operación

En general, los costos de capital de pirolisis pueden incrementar en 2/3 con relación a los de incineración masiva (MALKOW, 2004). En promedio, los costos de capital por tonelada de capacidad son más altos para unidades de combustión de RDF que para plantas de incineración masiva o incineración modular.

Una planta de pirolisis de 260.000 – 370.000 ton/año de capacidad tiene un costo de capital de 528 USD/ ton/año y un costo de O&M de 36 USD/ton incluyendo valores de recuperación de capital, interés y facilidad de operación y gerenciamiento, economía de escala y venta de productos y electricidad.

Varios autores explican que los costos de capital por kW son menores para pirolisis en comparación a incineración masiva debido a la alta eficiencia de conversión de energía química a eléctrica. Los costos totales por kW también caen debido a que el flujo volumétrico de gas es mucho menor al que se obtienen en incineración convencional, lo cual abarata los costos por tratamiento de gases.

El procesamiento de RDF representa la mayor parcela de inversión, siendo equivalente a cerca de 40% del total de costos de capital (CLIMATETECHWIKI, 2011).

3.4.3. Mitigación ambiental

Dado que la composición del RDF es más uniforme que los RSM simples, la combustión de RDF es más uniforme disminuyendo así la cantidad de gases tóxicos emitidos con relación a la incineración masiva convencional. Si bien los metales no combustionan, debido a las altas temperaturas existen fracciones de metales pesados en los gases emitidos y en las cenizas volantes, presencia que es menor al combustionar RDF en lugar de RSM simples (CHEREMISINOFF, 2003).

La disminución de gases GEI ocurre no solo por las mejoras en el proceso termoquímico, sino también por las contribuciones del reciclaje, compostaje, reaprovechamiento, etc.(CHEREMISINOFF, 2003). Fue explicado en el punto 3.2 cómo estas alternativas disminuyen el factor de emisión del proceso completo. El reciclaje de metales férricos, no férricos y papel/cartón afecta positivamente a la emisión de gases GEI, es decir, existe un potencial de mitigación importante al optar por tecnologías de producción RDF que motivan ideologías de “basura cero”.

El factor de emisión de la tecnología está dado según el factor de emisión del SNI, y su valor es equivalente a la cantidad de energía producida usando los productos de la pirolisis. Pero, adicionalmente, también es importante considerar las emisiones por el transporte del RDF hacia la planta, etc.

3.4.4. Beneficios/Impactos ambientales

Se ha determinado que la tecnología de pirolisis genera menos emisiones, incluyendo de metales pesados, que las ocasionadas por la incineración convencional (LAWSON, 1992). Por otro lado, a través de diversas experiencias en Canadá y Estados Unidos se ha verificado que las concentraciones de plomo, cadmio y zinc presentes en la ceniza volante son más bajas cuando se usa RDF como insumo en comparación al uso de RSM sin pre-tratamientos(LAWSON, 1992). Datos sobre las emisiones de HCl son más ambiguas,

presumiblemente como resultado del cambio en el contenido plástico, sin embargo existen indicios de que el uso de RDF puede incrementar las emisiones de HCl (LAWSON, 1992).

Una planta de producción de RDF con una capacidad de aproximadamente 100.000 ton de RSM/año ocuparía alrededor de 0,6 hectáreas (área equivalente a un campo de fútbol). Mientras la planta de producción de RDF ocupa entre 5.000 y 6.000 m², la planta de pirolisis ocuparía 1.000 m² (CHEREMISINOFF, 2003).

3.4.5. Beneficios/Impactos sociales

Una planta de pirolisis de RDF puede afectar positivamente a la gestión integral de RSM, ésta incentiva métodos de reciclaje, reutilización y aprovechamiento energético de los RSM. De esta forma, los planes de manejo integral de RSM como separación en la fuente no se verían afectados, por el contrario serían ratificados y más desarrollados.

Por otro lado, por el hecho de ser una tecnología muy compleja de controlar y operar, en parte por los propios principios químicos, resalta la importancia de la calificación del personal que operaría el equipo. Y no solamente del personal operativo, como también de los mismos técnicos que deberán capacitarse para entender las variables del proceso.

En caso de existir imprevistos con la tecnología se corre el riesgo de que la planta pare indefinidamente hasta que los fabricantes den el soporte técnico. También se incrementa la relación de dependencia tecnológica con los países desarrollados. No se ha encontrado información disponible con relación al número de puestos de trabajo para una planta de pirolisis de RDF. La producción de RDF con seguridad aportará con más puestos de trabajo que la misma planta de pirolisis debido a su alto nivel de automatización y control en sus procesos.

3.4.6. Beneficios/Impactos económicos

El uso de RDF como combustible disminuye los costos de generación eléctrica en comparación a la incineración convencional dado que permite mayores eficiencias de conversión energética (CHEREMISINOFF, 2003). Al usar RDF se consigue caracterizar de mejor manera el proceso de pirolisis, esto facilita el control de los productos y sus propiedades. El aparente costo adicional por la fabricación de RDF es compensado por la optimización de las cantidades y calidades de los productos, que al ser más uniformes permitirán un mejor uso energético. En el caso de carbón, se espera un carbón de tamaño uniforme y con valores calóricos altos, esta elevada calidad incrementará el valor agregado del producto que podrá ser usado para calderas en termoeléctricas, para fabricación de coque para industria metalúrgica, para carbón activado, como insumo para el proceso de gasificación e inclusive para usos domésticos como carbón para parrillada.

De esta forma, otras industrias pueden ser activadas y beneficiadas por el producto de la pirolisis. Por ejemplo, al usar el carbón de pirolisis como insumo para la producción de carbón coque que será usado en la industria metalúrgica se evita la explotación de más mineral o la tala de bosques que proveen de la madera para la fabricación de carbón vegetal.

3.4.7. Aplicación potencial en el país

A pesar de que la producción de RDF ha sido largamente demostrada, aún hay pocos ejemplos de plantas de pirolisis/gasificación de RSM y es necesario mayor desarrollo para que la tecnología alcance niveles comerciales (LAWSON, 1992). La pirolisis de RSM y de combustibles RDF en Europa está todavía en un estado prematuro de desarrollo y las expectativas son de que no juegue un papel protagónico en la planificación de sistemas integrales de manejo de RSM en el medio plazo, a no ser que los compromisos por reducir emisiones GEI sean más importantes (MALKOW, 2004; CHEREMISINOFF, 2003).

Ecuador, país en desarrollo, aún está distante de esta tecnología, no solo por estado de poca madurez comercial, sino también por el avance en la planificación de la gestión de RSM sus municipios. La pirolisis es un proceso técnicamente complicado, en el cual el control de las variables físicas y químicas es determinante sobre la cantidad y calidad de productos además de la eficiencia del proceso.

Ecuador no ha desarrollado conocimiento en esta área, no cuenta con especialistas sobre el tema, y sería muy difícil proponer una tecnología de alto grado de complejidad en una realidad que aún debate soluciones para problemas más básicos.

Como se explicó en el numeral 2.3 “Tecnologías en Uso en Ecuador”, solo hay un proyecto piloto de pirolisis instalado en Ecuador. Sobre la experiencia no existen publicaciones técnicas, ni expectativas de reproducción de la tecnología en grande escala. Las variables del proceso aún no fueron completamente entendidas por lo cual el gas generado que contiene cantidades considerables de tóxicos no recibe ningún tratamiento y el carbón generado es calidad media. Este proyecto piloto no es energéticamente sustentable, consume más energía de la que produce.

Así, la tecnología oferta muchas oportunidades de mejora en los procesos de tratamiento de RSM en países desarrollados, sin embargo aún debe crearse el ambiente científico, tecnológico, social y cultural apropiado para su incursión en la realidad ecuatoriana.

3.5. PRODUCCIÓN DE RDF Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS

3.5.1. Descripción de la tecnología

La gasificación es un proceso termo-químico que puede ser usado para el tratamiento de RSM que en los últimos años ha ganado importancia debido a preocupaciones sobre los problemas ambientales causados por la incineración tradicional (HE et al., 2009).

La gasificación es un proceso termoquímico de conversión (pirolisis con un volumen de oxígeno controlado en la primera fase, seguida por más reacciones de alta temperatura de los productos de pirolisis para generar sustancias con bajo peso molecular) en el que un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de adición de calor y un agente oxidante controlado (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno), a presiones cercanas a la atmosférica y temperaturas próximas a 850 – 900 °C (HENRIQUES, 2004; HE et al., 2009; MORRIS; WALDHEIM, 1998).

A diferencia de la incineración, entendido como la quema de RSM con alto exceso de aire para asegurar combustión completa de todos los materiales combustibles, la gasificación, al

igual que la pirólisis, es un proceso en donde el control de la cantidad de oxígeno durante la reacción termoquímica es fundamental para obtener los productos deseados.

Durante la gasificación la composición del gas que se produce (gas de síntesis o syngas) es muy dependiente de las condiciones en las que se realiza el proceso, pero suelen ser ricos en monóxido de carbono (CO), y/o hidrógeno (H₂), con contenidos menores de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y otros hidrocarburos. El sustrato de origen carbonoso y el agente oxidante son los parámetros que determinan el mayor o menor poder calorífico del gas (BJÖRKLUND et al., 2001;HENRIQUES, 2004).

En el proceso de gasificación, parte de los RSM son quemados para proveer de calor a la materia orgánica remanente (ENVIRONMENT AGENCY, 2006a). La producción de gas posibilita una eficiencia de hasta 30% para generación eléctrica (HENRIQUES, 2004; MORRIS; WALDHEIM, 1998).

Las tecnologías conocidas para gasificación son equipos de lecho fijo, lecho fluidizado, hornos rotativos y hornos de plasma (HE et al., 2009). Según (HENRIQUES, 2004) el proceso de gasificación es basado en un reactor de lecho fluidizado operando a presión atmosférica acoplado dentro de un recipiente.

El autor HENRIQUES, (2004) explica que una vez que los RSM han pasado por un pre-tratamiento, donde los materiales no combustible son separados y los combustibles son triturados, secados y después son alimentados a la cámara de gasificación principal en donde la materia combustible es convertida en gas. El tamaño de los residuos orgánicos debe ser menor que 5cm, la humedad máxima debe ser 20% para optimizar la recuperación del calor. La temperatura de operación del gasificador varía entre 900°C y 1200°C. La ceniza generada como subproducto del proceso deberá ser dispuesta adecuadamente en relleno sanitario, o alternativamente usada en la industria de cemento o materiales de construcción (AHMED, I.; GUPTA, 2011; HENRIQUES, 2004;ZHANG, Q. et al., 2011).

El gas producido en este proceso es resfriado y limpiado en equipos de convencionales de dos etapas: limpieza del gas caliente en el reactor y limpieza del gas en un filtro. Este gas posee alto contenido energético y es lo suficientemente limpio como para ser quemado en calderas a gas, motores de combustión interna e incluso en turbinas a gas, sin necesitar de una limpieza adicional como sucede en algunas plantas de incineración de RSM(HENRIQUES, 2004;HE et al., 2009).

El gas resultante puede ser usado directamente como combustible, o como insumo para la producción de hidrógeno y para la síntesis de metanol o amonio (HE et al., 2009;BJÖRKLUND et al., 2001;MALKOW, 2004). En el largo plazo, la producción de hidrógeno a partir de la gasificación de RSM para su uso en células de combustible para el sector de transporte se muestra como una alternativa importantedesde el punto de vista ambiental. Desde el punto de vista económico la gasificación también es una alternativa más atractiva que los rellenos sanitarios o la producción de energía eléctrica a partir de incineración (BJÖRKLUND et al., 2001; MALKOW, 2004). El autor ELBABA et al., (2011) resalta que la producción de hidrógeno a partir de la gasificación de llantas usadas es una alternativa tecnológica que desempeñará un rol importante en los sistemas energéticos futuros ya que existirá abundantes recursos y su combustión solo generará agua como residuo.

Hay otros autores que rescatan la importancia de la producción de hidrógeno usando gasificación en materiales como plásticos (WU, C.; WILLIAMS, PAUL T., 2010), biomasa (LUO et al., 2009), cauchos y llantas (AHMED, I.; GUPTA, 2011; ELBABA et al., 2011; etc.) La gasificación y pirólisis proveen una parte de la solución para el aprovechamiento energético de residuos de alta densidad, como caucho, plásticos y llantas, que podrían

permanecer por décadas e incluso milenios en descomposición biológica en un relleno sanitario (AHMED, I.; GUPTA, 2011).

La Tabla 18 resalta las ventajas y desventajas del proceso de gasificación cuando es comparado con incineración masiva y con pirolisis.

Tabla 18: Ventajas y desventajas de Gasificación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reducción de la cantidad volumétrica (hasta 90%) de RSM destinadas a relleno sanitario.	Mantenimiento en el sistema de limpieza debe ser hecho regularmente.
Reducción de peso en 75%.	Si falla el sistema de limpieza, los gases pueden dañar al motor de combustión interna y afectar mucho al medio ambiente.
Produce solo entre 8% y 12% de ceniza, mientras que incineración produce entre 15% y 20%.	Son proyectos poco versátiles pues son planeados para una capacidad y tipo de RSM específicos.
Para una misma masa de RSM, la gasificación produce 30% menos de volumen de gas en relación a incineración, lo cual abarata los costos de tratamiento del gas.	Es un proceso muy costoso pues el mantenimiento de los sistemas de limpieza y enfriamiento es caro.
Trabajar con combustibles gaseosos es más fácil que trabajar con sólidos como en caso de pirolisis completa.	La fuga de gases volátiles que no fueron resfriados puede afectar a la vegetación y ambiente terrestre pues son tóxicos.
Eficiencia térmica global (30%) más alta que en incineración.	
Prácticamente ningún gas peligroso es expedito al ambiente.	

Fuente: (HENRIQUES, 2004)

Actualmente las tecnologías de pirolisis y gasificación de RSM trabajan en conjunto para conseguir mejores eficiencias energéticas, menores impactos ambientales, mejor aprovechamiento de la materia prima y menores costos (MALKOW, 2004; BJÖRKLUND *et al.*, 2001; HADEN, 2004). El autor (MALKOW, 2004) presenta 18 procesos diferentes de pirolisis y gasificación integrado: pirolisis de RSM en co-combustión, EDDITH, Serpac, PKA, PyroMelt, Siemens Schwel-Brenn, Noell-KRC, THERMOSELECT, Von Roll RCP, Compact Power, SVZ, Carbo-V, WGT, BCL/FERCO, MTCI steam reforming, Krupp-Uhde PreCon, MFU's gasification, OxiTherm (MALKOW, 2004).

Varios de los procesos mencionados se basan en lógicas similares: a) los RSM son pre-tratados mecánicamente (separación de la parte combustible para ser usada en este proceso, secado hasta aproximadamente 20% de humedad y triturado hasta aproximadamente 5 cm de lado), b) alimentación a una primera cámara de pirolisis que trabaja entre 450°C - 550°C por aproximadamente 1 hora, en donde se produce carbón y un gas de síntesis c) limpieza y quema del gas de síntesis a 1.200°C-1.300°C, que

parcialmente es aprovechado para suministrar calor al mismo proceso de pirolisis, d) gasificación (800°C-1500°C) del carbón obtenido en la fase de pirolisis, este nuevo gas de síntesis también es aprovechado energéticamente al igual que el gas de pirolisis, e) los residuos son cenizas, carbón de bajo poder calorífico, metales pesados y compuestos inertes. El tiempo de retención que está el carbón dentro de la cámara de gasificación es el factor que determina cuánto de carbón es volatilizado (MALKOW, 2004).

Varios autores estudian la influencia de parámetros operativos como temperatura, tiempo de residencia, catálisis, vapor y tipo de residuos durante la pirolisis y gasificación de RSM y de RDF (LUO *et al.*, 2009; SØRUM *et al.*, 2001b; HE *et al.*, 2009; BJÖRKLUND *et al.*, 2001). LUO *et al.*, (2010) concluye con relación a la gravimetría que partículas pequeñas ocasionan mayores contenidos de H₂ y CO tanto para pirolisis como para gasificación de RSM.

En Europa existen algunas instalaciones de gasificación que básicamente son unidades de demostración ubicadas en Suecia, Alemania, Italia, Dinamarca, Austria y Finlandia. Estas unidades están saliendo de una etapa de demostración hacia la comercialización, pero aún enfrentan retos en el aspecto ambiental en donde luchan por reducir la cantidad de contaminantes gaseosos y sólidos que genera el proceso (MALKOW, 2004). Varias plantas de gasificación cuya capacidad varía de 100 a 400 ton/día de RSM, instaladas entre 1980 y 1992, están operando prósperamente en los EEUU y Canadá (HENRIQUES, 2004).

Existen varios fabricantes de tecnología para gasificación de biomasa (BG Technologies USA, BIBKIN Gasification Technology, Brightstar Synfuels, Cratex Gasification System, Energy Products of Idaho, Enerkem-Biosyn Gasification, PRM Energy Systems, Thermogenics, Thermostelect, TPS Termiska Processer, Thermal Technologies, Etho Power Corporation, Emergy Gasification, etc.) (DOE, 2000). La mayor parte de los fabricantes ofrecen tecnologías para gasificación de biomasa, sin embargo, hay varios que también disponen de líneas para gasificación de RSM.

Algunas de las plantas existentes de gasificación de RSM son: a) Planta marca Thermostelect, en Hanau – Alemania, con capacidad de 90.000 ton/año de RSM, con una potencia de 10,3 MWe; b) Planta marca Ansaldo Aerimpianti, en Grève-in-Chianti – Italia, con capacidad de 80.300 ton/día de RDF, con una potencia de 15 MWth (aprox. 5,7 MWe); c) Planta marca Energy Developments Limited (EDL), de Australia, con capacidad de 22.046 ton/año; d) planta piloto en la Universidad de Sherbrooke, en Guyane – Francia, con capacidad de 50 kg/h y potencia de 7,5 MWe; e) planta marca Thermogenics para 0,5 – 3 ton/h (DOE, 2000).

3.5.2. Costos de capital y operación

Los costos de capital para la tecnología de gasificación son comparables e incluso más baratos que para incineración masiva convencional de RSM, eso sucede debido a que la eficiencia eléctrica de estos sistemas puede ser hasta 50% mayor que para plantas convencionales de incineración. Así los costos totales del sistema de tratamiento de basura pueden ser menores (MORRIS; WALDHEIM, 1998).

Por las mismas razones citadas los costos de O&M también son menores para gasificación en comparación a plantas convencionales de incineración.

En 1993 la empresa sueca TPS (*Termiska Processer AB*) realizó pruebas que pretendían demostrar el estado comercial de la tecnología de gasificación de RDF con limpieza del gas efluente para diversos usos. Así fue sustituido un caldero con incineración masiva de RDF por: a) gasificador con aprovechamiento del syngas en horno; b) gasificador con

aprovechamiento de syngas en turbina a gas. Tomando un valor de cambio de 1 DM (corona sueca) igual a 0,15 USD, se puede aproximar un costo de capital de 1.340 USD/kW usando horno a syngas y 1.110 USD/kW usando turbina a syngas.

Otros estudios de la empresa VIBKIN muestran costos de capital de 2.860 USD/kWe para un gasificador de 4,3 kWe, 3.250 USD/kW para un gasificador con cogeneración (4 kWth y 4,2 We) (DOE, 2000). La empresa ENERKEN también ofrece gasificadores con costo de capital entre 1.000 – 2.000 USD/kWe (DOE, 2000).

Una de las plantas de más alto costo de capital en Europa es de la marca Thermostelect con cerca de 237 millones USD para una planta de 1.587 ton/día y también tiene los costos operativos más altos de cerca de 86,11 USD/ton (DOE, 2000).

3.5.3. Mitigación ambiental

Hasta julio de 2010, cuatro proyectos de gasificación de biomasa fueron registrados como proyectos MDL ante el Comité Ejecutivo UNFCC. La gasificación de biomasa reduce la cantidad de basura que va directamente para un relleno sanitario o botadero a cielo abierto, así se previene la emisión de metano debido a la descomposición anaeróbica (método de decaimiento de segundo orden). Además, la mitigación se produce debido a la energía eléctrica generada a partir del syngas que sustituye a un proporcional de energía de fuentes fósiles (factor de emisión del SIN) (CLIMATETECHWIKI, 2011).

Los cuatro proyectos de gasificación se encuentran en la India, el primero de ellos fue aprobado en 2007 y consiste en la gasificación de residuos de coco para generación eléctrica que es inyectada al SIN. En este caso, las emisiones evitadas es igual a la diferencia entre: emisiones evitadas por la generación eléctrica, más emisiones directas por el proceso, menos emisiones indirectas. Considerando que en la India el factor de emisión del margen combinado del SIN es es 0,86 tCO₂e/MWh, el factor de emisión medio del proyecto fue de -0,056 tCO₂e/año/ton de biomasa. El factor de emisión directo es cero debido a que no existe combustión de combustibles fósiles

3.5.4. Beneficios/Impactos ambientales

En comparación a la incineración masiva convencional está claro que la gasificación es una mejor alternativa desde el punto de vista ambiental (MORRIS; WALDHEIM, 1998). La gasificación retiene compuestos alcalinos y metales pesados (excepto mercurio y cadmio), como azufre y cloro dentro de los residuos del proceso en forma de escoria, previniendo grandes formaciones de PCDD/F y reduciendo la formación térmica de NO_x debido al rango de temperaturas y condiciones de reducción a las que se trabaja (HE *et al.*, 2009; MALKOW, 2004; LUO *et al.*, 2010; ZHANG, Q. *et al.*, 2011). Sin embargo, cloro y azufre aún se hacen presentes a través de HCl y H₂S en el gas de síntesis (syngas). La limpieza del gas (especialmente de HCl) después de la gasificación también es importante para es importante para evitar la corrosión en los intercambiadores de calor en el caso de ciclo Rankine o de las turbinas de gas en ciclo combinado, cuando se trabaja a altas temperaturas²⁶(MORRIS; WALDHEIM, 1998).

²⁶Para evitar este tipo de corrosión se limita la temperatura, lo cual disminuye la eficiencia global del sistema.

El volumen de gases emitidos en la gasificación es aproximadamente 30% del volumen de gases emitidos por incineración masiva convencional (MORRIS; WALDHEIM, 1998). A diferencia de la incineración convencional en donde grandes volúmenes de gas deben ser tratados, el uso de oxígeno en la gasificación reduce el volumen de syngas, es decir los costos por tratamiento de gases efluentes son menores, esto eleva el costo de inversión pero por otro lado incrementa el valor calórico del syngas y previene la formación de NOx (MALKOW, 2004).

3.5.5. Beneficios/Impactos sociales

Se consideran los mismos beneficios e impactos sociales que para la tecnología de Pirolisis.

3.5.6. Beneficios/Impactos económicos

Se consideran los mismos beneficios e impactos económicos que para la tecnología de Pirolisis.

Adicionalmente, dado que la gasificación genera más energía por tonelada de RSM debido a la mayor eficiencia del proceso, los ingresos por venta de energía serán mayores. Esto facilita la financiación de proyectos de gasificación con respecto a los de pirolisis.

En el caso de existir tratamiento de los gases (limpieza) previo a la entrada del horno o turbina a gas se constata que a pesar de que la inversión de capital es mayor, la rentabilidad incrementa debido a que se evita corrosión en calderas o turbina, consiguiendo así incrementar la temperatura de trabajo con la consiguiente ganancia de eficiencia de conversión térmica a eléctrica de la planta. Así, se optimiza de mejor manera los recursos y a la par se evita emisiones perjudiciales al medio ambiente.

3.5.7. Aplicación potencial en el país

Mientras la gasificación de carbón es una tecnología bien establecida, y algunos gasificadores de biomasa ya son de uso comercial, los gasificadores de RSM son tecnologías todavía en desarrollo (BJÖRKLUND et al., 2001; OLIVEIRA, 2000). El uso de pirolisis y gasificación para el tratamiento de RSM y la producción de combustibles sólidos (refuse-derived fuel RDF) en Europa están todavía en un estado prematuro y las expectativas son de que no jueguen un papel protagónico en el medio plazo, a no ser para cumplir con los compromisos del tratado de Kioto (MALKOW, 2004). En general, las reacciones de gasificación son complejas y aún están en investigación dado su complejidad (MOUSTAKAS et al., 2005).

A pesar de existir varios fabricantes de esta tecnología, a nivel comercial, se verifica que aún son pocos los ejemplos a nivel mundial que muestren el desempeño de plantas de gasificación de RSM. Las pocas plantas existentes están en los países desarrollados y sus capacidades aún son pequeñas. En el largo plazo, esta tecnología se muestra promisoras, se espera que la tecnología sea desarrollada para grandes escalas en un nivel comercial.

Por el momento, esta tecnología no es aplicable en Ecuador en el contexto actual, por lo menos no para grandes capacidades y como parte de un sistema integral de manejo de residuos. Su aplicabilidad se restringe a plantas piloto con fines demostrativos y de investigación científica.

El tipo de basura de Ecuador, con bajo poder calórico y alto contenido de humedad, también es una razón fuerte por la cual aún la tecnología no es viable. En caso de aplicarse, haría falta el consumo de significativas cantidades de diesel o fuel oil como combustible de back-up, que serviría para alcanzar la temperatura de ignición y evaporar el alto contenido de humedad. Esto representaría un gasto adicional, y eventualmente, la tecnología no sería tan eficiente por operar fuera de rangos de diseño.

3.6. PLASMA CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS

3.6.1. Descripción de la tecnología

La gasificación por plasma²⁷ es una tecnología avanzada para el tratamiento de RSM que consiste en un proceso termo-químico drástico de no-incineración que usa temperaturas extremadamente altas en un ambiente que no necesita de agente oxidante para descomponer completamente los RSM alimentados al sistema hasta llegar a moléculas muy simples, que son a la vez sub-productos de valor comercial como gases combustibles y escoria inerte vitrificada (MOUSTAKAS et al., 2005; ZHANG, Q. et al., 2011; GOMEZ et al., 2009; GALENO et al., 2011).

Varios procesos de tratamiento de basura aprovechan la tecnología de plasma para iniciar rápidamente una variedad de reacciones químicas, entre ellas descomposición, evaporación, pirolisis y oxidación (MOUSTAKAS et al., 2005).

Los procesos de pirolisis y gasificación generan residuos sólidos en forma de ceniza, carbón y alquitrán con alta concentración de metales pesados que deben ser tratados y/o dispuestos adecuadamente. Una de las formas encontradas es la fundición de estos subproductos, usando plasma, para formar escoria vítrea en donde los componentes peligrosos como metales pesados son inmovilizados (ZHANG, Q. et al., 2011; MOUSTAKAS et al., 2005; GOMEZ et al., 2009; GALENO et al., 2011).

La capacidad de generación de intenso calor y la versatilidad de esta tecnología facilita el tratamiento de un gran número de residuos de una forma segura y confiable, ofreciendo una

²⁷ Plasma se refiere a todo gas en el que por lo menos un porcentaje de sus átomos o moléculas están ionizadas parcial o totalmente. En este estado de la materia, los electrones libres ocurren en concentraciones razonablemente altas y las cargas de los electrones están balanceadas con iones positivos. Como resultado, plasma es casi neutral. Es generado por descargas eléctricas, por ejemplo por el paso de una corriente a través del gas, que en consecuencia eleva su temperatura (5000-6000°C) por la disipación de la energía resistiva (MOUSTAKAS et al., 2005), (GOMEZ et al., 2009).

alternativa de tratamiento a residuos peligrosos²⁸(MOUSTAKAS *et al.*, 2005). Los sistemas de tratamiento de RSM con plasma procesan todo tipo de residuos: municipales, industriales, comerciales, agro tóxicos, farmacéuticos, los más peligrosos residuos biológicos, residuos patológicos, materiales bélicos, municiones, armas químicas y de efecto biológico, residuos de barcos y plataformas de petróleo, además de otros materiales, incluyendo residuos nucleares de baja radiación (www.kompac.com.br).

Varios autores como ZHANG, Q. *et al.*, (2011),GOMEZ *et al.*, (2009),MOUSTAKAS *et al.*, (2005), GALENO *et al.*,(2011) explican el proceso de gasificación con plasma de la siguiente manera: el reactor es alimentado de RSM a través de una cámara hermética situada en la parte superior del reactor químico de plasma, en donde las reacciones de gasificación ocurren. El gas sintético (syngas), producido por la gasificación, fluye a una cámara secundaria para su combustión. Los gases calientes de la combustión son enviados a una caldera en donde se produce vapor, que alimenta a una turbina de vapor conectada a un generador eléctrico. La electricidad generada, además de proveer de energía a las antorchas de plasma y al resto del sistema, puede ser vendida a otros usuarios. Las cenizas presentes en los gases son removidas en depuradores con evaporación, los gases SOx son removidos usando filtros en el reactor, los residuos sólidos de la gasificación son fundidos por el haz de plasma y recogidos por un colector de escoria.

La parte más importante de una planta PGM es el reactor químico, que típicamente es un reactor de gasificación de flujo ascendente de lecho fijo. Los RSM son alimentados por la parte superior del reactor. Los agentes para la gasificación, que son aire y vapor a altas temperaturas (1.000°C), son inyectados en la parte inferior del reactor a través de varias boquillas. Una parte del aire, llamada aire plasma, es inyectado en el reactor por cuatro antorchas de plasma, las cuales están inseridas en el reactor en la superficie superior de la cámara de fundición. Arcos eléctricos son formados entre los electrodos en la punta de la antorcha de plasma, así el aire que fluye a través del arco es ionizado y forma un chorro de plasma que se extiende a través de las puntas de las antorchas (ZHANG, Q. *et al.*, 2011).

La temperatura del chorro de plasma puede alcanzar los 6.000°C. La potencia de las antorchas de plasma puede ser controlada por un sistema de control centralizado. Adicionalmente, aire secundario es inyectado en el reactor por boquillas alrededor de las antorchas de plasma. Boquillas de inyección de vapor a altas temperaturas están localizadas en la parte baja del gasificador. La alimentación de aire secundario y vapor es controlada por un sistema de control centralizado (ZHANG, Q. *et al.*, 2011).

El sistema IPGFC es capaz de producir una potencia neta de 4,2MW por kilogramo de combustibles derivados de residuos (*refuse derived fuel* RDF) con una eficiencia eléctrica de aproximadamente 33%. Esta eficiencia es alta en comparación con aquellas alcanzadas por tecnologías convencionales basadas en incineración de RDF de cerca de 20% (GALENO *et al.*, 2011).

La **Tabla 19** presenta las ventajas y desventajas del proceso de gasificación con plasma en comparación a otros procesos termo químicos:

²⁸Se han identificado 19 principales sectores industriales que generan residuos peligrosos: refinerías, bombeo de petróleo, producción de derivados de petróleo, recuperación de derrames de petróleo, fertilizantes, industria metálica como de acero, aluminio, hierro-níquel, cemento y manganeso, tratamientos superficiales de metales, producción de baterías y acumuladores, reciclaje de baterías de plomo, tintorerías, industria química, industria de madera sintética, fibras sintéticas y producción de pesticidas (MOUSTAKAS *et al.*, 2005).

Tabla 19: Ventajas y desventajas del proceso de gasificación con plasma.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Bajas emisiones de gases contaminantes y baja toxicidad en las escorias del proceso.</p> <p>Las escorias (cuarzo, feldespato, biotita y anfíbol) son usadas como materiales de construcción</p> <p>El gas sintético tiene muchos usos por su alto valor calórico en plantas de gran escala como producción de hidrocarburos, hidrógeno para células a combustible, uso en motores a gas, producción de amonio, fertilizantes, metanol para industria química y generación eléctrica.</p> <p>Una misma cantidad de RSM puede ser tratada en plantas de menor tamaño, en comparación con incineración, ya que la tecnología de plasma tiene elevada intensidad energética.</p> <p>Elevada velocidad de calentamiento permite alcanzar condiciones de operación rápidamente. De igual forma, es posible desactivar el sistema con rapidez.</p> <p>Elevadas temperaturas permiten trabajar en un proceso de una única etapa.</p> <p>El uso de electricidad como fuente de energía permite un mejor control de los procesos químicos.</p> <p>Estas plantas demandan típicamente entre 30% y 50% menor inversión que plantas de incineración de igual capacidad.</p> <p>Altas velocidades de enfriamiento de los gases permite controlar propiedades de la escoria, facilitando la formación de estructuras estables y composiciones de no-equilibrio, evitando así formación de compuestos orgánicos peligrosos como dioxinas y furanos.</p>	<p>El uso intensivo de energía eléctrica puede incrementar los costos de la planta de plasma. Sin embargo, análisis completos de comparación de costos muestran la viabilidad económica de esta tecnología al considerarla dentro del marco de gestión integrada de residuos.</p> <p>Es una tecnología aún en investigación debido a su complejidad.</p> <p>Su uso se justifica especialmente para tratamiento de residuos peligrosos.</p> <p>Las plantas conocidas con esta tecnología son demostrativas o piloto, de baja capacidad, y con finalidades de investigación.</p> <p>Esta tecnología demanda de mayor preparación y conocimiento para ser operada, al igual que para realizar mantenimiento.</p>

Fuente: (MOUSTAKAS *et al.*, 2005; GOMEZ *et al.*, 2009).

3.6.2. Costos de capital y operación

El autor CIRCEO, (2008) informó sobre el proyecto para la construcción de una planta de generación eléctrica a partir de gasificación por plasma de RSM en Florida, Estados Unidos. Esta planta, diseñada para 3.000 ton/día de RSM (6 unidades de gasificación de 500 ton/día cada una), con una potencia total instalada de 160 MW y una potencia efectiva de 120 MW conectada al sistema de transmisión nacional. El costo de capital para esta planta es de 450 millones de dólares, y un costo de O&M de 30 – 35 USD/ton.

3.6.3. Mitigación ambiental

La tecnología de plasma emite menor cantidad de CO₂ (1, 42 lb de CO₂/ MWh) en comparación a incineración masiva (2,98 lb de CO₂/ MWh).

3.6.4. Beneficios/Impactos ambientales

Según GOMEZ et al. (2009) han habido continuos avances en el desarrollo de la tecnología de plasma en el campo ambiental, llegando a alcanzar madurez comercial entre los tratamientos termoquímicos, para el procesamiento de residuos comerciales e industriales.

La tecnología de plasma presenta niveles mucho más bajos de daño ambiental por emisiones y por toxicidad de escoria en comparación a otras tecnologías como incineración (MOUSTAKAS et al., 2005;GALENO et al., 2011; CIRCEO, 2008). Una razón importante es el uso de ciclo combinado para la generación eléctrica, así el syngas (H₂ y CO) es combustionado en una turbina a gas a elevadas temperaturas y de esta forma no entra en contacto directo con la atmósfera. Las emisiones generadas por la combustión son mayoritariamente CO₂(CIRCEO, 2008). De esta forma también se evita un costoso sistema de tratamiento de gases como los que son usados en incineración masiva.

Las elevadas temperaturas de trabajo por un lado permiten el tratamiento de todo tipo de residuos peligrosos y por otro lado ayudan a neutralizar rápidamente los gases ácidos formados, con las consiguientes ganancias ambientales. Adicionalmente, ambientalmente hablando, una de las principales ventajas del proceso es la captura de materiales tóxicos, metales pesados, etc. al interior de una escoria vítrea inerte, que puede ser depositada sin ningún otro tratamiento en un relleno sanitario convencional.

3.6.5. Beneficios/Impactos sociales

Los impactos sociales con esta tecnología son muy similares a los ocasionados por incineración masiva, pirolisis e incineración. Es decir, se debe evaluar el impacto que tecnologías complejas como las mencionadas causan sobre aspectos como:

- Capacitación de los operarios
- Facilidad de mantenimiento
- Dependencia tecnológica con los fabricantes (países desarrollados).

- Replicabilidad local.

Otros aspectos a considerarse son los relacionados al incentivo de una u otra línea de pensamiento. Existen fuertes críticas por parte de grupos ambientalistas quienes manifiestan que este tipo de tecnologías incentivan a la generación de basura, por consiguiente al consumo de bienes y servicios según esquemas capitalistas, contrariamente a la ideología de “basura cero” que busca fomentar el reciclaje, re-utilización de materiales, separación en la fuente y disminución progresiva del consumo (GAIA, 2011a, 2011b).

3.6.6. Beneficios/Impactos económicos

La falta de control combinado con inconvenientes económicos en algunos casos, ha sido el principal obstáculo para el crecimiento de la tecnología de plasma térmica. Sin embargo, el no uso de rellenos sanitarios, el valor añadido por el re-uso de los productos vitrificados, la producción de energía a partir del syngas y la recuperación de metales, juntos mejoran la viabilidad comercial del proceso de plasma para RSM (GOMEZ et al., 2009).

Por otro lado, GOMEZ et al. (2009) indica que aunque la tecnología de fundición/vitrificación con plasma es viable técnicamente para varios residuos peligrosos, no está claro si el tratamiento de residuos a gran escala con plasma es económicamente viable.

Una de las ventajas de la tecnología de plasma para generación eléctrica a partir de RSM es la elevada producción de energía en comparación a otros procesos termoquímicos. Como es lógico, una mayor producción eléctrica significa mayores ingresos económicos al proyecto por concepto de venta de electricidad.

3.6.7. Aplicación potencial en el país

La gasificación por plasma de residuos municipales es cada vez más usada en países desarrollados en donde se ha trabajado fuertemente sobre el planeamiento y gestión integrada para el manejo de residuos sólidos peligrosos. Se constata que la mayoría de plantas de plasma son usadas para algún tipo de residuo peligroso, y aún es limitado el número de plantas existentes para residuos sólidos municipales como tal. La planta de Utashinai, en Japón, es uno de los pocos ejemplos sobre esta aplicación. Su capacidad es de 300 ton/día con una potencia instalada de 7,9MW y una potencia efectiva suministrada al grid de 4,3 MW (CIRCEO, 2008).

Una unidad de demostración de fundición por gasificación con plasma (Plasma Gasification Melting PGM), ha sido diseñada, construida e instalada en Viotia –Grecia, para determinar factores básicos de desempeño y operación del sistema; sin embargo, reportes sobre el análisis del desempeño de esta tecnología son escasos. Los datos experimentales de fundición por gasificación con plasma PGM, especialmente a escala industrial, son muy limitados; esta situación ha obstaculizado el entendimiento y aplicación de esta tecnología (MOUSTAKAS et al., 2005).

El autor ZHANG, Q. et al., (2011) presenta estudios recientes sobre la tecnología de fundición por gasificación con plasma, que fue desarrollada como un nuevo método para tratamiento de RSM, con la cual en el año 2007 fue construida una unidad piloto industrial al norte de Israel con una capacidad de 20 ton/día de RSM. La conclusión a la que llega es que el gas sintético producido es de alto valor calórico (6 -7 MJ/Nm³) y que la eficiencia energética de gasificación con inyección de vapor y aire es mayor que con solamente aire.

GOMEZ et al. (2009) comenta que en el caso de Reino Unido, las regulaciones, incentivos económicos y socio-políticos fueron decisivos para fomentar la adopción de técnicas de conversión térmica como la gasificación con plasma para el tratamiento de RSM.

En el caso de Ecuador, estas regulaciones, planes de uso de tecnologías más eficientes y mejores sistemas de disposición final de RSM no existen y aún se ven distantes de ser formalmente implementadas. Este tipo de tecnologías, de elevado costo de capital y de compleja operación, requieren de una fuerte institucionalidad (Municipios, Gobierno central, Ministerios, etc.) y un sistema de gestión integrada de residuos sólidos bien establecidos y maduros. Solo así, este tipo de tecnologías pueden ser exitosas.

3.7. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

3.7.1. Descripción de la tecnología

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica depositada en los rellenos sanitarios genera la producción de biogás, que puede ser recuperado para la producción de energía eléctrica, con la consiguiente ganancia ambiental debido a la reducción de emisiones de metano. El biogás es compuesto por aproximadamente 55% de metano (CH₄), 40% de gas carbónico (CO₂) y 5% de nitrógeno (N₂) y de otros gases, y tiene potencial de aprovechamiento energético (OLIVEIRA, B. L., 2000, 2004). En lugar de ser lanzado a la atmosfera, puede ser drenado, canalizado y encaminado para equipos específicos (motores, turbinas, etc.) que permitan usarlo como combustible para la producción de electricidad y/o calor (co-generación CHP).

Datos típicos de densidad y composición de los componentes del gas de relleno sanitario son presentados en la Tabla 20:

Tabla 20: Datos típicos de los componentes del gas de relleno sanitario

DATOS	
Densidad de CH ₄	0,716 Kg/m ³
Densidad de CO ₂	1,53 Kg/m ³
Densidad del gas de relleno sanitario	1,35678 Kg/m ³
Composición del gas de relleno sanitario	50% de CH ₄ 50% de CO ₂
Relación masa de gas de relleno sanitario/ mas de CH ₄	3,137 veces

Fuente: (OLIVEIRA, B. N., 2009)

Las posibilidades tecnológicas de aprovechamiento energético de biogás de relleno sanitario incluyen: uso residencial (cocción, iluminación, calefacción), uso industrial en calderas adaptadas, captación de biogás y distribución a través de gasoducto, la utilización como combustible vehicular después de varios tratamientos, la generación de energía eléctrica a través de motores de combustión interna o turbinas a gas, aplicación de ciclos combinados e inclusive la generación eléctrica a través de células combustibles, cuya tecnología está aún en desarrollo y aún no es económicamente viable (HENRIQUES, 2004).

Muchos de los rellenos sanitarios que cuentan con una infraestructura para captación de biogás acostumbran a simplemente quemarlo en una antorcha o *flare*. Una alternativa tecnológica para el aprovechamiento energético de este biogás es combustionarlo en motores o en turbinas para generar energía eléctrica usando un generador acoplado.

En el numeral “Captación de gas de relleno sanitario” de este mismo trabajo se detalló cómo es el proceso para la captación del gas de relleno sanitario.

En esta sección se explicará con mayores detalles sobre su aprovechamiento en motores de combustión interna para generar electricidad.

3.7.1.1. Costos de capital y operación

Según HENRIQUES, (2004) la mayor inversión para proyectos de captación de gas de relleno sanitario corresponde a los equipos de compresión (cerca del 43% del total de la inversión). El sistema completo consiste de un sistema de colecta de gas y un sistema de succión (bombas, equipos de monitoreo y control). Si la profundidad media de los pozos de captación de gas es 10 metros, la inversión del sistema de colecta varía entre 20.000 – 40.000 USD/ha, y el sistema de succión varía entre 10.000 – 45.000 USD/ha.

OLIVEIRA y ROSA, (2003) apud OLIVEIRA, (2004) publica una comparación de costos con relación a otras tecnologías de tratamiento de RSM con aprovechamiento energético.

EPA, (1996) apud (OLIVEIRA, B. L., 2004) mencionan una comparación entre tres tecnologías de generación eléctrica. Las aplicables a gas de rellenos sanitarios son motor de combustión interna y turbina a gas. La tecnología más apropiada para este fin son los motores de combustión interna por diversos motivos: a) costo de capital y de O&M menor; b) disponibilidad local y facilidad de mantenimiento; c) fácil operación; d) uso generalizado en el medio; e) bajo poder calórico del gas de relleno sanitario; y, f) producción de gas no es constante a lo largo del día. Independientemente de la tecnología seleccionada, el análisis financiero de un proyecto debe considerar el costo que representa el secado del biogás y el tratamiento para remoción de H₂S (PIPATMANOMAI et al., 2009).

Para el caso ecuatoriano se resume en la Tabla 21 algunos valores típicos que pueden ser considerados para evaluar un proyecto de este tipo.

Tabla 21: Valores referenciales para un proyecto de aprovechamiento de gas de relleno sanitario en Ecuador.

PARÁMETRO	VALOR	REFERENCIA
Inversión en motor de combustión a gas y generador eléctrico.	1.000 USD/KWe	(HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, B. L., 2004)
Precio de venta de la energía eléctrica.	0,06 USD/KWh	<p>CONELEC, 2007.</p> <p>Varia entre 2,69 - 6,18 \$Cent/kWh</p>
Precio de tCO ₂ e evitada en el mercado de carbono	10 USD/t CO ₂ e	(OLIVEIRA, B. L., 2004)
Tasa de retorno	20%	<p>(ALQUIMIATEC S.A.; NOBLE CARBON CREDITS LIMITED, 2004)</p> <p>Taxa atrativa para inversores privados.</p>
Costo de operación	7 USD/MWh	(OLIVEIRA, B. L., 2004)

Fuente: (SORIA, R., 2010)

También es importante considerar que los costos por operación y mantenimiento del relleno sanitario son elevados y en caso de optar por la opción de captación y aprovechamiento del gas generado, esta estructura de costos se verá incrementada. Se consideran los costos únicamente relacionados a la gestión de los rellenos sanitarios o botadero, sin incluir el barrido y recolección en la fuente. Los costos de operación corresponden a la compra de equipos, mano de obra, insumos y costo gestión ambiental.

Para rellenos más tecnificados como el de Quito, el costo de O&M es 42,5 USD/ton. Este valor variará para cada Municipio, por ejemplo: 20 USD/ton para Ibarra, 15 USD/ton para Cotacachi, 25 USD/ton para Urququí y Pimampiro (ENYATEC, 2011), un valor medio de referencia es 25 USD/Ton.

3.7.2. Mitigación ambiental

El estudio de SORIA, (2011) analiza dos escenarios alternativos de mitigación de GEI en el sector residuos en el Distrito Metropolitano de Quito. Este estudio caracteriza a la línea base con el uso generalizado de relleno sanitario y botaderos de basura a cielo abierto (antiguo Botadero de Zámbriza y nuevo relleno sanitario El Inga). Las tecnologías que caracterizan los escenarios alternativos son: a) captación y aprovechamiento de gas de relleno sanitario para generación eléctrica usando motor de combustión interna; b) incineración masiva con

recuperación de calor para generación eléctrica con ciclo Rankine. A pesar de que el estudio de SORIA (2011) asume ciertas consideraciones (tasa de crecimiento poblacional, tasa de reciclaje creciente de hasta 5% en 2020, etc.), los resultados mostrados y sus conclusiones son importantes para entender el potencial de mitigación de GEI de esta alternativa tecnológica:

El escenario con generación de electricidad a partir del gas de relleno sanitario recuperado en el período de 2010 a 2020 tiene un costo total de 377 millones de dólares, representando una disminución de 3,6 millones de dólares con relación al escenario base, para evitar 129,8 mil tCO₂e, lo que resulta en un costo marginal medio de -25,4 USD/tCO₂e. Esta alternativa de mitigación representa una situación ganar-ganar, en la que se constata una reducción de emisiones con costo de mitigación menor que el costo de la línea base.

Para el Distrito Metropolitano de Quito, dado que la línea base ya contempla la captación y quema simple del gas recuperado en los rellenos sanitarios y botadero de Zábiza (ya cerrado, pero aún emite gas), los resultados muestran que la alternativa de generación de electricidad con gas de relleno sanitario tiene un costo de abatimiento negativo de -25,4 USD/tCO₂e, mientras que una alternativa de incineración masiva tiene un costo de abatimiento elevado de 280 USD/tCO₂e. Otro hecho importante es el potencial real de abatimiento, dado que un relleno sanitario como máximo conseguirá captar entre 35 – 40% del gas generado (metano cuyo GWP es 21 veces mayor al CO₂), la alternativa de generación eléctrica con este gas tiene un potencial de abatimiento menor que el de incineración masiva.

3.7.3. Beneficios/Impactos ambientales

La captación de gas de relleno sanitario para aprovechamiento energético presenta importantes beneficios en comparación a un relleno sanitario simple (que no recupera el gas) debido a que el metano contenido en este gas es 21 veces más contaminante desde el punto de vista de calentamiento global, en un horizonte de vida de 100 años.

Si se compara esta alternativa con la quema simple del gas recuperado, también representa beneficios ambientales ya que la energía eléctrica generada está substituyendo una cantidad equivalente de energía que debería ser generada por el sistema nacional, caracterizado por un importante componente termoeléctrico basado en fuel oil y bunker que dejarían de ser consumidos.

3.7.4. Beneficios/Impactos sociales

La generación eléctrica con gas de relleno sanitario trae pocas plazas de trabajo (máximo 5 puestos para un volumen de 300 ton/día) si se la compara con quema simple del gas en una antorcha.

Si la línea base no contempla la recolección del gas, el proyecto completo de diseño e instalación de ductos para recuperación de gas generaría aproximadamente unas 20 plazas de trabajo mientras dura la fase de instalación y montaje. Posteriormente, para la operación de las instalaciones de generación eléctrica con gas de relleno sanitario el número de

puestos de trabajo es reducido. Se desconocen valores exactos con relación a la generación de empleo de cada alternativa tecnológica.

La captura del gas generado por la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de la basura puede mejorar las condiciones de trabajo de los minadores que acostumbran reciclar en estos lugares, evitando así problemas de salud público.

3.7.5. Beneficios/Impactos económicos

Este tipo de proyectos presentan varias oportunidades de ingresos económicos:

- Venta de energía eléctrica al sistema nacional interconectado.
- Calificando como proyecto MDL, se puede optar por la venta de certificados de carbono en un mercado internacional.
- En el caso de existir industrias cercanas al relleno sanitario se puede pensar en la oportunidad de vender el gas recuperado transportado a través de un gasoducto (de PVC), para su uso en calderas, cocinas, calefones, calentadores, etc.

La energía eléctrica generada dependerá de:

- Flujo de gas (m³/día): Un relleno sanitario bien administrado como máximo recupera un 40% del gas generado, el restante se emite al ambiente sin tratamiento ninguno.
- Poder calorífico del gas y humedad: Un bajo poder calorífico, y una elevada humedad en el gas recuperado impedirá un óptimo desempeño de los moto-generadores, e inclusive pueden ser factores prohibitivos para el proyecto. Por esta razón, deben llevarse a cabo estudios específicos en el lugar para determinar estos valores.
- Eficiencia del grupo moto-generador: un valor medio es 28%.
- Eficiencia de la planta: un valor medio es 98%
- Factor de capacidad de la planta: plantas similares en operación presentan factores de capacidad de alrededor de 80%.

SORIA (2011), estimó que en el Distrito Metropolitano de Quito se podría instalar una planta de 3,8 MW capaz de producir 26 GWh en el año 2020, que podría abastecer a 188 mil domicilios con un consumo medio mensual de 140 kWh.

3.7.6. Aplicación potencial en el país

Esta es una tecnología factible de ser implementada en el país. Ya existen varios rellenos sanitarios que recolectan el gas producido y simplemente lo queman (Zámbiza, El Inga, etc.).

Pero se ha constatado que existen algunos problemas puntuales en Ecuador:

- En el ex botadero de Zámboza se constató que el gas recuperado tiene alto contenido de humedad y un valor calórico bajo que imposibilitaría económicamente la producción de electricidad a partir de este gas.
- Hacen falta políticas de incentivo para este tipo de proyectos que busquen superar barreras de mercado y de regulación al interior del sector eléctrico ecuatoriano. En el país aún es difícil que un pequeño generador con energía alternativa venda su electricidad al sistema nacional, a pesar de que la regulación vigente ya lo permita. Estas políticas de incentivo deben buscar la aproximación entre los pequeños generadores, las distribuidoras y el mercado único mayorista, coordinado por MEER, CENACE y CONELEC.

3.8. MBT CON DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.8.1. Descripción de la tecnología

Estos tratamientos suceden en un medio anaeróbico (sin presencia de oxígeno), aquí la acción bacteriana descompone la fracción orgánica de los RSM y los convierte en biogás, biol y lodos de residuo. Los tratamientos anaeróbicos son muy conocidos en todo el mundo, es así que la literatura científica presenta muchos estudios y experiencias como: en Dinamarca con SOREN, 2010, en Nepal con IGONI *et al.*, 2007, en la India con SUNEERAT *et al.*, 2008, en Brasil con RIBEIRO, *et al.*, 2009, en Nigeria con OKAFOR, 2010, en China con JINGYI, *et al.*, 2008, etc.

El biogás es un gas combustible que está formado por dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y otros gases minoritarios como lo muestra la Tabla 22.

Tabla 22: Composición del biogás

CONSTITUYENTE	COMPOSICIÓN
Metano(CH ₄)	55-75%
Dióxido de carbono (CO ₂)	30-45%
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	1-2%
Nitrógeno (N ₂)	0-1%
Hidrógeno (H ₂)	0-1%
Monóxido de carbono (CO)	Trazas
Oxígeno (O ₂)	Trazas

Fuente:(HILKIAH IGONI et al., 2008)

El poder calórico inferior (LHV) del biogás estará en función de la cantidad de metano presente (Ver Tabla 23).

Tabla 23: Poder calórico del biogás de acuerdo al contenido de CH4

PORCENTAJE DE METANO EN BIOGÁS	DE	PODER CALÓRICO INFERIOR	FUENTE
60 – 70%		4500–5000 kcal/m ³	(HILKIAH IGONI <i>et al.</i> , 2008)
60% CH4 y 30% CO2		21 MJ/Nm3	(PIPATMANOMAI <i>et al.</i> , 2009)
40-75% de CH4		22.5 - 25 MJ N m ⁻³	(SALOMON; SILVA LORA, 2009)

Fuente: Trabajos anteriores de ENYATEC, (2011)

Según HILKIAH IGONI *et al.*, (2008) las variables que se deben tomar en cuenta para un diseño óptimo de un biodigestor son las que se presentan en la Tabla 24:

Tabla 24: Parámetros que intervienen en la biodigestión

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Temperatura del sustrato	T	°C	<p>Hay 3 rangos:</p> <p>Mesofílico: 30 – 38 °C</p> <p>Termofílico: 44 – 57°C</p> <p>Psycofílico: menor a 20°C</p> <p>Lo óptimo, desde el punto de vista económico por el costo del calentamiento adicional y mantenimiento; y por la estabilidad en la producción de biogás, es que el sustrato esté a una temperatura mesofílico de 35°C.</p>
Acidez	Ph	-	El PH del sustrato debe estar entre 6 y 7.5. Lo ideal es un PH de 7.
Relación carbono/nitrógeno	C/N	-	<p>Depende de la materia prima.</p> <p>El crecimiento de la población microbiana depende de esta relación. Lo óptimo es una relación C/N de 30/1.</p>
Humedad de los residuos	-	-	El sustrato debe tener un porcentaje de sólidos entre 5 y 10% para que estén disponibles a la degradación de

			microrganismos.
Tamaño de las partículas de los residuos	mm		Depende del tipo de pre tratamiento. Mientras más pequeño es mejor pues la actividad bacteriana actúa sobre una superficie mayor.
Mezclado			Es necesario, caro. Distribuye la concentración de sólidos del sustrato, homogeniza temperatura, previene depósitos. El tipo de mezclado depende de la concentración de ST.
Calentamiento			Es costoso. Debe proveer de la energía para pasar de la temperatura ambiente (20°C) a 35°C. También debe proveer energía para mantenerlo a esta temperatura.
Relación "food to microbes"	F/M	-	Depende del tipo de residuo y tasa de carga. Mientras mayor sea la cantidad de azúcares y sustratos solubles, mayor será la velocidad de reacción acidogénica. Por ende, mayor la concentración de H ₂ , mayor la presencia de ácidos grasos volátiles y menor el PH.
Tiempo de retención			Estimado entre 30 y 60 días dependiendo del tipo de materia a digerir y la temperatura de digestión. A mayor temperatura se reduce el tiempo de retención considerablemente.

Fuente: Basado en HILKIAH IGONI et al., (2008) y adaptado por ENYATEC

Información más detallada sobre el proceso de biodigestión tradicional, la correlación entre sus variables biológicas y mecánicas, las características constructivas de un biodigestor y los métodos de generar energía eléctrica a partir de biogás puede ser obtenida de referencias como: REITH *et al.*, (2003), BAERE, DE, (2008), etc.

Existen algunas técnicas de digestión anaeróbica que usualmente son separadas según la temperatura de operación base (por ejemplo, plantas termofílicas operan alrededor de 55°C (50-60°C) y plantas mesofílicas operan alrededor de 35°C (20-45°C), y según el porcentaje de materia seca de los residuos alimentados al biodigestor (por ejemplo, sistemas secos con 30-40% de materia seca, sistemas húmedos con 10-25% de materia seca) (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009). Mientras mayor sea la temperatura, más rápido será la generación de biogás, pero los procesos termofílicos pueden ser más difíciles de controlar y necesitarán más biogás para suministrar el calor y mantener el sustrato a la temperatura requerida (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009).

Además de esa primera separación por rango de temperatura de operación y por contenido de materia seca existen otras formas en las que se puede clasificar la tecnología de digestión anaeróbica, estas son: a) según el modo de alimentación de la materia orgánica de entrada se clasifican en alimentación por lotes y procesos continuos, y a su vez en una o varias etapas; b) según la geometría de la unidad principal de tratamiento se clasifican en reactores verticales u horizontales.

Según la combinación de las diferentes variables explicadas se han desarrollado varias tecnologías comerciales de digestión anaeróbica, cinco de ellas son analizadas por KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, (2009) y estas son: *Waasa*, *Valorga*, *DRANCO*, *Kompogas* y *BTA*. Para REITH *et al.*, (2003). Este autor analiza varias tecnologías comerciales como: BTA, VAGRON, Paques, Biothane, Biocel process, Valorga, DRANCO y Kompogas. Otros autores, DONG *et al.*, (2010) y DEUBLEIN; STEINHAUSER, (2010), mencionan tecnologías como AVECON, WABIO-Vaasa, DUT, WABIO, Farmatic biotech, Bigadan entre las más difundidas.

La Tabla 25 presenta una comparación de diferentes parámetros técnicos entre cinco de las tecnologías mencionadas:

Tabla 25: Comparación entre diferentes tecnologías de digestión anaeróbica.

NoMBRE dE tecnología de digestión anaeróbica (D.A.)	Tipo de tecnología según % de materia seca.	Geometría del biodigestor	Contenido de sólidos volátiles en el material de entrada (%)	Rango de temp. (°C)	Producción de biogás (m ³ /ton de material entrante)	Tiemporetención hidráulico (días)	Tipo de agitación	Uso de inóculo
Waasa	Acuoso	Vertical, internamente separada por un compartimento de pre-digestión	10-15	Termofílico (50-60°C) y mesofílico (20-45°C)	100-150	10-20	Neumática usando biogás.	Parte del sustrato es reinyectado al material de entrada.
Valorga	Semi -seco	Vertical.	25-32	Mesofílico (20-45°C)	80-160	18-25	Neumático usando biogás.	Parte del sustrato es reinyectado al material de entrada.
DRANCO	Seco	Vertical, única etapa.	15-40	Termofílico (50-58°C)	100-200	20	Ninguno	-
Kompogas	Seco	Horizontal, con bomba de pistón para entrada del material	alto	Termofílico (50-60°C)	100	15-20	Mecánica, con fines también de mezclado.	Parte del sustrato es reinyectado al material de entrada.
BTA	Acuoso	Planta hermética y con alta automatización, en varias etapas, combinando separación de RSM y tratamiento con D.A.	baixo	Mesofílico (20-45°C)	-	-	Mecánica, homogeniza el sustrato.	-

Fuente: Basado en (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009).

Los balances de masa de los procesos descritos anteriormente están basados en plantas en operación en Europa, así la planta con tecnología VAGRON se ubica en Alemania, la planta con tecnología Valorga y Biocel están en Holanda.

Las tecnologías de biodigestión expuestas (high –tech) constituyen una alternativa consolidada para el tratamiento de residuos sólidos municipales en los países desarrollados, especialmente en Europa, aunque hay ya algunos proyectos importantes (low-tech) en China, India y Nepal en donde predominan pequeñas instalaciones en zonas rurales (MÜLLER, 2007). En algunos países europeos cambiaron los marcos políticos y económicos, lo cual incentivó al uso de biodigestores y lo volvió económicamente viable para aplicaciones agrícolas e industriales (MÜLLER, 2007).

El tratamiento DRANCO **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** fue desarrollado por un grupo de investigación de la Universidad de Gent, en Bélgica, en 1980. La tecnología DRANCO (dry anaerobic composting) trabaja con la fracción orgánica de los RSM en estado sólido (65% de humedad) y solamente en el rango de fermentación termofílica (55°C), mientras que los procesos de biodigestión tradicionales de base húmeda (acuosos, 95% de H₂O) necesitan agitación interna y trabajan con fermentación criofílica y mesofílicas (temperatura máxima de 37°C) (OLIVEIRA, B. L., 2004); REITH et al., 2003; OWS, 2011; DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2010).

Los biodigestores tradicionales muchas veces son inviables económicamente ya que necesitan grandes inversiones en reactores muy grandes, amplias superficies para lagunas de tratamiento de efluentes líquidos, además de que es necesario estabilizar los residuos luego de la biodigestión (OLIVEIRA, B. L., 2004). En ese sentido, la tecnología DRANCO se posiciona cada vez más en el mercado debido a las múltiples ventajas que significa el hecho de no demandar de grandes cantidades de agua, ni de amplias superficies para tratamientos post biodigestión (OLIVEIRA, B. L., 2004). En el proceso DRANCO el sustrato es humedecido entre 35-50%, usando en parte agua reciclada a partir de lixiviados y bioles, por lo tanto no es necesario la adición de cantidades grandes de agua fresca (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2010).

La tecnología DRANCO ha sido ya ampliamente experimentada en el mundo (OLIVEIRA, B. L., 2004). La empresa a quien fue adjudicada la patente es la belga OWS, la misma que reporta la instalación de 4 plantas demostrativas (la más antigua data de 1984), la instalación de 19 plantas comerciales con capacidades entre 3.000 – 180.000 ton/año en países europeos, asiáticos y Estados Unidos, y también reportan 4 plantas planeadas para este año 2011, siendo que la mayor es de 90.000 ton/año a instalarse en Francia (OWS, 2011). La empresa representante en Brasil es NTA, y se conoce que esta tecnología fue implementada en dos ciudades del Estado Rio Grande do Sul (Farroupilha y Caxias do Sul) (OLIVEIRA, B. L., 2004).

KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, (2009) publicó un estudio comparativo multi-criterio que permite comparar para una planta de 55 ton/día (20.000 ton/año), cinco de las tecnologías mencionadas al analizar cuatro criterios claves: a) emisión de gases de efecto invernadero, b) energía recuperada, c) materiales recuperados, y d) costos operativos.

La tecnología DRANCO es la que permite una mayor recuperación energética (760 kWh/ton de materia orgánica) y es la que presenta menor costo operativo (62 Euros/ ton de materia orgánica). La recuperación de materiales (biol y lodo) y la emisión de gases de efecto invernadero también tienen valores razonables. El estudio de (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009) presenta como conclusión que para el caso analizado, el proceso DRANCO fue categorizado en la mejor posición, con 31% de las combinaciones de caso a su favor. Esto se debe a que DRANCO combina las ventajas relativas al bajo costo y alta recuperación energética. El objetivo del estudio fue proporcionar una herramienta de análisis para la toma de decisión del inversionista privado.

3.8.2. Costos de capital y operación

Los valores de costos para las plantas MBT anaeróbicas fueron obtenidos del estudio de ECONOMOPOULOS(2010)considerando que operan 5 días por semana (260 días por año) por razones de mantenimiento, mientras que la planta de incineración fue analizada considerando 312 días/año de operación.

Los costos según O&M para una planta de 55 ton/día, con diferentes tecnologías de digestión anaeróbica varían entre 62 – 95 euros/ton tratada (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009).

KARELLAS et al., (2010) presenta un desglose del costo de capital para una planta piloto de biodigestión de RSM en Grecia de 816 kW. Se constata que la mayor parte del alto costo de capital se debe a los biodigestores propiamente dichos conjuntamente a la infraestructura civil que demanda su montaje; el costo del bloque de potencia también es representativo. En el caso de Ecuador, no se piensa en unidades de cogeneración, pero sí en moto -generadores adaptados para biogás.

Los valores referidos anteriormente provienen de revistas científicas internacionales y libros que recogen experiencias de caso de otros países. Sin embargo, estos datos solo sirven como una aproximación dado que no se considera factores locales, impuestos y tasas por importación de equipos, mano de obra local, valor de la tierra, etc. En este punto, la consultora ENYATEC puede aportar mucho debido a su experiencia en el diseño de plantas de biodigestión. El siguiente cuadro muestra los valores referenciales a los que se llegó en el estudio de ENYATEC, 2011 en donde se diseñaron plantas MBT con biodigestión anaeróbica para RSM para la Provincia de Imbabura. En este estudio, se diseñó una planta central de 200 ton/día que podría servir para la mayor parte de la Provincia de Imbabura, una planta menor de 7 ton/día para Urucuquí y una de 6 ton/día para Pimampiro. Los costos de capital se muestran en la Tabla 26 y los costos de operación y mantenimiento se resumen en la

Tabla 27.

Tabla 26: Costos de capital para plantas de biodigestión anaeróbica de RSM en Imbabura, Ecuador.

RUBROS	PLANTA CENTRAL	PLANTA URCUQUI	PLANTA PIMAMPIRO
A. GASTOS PREINVERSIÓN			
GASTOS ADMINISTRATIVOS PREOPERATIVOS	126.600,00	84.000,00	84.000,00
INVERSIONES ADMINISTRATIVAS PREOPERATIVAS	36.610,00	36.210,00	36.210,00
GASTOS LEGALES Y DE ESTUDIOS	412.441,54	206.408,23	170.973,30
COSTOS MDL	120.303,33	45.088,51	0
A. TOTAL GASTOS PREINVERSIÓN	695.954,87	371.706,74	291.183,30
B. COSTOS INVERSION CONSTRUCCIÓN			
OBRAS CIVILES Y SANITARIAS	3.240.925,94	1.647.674,77	1.493.820,37
METALMECÁNICA	25.881,20	23.686,81	23.686,81
EQUIPAMIENTO	3.001.171,84	571.113,17	451.212,75
SISTEMA ELECTRICO	476.304,96	172.535,76	163.436,12
MOBILIARIO	66.451,00	36.756,50	36.756,50
EQUIPO DE COMPUTACION	30.000,00	26.800,00	26.800,00
B. TOTAL COSTOS INVERSION CONSTRUCCIÓN	6.840.734,94	2.478.567,01	2.195.712,55
C. OTROS GASTOS INVERSIÓN VARIOS	569.300,00	371.620,00	306.620
B. + C. COSTO TOTAL INVERSIÓN PLANTA	7.410.034,94	2.850.187,01	2.499.332,55
A. + B. + C. COSTO TOTAL PLANTA	8.105.989,81	3.221.893,75	2.790.515,85

Fuente: (ENYATEC et al., 2011)

Tabla 27: Costos de O&M para plantas de biodigestión anaeróbica de RSM en Imbabura, Ecuador.

RESUMEN CORRIENTES	GASTOS	PLANTA CENTRAL	PLANTA URCUQUÍ	PLANTA PIMAMPIRO
	USD/año	USD/año	USD/año	USD/año
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	6.144,00	3.840,00	3.840,00	
AGUA	23.400,00	3.960,00	2.160,00	
ENERGÍA ELÉCTRICA	0	2.726,46	12.652,20	
COMUNICACIONES	9.000,00	6.000,00	5.040,00	
INSUMOS VARIOS	300.000,00	55.200,00	27.960,00	
TOTAL	338.544,00	71.726,46	51.652,20	
RESUMEN GASTOS ANUALES				
SALARIOS PERSONAL	1.233.361,60	462.779,44	362.532,58	
GASTOS CORRIENTES	338.544,00	71.726,46	51.652,20	
TOTAL GASTOS ANUALES	1.571.905,60	534.505,90	414.184,78	

Fuente: (ENYATEC *et al.*, 2011)

3.8.3. Mitigación ambiental

KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009 presenta un resumen de factores de emisión de GEI para una planta de biodigestión de 55 ton/día, con diferentes tecnologías. Así, la emisión de CO₂e por cada tonelada de residuo tratado varía entre 208 – 228 kg CO₂e/t .

3.8.4. Beneficios/Impactos ambientales

BOVEA *et al.*, (2010b) compara también varios escenarios de recolección, transporte, pre-tratamiento, reciclaje, tratamiento y disposición final de RSU en Castellón de La Plana, España. Usa la metodología de análisis de ciclo de vida (LCA) para comparar 24 escenarios diferentes en los que varía la tecnología y políticas municipales. Entre las alternativas de tratamiento comparadas están: compostaje, biodigestión y relleno sanitario con recuperación energética. Los indicadores ambientales estimados son factor de emisión de gases de efecto invernadero, depleción de la capa de ozono, oxidación fotoquímica, acidificación y eutrofización.

Las conclusiones del estudio de BOVEA et al., (2010b) son: 1) escenarios con biodigestión consorciados con rellenos sanitarios y con recuperación energética alcanzan mejores indicadores de desempeño ambiental en comparación con escenarios que no tienen estas opciones. Los mejores escenarios son aquellos que consideran más altas tasas de reciclaje. Tiene gran peso en la evaluación ambiental las alternativas que consideran mayores tasas de RSU tratados biológicamente.

Este y varios otros estudios muestran que desde un punto de vista ambiental la alternativa de biodigestión anaeróbica de RSM con etapas previas de reciclaje y posteriores de producción eléctrica son mejores que otras (termoquímicas) desde el punto de vista ambiental.

3.8.5. Beneficios/Impactos sociales

Esta es una tecnología de gran impacto positivo a nivel social. ENYATEC considera que esta tecnología se adaptaría fácilmente al entorno ecuatoriano por diversas razones:

- 1) Ya existen experiencias diversas con biodigestores en el área rural, colegios técnicos, universidades, haciendas, hosterías, etc.,
- 2) La realidad agropecuaria de Ecuador incentiva el uso de tecnologías biológicas que potencian la producción de abonos (sólidos y líquidos) para fertilizar los mismos campos de cultivo.
- 3) Esta tecnología tiene un grado de complejidad moderada, y en ningún caso se compara a la operación de procesos termoquímicos en donde el control del proceso es mucho más complicado. No se conocen datos sobre la cantidad de empleo generado para cada alternativa tecnológica, la información con relación a este tema es escasa o nula.

3.8.6. Beneficios/Impactos económicos

La generación eléctrica a partir del biogás producido varía para diferentes tecnologías de biodigestión anaeróbica entre 585 – 760 kWh/ton tratada (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009). Con relación a la recuperación de otros materiales (RDF, reciclados, etc.), esta varía entre 250 – 320 kg/ton tratada (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009).

El estudio de ECONOMOPOULOS (2010) hecho en Grecia (32% de orgánicos, LHV de 11,5 MJ/kg), publica un balance de energía y de masa para diversas tecnologías de tratamiento de RSM. Este estudio considera que una planta MBT con biodigestión generaría 66 kWh/ton de RSM tratada, pero dado que habría un autoconsumo energético en la planta de 54 kWh/ton de RSM tratada, el excedente energético que podría ser aportado al sistema nacional es apenas 12 kWh/ton de RSM tratado. Obviamente, considerando que la composición de RSM en Grecia tiene un bajo contenido orgánico, es de suponer que en Ecuador la generación de energía sea mayor.

En función de un estudio anterior de ENYATEC (2011), realizado para la Provincia de Imbabura - Ecuador, se obtuvieron los índices energéticos mostrados en la Tabla 28. Estos valores corresponden a una planta de tratamiento de residuos sólidos municipales en Imbabura para una capacidad de 200 ton/día.

Tabla 28: Índices energéticos para una planta de tratamiento de RSM en Imbabura con biodigestión anaeróbica.

ÍNDICE	CÁLCULO	VALOR
m ³ biogás generado / ton basura procesada	16.200m ³ /200ton	81 m ³ /ton
kWe instalado / ton basura procesada	2.000kWe/200ton	10 kWe/ton
kWe instalado / m ³ biogás	2.000kWe/16200m ³	0,12 kWe/m ³
kWhe generado / ton basura procesada	36.936kWhe/200ton	184 kWhe/ton
kWhe generado / m ³ biogás	36.936kWhe/16200m ³	2,28 kWhe/m ³
m ³ biogás consumido / kWhe generado	16.200m ³ /36.936kWhe	0,43m ³ /kWhe

Fuente: (ENYATEC et al., 2011)

En función del balance de masa y de energía realizado en el estudio citado anteriormente, se calculó y esquematizó un diagrama Sankey mostrando la sumatoria de energía y sus destinos finales.

3.8.7. Aplicación potencial en el país

El estudio de (MÜLLER, 2007) analiza las tecnologías de biodigestión, “hi-tech” y “low-tech”, para países en desarrollo de ingresos bajos y medios. El estudio contempla revisión bibliográfica y contacto con expertos para analizar el impacto de éstas tecnologías en los siguientes países en desarrollo: India, Sri Lanka, China, Tailandia, África del Sur, Kenia, Nepal, Lesoto, Rwanda, República de Benín, Ghana, Colombia, Costa Rica y Honduras. Las conclusiones a las que el estudio llega son las siguientes:

- Las tecnologías usadas en países desarrollados son sofisticadas y caras, pero ya son una opción consolidada en países desarrollados debido a sus marcos legales y económicos. En países en desarrollo no es favorable su implementación mientras no se difunda adecuadamente la tecnología y no se invierta más recursos en investigación y desarrollo. Hay ya ejemplos exitosos en China, India y Tailandia, pero para otros países de bajos ingresos tal vez no valga la pena considerarlas como posible opción para el tratamiento de RSM.
- Los principales problemas presentados en los países en desarrollo con respecto a tecnologías “low-tech” de biodigestión son: a) mala calidad en materia prima alimentada al biodigestor que muchas veces está mezclada con materiales no degradables, b) cantidad insuficiente de materia prima, c) falta de habilidad y conocimiento para la operación y mantenimiento, d) sobre-estimación del volumen de biogás generado.

- Los principales temas que deben ser investigados y dominados son: digestión de material con alto contenido de sólidos, control del proceso, sistema de mezclado, aislamiento térmico, dispositivo de almacenamiento de biogás, remoción de H₂S.
- Finalmente el estudio recomienda para países en desarrollo el uso de tecnologías acuosas, de una única etapa, para tratamiento de material orgánico, y para proyectos de pequeña escala.

En función de la amplia variedad de tecnologías “high-tech” desarrolladas a nivel mundial en los últimos años, es difícil seleccionar una de ellas cuando se trata de optimizar diversos criterios de orden económico, ambiental, energético y social. Pero si se trata de optimizar el proceso de descomposición anaeróbica y se debe mirar a los criterios citados, el proceso más recomendado es el DRANCO (KARAGIANNIDIS; PERKOULIDIS, 2009; KARELLAS et al., 2010; DONG et al., 2010; OLIVEIRA, B. L., 2004; HENRIQUES, 2004; ZANETTE, 2009).

Dando especial atención a la selección de tecnología para países en desarrollo latinoamericanos, es importante citar a autores como (OLIVEIRA, B. L., 2000) quien recomienda la tecnología DRANCO para el caso de Brasil cuando se trata de tratamiento de RSM. Usando tecnología DRANCO para tratamiento de RSM Brasil presenta un potencial teórico, a partir de 13 millones de ton/año de RSM fracción orgánica, un potencial de 430MW, que significa cerca de 3TWh/año al considerar un factor de capacidad de 80%.

Finalmente, podemos concluir que una alternativa de mejora a los procesos de biodigestión anaeróbica tradicionales, ya conocidos en Ecuador, es la tecnología DRANCO o una muy similar, que permita optimizar la recuperación energética, incrementar la recuperación de abonos, ser viable económicamente por presentar costos operativos bajos, ser ambientalmente amigable por disminuir consumo de agua fresca y por disminuir emisión de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO 4: PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RSM EN EL ECUADOR

4.1. METODOLOGÍA

Las 8 tecnologías de generación de energía a partir de RSM preseleccionadas fueron priorizadas mediante un análisis de decisión de criterio múltiple (ACDM), con enfoque a las dos provincias seleccionadas para el presente estudio por parte de la Comisión Técnica del Proyecto ENT-Capítulo Ecuador: Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo. Para la calificación se facilitaron guías de evaluación de las tecnologías descritas en el apartado anterior (Anexo 3).

Los criterios de priorización específicos fueron descritos y ponderados a través de un taller realizado el 25 de abril de 2012, con participación de representantes del sector público, privado y académico relacionado a los sectores de residuos y energía a nivel nacional, con base a los criterios propuestos por ENYATEC, a los que se sumaron los aportes de los asistentes. Posteriormente, el trabajo de priorización se realizó vía correo electrónico a las instituciones que participaron del taller mencionado, quienes enviaron sus resultados a la Comisión Técnica para su sistematización.

A continuación se encuentra el desarrollo de la metodología descrita y las tecnologías priorizadas para cada provincia de interés. Todas las etapas fueron analizadas y avaladas por la Comisión Técnica formada para este proyecto.

4.2. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS

4.2.1. Criterios de Priorización

La evaluación de necesidades tecnológicas se basa en su contribución a metas de desarrollo sostenible y mitigación o adaptación al impacto que genera el cambio climático. En consecuencia, los criterios propuestos por parte del equipo consultor para el presente componente de generación eléctrica a partir de RSM corresponden directamente con dichos preceptos.

La discusión, ponderación y aportes a los criterios finales se realizó por parte de los asistentes al taller de participación del proyecto (25/04/2012) y fue avalada por la Comisión Técnica para el presente estudio.

Los criterios más relevantes, resultado del trabajo de los actores invitados al taller, fueron las consideraciones políticas (19.5%), financieras (18.3%) y técnicas (17,1%). Esto es debido a que el tema de residuos sólidos es manejado a nivel de Gobiernos Autónomos Descentralizados (Municipios), quienes coordinan el sistema integral de residuos sólidos a nivel cantonal.

A continuación se desarrollan de forma resumida, los conceptos que abarcan los criterios de priorización empleados para la evaluación de las 8 tecnologías, mencionadas en el Capítulo 2 del presente estudio:

4.2.1.1. Campo técnico

Madurez tecnológica

Estado de la tecnología en el mercado mundial:

- De uso generalizado: Madura con múltiples plantas en operación (mayor calificación)
- Comercialmente madura: algunas plantas instaladas y funcionando
- Comercialmente disponible
- Piloto o demostración: desarrollo académico (menor calificación)

Escala: capacidad típica de planta (ton de RSM/día)

Para ser económicamente viable, los fabricantes definen un tamaño mínimo de la planta (Ton RSM/día). Generalmente el fabricante comercializa por módulos que permiten cierta flexibilidad de adaptación al volumen de residuos disponibles diariamente en cada caso. Se debe entonces analizar si los RSM del cantón satisfacen el requerimiento mínimo de la tecnología. La escala se encuentra entre 5 y mayor a 300 toneladas de capacidad diaria.

Aplicabilidad según el valor calórico inferior de los RSM (MJ/kg)

La composición de los RSM y la humedad promedio podrían hacer no viables económicamente ciertas tecnologías, especialmente las termoquímicas. Esto sucede debido a la necesidad de consumir combustibles adicionales para evaporar la humedad y suministrar la energía necesaria para alcanzar la temperatura de operación. La escala se encuentra entre 4 (menor valor) y mayor de 9 MJ/kg.

Tiempo de vida del proyecto (años)

Tiempo estimado de vida útil de la planta. Las calificaciones estiman en 15 años la vida promedio de una planta de procesamiento energético de RSM. Para evaluar este parámetro la escala se encuentra entre 0 y 20 años.

Producción de energía neta (kWh/Ton de RSM)

Cantidad de energía producida por tonelada de RSM. Se procura la obtención de energía eléctrica por ser la energía final de mayor uso y aplicabilidad. Se debe considerar que una determinada planta consume una porción de la energía generada, de forma que sólo se dispondrá del remanente para la comercialización. La calificación está entre consumo de energía y más de 300 kWh/ ton RSM.

4.2.1.2. Campo financiero

Costo de capital (miles USD/ ton diaria tratada)

Es el valor de la inversión en el presente (año cero), sin financiamiento. La escala de ponderación de este criterio va desde 200 mil USD por tonelada tratada (menor valor) a más de 400 mil USD (mayor valor).

Costo O&M (USD/día/ton RSM tratada)

Es el costo de operación y mantenimiento por año. Incluye costo de combustible de back-up, gastos de personal y administrativos. La escala de ponderación de este criterio va desde 30 USD por tonelada tratada (mayor valor) a más de 90 USD (menor valor).

4.2.1.3. Campo mitigación

Factor de emisión GEI (tCO₂e/ton RSM tratado)

Es la cantidad de toneladas de gases de efecto invernadero emitidas(en unidades de CO₂ equivalente) por tonelada de RSM tratado. La calificación va desde un factor de emisión negativo hasta más de 0.30.

4.2.1.4. Campo económico

Generación de empleo directo (puesto/5 ton RSM tratada)

Es el número de personas que trabajan en la planta; se lo mide en número de puestos de trabajo por cada 5 ton de RSM tratadas. La escala va desde no generación de empleo hasta 2 puestos por cada 5 ton de RSM tratado.

Incentivo a otros sectores de la economía

Ciertas opciones tecnológicas incentivan a otras cadenas productivas como reciclaje de plásticos, vidrio, metal. Estas alternativas dan lugar a nuevos mercados y fuentes de empleo indirectos como fundidoras, fábricas de artículos plásticos, recipientes, fibra de vidrio, etc. Escala va desde no generación hasta máximo en varios sectores.

4.2.1.5. Campo socio-cultural ambiental

Mejora calidad de vida de población y trabajadores del sector

Se entiende que parte de los antiguos minadores de basura pasarían a trabajar en las nuevas plantas, lo que mejoraría la calidad de vida de estos individuos, según la tecnología elegida. Obviamente, también se necesitaría de personal calificado de acuerdo a la complejidad tecnológica de la instalación. Valoración está entre ninguno y grande.

Impacto ambiental, impacto visual, ruido, etc. en el área de implantación

El impacto ambiental involucra uso del agua, emisiones de gases al ambiente, ruido, contaminación de suelos, emanación de lixiviados, roedores y mosquitos, etc., que será característico de cada clase de tecnología evaluada. El impacto visual está medido por la reacción que una u otra tecnología pueda causar a la comunidad debido al tamaño, forma, etc. Valoración está entre alto y ninguno.

Incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana

Se considera que ciertas tecnologías podrían emitir gases contaminantes en distintas concentraciones que pueden afectar la salud de la comunidad, como es el caso de dioxinas, furanos, material particulado, ceniza, rastros de metales pesados, CO₂, NO₂, SO₂, etc. Valoración está entre alto y ninguno.

Exigencia de mejor capacitación en los trabajadores

Tecnologías más complejas demandarán de personal mejor entrenado para la operación y mantenimiento. Esto restringiría la contratación de personas sin capacitación técnica, como es el caso de los ex minadores de basura por ejemplo, para quienes se tiene que prever un medio de vida diferente. Valoración está entre alto y ninguno.

4.2.1.6. Campo transferencia de tecnología

Facilidad para replicar a nivel nacional la tecnología

El grado de complejidad de una tecnología puede dificultar la transferencia de conocimientos al país. Uno de los principales objetivos del proyecto es elegir tecnologías que puedan ser reproducidas a nivel nacional en el futuro, tanto en su diseño como en la construcción. En esta medida, algunas tecnologías están lejos de las posibilidades reales de reproducción a nivel nacional y a gran escala. Muchas de estas son patentes o secretos tecnológicos. Escala se encuentra entre secreto tecnológico y sencillo.

Dependencia y complejidad tecnológica

El aspecto anterior repercute en una dependencia tecnológica con el fabricante, es decir con países desarrollados, lo que forzosamente crea vínculos de largo plazo para consumo de repuestos, modificaciones, capacitación y auditorías técnicas frecuentes. Valoración está entre máximo y ninguno.

4.2.1.7. *Campo político*

Apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de residuos

Muchos municipios tienen en marcha proyectos que facilitarían el encaminamiento de nuevas tecnologías, por ejemplo, la separación en la fuente disminuiría el costo de capital de plantas recicladoras y productoras de pellets. Pero también se ha constatado que este mismo avance en la gestión de RSM puede ofrecer barreras al cambio al ser mal entendido el beneficio de la innovación, verificando resistencia al cambio y apego por los métodos actuales. Valoración está entre ninguno y excelente.

Existencia de ordenanzas municipales, decretos, normas, planes, etc. que favorezcan sistemas integrados de gestión de residuos sólidos.

La existencia de ordenanzas municipales y decretos, así como la voluntad política de las autoridades municipales es un factor clave para el desarrollo de estos proyectos. Valoración está entre ninguno y excelente.

4.2.2. Metodología de calificación de las tecnologías

Los criterios técnicos, financieros y de mitigación fueron calificados por el equipo consultor, mientras que los criterios económicos, socio-cultural ambientales, de transferencia de tecnología y políticos fueron calificados por ocho instituciones relacionadas al manejo de

residuos. La priorización de las tecnologías se realizó por separado para las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo.

Cada criterio fue calificado con valores numéricos de cero a tres por cada criterio y tecnología, lo que a su vez fue ponderado con los pesos otorgados anteriormente a cada criterio. Si bien el equipo consultor presentó una plantilla de calificación como referencia y las fichas tecnológicas que arrojaron los datos bibliográficos investigados (Anexo 3), cada Institución participante evaluó según su experiencia las tecnologías presentadas.

4.3. RESULTADOS DE PRIORIZACIÓN

Todos los resultados obtenidos de la calificación de las instituciones fueron promediados y avalados por la Comisión Técnica del Proyecto.

Los resultados reflejan tecnologías bioquímicas priorizadas en primer y segundo lugar que corresponde a captación de gas de relleno sanitario con aprovechamiento energético, y MTB con descomposición anaeróbica y aprovechamiento de biogás para ambas provincias dentro del estudio. Tecnologías de tratamiento mecánico-térmicas, producción de pellets y co-incineración en horno cementero y en termoeléctricas a vapor, consiguieron el tercer y cuarto lugar, también en ambas provincias.

Las tecnologías priorizadas para las dos provincias fueron las siguientes:

SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	CHIMBORAZO
1. Captación de Gas de Relleno Sanitario con aprovechamiento energético	Producción de pellets y co incineración en hornos cementeros
2. Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.	

4.4. CONCLUSIONES

4.4.1. Problemática de la disposición final de residuos

La legislación ambiental ecuatoriana, encabezada por la Constitución vigente, reconoce y establece los derechos de la naturaleza y las personas a vivir en un ambiente sano y limpio. En lo que respecta a la gestión tradicional del manejo de residuos sólidos, produce significativos y crecientes impactos ambientales, económicos y sociales. Tampoco se ha aprovechado el potencial energético y bioquímico de los residuos sólidos municipales, cuyo volumen de generación diaria en el Ecuador alcanza las 9000 Toneladas, aproximadamente.

4.4.2. Líneas Tecnológicas de aprovechamiento energético de RSM

En respuesta al reto del manejo ambientalmente adecuado de los residuos sólidos, existen varias líneas tecnológicas que ofrecen diferentes tratamientos (o combinaciones de ellos) para el aprovechamiento energético de todos o ciertos tipos de residuos sólidos, mediante procedimientos mecánicos, bioquímicos, termo-físicos, termo-químicos y biológicos, y otros en desarrollo experimental. Es decir existe una amplia gama de opciones para abordar la industrialización de los RSM para generación eléctrica. El proyecto ENT se orienta precisamente a la evaluación del portafolio de tecnologías, para seleccionar las más adecuadas a un cierto entorno tecnológico, ambiental, socio cultural, económico y político dado, como son dos provincias del Ecuador.

4.4.3. Tecnologías preseleccionadas

El resultado de la investigación realizada por el equipo de ENYATEC, son 8 tecnologías preseleccionadas, que representan opciones reales de implementación en el país, lo que significaría transformar los RSM de materiales sin valor energético, a materia prima para generación eléctrica y/o térmica, lo que a su vez resuelve parcial o totalmente (según el caso) el impacto ambiental derivado. **Su implementación supone un complemento a los rellenos sanitarios como el único método de disposición final de los RSM**, como tradicionalmente se lo ha hecho hasta ahora.

Esta preselección consideró el estado de arte en tecnologías para tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos. Se analizó una bibliografía técnica amplia en las bases de datos CAPES, Science Direct, Elsevier y Scielo, además de diversas investigaciones usando buscadores comunes como Google Scholar. Las tecnologías preseleccionadas son las que mayor número de publicaciones registran desde el año 2000 en todo el mundo. Se descartaron tecnologías en fase de prueba a escala de laboratorio. También se omitió rutas tecnológicas que no tengan como producto final un combustible (gas, sólido, líquido) para ser usado en la generación de energía eléctrica. Existen, por ejemplo, tecnologías que generan a partir de residuos orgánicos combustibles líquidos, pero su uso final no es tradicionalmente en el sector energético y si en transporte, como es el caso de algunos biocombustibles; estas rutas no fueron analizadas.

Los criterios analizados para cada tecnología corresponden a parámetros técnicos (madurez tecnológica, capacidad típica de planta, aplicabilidad según el valor calórico inferior de los residuos, tiempo de vida del proyecto, producción de energía neta), parámetros financieros (costo de capital, costo de operación y mantenimiento), parámetros ambientales relacionados a cambio climático y mitigación (factor de emisión de GEI aproximado de la ruta tecnológica), parámetros económicos (generación de empleo directo, incentivo a otros sectores de la economía), parámetros socio-culturales y ambientales (mejora de la calidad de vida de la población aledaña y de los trabajadores del sector, impacto ambiental – visual – ruido en el área de implantación, incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana, capacitación de los trabajadores), parámetros acerca de la transferencia de tecnología (facilidad de réplica de la tecnología a nivel nacional, dependencia y complejidad tecnológica) y finalmente, parámetros políticos (apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de

residuos, existencia de ordenanzas municipales y otras normas). El detalle de cada ítem puede encontrarse en el Capítulo 4.4 del informe completo.

El portafolio de tecnologías preseleccionadas para obtener energía a partir de RSMes el siguiente:

1. Incineración de RSM con recuperación de energía.
2. MBT con recuperación de RDF + co-incineración en cementera.
3. MBT con recuperación de RDF + co-incineración en termoeléctricas a vapor de ingenios azucareros o similares.
4. Producción de RDF y pirólisis con aprovechamiento de syngas y carbón.
5. Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas.
6. Plasma con aprovechamiento de syngas.
7. Recuperación y aprovechamiento energético de gas de relleno sanitario en motores de combustión interna.
8. MBT con digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogás en motores de combustión interna.

Elaboración: ENYATEC

4.4.4. Tecnologías priorizadas

Luego del trabajo realizado por los actores invitados al taller, los resultados de la priorización en las dos provincias muestran que tres de las tecnologías han sido seleccionadas por la mayoría de participantes; la particularidad radica en el orden de priorización. Por ejemplo las tecnologías priorizadas por el MEER y la UNACH no coinciden con las priorizadas por las demás instituciones.

De las tecnologías con mayor calificación, la captación de biogás de relleno sanitario con aprovechamiento energético **se la considera como una solución efectiva a corto plazo para evitar emisión de GEI, únicamente para los botaderos o rellenos sanitarios que actualmente se encuentran operando, y hasta la implementación de una planta definitiva de valorización energética de los RSM.** La razón radica en que esta tecnología no se alinea con las tesis de aprovechamiento intensivo de todos los residuos, mediante clasificación en la fuente, reciclaje, reutilización, etc., por lo que no debe ser asumida como una solución integral para el manejo de residuos. Adicionalmente, la captación del biogás de un relleno sanitario ya consolidado logra tasas de recuperación de sólo el 30 al 35% del volumen generado una vez que dicho relleno esté próximo a su cierre, por lo que la fracción mayoritaria restante sigue emitiéndose directamente a la atmósfera.

La tecnología de MBT con digestión anaerobia y aprovechamiento de biogás puede llegar a ser una solución real, siempre y cuando los programas de reciclaje y aprovechamiento de residuos sean ejecutados y haya un cambio cultural sobre la percepción de la basura. En la

actualidad es incipiente la reutilización de residuos orgánicos mediante compostaje, por lo que esta tecnología puede requerir de una importante campaña de información general al público para su implementación como fuente energética.

La pelletización de residuos y su incineración en hornos cementeros es una tecnología que puede destacar en la zona de Chimborazo, ya que la industria cementera está fuertemente estructurada o posicionada en la localidad, se ubica cerca de los principales centros poblados del norte de la provincia, y brinda una alternativa atractiva para disminuir el uso de combustibles fósiles en esta actividad.

Se concluye entonces, que el análisis de barreras y el entorno habilitante para el Plan de Acción Tecnológica (PAT) se realizarán con las siguientes tecnologías:

- 1. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO**
- 2. MBT CON DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO**
- 3. PRODUCCIÓN DE PELLETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO CEMENTERO.**

PARTE 2: ANÁLISIS DE BARRERAS Y ENTORNO HABILITANTE

RESUMEN EJECUTIVO

En la Parte I del proyecto “Evaluación de Necesidades Tecnológicas (ENT) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la Mitigación del Cambio Climático en Sector Energía, Subsector de Residuos Sólidos Municipales” se evaluó un portafolio de tecnologías compuesto por ocho procesos o líneas tecnológicas (ver Figura 1), agrupadas según su principio en diferentes grupos: mecánicos, termo-físicos, termoquímicos, bio-químicos y biológicos (aeróbicos y anaeróbicos). Las ocho tecnologías analizadas fueron: 1) Incineración con recuperación energética; 2) Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT) con recuperación de combustibles derivados de reciclaje (RDF) más co-incineración en industria cementera; 3) MBT con recuperación de RDF más co-incineración en termoeléctricas a vapor de ingenio azucarero u otras similares; 4) Producción de RDF y pirólisis con aprovechamiento de syngas y carbón; 5) Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas; 6) Plasma con aprovechamiento de syngas; 7) Captación de gas de relleno sanitario o de botadero de basura y aprovechamiento energético en motores de combustión interna; 8) MBT con digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogás en motores de combustión interna.

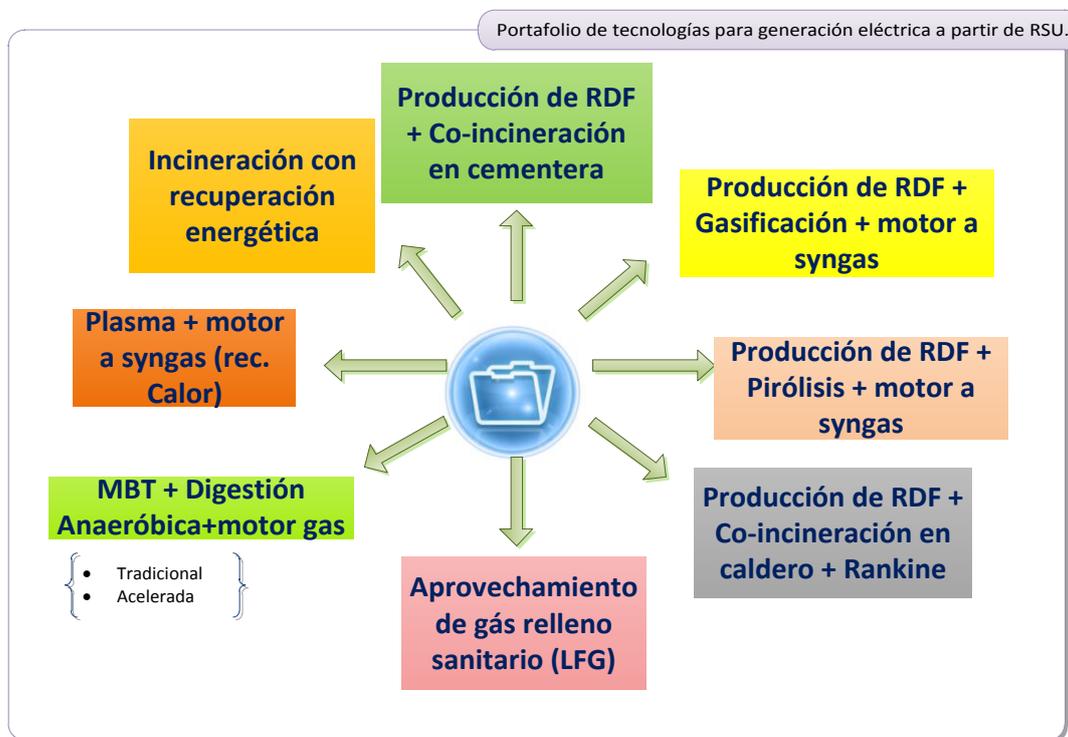


Figura 1: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.

Usando como metodología el análisis multi-criterio, fueron evaluados parámetros sociales, ambientales, económicos, técnicos, etc. de cada tecnología. En este punto fue fundamental la ejecución de un taller participativo llevado a cabo en la sede central del MAE en abril 2012, que reunió diversos actores quienes contribuyeron con su experiencia para adjudicar un peso o importancia relativa a cada uno de los parámetros del análisis. De esta forma se cumplió con los objetivos de priorización tecnológica de la Parte I del estudio. Fueron

priorizadas tres tecnologías diferentes para dos regiones del país (Provincia de Chimborazo y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas).

Las líneas tecnológicas que contribuirán tanto con la gestión integral de los residuos municipales como con el aprovechamiento energético de los mismos en estas dos provincias son:

Tabla 29: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.

	Tecnologías Priorizadas	
Santo Domingo de los Tsáchilas	Captación de gas de relleno sanitario con aprovechamiento energético	Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.
Chimborazo	Producción de pellets y co- incineración en hornos cementeros	Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.

Este reporte fue realizado durante la segunda etapa del Proyecto, es el producto de la segunda parte del citado proyecto y corresponde al “Análisis de Barreras y Marco Habilitante” para cada tecnología priorizada en las dos provincias (Ver Tabla 29).

Los principales contenidos de este informe son dos:

Análisis de barreras y de medidas identificadas para superar las barreras, para cada tecnología priorizada.

Análisis del marco habilitante que permita la difusión y transferencia de las tecnologías priorizadas.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE BARRERAS Y ENTORNO HABILITANTE

5.1. METAS PRELIMINARES PARA LA TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En Ecuador la tasa de generación de residuos sólidos municipales (RSM) media es de 0,58 kg/hab/día (MAE-PNGIDS, 2011)²⁹. Esto representa una generación de RSM a nivel nacional de aproximadamente 9.000 ton/día, de las cuales el 61% se concentra en el sector urbano. La penetración del servicio de recolección de RSM varía mucho entre el sector urbano y rural: en el nivel urbano nacional esta tasa alcanza aproximadamente 87%, mientras que en los sectores rurales la media es de 22% (INEC, 2001).

La alta fracción de residuos orgánicos en la composición porcentual de los RSM, el alto contenido de humedad y el bajo poder calorífico son características del sector residuos en Ecuador. La fracción orgánica en Ecuador varía entre una media de 61% para las ciudades más desarrolladas (Quito y Guayaquil) y una media de 64 – 70 % en el resto del país (MAE-PNGIDS, 2011). Adicionalmente una caracterización típica de RSM en Ecuador presenta un alto contenido de humedad, de aproximadamente 51 % y una media de poder calórico inferior (LHV) de 5,5 MJ/kg (MAE-PNGIDS, 2011)³⁰.

La línea base referente a la disposición final de RSM en Ecuador está caracterizada por el uso generalizado de botaderos de basura (a cielo abierto y controlados), y de algunos rellenos sanitarios. Las cerca de 9.000 ton/día de RSM generadas en Ecuador son depositadas en 215 sitios de disposición final (SDF³¹) de RSM (MAE-PNGIDS, 2011), de los cuales el 77% son botaderos a cielo abierto, un 3% son botaderos controlados y 20% son rellenos sanitarios (MAE-PNGIDS, 2011). Aproximadamente el 35% de los rellenos sanitarios existentes son manuales y el 65% son mecanizados. Según datos preliminares del MAE-PNGIDS, (2011), hasta fin de 2011 apenas un 23% de los rellenos sanitarios tenían licencia ambiental. Los botaderos existen en zonas rurales y ciudades de medio y pequeño tamaño.

Estos métodos tradicionales de disposición final RSM producen diversos impactos sobre el ambiente, entre los principales se cuentan: la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), causante del cambio climático, generación de lixiviados que contamina el suelo y los cuerpos de agua, emisión de malos olores y proliferación de vectores causantes de problemas de salud pública, etc. (HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, 2000; etc.) Tanto los botaderos a cielo abierto como los rellenos sanitarios demandan significativos y continuos desembolsos económicos para su construcción, operación, mantenimiento y cierre técnico, recursos que no son recuperados a lo largo de su vida útil. Adicionalmente este tipo de tecnologías de disposición final de RSM no favorecen el reciclaje intensivo y el

²⁹Los datos citados que provienen de (MAE-PNGIDS, 2011), corresponde a información preliminar elaborada por el MAE/PNGIDS que no ha sido publicada. Esta información fue proporcionada por el MAE/PNGIDS para el objetivo específico de este trabajo.

³⁰Los datos del MAE-PNGIDS (MAE-PNGIDS, 2011) sobre composición de los RSM por Municipio fueron usados para calcular el poder calorífico inferior (LHV) de los RSM en los municipios de Ecuador.

³¹SDF: sitio de disposición final de los RSM. Estos pueden ser botaderos a cielo abierto, rellenos sanitarios semi-controlados y rellenos sanitarios controlados. Los 215 sitios mencionados, son información preliminar no publicada

aprovechamiento energético de los residuos (CHERMISINOFF, 2003; ENVIRONMENT AGENCY, 2006a; ZANETTE, 2009).

Las peculiaridades de los RSM de Ecuador (alta fracción orgánica y alta humedad) constituyen graves amenazas al ambiente, a nivel global (cambio climático) y local (lixiviados, ratas, mosquitos, etc.), cuando se analizan los efectos que el uso de rellenos sanitarios, y peor aún de botaderos de basura, supone.

A nivel mundial, típicamente, las emisiones de metano (CH₄) procedentes de los SDF de RSM (del tipo botadero y relleno sanitario), por la descomposición anaeróbica de su fracción orgánica, son la mayor fuente de emisión de GEI en el sector residuos (IPCC 2006, 2006; MCKINSEY & COMPANY, 2009). A nivel mundial, en 2005 el 53% de GEI emitidos en el sector residuos provenía de rellenos sanitarios. En países en desarrollo como Ecuador, el volumen emitido de metano en el sector residuos es significativo debido a la alta composición orgánica de sus RSM (60% o superior) (ZERBOCK, 2003; WORLD BANK, 1999), a la inadecuada recolección, y a los malos sistemas de uso y tratamiento de RSM (IPCC 2006, 2006a; MCKINSEY & COMPANY, 2009). El metano, emitido por botaderos y rellenos sanitarios tiene un potencial de calentamiento global 21 veces superior (en un horizonte de tiempo de 100 años) (FORSTER *et al.*, 2007) que el CO₂ que sería emitido por ejemplo al combustionar combustibles fósiles.

Según el IPCC (2007), la tendencia es que las emisiones de GEI en el sector residuos, especialmente del CH₄ de los rellenos sanitarios, se estabilice y disminuya en muchos países desarrollados como resultado del aumento de la recuperación del gas metano generado por la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica, combinado con el uso de reciclaje, reducción en la generación de residuos y estrategias alternativas de gestión térmica y biológica de residuos. Sin embargo, según BOGNER *et al.*, (2007), las emisiones de CH₄ de rellenos sanitarios tienden a aumentar en los países en desarrollo debido al aumento de la población y al uso de sistemas convencionales de disposición final de RSM (botaderos y rellenos sanitarios sin recuperación del gas generado para quema simple o aprovechamiento energético).

En Ecuador, la Primera Comunicación Nacional de Ecuador enviado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático muestra en su inventario de GEI que el sector desperdicios³² es responsable por la emisión de 64,02Gg de CH₄ en el año 1990 (MAE, 2001). La Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del Ecuador muestra que entre 1990 y 2006 hubo un incremento de 74,2% de emisiones totales en el sector desechos³³ (incremento de 54,6% de emisiones de CH₄ en este mismo período y sector)(MAE, 2011).

La gestión integral de los residuos considera prácticas adecuadas para cada una de las etapas en el ciclo de vida de los RSM, desde la reducción en la generación, la separación en la fuente, el reciclaje y re uso y finalmente la disposición final. El actual método de disposición final impulsado por el PNGIDS es el uso de rellenos sanitarios y a futuro aplicaciones energéticas. Sin embargo, en la actualidad otras opciones tecnológicas de disposición final de RSM están disponibles a nivel comercial en el mundo; en caso de formar parte de planes de gestión integral de RSM (con uso estratégico de rellenos sanitarios para residuos no aprovechables) se lograría mayores ganancias ambientales locales y globales (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; BOVEA *et al.*, 2010; CHENG; HU, 2010; etc.).

³²La Primera Comunicación Nacional hace referencia al sector Desperdicios, y se lo entiende como el sector de Residuos Sólidos (botaderos de basura y rellenos sanitarios) (MAE, 2001).

³³La Segunda Comunicación Nacional hace referencia al sector Desechos, y se entiende que engloba Residuos Sólidos (botaderos y rellenos sanitarios) así como también de Aguas Residuales (MAE, 2011)

El sector de desechos es el segundo que más emite metano en Ecuador como resultado de actividades de tratamiento de aguas residuales y por la disposición de residuos sólidos en tierra (MAE, 2011; MAE, 2012). Analizando la cantidad de metano emitido anualmente en Ecuador en unidades de CO₂ equivalente (CO₂e), se aprecia que en el año 2006 las emisiones del sector desechos (residuos sólidos y aguas residuales) llegaron a cerca de 8 millones de tCO₂e, observándose que la contribución del sector residuos sólidos (botaderos y rellenos sanitarios) en las emisiones de metano es de 2` 266.028 tCO₂e (MAE, 2012).

Así como a nivel mundial, para Ecuador también es importante la mitigación del volumen de gases de efecto invernadero (GEI) emitido en el sector residuos. Es parte de la visión del Gobierno de Ecuador³⁴, a través de su Ministerio de Ambiente (MAE) y de la Subsecretaría de Cambio Climático, dar mayor importancia a la mitigación de GEI, para precautelar el bienestar del ser humano y sus futuras generaciones. Mediante Decreto Ejecutivo 1815 se declaró la mitigación y adaptación al cambio climático como política de Estado. A nivel local el Gobierno también busca reducir los impactos adversos a la salud pública y minimizar impactos sociales y ambientales.

Una de las formas para mitigar la emisión de GEI en el sector residuos es a través de la implementación de tecnologías de aprovechamiento energético de los RSM, a lo cual precisamente se refiere el presente capítulo del proyecto ENT. La obtención de energía a partir de RSM (*WTE*³⁵ o *EFW*³⁶) es una alternativa tecnológica que encaja en programas de **“Gerenciamiento Integral de Residuos Sólidos Municipales”**³⁷ (ENVIRONMENT AGENCY, 2006b; HOKKANEN; SALMINEN, 1997; PIRES *et al.*, 2011). El aprovechamiento energético de los RSM evita emisiones de GEI³⁸ (CH₄ y N₂O) debido a dos motivos principales:

- a) El aprovechamiento energético de los RSM evita la emisión de una cantidad de metano que sería generada en rellenos sanitarios y botaderos debido a la descomposición anaeróbica de su fracción orgánica (IPCC, 2006). Esta cantidad de metano debe ser calculada caso a caso, no existe un valor único para todos los rellenos y botaderos sanitarios.
- b) La energía obtenida a partir de los RSM, cuyos procesos tecnológicos mayoritariamente liberan CO₂ de origen biogénico, reemplaza una cantidad de energía que tradicionalmente sería generada usando combustibles fósiles en plantas

³⁴El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) en su política 4.4 estipula la necesidad de “Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida”. A partir de este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos relacionados con cambio de matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de vulnerabilidades, tratamiento transversal de la gestión ambiental, entre otros temas estratégicos. En particular, la política 4.5 está orientada a “fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática, con énfasis en el proceso de cambio climático”. Este pensamiento es uno de los pilares más importantes que sustentan el trabajo llevado a cabo por el MAE en el área de mitigación de GEI en Ecuador.

³⁵ *WTE: Waste to energy*

³⁶ *EFW: Energy from waste*

³⁷ Las rutas de destino y disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM) pueden ser jerarquizadas basándose en el criterio de residuo final mínimo, esto es conocido como *Sistema Integrado de Gerenciamiento de Residuos Sólidos* (SIGRS). Para el SIGRS, las rutas deben ser priorizadas en la siguiente orden: 1) reducción de generación de residuos en la fuente; 2) reutilización de los residuos producidos; 3) reciclaje; 4) recuperación de energía, y 5) relleno sanitario (OLIVEIRA, 2000).

³⁸El CO₂ de origen biogénico emitido no es contabilizado en los inventarios nacionales. Este se forma al combustionar el carbono contenido en la fracción orgánica de los RSM.

termoeléctricas convencionales (PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; BAUMERT *et al.*, 2005; IPCC, 2006).

Programas de gerenciamiento integral de RSM minimizan el uso de rellenos sanitarios, reservándolos para desempeñar la función estratégica de servir como depósito de materiales no aprovechables en fases previas de la gestión integral de los RSM.

De esta forma, los objetivos estratégicos del Gobierno de Ecuador para el corto, mediano y largo plazo para la mitigación de gases GEI en el sector residuos sólidos están enmarcadas en la línea estratégica de “Fomentar la aplicación de prácticas que permitan reducir emisiones de GEI en los procesos relacionados con la provisión de servicios y la generación de bienes, desde su fabricación, distribución, consumo, hasta su disposición final” (MAE, 2012). Esta línea estratégica es parte del objetivo específico 4 del plan de mitigación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC 2012 – 2025 (MAE, 2012). Como resultado de este objetivo, en el corto plazo, se identificó el potencial de reducción, o captura de GEI, en los sistemas de disposición final de desechos sólidos y líquidos de **dos** gobiernos autónomos descentralizados (GADs) (MAE, 2012). En este período, también se inició la implementación de **un** proyecto de reducción de GEI por la disposición final de RSM (MAE, 2012).

Sin embargo, el ENCC 2012 – 2025 no ha definido metas a nivel nacional para la reducción de GEI en el sector de residuos sólidos para el medio y largo plazo, con relación a la disposición final de RSM (MAE, 2012).

Este objetivo general podrá ser alcanzado a través del diseño de adecuados procesos de transferencia y difusión de tecnología como lo recomienda autores como BOLDT *et al.*, (2012) y HASELIP *et al.*, (2011). Específicamente, la difusión y transferencia de las tecnologías priorizadas en la primera parte del estudio (mostradas a continuación) para aprovechamiento energético de RSM en Ecuador pueden contribuir con el objetivo específico 4 de la línea estratégica de mitigación del cambio climático mencionada en el ENCC 2012-2025 (MAE, 2012).

Las tecnologías priorizadas para esta finalidad son:

- A1) Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basurapara el aprovechamiento energético en rellenos sanitarios ya existentes (o botaderos de basura cerrados);
- A2) Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás;
- A3) Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.

Las tecnologías 1 y 2 serán analizadas para casos de estudio realizados en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas; y las tecnologías 1 y 3 serán analizadas en la Provincia de Chimborazo.

El proceso de transferencia de tecnología está asociado al intercambio internacional o transfronterizo de artefactos, equipos o sistemas (hardware), conocimiento y proceso (software) y elementos organizativos (orgware) (BOLDT *et al.*, 2012). La difusión tecnológica está orientada a la divulgación de una nueva tecnología, utilizando varios

canales³⁹ a lo largo del tiempo, en una sociedad donde la tecnología es adoptada gradualmente por más y más miembros de ella (personas, instituciones, empresas, etc.) (BOLDT *et al.*, 2012).

De esta forma, las metas preliminares para el desarrollo e implementación de las tecnologías estudiadas son: identificar las barreras que enfrenta cada tecnología, definir el marco habilitante que permita superar estas barreras, y finalmente, elaborar un plan de acción tecnológico que permita hacer realidad la difusión y transferencia de las tecnologías seleccionadas.

5.2. ANÁLISIS DE BARRERAS Y MEDIDAS HABILITANTES POSIBLES PARA LAS TECNOLOGÍAS A1, A2 Y A3

Se entiende por barrera a la razón por la cual un objetivo es afectado adversamente, lo cual incluye cualquier contramedida fallida o inexistente que pudo o debió haber evitado efecto(s) no deseado(s) (BOLDT *et al.*, 2012). Se asume que las barreras pueden ser superadas mediante medidas de política pública y regulación. Las barreras para la transferencia y difusión de las tecnologías de bajo carbono, como las de aprovechamiento energético de los RSM, pueden ser económicas, regulatorias, institucionales, de capacidad, o por otros factores externos (BOLDT *et al.*, 2012; HASELIP *et al.*, 2011).

Para la identificación y jerarquización de barreras para las tres tecnologías descritas, una Comisión Técnica (CT) integrada por expertos en tecnología, representantes de instituciones relacionadas y conocedores del sector fue conformada. Los consultores encargados del ejercicio, así como la CT designada, adoptaron nuevamente un proceso participativo para llevar a cabo el análisis de barreras y la identificación de las medidas que contribuirán para configurar un marco habilitante propicio para la difusión y transferencia de las tecnologías mencionadas.

Se destaca el hecho que anteriormente, el equipo consultor desarrolló visitas de campo por los diferentes municipios que integran las Provincias de Chimborazo y de Santo Domingo de los Tsáchilas, en donde se ejecutó entrevistas a los encargados del tema de RSM de cada municipio y también visitó los actuales botaderos de basura o rellenos sanitarios, según el caso.

En la secuencia del análisis de barreras, los consultores encargados revisaron diversas fuentes bibliográficas (artículos técnicos, reportes gubernamentales, etc.) para identificar las razones primarias por qué las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM no son ampliamente usadas en Ecuador.

Después de haber identificado un conjunto de barreras iniciales, en septiembre de 2012 se realizó un taller participativo en la sede del MAE (Quito-Ecuador), en donde diferentes actores (ver **Anexo3**) de los sectores gubernamental (MAE, MEER, INER, Municipios de Chimborazo y Santo Domingo, OLADE, SENESCYT, etc.) y académico aportaron para la identificación, agrupación y jerarquización de barreras (claves y no claves, barreras iniciales, cruciales, importantes, menos importantes e insignificantes) (MAE/ENYATEC,

³⁹Algunos de los canales más usados son: construcción de plantas piloto, programas de investigación e ingeniería reversa, visitas técnicas al extranjero, campañas de educación, etc.

2012). La identificación de barreras se hizo por lluvia de ideas en cada uno de los cuatro grupos conformados (un grupo por tecnología priorizada en cada provincia), mismas que en consenso fueron categorizadas y calificadas. En una etapa posterior al taller, la consultora realizó el mapeo de actores del sector RSM (ver **Anexo 1.1**) análisis lógico del problema que ayudó a identificar causas-efectos de las principales barreras (ver **Anexo 1.2**).

En el referido Taller, las barreras fueron clasificadas en las siguientes categorías(MAE/ENYATEC, 2012):

- i) Barreras económicas/financieras
- ii) Barreras de política/regulación
- iii) Barreras de capacidad institucional/organizacional
- iv) Barreras Técnicas
- iv) Barreras sociales

Esta forma de clasificación engloba a otras clasificaciones como la sugerida por BOLDT *et al.*, (2012) que considera: Económicas y financieras; Fallas del mercado; Normas y regulaciones legales; Fallas en la comunicación; Capacidad institucional y organizativa; Habilidades humanas; Comportamiento social y cultural; Información y sensibilización; Técnicas.

Nota: En este trabajo no es posible seguir la estructura de documento recomendada por UNEP RISO CENTRE, (2012), ZABALLA, (2012) para el informe Parte II: Análisis de barreras y marco habilitante por tecnología. Esto se debe a que este documento aborda tres líneas tecnológicas muy diferentes, pero que comparten algunas barreras en las diferentes categorías mencionadas. Por esta razón, se propone la estructura de documento presentada a continuación, en donde después de describir brevemente las tecnologías, se identifica barreras comunes para las tres tecnologías y luego las barreras específicas concernientes a cada una. De igual forma se procederá con las medidas identificadas, dividiéndolas en medidas comunes y específicas para cada tecnología.

5.2.1. Descripción general de las tecnologías priorizadas

5.2.1.1. Descripción general de la tecnología A1: “Captación de gas de relleno sanitario o de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético⁴⁰”

⁴⁰ En el caso de la Provincia de Santo Domingo, la tecnología de captación de gas sería aplicada en botaderos de basura a cielo abierto. Existen seis botaderos de basura a cielo abierto ya cerrados y uno en operación. El nuevo Complejo Ambiental de Santo Domingo manejará el primer relleno sanitario de esta región. El nombre de la tecnología, referente a la captación de gas de relleno sanitario es genérico, pero se aclara que para el caso de Santo Domingo la captación de gas sería realizada en botaderos de basura a cielo abierto.

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica depositada en los rellenos sanitarios y en botaderos de basura a cielo abierto genera la producción de un gas compuesto aproximadamente por 55% de metano (CH₄), 40% de gas carbónico (CO₂) y 5% de nitrógeno (N₂) más otros gases minoritarios. El gas recuperado es un gas combustible y tiene potencial de aprovechamiento energético (OLIVEIRA, 2000, 2004). En lugar de que el gas sea simplemente emitido a la atmósfera, éste puede ser drenado, canalizado, filtrado y encaminado para equipos de generación eléctrica (motores de combustión interna y mini turbinas a gas acoplados a generadores, células a combustible, etc.) y/o a equipos de aprovechamiento térmico (co-generación, cocción, iluminación, calefacción).

Esta tecnología no incentiva la creación de rellenos sanitarios (peor de botaderos de basura a cielo abierto) per se, sino, el aprovechamiento energético del gas generado en rellenos sanitarios y en botaderos de basura ya existentes, con o sin infraestructura para captación del gas. Si el relleno sanitario o botadero de basura no cuenta con las instalaciones para la captación del gas, esta tecnología igualmente puede ser adaptada al lugar (perforación de pozos, instalación de ductos, etc.). Si el relleno sanitario ya cuenta con la infraestructura para captación de "gas de relleno sanitario" y se acostumbra la quema simple del gas en una antorcha o *flare*, la alternativa tecnológica propuesta para la mitigación de GEI es el aprovechamiento energético de este gas como combustible para generación eléctrica.

Esta tecnología ya ha sido usada en el país, por ejemplo, se la usó para extraer el gas generado en el antiguo botadero a cielo abierto de Zámbriza, cercano a la ciudad de Quito. En el mencionado proyecto, el gas capturado es simplemente quemado y hasta la actualidad no se ha implementado la etapa de aprovechamiento energético que estaba inicialmente contemplada en el plan de acción (ARA CARBON FINANCE GMBH, 2007). Se conoce que esta etapa no se ejecutó debido a problemas técnicos con la calidad del gas extraído (alta humedad y bajo poder calórico) y debido a dificultades en el mercado de comercialización de electricidad para este tipo de aplicaciones (SORIA, 2011). Se demandarían de tratamientos adicionales para que este gas pueda ser usado en motores de combustión interna, lo cual disminuye la rentabilidad del proyecto (OLIVEIRA, 2000).



Figura 2: Perforación de pozos para instalación de ductos en el antiguo botadero de Zámbriza.



Fuente: Alquimatec, 2007

Figura 3: Instalación de ductos para captación de gas en el antiguo botadero de Zámbriza.



Fuente: ARA CarbonFinanceGmbH, 2007

Figura 4: Antorcha o “flare” usada para quemar el gas recuperado en el antiguo botadero de Zámbriza.

5.2.1.2. Descripción general de la tecnología A2: “Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás”

Los RSM pasan por diversas etapas de clasificación manual y mecánica en donde se separan las fracciones orgánicas, plásticos, vidrios, metales y otros residuos no aprovechables. Cada fracción, excepto la no aprovechable, es susceptible a reciclaje y re uso, aliviando la demanda por materia prima nueva en el mercado.

El fundamento de la biodigestión es la acción bacteriana sobre la fracción orgánica de los RSM, que en un medio anaeróbico (sin presencia de oxígeno) la descompone y la convierte en biogás, biol y lodos de residuo. El biogás es un gas combustible que está formado por 55 – 75% de metano (CH_4), 30 – 45% de dióxido de carbono (CO_2), y otros gases minoritarios como ácido sulfhídrico (H_2S) (0 - 0,5%), nitrógeno (N_2) (0 – 5%), hidrógeno (H_2) y trazas de monóxido de carbono (CO) (HILKIAH IGONI et al., 2008). El poder calórico inferior (LHV) del biogás estará en función de la cantidad de metano presente, y en media su valor es 23 MJ/Nm^3 (HILKIAH IGONI et al., 2008; PIPATMANOMAI et al., 2009; SALOMON; SILVA LORA, 2009).

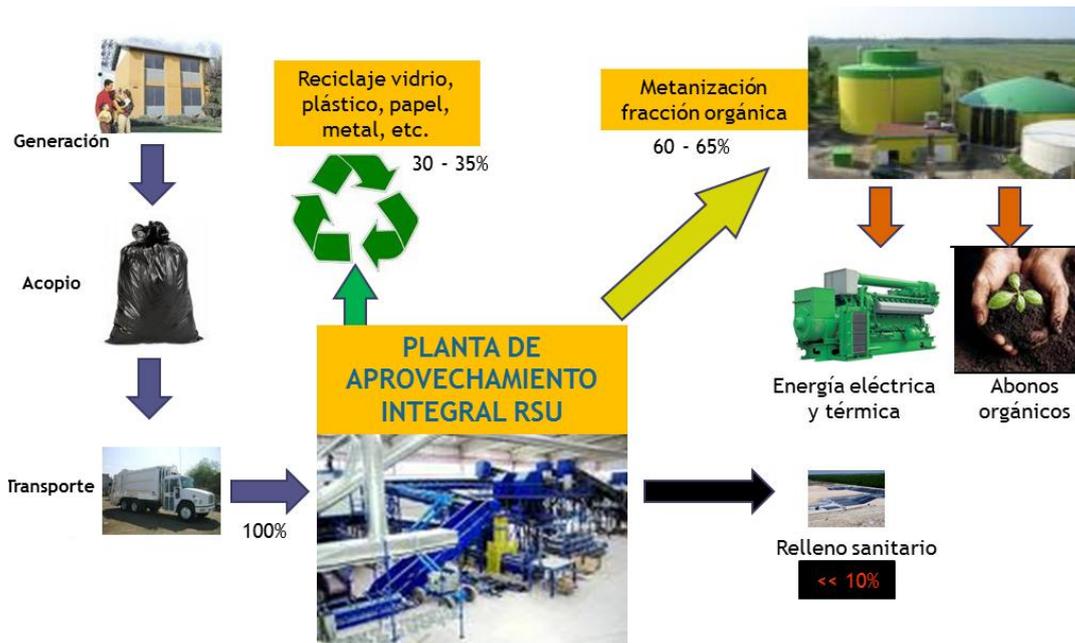


Figura 5: Representación de la línea tecnológica MBT con generación eléctrica.

Fuente: ENYATEC

Debido a que el biogás es un combustible con un importante valor calórico, éste puede ser usado como combustible para motores de combustión interna, turbinas a gas, pila a combustible, etc. La energía mecánica generada puede ser convertida a energía eléctrica usando generadores eléctricos. También puede ser usado para aplicaciones térmicas como producción de vapor, secadores, calefacción, etc.

Información más detallada sobre el proceso de biodigestión, la correlación entre sus variables biológicas y mecánicas, las características constructivas de un biodigestor y los métodos de generar energía eléctrica a partir de biogás puede ser obtenida de referencias como: REITH *et al.*, (2003), BAERE, DE, (2008), etc.

A nivel mundial la tecnología MBT tiene un estado de madurez avanzado (BAERE, DE, 2008; BOVEA *et al.*, 2010; HILKIAH IGONI *et al.*, 2008; PIRES *et al.*, 2011), sin embargo, no existen experiencias previas en Ecuador que apliquen toda la línea tecnológica descrita. Únicamente existen experiencias de biodigestión, usando residuos agropecuarios, para la generación de biogás. En el Proyecto Demostrativo de Biodigestión instalado en el Jardín Botánico de la Ciudad de Quito, el biogás es usado como combustible para una cocineta y para alimentar un pequeño motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico que produce electricidad para iluminar dos focos (MEER/ENYATEC, 2011). Existen en Ecuador varios biodigestores de gran volumen (en Santo Domingo de los Colorados de la empresa PRONACA, en el Cantón Lasso de una empresa florícola, etc) pero el biogás producido no es usado para generación eléctrica (MEER/ENYATEC, 2011). Sin embargo, en Ecuador ya existen empresas privadas que tienen la capacidad de hacer diseños definitivos y de construir plantas MBT para tratamiento de RSM.

5.2.1.3. Descripción general de la tecnología A3: “Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.”

A partir de los RSM es posible la recuperación de combustibles sólidos (SRF⁴¹ o RDF⁴²) mediante procesos de separación mecánica (clasificación por tipo de material, secado artificial, picado o pelletización, compactación, briquetado, entre los más importantes) y procesos de secado biológico (biodrying) (VAINIKKA *et al.*, 2012; MORCOS, 1989). Es posible elaborar diversos RDF con altos contenidos de carbono biogénico, esto con el fin de tener un sustrato con mayor valor calórico que los RSM. El RDF puede ser preparado a partir de residuos domiciliarios, comerciales y de algunos industriales. Dependiendo de la fracción de RDF co-incinerado, se puede evitar el consumo de bunker, fuel oil y carbón peat en una cantidad estimada de energía de 380 kWh/ton RSM tratado (FOSTER WHEELER, 2006). Esta es una tecnología comercialmente madura con una proyección de vida útil de 25 años (FOSTER WHEELER, 2006; GENON; BRIZIO, 2008).

La energía necesaria para el biodrying es generada por la descomposición aeróbica exotérmica de la materia orgánica biodegradable. La característica principal de los RDF es poseer alto contenido de plásticos y celulosa principalmente debido a su alto poder calórico (AL-SALEM *et al.*, 2009). La humedad del RDF es aproximadamente 12% (UNFCC, 2011).

Según varias referencias: (“Appendix 5 - *European Directive 2000/76 (waste incineration)*”, 2006), (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012), los combustibles RDF tienen 3 aplicaciones principales: a) co-incineración en plantas termoeléctricas para reemplazar a una parte del combustible principal; b) co-incineración en plantas de cogeneración usando incineradores de lecho fluidizado con burbujeo (BFB⁴³) y con circulación (CFB⁴⁴); c) co-incineración en hornos para fabricación de cemento (*kiln*).

La co-incineración es entendida como el proceso de incineración de combustibles derivados de residuos (RDF, SRF), conjuntamente con combustibles tradicionales líquidos, sólidos o gaseosos en procesos industriales que típicamente demandan incineración, combustión en calderas, etc. (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012).

Este trabajo estudia la posibilidad de la co-incineración de RDF en hornos para fabricación de cemento. El combustible RDF entra en el proceso de producción de cemento en lugar de una fracción del combustible tradicional. El RDF es co-incinerado en los hornos de fabricación de cemento a altas temperaturas (1.200°C), disminuyendo así el uso de combustibles tradicionales. Las cenizas generadas son re-utilizadas en la fabricación de cemento sin afectar su calidad (GENON; BRIZIO, 2008; KIKUCHI, 2001; PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009). En Ecuador, los combustibles tradicionales en las cementeras son diésel #2, diésel #6 (fuel oil), bunker e inclusive carbón mineral importado.

A nivel mundial esta es una tecnología madura (BOVEA *et al.*, 2010; FOSTER WHEELER, 2006; GENON; BRIZIO, 2008), sin embargo en Ecuador no existen experiencias previas con este tipo de línea tecnológica para el tratamiento de RSM.

⁴¹ SRF: *Solid Recovered Fuel*, o *Specified Recovered Fuel*. La diferencia entre SRF y RDF es que los primeros deben cumplir con normas específicas como la CEN-TC 343.

⁴² RDF: *Refuse-Derived Fuel*

⁴³ BFB: *Bubbling Fluidized Bed*

⁴⁴ CFB: *Circulating Fluidized Bed*

5.2.2. Identificación de barreras

Como fue descrito en el punto 1.2, debido a que esta consultoría aborda tres líneas tecnológicas para el aprovechamiento energético de los RSM, que comparten barreras en las diferentes categorías mencionadas (barreras económicas/financieras, barreras de política/regulación, barreras de capacidad institucional/organizacional, y barreras sociales), se decidió desarrollar en primero las barreras comunes a las tres tecnologías. Posteriormente se desarrollará las barreras específicas para cada tecnología.

5.2.2.1. Identificación de barreras comunes para las tecnologías A1, A2 y A3.

Las barreras comunes para las tecnologías priorizadas fueron desarrolladas para dos clases: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras. Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

Barreras económicas/financieras comunes para las tecnologías A1, A2 y A3

Las principales barreras económicas/financieras comunes para las tecnologías A1, A2 y A3 son:

- a) Alto costo de capital de las tecnologías propuestas. La inversión inicial es alta y esta constituye una de las principales barreras. Otros gastos anuales como de operación & mantenimiento, pagos por pago de créditos, etc., pueden ser cubiertas total o parcialmente con la venta de energía eléctrica, venta de materiales reciclados y venta de abono (para tecnología MBT). Es decir, la mayor barrera financiera es cubrir la inversión inicial.
- b) Prioridad de la inversión para otros sectores. La prioridad para pago de deudas adquiridas inhibe el financiamiento de nuevas infraestructuras, especialmente de aquellas consideradas no urgentes. Municipios pequeños optan por financiar primero obras en agua potable, alcantarillado, vías de comunicación y otras obras de infraestructura local.
- c) Riesgo en el financiamiento. Asumir una nueva deuda, de alto valor, para una tecnología no probada anteriormente en el país, representa un alto riesgo para el inversor y para quien recibe el financiamiento.
- d) Empresas del sector privado, nacionales y extranjeras, muestran aversión al riesgo que el financiamiento de una de estas tecnologías representa (especialmente de A2 y A3), debido a todas las barreras políticas/regulatorias y a las barreras institucionales/organizacionales expuestas en la secuencia.
- e) Inversores privados esperan altas tasas de retorno. Los inversores privados que tendrían interés en desarrollar este tipo de tecnología esperan tasas de retorno superiores a las tasas sociales (superiores al habitual 8 - 10% considerado como tasa social (MOREIRA; ESPARTA, 2006; WORLD BANK, 1999))que se manejan en

el sector estatal para financiar servicios públicos, como la disposición final de RSM en rellenos sanitarios, agua potable, alcantarillado, etc. Esta barrera aplica en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Chimborazo.

- f) Dificultad de los Municipios (Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs⁴⁵)) en conseguir financiamientos en bancos públicos y privados debido a la inexistencia de financiamientos similares previos en Ecuador que sirvan como referencia. Por ejemplo, el BEDE, importante financiador de proyectos municipales, no ha financiado ningún proyecto con estos tipos de tecnología aún.
- g) Municipios pequeños⁴⁶ (e inclusive medios y algunos grandes), no tienen capacidad de auto financiar grandes inversiones. Para financiar proyectos de RSM, éstos dependen del soporte económico que brinda el Programa Nacional de Gestión Integral de RSM (PNGIRS) perteneciente al Ministerio de Ambiente (MAE). La nueva administración del PNGIDS considera incluir hasta el 2017 el aprovechamiento energético de los RSM.
- h) Incentivo insuficiente en la tarifa especial para la electricidad producida a partir de biomasa. Actualmente la electricidad producida en este tipo de plantas, menores a 5MW, recibe una remuneración de 9,60 centavos USD/kWh(CONELEC, 2011), apenas 39% superior a la tarifa para electricidad producida con hidroeléctricas (escenario base). Otras tecnologías de generación eléctrica renovable aprovechan tarifas superiores a aquellas que usan biomasa como combustible, a pesar de que tienen mayor penetración en el mercado ecuatoriano y mayor presencia en la matriz eléctrica nacional. Por ejemplo, la electricidad generada con sistemas fotovoltaicos (con 200MW instalados en Ecuador) recibe una tarifa cuatro veces mayor a la de biomasa. Esto desincentiva al inversor privado en el sector energía a partir de RSM.
- i) Incertidumbre sobre la permanencia de la tarifa especial para la electricidad generada a partir de biomasa. La regulación 04/11 del CONELEC que fija estas tarifas preferenciales tuvo vigencia hasta el 31 de diciembre de 2012. A la fecha no se conoce oficialmente sobre una prórroga, modificación a dicha regulación o expedición de una nueva, que incentive la generación eléctrica a partir de RSM.
- j) Límite establecido a la capacidad instalada de plantas de generación eléctrica renovable no convencional (hasta 6% del total de la potencia eléctrica instalada a nivel nacional entre las que se cuentan las de biomasa). Esta es una barrera poco importante hoy debido a que ese límite es amplio para la etapa inicial de difusión de tecnologías de biomasa. Sin embargo, en un futuro esto puede representar una

⁴⁵En Ecuador, el manejo de desechos sólidos y aguas residuales es competencia de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs). Así consta en el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)- Capítulo III, Art 555, "Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal... literal d".

⁴⁶En este trabajo se considera que un municipio es pequeño cuando tiene hasta 100.000 habitantes, es de medio porte cuando tiene hasta 500.000 habitantes, y municipios grandes a los que son capitales provinciales.

barrera mayor para su implementación en un escenario de transición de fuentes energéticas.

- k) Dificultad para incorporar el costo de las externalidades negativas al costo real de la tecnología del escenario base (rellenos sanitarios simples). La viabilidad financiera, que generalmente es fruto de la comparación entre los flujos de caja de los escenarios alternativos (tecnologías A1, A2, A3) y del escenario base, será mejor para las tecnologías en estudio si se incorpora el valor de las externalidades negativas causadas por los rellenos sanitarios (o de botaderos de basura) en los respectivos flujos de caja (PERMAN *et al.*, 2011). De esto ser posible, las tecnologías analizadas se presentarían más viables financieramente en comparación al escenario base. Ejemplos típicos de externalidades negativas no incorporadas en los análisis financieros, fruto de procesos productivos, son: a) el costo del tratamiento de enfermedades respiratorias de los habitantes expuestos a la polución de termoeléctricas, plantas de incineración, vehículos, etc.; b) el costo del control de enfermedades infecciosas propagadas por ratones y mosquitos en los poblados aledaños a botaderos de basura y rellenos sanitarios; c) el costo de sustitución o reposición que significa la compra de agua potable embotellada para sustituir la oferta de agua limpia de un río o laguna que ha sido contaminada por actividades extractivistas; etc.(CHACHOUA, 2011; PERMAN *et al.*, 2011; SCHAEFFER *et al.*, 2011; VARIAN, [S.d.]).
- l) Incertidumbre sobre la permanencia, en el largo plazo⁴⁷, del financiamiento a través del incentivo Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) implementado por la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. El mercado de carbono actualmente está debilitado debido a los bajos precios de los bonos de carbono CERs, que no garantizan una fuente importante de ingreso de recursos. El ingreso por venta de (CERs) que proyectos de energías renovables pueden recibir contribuye significativamente para viabilizarlos financieramente (cumpliendo con el principio de adicionalidad financiera) (BENIOFF *et al.*, 2010; UNFCCC, 2012a; etc.). Los bajos precios de carbono pueden generar que el uso del mecanismo MDL no sea atractivo desde el punto de vista económico.

Barreras no económicas/financieras comunes para tecnologías A1, A2 y A3

Las barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales que son comunes para las tecnologías A1, A2 y A3 son:

Políticas/regulatorias:

- El aprovechamiento energético de los RSM aún no es considerado una prioridad ambiental/energética que guíe la planificación estratégica de Municipios hacia el

⁴⁷Este mecanismo se encuentra garantizado hasta 2020.

camino de difusión, transferencia y aplicación de las tecnologías estudiadas. El aprovechamiento energético de los RSM no está actualmente considerado en los planes estratégicos y políticas de ninguno de los mayores Municipios en las zonas estudiadas (MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO, 2012; MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2012).

- Política de subsidios a combustibles fósiles (diesel, GLP, etc.). Proyectos de generación de energía usando combustibles alternativos, como biogás y RDF, compiten contra combustibles fósiles subsidiados por el Estado⁴⁸. El subsidio a los combustibles fósiles cubre la diferencia entre el precio de venta en el mercado local y el costo real de la importación. La importación es necesaria debido a que la oferta nacional no satisface la demanda del mercado local (BCE, 2012; PETROECUADOR, 2012). El subsidio a combustibles fósiles crea una imagen de menos rentabilidad financiera cuando proyectos de generación termoeléctrica tradicional, por ejemplo, son comparados con termoeléctricas que usen combustibles alternativos, como RSM, RDF, biomasa, etc.
- Carencia de políticas y programas que incentiven el aprovechamiento energético de los RSM. El Ministerio del Ambiente es el rector de la política ambiental⁴⁹ en Ecuador. A nivel institucional, la gestión y ejecución de Política IV – Estrategia 2, relacionada a la gestión integral de los residuos sólidos, recae en la Subsecretaría de Calidad Ambiental, a través de su Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS). El PNGIDS tiene una duración específica (vigente hasta 2017) pero la Subsecretaría de Calidad Ambiental está en el orgánico funcional del MAE. Algunos de los objetivos del PNGIDS están relacionados a incentivar y concientizar a la población para lograr separación en la fuente, promocionar el reciclaje y aprovechamiento de los inorgánicos y uso de la fracción orgánica para compostaje. Los objetivos del PNGIDS serán ampliados con el tratamiento energético de los RSM, lo que relacionará a las tecnologías estudiadas en el presente proyecto. El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV), al ser una política de aplicación general, no se refiere de manera específica a estas tecnologías, a pesar de que de forma tácita (al hablar de gestión integral) deja abierta la posibilidad para estos emprendimientos (SENPLADES, 2009). De igual forma la Estrategia Nacional para el Cambio Climático del Ecuador (ENCCE) 2012 – 2025, resalta la importancia estratégica de la mitigación de GEI en el sector residuos (sólidos y efluentes líquidos), sin embargo ésta no indica de forma explícita al aprovechamiento

⁴⁸Por ejemplo, durante la crisis del sector eléctrico en 2009, ocasionada fundamentalmente por el estiaje extremo en la cuenca amazónica entre los meses de noviembre y enero, la demanda eléctrica fue satisfecha gracias a la implementación de 7 nuevas plantas termoeléctricas (22MW cada una) y 250MW adicionales alquilados para tal fin. Durante este período la importación de diésel para suplir a las termoeléctricas fue de 1,7 millones de barriles, que debido al subsidio de combustibles en el mercado local, esto significó un costo para el país de aproximadamente 92 millones de dólares (diferencia entre el ingreso por ventas en el mercado local y el costo de importación) (BCE, 2012; CONELEC, 2012).

⁴⁹ Política IV : “Prevenir y controlar la contaminación ambiental para mejorar la calidad de vida...”; Estrategia 2 (“Manejar integralmente los desechos y residuos”)

energético de los RSM como una de las formas posibles para conseguir eso (Según la ENCCE 2012 -2025; Ver MAE, 2012).

- Carencia de políticas de incentivo por parte del Estado para vencer la inercia del escenario base, caracterizado por el uso generalizado de rellenos sanitarios. Uno de los objetivos específicos del PNGIDS, vigente hasta 2017, es “promover la implementación de rellenos sanitarios”. La nueva administración del PNGIDS ha replanteado los objetivos del Programa, con la inclusión de métodos de disposición final que incluyan el reciclaje intensivo mediante plantas de clasificación de residuos de alta eficiencia, y el aprovechamiento como materia prima industrial y fuente energética renovable, de los RSM. Esto significa que, hasta 2017, el MAE permitirá la operación de los actuales rellenos sanitarios y la construcción de nuevos, en los casos en los que se descarte el aprovechamiento energético de los residuos, o bien se justifique su presencia complementaria las plantas de valorización energética.
- Dificultad en llevar a cabo un remplazo prematuro del capital o tecnologías no amortizadas. Aunque existiese la voluntad política de abandonar el actual modelo de disposición final de RSM (rellenos sanitarios) y pasar a adoptar tecnologías de aprovechamiento energético de RSM, es posible que no sea factible una rápida difusión de la tecnología desde el punto de vista económico (BOLDT *et al.*, 2012). Para explicar esto Boldt *et al.*, (2012) cita lo siguiente: “Si, por ejemplo, el objetivo es reemplazar bienes, cuya vida útil es prolongada –como refrigeradores o plantas de generación de electricidad, la instalación de nueva tecnología podría implicar costos adicionales si se hace antes del desgaste de la antigua” (BOLDT *et al.*, 2012).
- Falta de incentivo a la generación eléctrica a partir de RSM por parte del Ministerio de Productividad (MIPRO). El MIPRO no tiene competencia en el sector energético, sino en el productivo. Con relación a RSM, este Ministerio al momento solo ha desarrollado actividades con empresas de reciclaje.
- Falta de planificación estratégica en las empresas generadoras estatales y privadas que no consideran aún a los RSM entre sus fuente de energía para generación eléctrica. Por ejemplo, la Corporación Electricidad del Ecuador (CELEC), entidad que agrupa a las empresas generadoras estatales y otras instituciones del sector eléctrico, no contempla en sus planes de expansión la generación eléctrica a partir de RSM. Tampoco el Instituto Nacional de Preinversión (INP) considerará a los RSM en el estudio del potencial de bioenergía que desarrollará en breve.
- Autoridades municipales procuran réditos políticos en el corto plazo. Muchas veces las autoridades no planifican las obras estratégicamente pensando en el largo plazo, sino en el inmediato y corto plazo, el cual les brinda mayor beneficio político (reelección del cargo o permanencia del partido político en el poder). En este sentido, una inversión en una de las tres tecnologías seleccionadas está asociada a períodos de construcción mayores (1 – 2 años)⁵⁰ en comparación a los tiempos de construcción de rellenos sanitarios (línea base), mismos que pueden estar

⁵⁰Sin considerar etapas de diseño y licenciamiento ambiental.

operativos en tiempos de construcción menores a un año⁵¹(HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, 2004; ZANETTE, 2009).

- Ausencia de ordenanzas municipales orientadas a la generación eléctrica utilizando RSM. Únicamente se han desarrollado planes de desarrollo territorial (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización - COOTAD), que contemplan el manejo de residuos, sin especificar cuál debe ser la tecnología a emplearse (GOBIERNO DE ECUADOR, [S.d.]).
- Falta de coordinación y estrategias conjuntas entre Municipios vecinos. Se observó en la provincia de Chimborazo, que existe ausencia de coordinación entre cantones cercanos lo cual impide la formación de mancomunidades. En una mancomunidad el tema del tratamiento final de los RSM es responsabilidad de todos sus municipios integrantes. Esto supone mayor capacidad operativa, menos gastos al construir y operar una planta centralizada de aprovechamiento energético de RSM de mayor tamaño. Esto también implica demoras en los plazos previstos o incluso podría significar la no realización de la iniciativa propuesta.
- Desinterés de las empresas de generación eléctrica para producir electricidad usando RSM. Por ejemplo, la CELEC EP, que agrupa a las generadoras eléctricas estatales, dada su competencia para desarrollar plantas de energía de cualquier tipo a nivel nacional, al momento no tiene proyectos en desarrollo usando las tecnologías estudiadas. Tampoco tienen proyectos del tipo el CNEL y CENACE, que se encargan de la distribución, comercialización y control del sistema eléctrico ecuatoriano respectivamente. El CNEL y CENACE no son actores principales en el corto plazo, pero tendrán participación importante en el largo plazo.
- Falta de injerencia de otros Ministerios y organismos gubernamentales en el tema de residuos sólidos urbanos. Actualmente, el Ministerio del Ambiente es el único que tiene nexos directos con el tema a través del PNGIDS, a pesar de que los RSM también son fuente de materias primas y fuente de energía.
- No existe una normativa específica que regule plantas de generación eléctrica a partir de RSM en el Ecuador. Este tipo de regulación no está considerada en ninguna de las siguientes leyes, decretos y acuerdos relacionados directamente al tema de RSM: Ley de Gestión Ambiental, Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA) – Libro VI-anexo 6, Acuerdo Ministerial 031 del MAE - Artículo 4.12.3.1.
- La normativa a nivel de Gobiernos Autónomos Descentralizados de las provincias de Chimborazo y Santo Domingo de los Tsáchilas, no considera aún la implementación de alguna tecnología para generación de energía a partir de sus RSM.

⁵¹Sin considerar etapas de diseño y licenciamiento ambiental.

- SENPLADES, como la institución gubernamental encargada de planificación, se encuentra reorientando la política nacional estratégica hacia el aprovechamiento energético de RSM, por disposición presidencial.
- Ausencia de un plan de expansión del sector eléctrico que considere plantas de aprovechamiento energético de RSM. El Plan Maestro de Expansión del Sector Eléctrico 2012 -2021 elaborado por el MEER y CONELEC, no considera a esta fuente energética en su visión de largo plazo (CONELEC, 2012).

Capacidad institucional/organizacional:

- Desconfianza frente a las nuevas tecnologías existente en técnicos responsables del tema RSM en los municipios. En la fase inicial de difusión de tecnología o de “despegue” es común observar esta barrera. “Aunque la tecnología hubiera sido demostrada y utilizada en el extranjero, es posible que los clientes locales no confíen en la solución, ya que no ha sido demostrada localmente bajo condiciones locales específicas” (BOLDT *et al.*, 2012).
- Falta de capacitación técnica sobre tecnologías de aprovechamiento energético de RSM en las autoridades municipales (generalmente Direcciones de Higiene o Comisarías Municipales), autoridades de Ministerios y otras instituciones gubernamentales encargadas del tema de RSM. El soporte técnico y capacitación incluida en el convenio para desarrollar Sistemas de Gestión Integral de Desechos Sólidos (SIGDS) entre los municipios y el Programa Nacional de Gestión Integral de RSM (PNGIDS) contemplará a futuro tecnologías de aprovechamiento energético, para solventar la carencia de técnicos en dicha materia. Esta capacitación abarca, en términos generales, aspectos referentes a las etapas de recolección, transporte y disposición final. Al no haber plantas similares⁵² en el país, la familiaridad con la tecnología es una meta difícil de ser alcanzada, por ahora.
- Falta de claridad entre instituciones públicas sobre las competencias de cada una en el tema de aprovechamiento energético de RSM. Dado que en Ecuador el manejo de desechos sólidos y aguas residuales es competencia de los municipios, ninguna entidad gubernamental o empresa privada puede desarrollar proyectos de aprovechamiento energético sin el aval y consentimiento de uno de los 221 municipios del país. De esta forma, por ejemplo, pese al interés del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) en desarrollar proyectos de generación

⁵²Al momento, la iniciativa más avanzada en este sentido se localiza en el cantón Chone, donde el municipio es gestor del proyecto de implementación de una planta de aprovechamiento energético de los RSM, usando gasificación & pirólisis de la fracción orgánica, con una capacidad de procesamiento de RSM de 150 Ton/día y una potencia eléctrica instalada de 10,7 MW. Esta cuenta con la aprobación del Título Habilitante por parte del CONELEC (entidad reguladora de proyectos de generación del sector eléctrico), y espera ser construida a partir del 2013.

eléctrica usando estas tecnologías, no es factible hacerlo sin el visto bueno de los Municipios. Por otro lado, dado que el MAE tiene la competencia legal para asumir todas las competencias que se relacionen a la gestión integral de RSM (GOBIERNO DEL ECUADOR, 2011), las actividades relacionadas a la gestión integral de RSM deberían recibir una licencia ambiental por parte del MAE. Por otro lado, también el CONELEC puede licenciar proyectos de generación eléctrica que usen como combustible la fracción orgánica de los RSM debido a que este organismo es calificado como Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable designada por el MAE para este tipo de proyectos. Otras instituciones y dependencias públicas tampoco tienen competencias específicas sobre el tema, este es el caso de CELEC, MIPRO, Dirección de Cambio Climático del MAE.

- Falta de investigación en organismos gubernamentales para evaluar estas tecnologías. El INER (Instituto Nacional de Energías Renovables), creado a inicios del 2012, aún no ha desarrollado proyectos de investigación sobre generación eléctrica a partir de residuos sólidos. El portafolio de proyectos que el INER propuso a la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) para ejecución en 2013, no considera la generación de energía a partir de RSM.
- Falta de investigación sobre las tecnologías para aprovechamiento energético de RSM en universidades ecuatorianas y empresas privadas de capital nacional o mixto.
- Resistencia a la innovación en algunas autoridades municipales encargadas del tema de RSM. Propuestas innovadoras para implementar sistemas más avanzados de gestión integral de RSM, que incluyan tecnologías para su aprovechamiento energético, pueden ser percibidas como una crítica al trabajo realizado de gerenciamiento de RSM en su municipio. Otra percepción es la de riesgo de perder el puesto de trabajo o las responsabilidades sobre el tema de RSM en su municipio.
- Falta de conocimiento de las autoridades municipales (generalmente Direcciones de Higiene o Comisarías Municipales) en el tema de RSM sobre las regulaciones del CONELEC acerca de su atribución y poder para emitir licencias ambientales para proyectos de generación eléctrica que usen biomasa (fracción orgánica de los RSM), así como de aspectos regulatorios propios del sector eléctrico. El CONELEC exige documentación técnica, jurídica, financiera y ambiental para otorgar un título habilitante como generador eléctrico a un Municipio. Para ello, el Municipio deberá crear una empresa de generación eléctrica, con autonomía administrativa y financiera, que le permita emprender un proyecto de diseño y construcción de planta de energía a partir de RSM. Esta vía es uno de los caminos que los Municipios tienen para licenciar plantas de aprovechamiento energético en sus cantones. A falta de un cuerpo legal orgánico, específico para el desarrollo de este tipo de energías renovables no convencional, las leyes, reglamentos y regulaciones del CONELEC, que se refieren puntualmente a la generación con biomasa, son las más aplicables por el momento, enfocando los proyectos en el tema de generación eléctrica.

- Mecanismos insuficientes para facilitar la cooperación en asistencia técnica desde MAE/MEER hacia los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs). Este tipo de barrera, fue una de las más mencionadas en el Taller de Análisis de Barreras (MAE/ENYATEC, 2012), donde los representantes de GADs dejaron en evidencia una débil coordinación institucional con los Ministerios involucrados MAE/MEER. Se citó también la baja capacidad de ejecución que tienen los GADs para administrar proyectos como una planta de aprovechamiento energético de RSM. Esta capacidad reducida no les permite emprender proyectos del tipo en forma independiente.

Técnicas:

- Carencia de una norma a nivel nacional que establezca parámetros técnicos para las tecnologías de aprovechamiento energético.
- El personal técnico encargado del tema de RSM en los Municipios muestra poca confianza en las tecnologías propuestas. Muestran escepticismo a su efectividad a pesar del comprobado éxito en el exterior.
- Operación a plena carga debe ser garantizada para viabilizar económicamente al proyecto. Las tecnologías seleccionadas necesitan procesar una cantidad mínima de RSM por día (la recomendada por el fabricante) para ser viables económicamente. Operar con cantidades menores a las de la capacidad nominal de planta se traduce en bajos factores de capacidad (menos horas de operación a plena carga al año), generando por ende menos electricidad, y así menores retornos económicos por su venta.
- Poca experticia técnica sobre tecnologías de aprovechamiento energético en profesionales de las áreas relacionadas a la gestión de RSM, tanto en Municipios como también en Ministerios (MAE, MEER)
- Pocos profesionales capacitados en tecnologías de aprovechamiento energético trabajando en el sector privado de consultoría energética y ambiental, y en el sector universitario (púbico y privado).
- Limitada oferta de las tecnologías analizadas en el país. Existen empresas nacionales capacitadas para diseñar y construir este tipo de plantas, pero al no existir la demanda interna estos diseños no han sido llevados a la práctica. Empresas extranjeras ofertan estas tecnologías a nivel mundial, pero al no existir la demanda interna éstas no han hecho suficiente promoción en Ecuador.

Sociales:

- Falta de concientización y educación ambiental en la población. Al desconocer los fundamentos tecnológicos, factores y productos de las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM, la población puede manifestar oposición

contra estas. Esta oposición es clara por ejemplo, cuando se intenta construir un nuevo relleno sanitario debido a los impactos locales que estos usualmente ocasionan. Si la población no está bien informada puede pensar que las tecnologías estudiadas también causan efectos similares o peores a los que un relleno sanitario genera.

- Conflictos sociales originados por minadores y recicladores informales quienes desconocen las ventajas de pasar a trabajar en una planta con una de las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM. Se evidenció que existen minadores que preferirían continuar con su modo de vida a pesar de estar expuestos a condiciones de alto riesgo sanitario a cambio de “ventajas” como independencia laboral, horarios flexibles y otros aspectos similares (ENYATEC *et al.*, 2011).
- Empresas recicladoras no están capacitadas para aprovechar todos los materiales recuperados durante etapas de separación de RSM previas al aprovechamiento energético. Por ejemplo, el papel y cartón húmedo, el plástico duro o embalajes contaminados no son aprovechados pese a que han sido separados como material reciclable. Esto disminuye los ingresos por la venta de reciclables que la planta espera recibir.
- Oposición de la población al incremento del pago por el servicio de recolección y disposición final de RSM en cada Municipio. Si la implementación de una nueva tecnología significa incrementos en el pago del servicio mencionado pueden presentarse manifestaciones populares de rechazo a la tecnología. Esto se constató, por ejemplo, en la visita técnica a los cantones Chambo y Guano, en la Provincia de Chimborazo, donde la presión comunitaria obligó a las autoridades a rectificar el alza en el cobro de planilla de servicios básicos en 2012.

5.2.2.2. Identificación de barreras específicas para las tecnologías A1, A2 y A3.

A continuación se detalla las barreras específicas para cada tecnología (A1, A2 y A3). Al igual que las barreras comunes, las barreras específicas también fueron clasificadas en: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras. Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

La especificidad de estas barreras obedece tanto a las características propias de cada tecnología al (tipo de productos, beneficios y retornos económicos de cada una), así como también a las especificidades de la provincia que sirve como entorno para el análisis (Santo Domingo de los Tsáchilas o Chimborazo).

5.2.2.3. *Identificación de barreras específicas para la Tecnología A1: “Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético”⁵³*

Barreras económicas/financieras para tecnología A1: Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético”.

- El valor inicial de la inversión es alto en comparación a llevar a cabo la quema simple del gas captado. Aquí se considera rubros por desarrollo e ingeniería del proyecto, implementación y mano de obra, perforación de pozos de captura y extracción de gas de relleno sanitario, estaciones de compresión y regulación de presión, filtros de H₂S y deshumidificadores para elevar el poder calórico, compra e instalación de la planta de generación eléctrica, entre los más importantes. Los costos de capital de la implementación del sistema de captación de gas varía entre 628.000 USD para 1 millón de toneladas métricas de RSM, 2´088.000 USD para 5 millones de toneladas métricas de RSM, 3´599.000 USD para 10 millones de toneladas métricas de RSM(HENRIQUES, 2004). En resumen, costos medios de inversión para sistemas de recuperación de gas de relleno sanitario son: 200 – 400 USD/kWe para el sistema de recuperación, 200 – 300 USD/kWe para el sistema de succión, 850 – 1.200 para el sistema de adecuación y uso del gas (HENRIQUES, 2004). Un costo de inversión total medio es de 1.550 – 2.250 USD/kWe(HENRIQUES, 2004).
- Los costos de operación y mantenimiento también son elevados en comparación a solo llevar a cabo la quema simple del gas captado, y mucho más cuando el relleno sanitario opera sin captación de gas. Los costos de O&M del sistema de captación de gas varía entre 89.000 USD para 1 millón de toneladas métricas de RSM, 152.000 USD para 5 millones de toneladas métricas de RSM, 218.000 USD para 10 millones de toneladas métricas de RSM(HENRIQUES, 2004). La calidad del gas generado y capturado en el relleno sanitario puede⁵⁴ demandar de tratamientos posteriores antes de su uso para eliminar impurezas y componentes no deseados(OLIVEIRA, 2000; TEXEIRA, 2010).Existen algunas referencias, para casos brasileros, que muestran que el precio de venta para la energía eléctrica generada a partir de gas de relleno sanitario es menor a los costos de captación y puesta a punto de este gas (HENRIQUES, 2004). Mayores detalles son listados en las barreras no económicas/financieras. La literatura científica reporta casos en los que el motor debe ser cambiado cada 3-5 años debido al desgaste ocasionado por la calidad de este gas (PIPATMANOMAI *et al.*, 2009).

⁵³ En el caso de la Provincia de Santo Domingo, la tecnología de captación de gas sería aplicada en botaderos de basura a cielo abierto. Existen seis botaderos de basura a cielo abierto ya cerrados y uno en operación. El nuevo Complejo Ambiental de Santo Domingo manejará el primer relleno sanitario de esta región. El nombre de la tecnología, referente a la captación de gas de relleno sanitario es genérico, pero se aclara que para el caso de Santo Domingo la captación de gas sería realizada en botaderos de basura a cielo abierto.

⁵⁴ No se conoce sobre mediciones de humedad, de contenido de H₂S, de valor calórico y de trazas de siloxanos, en el gas generado en el relleno sanitario de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Barreras no económicas para tecnología A1: Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético” en Santo Domingo de los Tsáchilas.

Santo Domingo de los Tsáchilas cuenta con seis botaderos de basura a cielo abierto ya cerrados y uno en operación. El nuevo complejo ambiental que considera el uso de relleno sanitario aún no se encuentra en operación.

Políticas/regulatorias:

- Falta de normas técnicas para este tema. El INEN no ha desarrollado ninguna norma que regule los parámetros técnicos sobre perforación de pozos para captación de biogás en rellenos sanitarios o botaderos ya cerrados, tampoco sobre los detalles que deben cumplirse para la captación, mejoramiento y uso de este gas en equipos de transformación de energía.

Institucionales/organizacionales:

- Falta de capacitación propia en los Municipios sobre las alternativas para capturar el gas generado al interior del relleno sanitario y de botaderos de basura, y sobre las tecnologías de aprovechamiento energético.
- Falta de asistencia técnica en el tema de aprovechamiento energético del gas de relleno sanitario o del gas de botadero por parte de Ministerio de Energía (MEER) y Ministerio de Productividad (MIPRO) a los encargados municipales del tema de rellenos sanitarios encargados de implementar estos sistemas. Las capacitaciones que el MAE/PNGIDS brinda a los Municipios si bien se enfocan en el manejo integral de los RSM, éstas no contemplan las tecnologías de aprovechamiento energético. Esta asistencia técnica tiene especial enfoque en el tema de construcción y manejo de rellenos sanitarios convencionales.
- Carencia de trabajadores especializados en el manejo de esta tecnología. Esta es una barrera menor, pues luego de un corto tiempo de trabajo los trabajadores se familiarizan con esta tecnología que no tiene gran complejidad.

Técnicas:

- Bajo volumen de “biogás” recuperado en los botaderos de RSM de Santo Domingo (6 cerrados y uno en operación) de los Tsáchilas. Obedece a dos razones: a) baja eficiencia en la recuperación del gas generado al interior del botadero; y, b) aún reducida generación de metano. Esta barrera técnica afecta la viabilidad económica, generando a su vez una barrera económica para esta tecnología.

- Con relación al primer punto, estudios científicos a nivel mundial estiman que la eficiencia de recuperación del CH₄ generado en rellenos sanitarios varía entre 10% y 85%, siendo lo habitual valores entre 35 y 40% (IPCC, 2006b). Las mayores eficiencias están relacionadas a rellenos sanitarios cerrados, con flujos de gases reducidos, recuperación bien diseñada y operada, cubiertas más gruesas y menos permeables (IPCC, 2006b). Esta tecnología es más común en países desarrollados. Por otro lado, las eficiencias bajas pueden estar relacionadas a rellenos sanitarios aún en operación y con cubiertas permeables o arenosas (IPCC, 2006b), similar a las empleadas en los rellenos sanitarios de Ecuador. La recuperación de gas en un botadero de basura a cielo abierto será siempre menor que para un relleno sanitario.
- Con relación al segundo punto, los botaderos de basura de Santo Domingo no producen suficiente biogás debido a su calidad de botadero de basura a cielo abierto, es decir sin compactación suficiente que garantice el ambiente anaeróbico propicio para la producción de biogás. La descomposición de la fracción orgánica de los RSM en condiciones de relleno sanitario (dependiendo del grado de compactación de los RSM, de la profundidad del cubeto y de la temperatura ambiente) puede demorar varios años. Los rellenos sanitarios generan más metano que los botaderos a cielo abierto y que botaderos controlados debido a la mayor compactación que facilita las condiciones anaeróbicas. En ese sentido, un botadero no genera tanto gas metano como un relleno sanitario controlado.
- En los botaderos más recientes la producción de gas aún es baja. La metodología del IPCC para estimar las emisiones de CH₄ proveniente de rellenos sanitarios y de botaderos de basura se basa en el método de la “descomposición de primer orden”. En este método se formula la hipótesis de que el componente orgánico degradable de los RSM se descompone lentamente a lo largo de unas pocas décadas. De aquí resulta que las emisiones de CH₄ generadas por los desechos depositados en el relleno sanitario son mayores durante los primeros pocos años siguientes a la eliminación y que, luego, éstas decaen a medida que el carbono degradable de los desechos es consumido por las bacterias responsables de la descomposición (IPCC 2006, 2006b).
- Dificultad técnica para llevar a cabo tratamientos de adecuación del gas extraído del relleno sanitario o de botaderos de basura. Debido a la calidad del gas combustible generado al interior del relleno sanitario o de botadero de basura, caracterizado por ser muy húmedo, y con alto contenido de H₂S y trazas significativas de siloxanos, el desgaste de los equipos de combustión es acelerado (DEWIL et al., 2005; PIPATMANOMAI et al., 2009). El contenido de humedad del gas generado depende de la fracción orgánica de los RSM y de la humedad propia del relleno sanitario o del botadero de basura, que a su vez es proporcional a la precipitación media y a la evapotranspiración potencial (IPCC, 2006b). No se conoce sobre mediciones de humedad del gas generado en el relleno sanitario de Santo Domingo de los Tsáchilas, pero se advierte que debido al alto contenido de la fracción orgánica, de

68% de los RSM (MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO, 2012) y a la alta humedad relativa media anual de la región de 65,2% (RETSCREEN, 2012), es muy probable que el gas extraído en estos botaderos de basura sea bastante húmedo. Esto a su vez, demanda de mayores gastos para el secado del gas hasta alcanzar niveles permisibles de humedad antes de la alimentación de motores de combustión o turbinas. Este factor puede inclusive inviabilizar económicamente el proyecto.

- Bajo poder calórico del gas recuperado (bajo porcentaje de metano en la composición). Usualmente el gas extraído de rellenos sanitarios o de botaderos de basura tiene el poder calórico más bajo entre los gases que contienen metano, como se muestra en la secuencia. El poder calorífico inferior (LHV) del gas natural varía entre 9,27 y 10,85 kWh/Nm³ según la procedencia, el biogás proveniente de tratamientos de agua de alcantarillado tiene entre 6,0 y 7,5 kWh/Nm³, el biogás producido con restos agropecuarios tiene entre 5,0 y 7,5 kWh/Nm³, y el biogás extraído de relleno sanitario varía apenas entre 4,5 y 5,5 kWh/Nm³(DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2010). Obviamente, que estos datos pertenecen a valores medios en Europa, y para el caso de Ecuador se espera que el valor calórico del gas de relleno sanitario o de botadero de basura sea algo superior debido al mayor porcentaje de la fracción orgánica, pero en ningún caso superará a los otros gases.

Sociales:

- La población asocia a la tecnología de captura y aprovechamiento de gas de relleno sanitario y de botaderos de basura con el mantenimiento de la operación de un relleno sanitario o del botadero de basura, cuya operación por se ya causa conflictos sociales(MAE/ENYATEC, 2012). Esta percepción ciudadana cambia cuando el relleno sanitario o botadero de basura, según el caso, es cerrado definitivamente y se instala la tecnología mencionada como forma de mitigación(MAE/ENYATEC, 2012).

Caso de estudio 1. Experiencia con tecnologías de extracción de gas de relleno sanitario o de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético en Ecuador.

Como referencias se mencionan algunos proyectos para la extracción y aprovechamiento energético del gas de relleno sanitario y del gas de botadero de basura.

En la Provincia de Pichincha, existe el proyecto de extracción y quema del biogás del relleno sanitario del Inga, en el Cantón Quito, en donde aún no han sido instalados los generadores eléctricos a pesar de que el proyecto ya se encuentra registrado desde enero de 2012 para la emisión y venta de Reducciones Certificadas de Emisiones (CERs, por sus siglas en inglés) (UNFCCC, 2012a). Un caso igual ocurrió en el antiguo botadero de Zámiza, que actualmente solo quema el biogás extraído, sin generar energía como era su propósito original (UNFCCC, 2012b).

En la Provincia de Guayas, se convocó a participar en el proyecto de extracción de biogás para quema y generación eléctrica en el relleno Las Iguanas de la ciudad de Guayaquil. Lamentablemente el proceso no ha tenido continuidad, aún no se contrata ni ejecuta ninguna obra (CORPEI, 2012).

En la Provincia de Azuay, se conoce que el biogás del relleno sanitario de Pichacay, de la ciudad de Cuenca, podría generar energía eléctrica en el año 2013 con una inversión estimada de 2,4 millones de USD, con una potencia instalada estimada de entre 1 – 2 MW, una vez que se completen las facilidades en construcción para este propósito (EMAC, 2012).

En la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, el proyecto del Complejo Ambiental, ubicado en el Km 35 de la vía Santo Domingo – Quevedo, no contempla la aplicación energética del biogás o de los residuos, únicamente la quema controlada. Una vez que éste entre en operación, se procederá al cierre técnico de los botaderos existentes (MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO, 2012). Posteriormente se deberán realizar estudios técnicos para evaluar la viabilidad para la extracción de biogás y para la quema controlada de biogás o generación eléctrica.

5.2.2.4. Identificación de barreras específicas para la Tecnología A2: “Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás”

Barreras económicas/financieras para tecnología A2: “Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás”

- No se ha calculado la viabilidad financiera de la implementación de esta línea tecnológica. Esto debería ser mostrado a los Municipios interesados por diferentes actores, tanto por el Ministerio del Ambiente quien es rector en el tema de gestión integral de RSM, el INER, e incluso por empresas privadas interesadas en desenvolver este tipo de proyectos en acuerdo con los Municipios.

Barreras no económicas para tecnología A2: “Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás”

Políticas/regulatorias

- La ausencia de normas técnicas específicas para regular y asistir este tipo de tecnología. El Instituto de Normalización Ecuatoriano (INEN) no ha desarrollado ninguna norma técnica para estas tecnologías.

Institucionales/organizacionales

- Dificultad en encontrar financiamiento, no solo debido al alto costo (Ver barreras comunes económicas/financieras), sino también a que no existen experiencias de financiamiento previas para plantas de biodigestión en el Ecuador. En el sector residuos, lo habitual es financiar rellenos sanitarios. Esta barrera aplica en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Chimborazo. El costo de inversión estimado de plantas MBT, diseñadas y construidas localmente, oscila entre 3,2 millones USD para una planta de capacidad de 7 ton/día, y casi 9 millones USD para una planta de capacidad de 200 Ton/día, las dos con capacidad de generación

eléctrica (MEER/ENYATEC, 2011). El apalancamiento financiero puede ser solucionado conforme se indica en el marco habilitante.

- Falta de capacitación a los encargados municipales sobre la tecnología de biodigestión anaeróbica inserida en el marco del programa de gestión integral de los RSM. A pesar de que en los municipios se conoce algo sobre biodigestión de residuos agropecuarios (experiencias en colegios técnicos y haciendas), existe poco conocimiento sobre la aplicación de estos principios en el campo de los RSM. Se desconoce los principios de funcionamiento, la forma de operación y los productos esperados de la tecnología de biodigestión usando como materia prima los RSM. Los Municipios no poseen estudios técnicos propios de evaluación de esta tecnología a gran escala. Por esta razón, existe poco interés en contactar a las empresas fabricantes que detienen esta tecnología, sean nacionales o extranjeras. Esta barrera aplica en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Chimborazo.
- Inexistente o precaria aplicación de programas de separación de residuos en la fuente en las Provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y de Chimborazo. En el Municipio de Santo Domingo existen apenas proyectos piloto en algunos barrios (MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO, 2012), mientras que en los Municipios de Chimborazo no hay ningún avance para la separación de residuos en la fuente (esto fue constatado por la Consultora durante sus visitas técnicas por cada municipio). Una confiable separación de RSM en la fuente (plástico, papel/cartón, orgánico, vidrio, metal, otros) disminuiría la complejidad del desarrollo de un proyecto de planta MBT para la provincia de Chimborazo. La menor complejidad y menores especificaciones técnicas abarataría el costo de capital y de operación & mantenimiento. La inexistente o precaria separación de basura en la fuente también pone en riesgo el apropiado funcionamiento del sistema de biodigestión. Estos sistemas son sensibles a la acción de pilas, baterías, material hospitalario infectado, residuos industriales, ácidos, etc., que inhiben y retrasan la acción bacteriana (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2010; HILKIAH IGONI et al., 2008). En caso de presentarse este problema, existen soluciones como la adición de colonias de bacterias para que la actividad vuelva a la normalidad, o la adición de productos básicos para controlar la acidez interna. Esta barrera aplica en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Chimborazo.

Técnicas

- Dificultad en el transporte de residuos. Esta barrera es importante y su impacto depende del grado de separación de RSM en la fuente y del sistema organizacional a implementarse para transportar los residuos hasta la planta. La idea es optimizar la infraestructura de transporte existente para llevar hasta la planta MBT las diferentes fracciones de los RSM separados. Esta barrera aplica en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Chimborazo.

Sociales

- Población indígena cerrada a cambios. Esto fue mencionado en el Taller de Análisis de Barreras y Marco Habilitante en donde estaban representantes de la provincia de Chimborazo (MAE/ENYATEC, 2012). Para confirmar o negar esta afirmación, se requiere abordar temas que escapan al alcance del presente estudio. Esta barrera aplica únicamente en Chimborazo.

Caso de estudio 2: Experiencias con plantas de tratamiento mecánico- biológico (MBT) en Ecuador.

Por iniciativa de la Dirección de Biomasa y Cogeneración del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), desde fines del 2007 se han desarrollado algunos proyectos de investigación orientados a promover el aprovechamiento de RSM para producción de biogás como combustible para generación eléctrica y térmica (MEER/ENYATEC, 2011).

La generación de energía a partir de RSM con tecnología MBT, en media y gran escala, es una alternativa tecnológica no explorada en el país. Existen apenas pequeños proyectos piloto que aprovechan energéticamente estos residuos. Una muestra tangible es el biodigestor educativo instalado por el MEER en el Jardín Botánico de Quito donde se demuestra la transformación de 130 kg/día de majada de vaca y cortes vegetales, en biogás más abonos orgánicos líquidos y sólidos (MEER/ENYATEC, 2011). Este biodigestor de 12m³ genera aproximadamente 6m³/día de biogás que es almacenado en “salchichas” de membrana geo-textil para luego ser consumido en un motor de combustión interna conectado a un generador eléctrico de 0.75 kWe y 2 hornillas de cocineta prendidas durante 2 horas (ENYATEC *et al.*, 2011).

La consultora AQUALIMPIA instaló varios biodigestores de media escala con tecnología alemana, los mayores son: a) 3.000m³ instalados en la empresa FloranaFarms S.A. en el Cantón Pedro Vicente Maldonado; b) 1.200m³ instalado en el Cantón Latacunga (AQUALIMPIA, 2010), pero no se registra ningún aprovechamiento energético.

El emprendimiento más grande de biodigestión en Ecuador fue implementado por la empresa procesadora de alimentos PRONACA S.A., que instaló en su hacienda de “Valle Hermoso”, ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsachilas, un biodigestor de 11.000m³ de volumen que produce biogás a partir de residuos de 60.000 pollos y 700 cerdos aproximadamente. El biogás generado actualmente es quemado en una antorcha. Está prevista la instalación de un grupo generador de electricidad para autoconsumo. PRONACA tiene registrados tres proyectos MDL ante la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático (UNFCCC, 2012b).

5.2.2.5. Identificación de barreras específicas para la Tecnología A3: “Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.”

Barreras económicas/financieras para tecnología A3: “Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.”

- No se ha demostrado a Cementos Chimborazo los beneficios financieros que supone la substitución de una parte de los combustibles fósiles usados tradicionalmente por combustibles reciclados sólidos (RDF, SRF, pellets, briquetas, etc.).

- No se ha calculado la viabilidad financiera de establecer una planta de procesamiento de RSM para fabricar RDF en ninguna de las dos provincias seleccionadas. Para satisfacer este primer paso se debe conocer con precisión cuál sería el volumen potencial de RDF que sería producido.

Barreras no económicas para tecnología A3: “Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.”

Políticas/regulatorias

- Ausencia de normas técnica para medir y limitar el valor de emisiones generadas con la combustión de RDF en hornos de la industria cementera.
- Ausencia de normas técnicas para la fabricación de RDF (procesos, componentes, peso, humedad, tamaño, etc.)

Institucionales/organizacionales

- Falta de capacitación en los encargados municipales sobre la tecnología de fabricación de combustibles reciclados sólidos (RDF) a partir de RSM. Se desconoce los principios de funcionamiento, la forma de operación y los productos esperados al aplicar esta tecnología. Los Municipios no poseen estudios técnicos propios (realizados por cada Municipio) para evaluar esta tecnología en gran escala. Por esta razón, existe poco interés en los Municipios para contactar a las empresas fabricantes que detienen esta tecnología, sean nacionales o extranjeras.
- Ausencia de diálogo entre Municipios de Chimborazo y la empresa Cementos Chimborazo para sociabilizar la idea. Sin embargo se estima que la cementera puede interesarse en la idea porque al momento otras empresas cementeras (Holcim, La Farge) ya operan con combustibles alternativos (cuesco de palma y cascarilla de arroz).

Técnicas

- Falta de certeza sobre la caracterización de las emisiones de las chimeneas de la Cementera Chimborazo en caso de usar RDF como parte del combustible. La literatura muestra estudios de caso similares para cementeras en Europa que combustionan RDF, en éstas el contenido de emisiones está dentro de la norma europea (GENON; BRIZIO, 2008; MA, W. et al., 2010). Al no existir la experiencia previa en Ecuador, se desconoce a ciencia cierta cuáles serán los componentes y en cuánto estarán los valores de emisión si la Cementera Chimborazo desarrolla el proyecto. El valor de emisiones depende directamente del contenido medio del combustible RDF, de forma que es factible controlar este parámetro al regular los materiales reciclados que formarán el RDF (GENON; BRIZIO, 2008; VAINIKKA et

al., 2012). Adicionalmente, para cumplir normativas ambientales nacionales las industrias cementeras ya cuentan con sistemas de filtro para los gases emitidos por sus chimeneas.

Sociales

- Falta de concientización y educación ambiental en la población. Gran parte de la población no valora las alternativas de separación en la fuente y reciclaje, que de ser implementadas disminuirían la complejidad de las instalaciones en la planta de procesamiento de RSM para fabricación de RDF. Menor complejidad y especificaciones técnicas se traducen en menores costos de capital y costos de operación & mantenimiento.

Estudio de caso 3: Experiencia con el uso de combustibles alternativos en industrias cementeras del Ecuador.

La Empresa Cementos Chimborazo, ubicada 15 Km al sur de la capital provincial, Riobamba, consume alrededor de 470.000 galones de diésel#2 por año, que representa 1'378.942 USD⁵⁵. Dentro de sus políticas ambientales, la empresa informa que se encuentra en proceso de autorización, por parte del Ministerio del Ambiente, para co-incinerar combustibles alternativos a partir de 2012⁵⁶. Pruebas piloto fueron realizadas co-incinerando llantas y mostraron la factibilidad técnica (CEMENTOS CHIMBORAZO, 2012).

Esto indica que la empresa Cementos Chimborazo está abierta a la utilización de otros energéticos que reemplacen a los tradicionales para alimentar sus calderos y hornos. En este sentido, el Municipio de Riobamba tiene una oportunidad para proponer a Cemento Chimborazo la idea de co-incinerar en sus hornos combustibles reciclados sólidos fabricados con los residuos municipales de los cantones aledaños.

También la Empresa de Cemento Holcim del Ecuador incinera ya desde 2011 combustibles alternativos como cascarilla de arroz y cuesco de palma en sus hornos. El panorama se muestra positivo para este tipo de nuevos emprendimientos.

5.2.3. Medidas identificadas

Tomando como base el taller realizado en septiembre-2012 (MAE/ENYATEC, 2012), los conocimientos propios de la consultora y experiencias internacionales provistas por la literatura científica, a continuación son sugeridas algunas medidas que contribuirán para superar las **principales** barreras identificadas y avanzar hacia un marco habilitante. El mencionado taller aportó criterios para la identificación de las principales barreras, de las cuales se expone a continuación las medidas identificadas que permitirán superar estas

⁵⁵Informe ejecutivo de adjudicación de adquisición de combustible por Cementos Chimborazo, junio 2012

⁵⁶Publicación Cementos Chimborazo, suplemento día del Ambiente, 3 junio 2012, pág. 4.

barreras. Así será posible superar con éxito la etapa inicial de transferencia y difusión tecnológica, para finalmente alcanzar la implementación a gran escala de las tecnologías estudiadas.

5.2.3.1. Medidas económicas y financieras

Se proponen las siguientes medidas para superar barreras económicas/financieras a la transferencia y difusión de las tecnologías A1, A2 y A3.

Apertura de Línea de Financiamiento Público

Estos financiamientos deben ser específicos para la elaboración de diseños de factibilidad y de diseños definitivos de plantas de energía a partir de RSM, para los cantones o mancomunidades en las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y de Chimborazo. El monto presupuestario puede ser establecido según la necesidad de las mancomunidades.

Este financiamiento podría ser otorgado por bancos orientados a financiar infraestructuras que generen desarrollo como BEDE, BIESS, CFN, CAF, BID y Banco del Sur.

El financiamiento de los estudios de factibilidad para plantas de energía a partir de RSM en las cinco mancomunidades descritas es un rubro importante y debe ser oportunamente evaluado. A continuación se debería financiar el costo de los estudios definitivos para la construcción de las plantas seleccionadas.

Formación de empresas mixtas que faciliten opciones de financiamiento.

En esta etapa una alternativa es el financiamiento mixto, que puede ser integrado por la combinación de gobierno central, municipios, organismos multilaterales, cooperación internacional y proveedores de la tecnología. Para viabilizar esto debe existir apertura política, legitimidad y legalidad al interior del municipio.

Incremento de tarifa preferencial para generación eléctrica con residuos urbanos y rurales.

Elaboración y emisión de una nueva Regulación que suceda a la CONELEC 04/11 (Tabla 1), en la cual se fijen tarifas preferenciales para la generación con fuentes de energía renovable no convencional, entre ellas por biomasa residual urbana (RSM) y rural (residuos agropecuarios y agroindustriales). Se recomienda que la tarifa sea fijada a un nivel no inferior a 15 centavos USD/kWh, que es algo menor que el costo de producción termoeléctrica con combustibles fósiles. El objetivo de esta medida es incrementar la atractividad financiera para el desarrollo de nuevos proyectos de generación eléctrica a nivel nacional usando las tecnologías A1, A2 y A3.

Tabla 30: tarifas preferenciales generación con biomasa, Vigentes para proyectos que obtengan su título habilitante de generación, hasta el 31/12/2012

CENTRALES	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56

Fuente: CONELEC, Regulación 04/11 “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales”, vigente hasta el 31/12/2012.

Focalización y transferencia de subsidios a energías renovables.

Una medida difícil de ser tomada, pero necesaria para el desarrollo de las energías renovables no convencionales en Ecuador es la reducción progresiva de subsidios a los combustibles fósiles. Otra medida propuesta es la focalización del subsidio, una parte de este puede ser usada para incentivar proyectos piloto con, por ejemplo, las tecnologías A2 y A3. Por ejemplo, podría destinarse unos 50 millones/año para el desarrollo de proyectos de energías renovables no convencionales, y una fracción de este (20%) monto podría dirigirse para la implementación de plantas de energía a partir de RSM.

Una sugerencia más es que se calificarían proyectos presentados únicamente por mancomunidades, excepto por Quito y Guayaquil que podrían instalar estas plantas individualmente.

Financiamiento para capacitación de funcionarios municipales y de entidades del gobierno central relacionadas e investigación en el área de energías renovables y medio ambiente.

Se propone la creación de un fondo, manejado por Ministerio de Ambiente (MAE) y Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), para capacitación de técnicos de alto nivel académico y experiencia práctica, que posteriormente estén en capacidad de esparcir el conocimiento adquirido por todos los Municipios y Ministerios y otras instituciones gubernamentales del país. El conocimiento de estos técnicos sería alimentado con las experiencias provenientes de las primeras plantas de aprovechamiento energético que funcionen en el país. Este fondo sería destinado a la contratación de expertos locales y extranjeros, para que dicten cursos del más alto nivel para los técnicos municipales y técnicos de los ministerios e instituciones de gobierno (MEER, MAE, INER, CONELEC, BEDE, BIESS y otras). Se debería revisar el mecanismo apropiado de cooperación para que instituciones privadas relacionadas a energías renovables y medio ambiente puedan acceder a estas capacitaciones también. Luego de una etapa inicial, el financiamiento para esta capacitación puede provenir de un porcentaje de los rendimientos económicos de estas plantas. El INER, como entidad a cargo de la investigación y desarrollo de prototipos de

tecnologías nuevas o adaptadas, debería asumir un rol protagónico en este programa de capacitación.

5.2.3.2. Medidas no financieras

Medidas para superar barreras políticas/regulatorias

a) Creación de una política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, que incluya explícitamente las tecnologías para su aprovechamiento energético en la etapa final del proceso.

Se debe definir una normativa que incluya la valorización energética de residuos urbanos y rurales, que promueva la reducción y separación de RSM en la fuente, incentive económicamente el reciclaje y fomente programas/proyectos que tengan por objetivo específico la generación eléctrica a partir de RSM. Se sugiere que dentro de la Ley Orgánica de Desechos Sólidos se tome en cuenta este tema, incentivando a las energías renovables no convencionales a partir de biomasa residual urbana y rural. Esta ley deberá tener concordancia con la nueva Ley de Régimen del Sector Eléctrico, con la Estrategia Nacional de Cambio Climático, con la Política del Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos y otros cuerpos legales relacionados. En una etapa inmediatamente después, se deberán integrar las aguas residuales también, otra fuente de GEI y contaminación diaria y creciente.

Se recomienda que el MAE integre la alternativa de aprovechamiento energético de RSM en su visión, objetivos específicos y resultados esperados del Programa Nacional de Gestión Integral de RSM (PNGIDS). Este debería ser un punto a ser evaluado durante el análisis de factibilidad que se ejecuta para calificar el diseño de los Sistemas de Gestión Integral de Desechos Sólidos solicitado por el PNGIDS a los municipios.

El otorgamiento de la viabilidad técnica, licencia ambiental y título habilitante para proyectos de generación de energía eléctrica (una vez que cumpla con los requisitos jurídicos, técnicos, económicos y ambientales establecidos), planteados fuera de áreas protegidas y bosques protegidos, debería ser competencia del CONELEC.

Dado que los RSM no son simplemente basura, sino una fuente de materia prima y de energía, otras instituciones como MEER, MIPRO, CONELEC y CENACE también deberían ser actores secundarios (se entiende que el MAE debería ser el actor principal, entendiendo al aprovechamiento energético de RSM como una parte de todo el proceso de gestión integral de RSM) que incentiven la difusión y transferencia de las tecnologías analizadas.

La Subsecretaría de Cambio Climático también debería prestar asistencia técnica sobre la importancia estratégica del aprovechamiento energético de los RSM. Además es deseable que AME se ponga en línea y también difunda esta nueva normativa a nivel nacional.

b) Reglamentar el despacho preferencial de la electricidad producida en plantas de productoras de energía a partir de RSM.

Una forma de incentivar la producción eléctrica con energías renovables no convencionales, entre ellas con las tecnologías A1, A2 y A3, es reglamentar el despacho preferencial de esta energía a las líneas de distribución local y sistema interconectado nacional. Esto asegurará una mayor producción eléctrica anual, lo que a su vez significa mayores ingresos al flujo de caja del proyecto, que así será más viable económicamente. Esta actividad es competencia del CENACE.

c) Revisión y ajuste del límite de capacidad instalada con plantas de generación eléctrica que usen biomasa.

El CONELEC ha fijado este límite en 6% del total de capacidad instalada nacional, esto en la actualidad es aproximadamente 280MW. Se debe liberar este límite para plantas de biomasa (en razón del doble beneficio que aportan) para la continuidad del proceso de difusión tecnológica de las tecnologías A1, A2 y A3, especialmente para las dos últimas. Oviamente, se entiende que al ser un porcentaje, el valor absoluto aumentará a medida que se expande el sistema de generación.

d) Formación de mancomunidades estratégicas para tratar el tema de RSM.

Se sugiere formar las siguientes mancomunidades en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo, determinadas fundamentalmente por su cercanía geográfica.

Mancomunidades sugeridas:

Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas:

Mancomunidad 1: Cantón de Santo Domingo en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y Cantón El Carmen en la Provincia de Manabí.

Mancomunidad 2: Cantones de La Concordia en la Provincia de Santo Domingo y la Independencia en la Provincia de Esmeraldas.

Provincia de Chimborazo:

Mancomunidad 3: Cantones Riobamba, Guano, La Unión (Colta), Chambo y Penipe

Mancomunidad 4: Cantones Guamote, Alausí y Chunchi.

Mancomunidad 5: Cantones de Pallatanga y Cumandá en la Provincia de Chimborazo y Cantón Bucay en la Provincia de Guayas.

Medidas para superar barreras institucionales/organizacionales.

a) Fortalecer relaciones entre instituciones del Gobierno

Los primeros pasos hacia la conectividad entre instituciones públicas ocurrió con la creación del Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados y del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos y de Patrimonio. Estos tienen como función

específica, organizar las actividades de/entre las entidades gubernamentales. Es evidente la necesidad de fortalecer las relaciones entre el MAE, MEER y GAD's. El acercamiento de las instituciones es importante para acceder a capacitación técnica en temas ambientales y energéticos, asumiendo que cada institución especializada puede compartir sus conocimientos específicos del área que les compete. Es importante establecer un mecanismo de seguimiento y evaluación para dichas relaciones institucionales que permita conseguir resultados en el mediano y largo plazo.

Un nivel de coordinación requerida es entre Ministerios (MEER/MAE/MIPRO) con actividad en el sector residuos y reciclaje. Otro nivel se define entre dichos ministerios y los GADs, que claman por soporte técnico y económico, para atender las competencias que tienen por ley. Finalmente se propone la creación de espacios de discusión entre el sector público y privado, de forma regular y de alto nivel.

b) Creación de un organismo de gestión pública que agrupe las plantas de aprovechamiento energético (electricidad y calor) a partir de RSM.

Se sugiere un esquema similar al de CELEC, con todas las generadoras eléctricas que provengan de RSM, de tal manera que se cree una base técnica, operativa y de profesionales calificados en el sector, a más de lograr economías de escala.

c) Incrementar las capacidades institucionales y organizativas

MAE/Subsecretaría de Calidad Ambiental: Capacitar a los técnicos del PNGIDS para que se familiaricen con el bagaje de conocimiento y de técnica sobre las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM, haciendo de este tema un componente esencial de la gestión integral de los RSM.

MEER/INER/INP: Ampliar sus relaciones inter institucionales y asociarse con municipios para el desarrollo de plantas de energía con RSM. Construir una planta prototipo de las tecnologías más prometedoras, para investigación y base para diseño local de plantas de mayor capacidad.

MIPRO: Profundar los vínculos con las empresas recicladoras existentes para trabajar conjuntamente en el tema de aprovechamiento de los materiales de reciclaje de RSM, que serÁN separados en etapas previas a la generación de energía. También debe crear nuevas empresas y cadenas de comercialización de materiales reciclables.

SENESCYT / SENPLADES: Incluir proyectos de valorización energética de los RSM en sus prioridades nacionales, como forma de obtener beneficios ambientales y energéticos netos. Reformular en el COOTAD y otros cuerpos legales, políticas y directivas orientadas a economía energética de transición de fuentes fósiles a renovables.

CELEC EP: Ampliar su portafolio de inversiones, considerando también a plantas de generación. Para conseguirlo debe trabajar conjuntamente con los municipios. Su competencia en el sector de generación eléctrica le posibilita intervenir en proyectos de generación con energías renovables a nivel nacional, como es el caso de los RSM.

Subsecretaría de Cambio Climático: Actuar como eje transversal de toda actividad productiva a nivel nacional. Debe elaborar directrices claras y aplicables para el aprovechamiento energético de RSM. Éstas deberán ser consideradas por la Subsecretaría de Calidad Ambiental (órgano responsable por el PNGIDS).

Direcciones de Ambiente y Aseo de los GADs: Lograr una visión más amplia para dejar de concebir a la disposición final de RSM como un gasto continuo sin retorno y pasar a concebirlo como una fuente de ingresos. Invertir en capacitación de sus técnicos.

Municipio y Unidad de Gestión Ambiental Municipio de Santo Domingo de los Tsáchilas: Debe modificar el proyecto del Complejo Ambiental de Santo Domingo de los Tsáchilas incluyendo, en un futuro, el uso energético del gas que será recuperado del relleno sanitario.

Universidades: Crear cursos de graduación y pos-graduación que aborden el tema de aprovechamiento energético de biomasa residual (rural y urbana). Construcción de prototipos para investigación y réplica a escala real.

Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES): Desarrollar en el corto plazo programas de inclusión para los minadores a otras actividades productivas.

BEDE/BIESS: Brindar apertura para líneas de crédito a municipios que quieran poner en marcha proyectos de plantas energéticas con RSM. Debe también invertir en desarrollar herramientas de economía y contabilidad ambiental propias, que permitan incluir las externalidades negativas de emprendimientos de alto impacto ambiental, como los rellenos sanitarios, al costo tradicional a fin de evaluar costos reales.

Medidas para superar barreras sociales/culturales

a) Socialización con la comunidad de los proyectos que incluyan plantas de energía a partir de RSM.

Importante método para lograr el cambio de concepción de residuos sólidos en materia prima energética, a más de reciclable de forma intensiva. El principal actor en este proceso de socialización deben ser los Ministerios de Ambiente (MAE) y de Energía (MEER), cada uno enfocando al tema desde su competencia.

Cabe también que se exponga públicamente los resultados de otros proyectos de aprovechamiento energético de RSM. Por ejemplo, el Municipio de Cuenca podría socializar su proyecto de captación de gas de relleno sanitario y generación eléctrica, de tal manera que se aprenda y se cree conciencia al respecto. Entonces se podrán comparar indicadores ambientales y económicos reales de rellenos sanitarios con captura y uso de biogás y de otras tecnologías de aprovechamiento energético como la A2 y A3.

b) Incorporar en el pensum de escuelas y colegios temas y programas de concientización ambiental.

El sistema educativo debe resaltar la importancia de la conservación del ambiente, cambio climático, reducción de generación de basura, reciclaje, aprovechamiento de RSM y eficiencia energética. En este tema también deber participar MAE/MEER/Min. Educación/Min. Salud y GAD's.

c) Desarrollar programas de educación y políticas de inclusión social que busquen erradicación del trabajo infantil y de la presencia de minadores ilegales en botaderos y rellenos sanitarios.

La existencia de plantas de aprovechamiento energético de RSM minimizaría el uso de rellenos sanitarios, que apenas deberían existir con fines estratégicos (depósito de materiales no aprovechables de ninguna otra forma, ceniza, escoria, etc). Por consiguiente, se minimizaría la presencia de minadores y del trabajo infantil en estos lugares. Adicionalmente, las personas que continúen desarrollando este trabajo informal deberán recibir capacitación y orientación del Estado a través del MIES para progresivamente insertarse en los nuevos esquemas propuestos (plantas de aprovechamiento de RSM).

Medidas para superar barreras técnicas

a) Construir plantas piloto y plantas prototipo con las tres tecnologías estudiadas.

Esta experiencia permitirá sacar conclusiones valiosas para luego difundir la tecnología y el conocimiento a otros municipios o mancomunidades. En el caso de la tecnología A3, no es necesario construir un horno del tipo cementero para realizar la experimentación, bastará dialogar y llegar a acuerdos con las empresas cementeras a fin de usar sus instalaciones para las pruebas.

b) Incentivar la conducción de la Subsecretaría de Cambio Climático del MAE y de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética del MEER del tema de aprovechamiento energético de RSM.

Energías renovables y Cambio Climático son conceptos transversales cada vez más cercanos entre sí, y con la ciudadanía. Sus políticas deberán prevalecer sobre otras actividades relacionadas a nivel nacional.

c) Instaurar un plazo razonable para que acontezca la conversión de rellenos sanitarios y de botaderos de basura, activos o cerrados, sin recuperación de biogás, a sitios con extracción de biogás y aprovechamiento energético del mismo.

Para el caso de los antiguos botaderos de Santo Domingo, se recomienda que se contraten los estudios de factibilidad y de diseño definitivo para la implementación de los equipos necesarios para la extracción y tratamiento de "biogás de botadero" y para su uso en producción eléctrica, en caso de que sea factible técnicamente. Si esto no es factible este gas debe ser capturado y quemado. Reformular las licencias ambientales otorgadas a rellenos sanitarios sin captación de biogás (que en caso de no ser usado para fines energéticos debe ser necesariamente quemado en una antorcha).

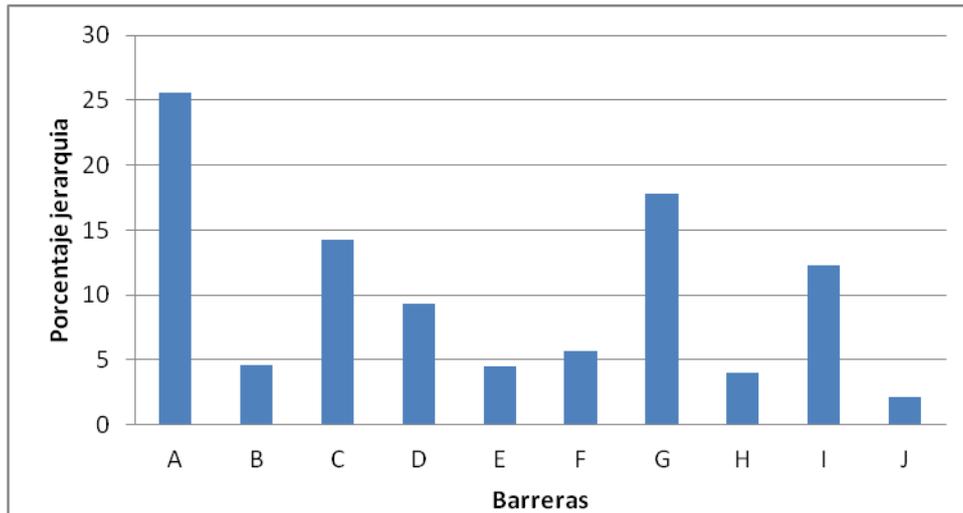
d) Analizar la situación actual institucional, organizacional, administrativa, económica/financiera, tecnológica y política de cada uno de los 221 municipios que componen el país.

Esto es vital para confrontar su real capacidad de aplicación de la normativa COOTAD (atribuciones y jurisdicción sobre RSM) y para ejecutar todas las competencias que tienen por ley. Las consecuencias de la falta de capacidad de los municipios para trabajar en los múltiples frentes que por ley pueden hacerlo se evidencia en todo el país. Aunque el espíritu del COOTAD sea positivo para propender el desarrollo de todos los cantones, éste depende directamente del apoyo de las instituciones del gobierno central, de la orientación de las firmas privadas y de la cooperación económica y técnica internacional. La instancia que queda para la promoción de estas tecnologías es estableciendo acuerdos con el sector privado, en alianza con algún municipio que tome el riesgo de invertir.

5.3. RELACIONES ENTRE BARRERAS IDENTIFICADAS

Este ejercicio fue desarrollado en el punto 1.2.2.1 "Identificación de barreras comunes para las tecnologías A1, A2 y A3. Estas fueron analizadas sujetas a la clasificación de barreras económicas/financieras y no económicas/financieras, éstas últimas abarcan barreras políticas/regulatorias, barreras institucionales/organizacionales, barreras técnicas y barreras sociales.

Las barreras descritas fueron jerarquizadas de acuerdo a su relevancia según el entendimiento de los participantes del Taller de Análisis de Barreras y Marco Habilitante para el sector energía a partir de residuos (MAE/ENYATEC, 2012). Los resultados del Taller de Análisis de Barreras se sintetizan en las Figura 6 y Figura 7. Los resultados completos se encuentran en el **Anexo 2** del presente documento.



A: Económica y financiera;
mercado;

B: Fallas/imperfecciones en el

C: Políticas legales y reguladoras;

D: Fallas en la red organizacional;

E: Capacidad institucional y organizativa;

F: Aptitudes humanas;

G: Sociales, culturales y de comportamiento;

H: Información y sensibilización;

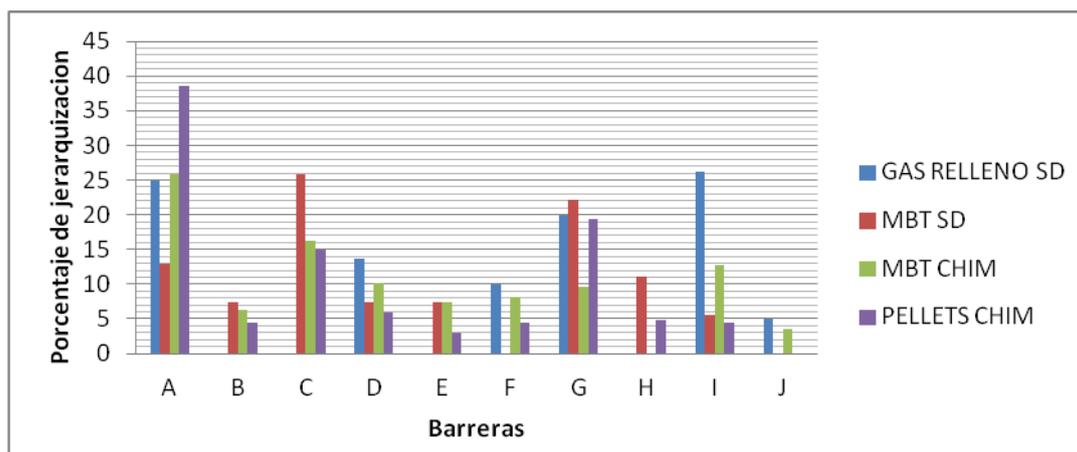
I: Técnicos;

J: Otras.

Figura 6: Jerarquía o importancia atribuida a cada tipo de barrera por los participantes del Taller de Análisis de Barreras y Marco Habilitante

Fuente: (MAE/ENYATEC, 2012)

Las medias porcentuales señalan que, según la percepción de los asistentes al taller citado, las barreras económicas son las más relevantes, seguidas por las barreras socioculturales, políticas y técnicas. Es importante resaltar que la percepción de los actores que participaron en el Taller califican con más del 25% las barreras económicas/financieras sobre la segunda en importancia. Se destaca que el aspecto tecnológico fue percibido como la barrera menos importante.



A: Económica y financiera;
mercado;

B: Fallas/imperfecciones en el

C: Políticas legales y reguladoras;

D: Fallas en la red organizacional;

E: Capacidad institucional y organizativa;

F: Aptitudes humanas;

G: Sociales, culturales y de comportamiento;

H: Información y sensibilización;

I: Técnicos;

J: Otras.

Figura 7: Comparación de la importancia de cada barrera por tipo de tecnología y lugar geográfico.

Fuente: (MAE/ENYATEC, 2012)

Algunas observaciones:

- - La tecnología de pelletización (A3) propuesta para la provincia de Chimborazo, muestra un porcentaje de 38% de importancia sobre el tema económico.
- -Las dos provincias analizadas perciben como menos importante a la barrera económica para la tecnología MBT (A2).
- - Las barreras sociales para la tecnología MBT en Chimborazo, para co-incineración de RDF en industria cementera en Chimborazo y para captación y aprovechamiento de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura en las dos provincias recibieron alto peso.
- - La tecnología de co-incineración de RDF en industria cementera en Chimborazo presenta una importancia mayor de 25% a barreras de tipo técnico sobre la tecnología que le sigue.

5.4. MARCO HABILITANTE PARA SUPERAR LAS BARRERAS EN EL SECTOR ENERGÍA, SUBSECTOR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El ambiente propicio o marco habilitante denota la variedad completa de condiciones institucionales, reguladoras y el marco político que conduce a la promoción y facilitación de la transferencia y difusión de tecnologías (BOLDT *et al.*, 2012). A continuación se describe el marco habilitante para la superación de las barreras identificadas, aquí analizadas como barreras comunes y barreras por tecnología.

5.4.1. Marco habilitante para superar barreras comunes a las tecnologías A1, A2 y A3.

a) Programa Nacional “0 Residuos sin aprovechamiento”

Formulación y lanzamiento de una política de “0 Residuos sin aprovechamiento”. Así se evolucionaría en tecnología de tratamiento y aprovechamiento de RSM, se crearía cultura en energías renovables y se fomentaría la eficiencia energética.

b) Formulación y expedición de la “Ley Orgánica de Fomento de Energías Renovables no Convencionales – Capítulo Energía de Biomasa Residual Urbana y Rural.

Puede también ser denominada “Ley Orgánica de Control de Residuos Sólidos y Líquidos”, el objetivo es el mismo.

c) Ampliación y Reorientación del MAE-PNGIDS

El PNGIDS debería dejar de ser un Programa para convertirse en una entidad de Control de Residuos (sólidos y líquidos), a nivel de Subsecretaría del MAE o mejor aún de forma independiente como Agencia. En este escenario el PNGIDS es una unidad operativa con capacidad de ejecutar proyectos conjuntamente con los municipios, quienes mantendrían la competencia para desarrollar los SGIDS y plantas de tratamiento de residuos líquidos.

El PNGIDS pasa a ser una institución especializada de alcance nacional, que lidere la evaluación, diseño apropiado del SIGDS para cada localidad o mancomunidad y formulación de proyectos de aprovechamiento energético de RSM. Pero fundamentalmente, esta institución sería encargada de poner en práctica el verdadero significado de gestión “integral” de RSM. Se impulsaría la implementación de plantas industriales de aprovechamiento energético de residuos sólidos y líquidos, y se entendería al uso de relleno sanitario como estratégico, sirviendo apenas para el depósito de materiales no aprovechables (no reciclables y no degradables).

d) Implementación de programas y planes para la transferencia y difusión de la tecnología.

Una de las principales barreras comunes a todas las tecnologías de generación eléctrica a partir de RSM, es el desconocimiento de su existencia por parte de los actores políticos que toman la decisión para su implementación.

En este escenario de fortalecimiento institucional los Municipios reciben cooperación de los Ministerios para capacitarse en temas ambientales y energéticos. Las instituciones se reúnen para aprender constantemente sobre las nuevas alternativas tecnológicas para el tratamiento y aprovechamiento de los RSM.

En este escenario propicio para la difusión de la tecnología, los funcionarios del MAE, AME, Municipios de Santo Domingo, La Concordia, El Carmen, La Independencia y todos los cantones de Chimborazo (por referirse únicamente a las zonas de estudio y su área de influencia), están capacitados en temas de aprovechamiento energético a partir de RSM. Este conocimiento les permite la formulación de proyectos, términos de referencia, evaluación de propuestas recibidas de parte de firmas privadas, administración de construcción de proyectos, etc.

e) Inversión del Estado y de instituciones de financiamiento para el desarrollo económico en plantas de energía a partir de residuos.

El Estado invierte en proyectos semilla de plantas de generación eléctrica a partir de RSM porque se sensibiliza frente a: 1) la bajísima capacidad de recuperación de gastos (vía tasas o impuestos municipales) de proyectos de aprovechamiento energético con RSM; y, 2) a la baja capacidad de endeudamiento. Empresas públicas de generación agrupadas en la CELEC EP, deciden invertir en plantas piloto de aprovechamiento energético a partir de RSM.

Es parte del marco propicio que bancos orientados a financiar infraestructuras que generen desarrollo como BEDE, BIESS, CFN, CAF, BID y Banco del Sur abran líneas de financiamiento diseñadas para apoyar e incentivar proyectos de aprovechamiento energético de RSM.

5.4.2. Marco Habilitante por zona de estudio

a) Santo Domingo de los Tsáchilas.

El Municipio de Santo Domingo se sensibiliza y contrata la elaboración de estudios para el aprovechamiento energético del biogás recolectado en el relleno sanitario del nuevo Complejo Ambiental y también para los otros botaderos existentes en la provincia. También deciden usar la fracción orgánica para procesarla en una planta MBT con capacidad de generación eléctrica, instalada en el mismo Complejo Ambiental.

El Municipio de Santo Domingo decide implementar la extracción del biogás en los botaderos cerrados. Desarrolla los estudios para evaluar si el gas recolectado puede servir como combustible de motores o solamente debe ser quemarlo en teas. Así, a partir de la

operación plena del Complejo Ambiental se cierran técnicamente los botaderos en operación.

b) Chimborazo.

La municipalidad de Riobamba entabla contactos con los directivos de la empresa Cemento Chimborazo, para coordinar la realización de pruebas piloto de co-incineración de RDF en sus hornos. Esto se enmarca en los propósitos de la cementera de ubicar combustibles alternos.

En los botaderos activos se realiza un procedimiento similar al indicado para los botaderos de Santo Domingo de los Tsáchilas.

5.4.3. Marco habilitante por tecnología

Gas de Relleno Sanitario y gas de botadero de basura

En este escenario, ideal para el desarrollo de la tecnología de captura y aprovechamiento del gas de relleno sanitario o gas de botadero de basura, se considera que el país tiene la capacidad para:

- a) Diseñar y construir localmente toda la tecnología⁵⁷ para la captación y aprovechamiento del gas de relleno sanitario o de gas de botadero de basura.
- b) Desarrollan sistemas de control automático y monitoreo para la succión, medición y quema controlada de biogás.
- c) Desarrollar tecnologías nacionales para perforación de pozos de captación de biogás, instalación de redes horizontales, instalación de bombas de vacío y compresores, diseño e instalación de secadores y filtros.

En este escenario se considera que la industria local domina el proceso de adaptación de motores de combustión interna a diesel o gasolina para operar con biogás. Se perfeccionan técnicas para generación eléctrica interconectada a la red nacional. En lo financiero, un marco habilitante ideal está asociado a la vigencia del incentivo de MDL y a precios altos de CERs.

MBT – Tratamiento mecánico biológico

En este escenario, ideal para el desarrollo de la tecnología MBT, se considera que el país tiene la capacidad para desarrollar localmente todos los componentes de una planta de este tipo, inclusive la automatización y control. Un marco propicio para la difusión y transferencia

⁵⁷ Se entiende por tecnología al conjunto de software, hardware y orgware (BOLDT *et al.*, 2012).

de esta tecnología a nivel nacional contempla que la instalación de una planta MBT piloto ya es una realidad, y ésta sirve para experimentación de universidades, INER, MEER, MAE y GADs.

En este escenario se aprecia mucho los fertilizantes orgánicos que produce una planta MBT, y esto favorece al surgimiento de una nueva conciencia acerca de lo que significa cero residuos y máximo reciclaje. La planta MBT produce materiales reciclables de forma muy eficiente, complementando las iniciativas de clasificación en la fuente y el trabajo de los recicladores organizados. En el agro, las plantas MBT comienzan a ser usadas masivamente para procesar residuos agrícolas y pecuarios, agroindustriales, residuos de camales y mercados, e inclusive aguas residuales urbanas e industriales.

Fabricación de pellets para co-incineración en hornos cementeros

En este escenario, ideal para el desarrollo de la tecnología de fabricación de RDF para co-incineración en hornos cementeros, se considera que el país tiene la capacidad para realizar pruebas piloto en una cementera (idealmente en Cementos Chimborazo que está dentro del marco de estudio). Un marco habilitante apropiado tendrá por objetivo que los resultados de la implementación de esta tecnología sean satisfactorios tanto para los Municipios de Chimborazo como para la Cementera. Acto seguido, se promueve la réplica del proyecto en otras industrias cementeras en todo el país. En este escenario las pruebas piloto son exitosas y la ciudadanía recepta bien a la tecnología. Se confirma el ahorro de combustible tradicional en la Cementera. Se tendrán datos reales acerca de la viabilidad de la fabricación de RDF o pellets a partir de RSM. Las emisiones monitoreadas en la chimenea de la cementera antes y después del proyecto muestran niveles permisibles por las normas ambientales vigentes en Ecuador. Se percibe los beneficios ambientales, económicos y sociales. La fabricación de RDF genera fuentes de trabajo directas y una amplia cadena de comercialización para los reciclables.

PARTE 3: PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO

RESUMEN EJECUTIVO

El sector de desechos es el segundo que más emite metano en Ecuador como resultado de actividades de tratamiento de aguas residuales y por la disposición de residuos sólidos en tierra (MAE, 2011; MAE, 2012). Analizando el histórico de la cantidad de metano emitido anualmente en Ecuador en unidades de CO₂equivalente (CO₂e), se aprecia que en el año 2006 las emisiones del sector desechos(residuos sólidos y aguas residuales) llegaron a cerca de 8 millones de tCO₂e, observándose que la contribución del sector residuos sólidos (botaderos y rellenos sanitarios) en las emisiones de metano es de 2` 266.028 tCO₂e(MAE, 2012).

Así como a nivel mundial, para Ecuador también es importante la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en el sector residuos. Es parte de la visión del Gobierno de Ecuador⁵⁸, a través de su Ministerio de Ambiente (MAE) y de la Subsecretaría de Cambio Climático, dar mayor importancia a la mitigación de GEI, para precautelar el bienestar del ser humano y sus futuras generaciones. Mediante Decreto Ejecutivo 1815 se declaró la mitigación y adaptación al cambio climático como política de Estado. A nivel local el Gobierno también busca reducir los impactos adversos a la salud pública y minimizar impactos sociales y ambientales.

De esta forma, los objetivos estratégicos del Gobierno de Ecuador para el corto, mediano y largo plazo para la mitigación de gases GEI en el sector residuos sólidos están enmarcadas en la línea estratégica de “Fomentar la aplicación de prácticas que permitan reducir emisiones de GEI en los procesos relacionados con la provisión de servicios y la generación de bienes, desde su fabricación, distribución, consumo, hasta su disposición final” (MAE, 2012). Esta línea estratégica es parte del objetivo específico 4 del plan de mitigación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC 2012 – 2025 (MAE, 2012). Sin embargo, la ENCC 2012 – 2025 no define metas a nivel nacional para la reducción de GEI en el sector de residuos sólidos para el medio y largo plazo, con relación a la disposición final de RSM (MAE, 2012).

Para alcanzar los objetivos estratégicos del Gobierno de Ecuador, expresados en la ENCC 2012 – 2025 (objetivo específico 4 de la línea estratégica de mitigación del cambio climático) (MAE, 2012), el Ministerio de Ambiente lleva a cabo la presente consultoría: “Evaluación de Necesidades Tecnológicas (ENT) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la Mitigación del Cambio Climático en Sector Energía, Subsector de Residuos Sólidos Municipales”. El objetivo fundamental del ENT es proponer un plan de acción tecnológica (PAT) para cada tecnología priorizada. El PAT propone adecuados procesos de transferencia y difusión de tecnología⁵⁹, visando crear un marco habilitante que permita la

⁵⁸El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) en su política 4.4 estipula la necesidad de “Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida”. A partir de este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos relacionados con cambio de matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de vulnerabilidades, tratamiento transversal de la gestión ambiental, entre otros temas estratégicos. En particular, la política 4.5 está orientada a “fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática, con énfasis en el proceso de cambio climático”. Este pensamiento es uno de los pilares más importantes que sustentan el trabajo llevado a cabo por el MAE en el área de mitigación de GEI en Ecuador.

⁵⁹Transferencia y difusión de tecnología son temas bastante estudiados por autores como BOLDT *et al.*, (2012) y HASELIP *et al.*, (2011). El proceso de transferencia de tecnología está asociado al intercambio internacional o

entrada de tecnologías WTE al Ecuador. Las acciones propuestas en el PAT son básicamente políticas, programas y tareas complementares, cuya implementación contribuirá para acelerar la difusión y transferencia de las tecnologías WTE en la sociedad ecuatoriana.

En la Parte I del proyecto ENT se evaluó un portafolio de tecnologías compuesto por ocho procesos o líneas tecnológicas (ver Figura 1), agrupadas según su principio en diferentes grupos: mecánicos, termo-físicos, termoquímicos, bio-químicos y biológicos (aeróbicos y anaeróbicos). Las ocho tecnologías analizadas fueron: 1) Incineración con recuperación energética; 2) Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT) con recuperación de combustibles derivados de reciclaje (RDF) más co-incineración en industria cementera; 3) MBT con recuperación de RDF más co-incineración en termoeléctricas a vapor de ingenio azucarero u otras similares; 4) Producción de RDF y pirólisis con aprovechamiento de syngas y carbón; 5) Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas; 6) Plasma con aprovechamiento de syngas; 7) Captación de gas de relleno sanitario o de botadero de basura y aprovechamiento energético en motores de combustión interna; 8) MBT con digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogás en motores de combustión interna.

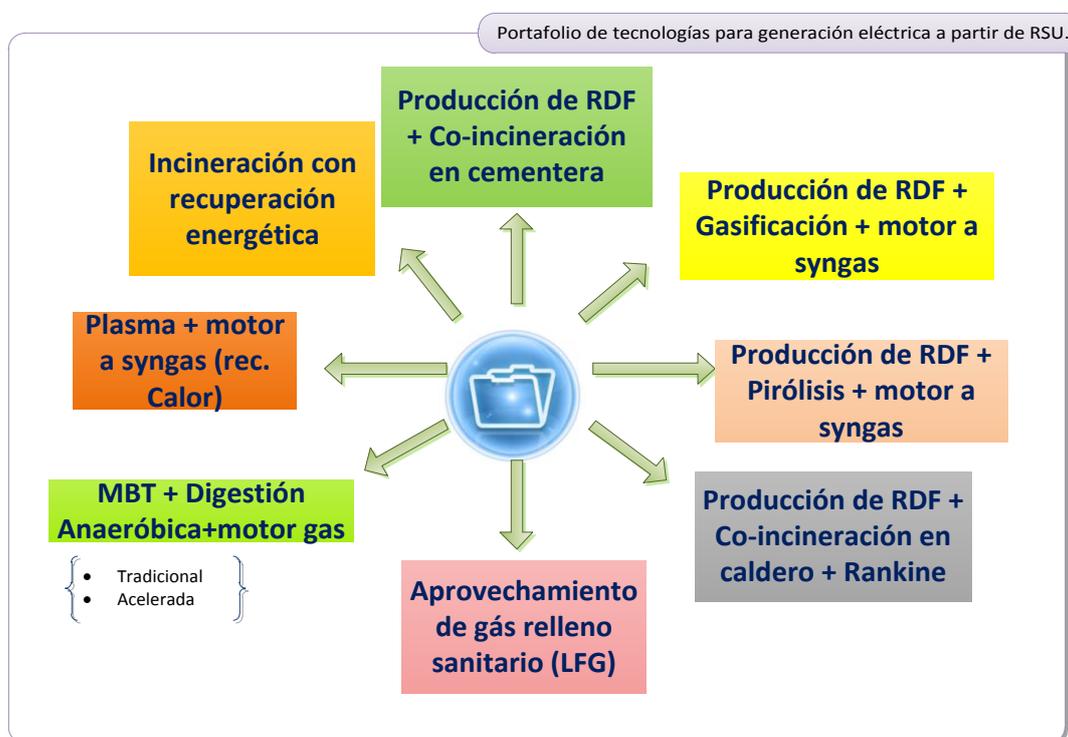


Figura 8: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.

Fuente: ENYA, (2012)

transfronterizo de artefactos, equipos o sistemas (hardware), conocimiento y proceso (software) y elementos organizativos (orgware) (BOLDT *et al.*, 2012). La difusión tecnológica está orientada a la divulgación de una nueva tecnología, utilizando varios canales a lo largo del tiempo, en una sociedad donde la tecnología es adoptada gradualmente por más y más miembros de ella (personas, instituciones, empresas, etc.) (BOLDT *et al.*, 2012).

Usando como metodología el análisis multi-criterio, fueron evaluados parámetros sociales, ambientales, económicos y técnicos de cada tecnología. En este punto fue fundamental la ejecución de un taller participativo llevado a cabo en la sede central del MAE en abril 2012, que reunió diversos actores quienes contribuyeron con su experiencia para adjudicar un peso o importancia relativa a cada uno de los parámetros del análisis. De esta forma se cumplió con los objetivos de priorización tecnológica de la Parte I del estudio. **Fueron priorizadas tres tecnologías diferentes para dos regiones del país (Provincia de Chimborazo y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas).** Las líneas tecnológicas, organizadas por Provincia de aplicación, son presentadas en la Tabla 31.

Tabla 31: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.

	Tecnologías Priorizadas	
Santo Domingo de los Tsáchilas	A1) Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético en rellenos sanitarios ya existentes (o botaderos de basura cerrados.	A2) Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.
Chimborazo	A3) Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.	A2) Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.

Después de haber **identificado un conjunto de barreras iniciales**, en septiembre de 2012 se realizó un **taller participativo** en la sede del MAE (Quito-Ecuador), en donde diferentes actores de los sectores gubernamental (MAE, MEER, INER, Municipios de Chimborazo y Santo Domingo, OLADE, SENESCYT, etc.) y académico aportaron para la **identificación, agrupación y jerarquización de barreras** (claves y no claves, barreras iniciales, cruciales, importantes, menos importantes e insignificantes)(MAE/ENYATEC, 2012). La metodología usada para la identificación de barreras fue la “lluvia de ideas”. En el referido Taller, las barreras fueron clasificadas en las siguientes categorías(MAE/ENYATEC, 2012):

Tabla 32: Barreras identificadas

Categorías de barreras identificadas:	
Barreras económicas/financieras	
Barreras no económicas/financieras	Barreras de política/regulación
	Barreras de capacidad institucional/organizacional
	Barreras técnicas
	Barreras sociales

Debido a que la Consultoría ENT aborda tres líneas tecnológicas para el aprovechamiento energético de los RSM, que comparten barreras en las diferentes categorías mencionadas, se desarrolló un segmento de identificación **de barreras comunes a las tres tecnologías**.

Las barreras comunes para las tecnologías priorizadas fueron desarrolladas para dos clases: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras (Ver Tabla 34). Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

Al igual que las barreras comunes, **las barreras específicas** también fueron clasificadas en: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras. Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

La especificidad de estas barreras obedece tanto a las características propias de cada tecnología al (tipo de productos, beneficios y retornos económicos de cada una), así como también a las especificidades de la provincia que sirve como entorno para el análisis (Santo Domingo de los Tsáchilas o Chimborazo).

Una vez identificadas las barreras, una serie de medidas fueron propuestas por los consultores y por la Comisión Técnica con el objetivo de crear un marco habilitante que permita superar los obstáculos indicados. Así, todas las principales medidas comunes a las tres tecnologías priorizadas fueron consolidadas en una estrategia sub-sectorial denominada **“Estrategia de Transferencia y Difusión de Tecnología para la Producción de Energía a partir de Residuos Sólidos Municipales”**.

Las medidas que integran esta Estrategia fueron clasificadas según su tipo/objetivo en

- | |
|--|
| Instrumentos económicos: inversión directa |
| Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales |
| Instrumentos regulatorios |
| Soporte para políticas y leyes |

Información, educación, sensibilización y entrenamiento de habilidades
Mecanismos y convenios institucionales
Investigación, desarrollo y demostración (ID&D)
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual

Las medidas propuestas son diversas, todas contribuirán en el corto plazo (0 – 5 años), en el medio plazo (5 – 10 años) y en el largo plazo (10 – 20 años) para que las tecnologías A1, A2 y A3 se difundan en Ecuador. **Cada una de las medidas contribuye de forma diversa:** acelerar la etapa inicial de investigación, desarrollo y demostración, acelerar la etapa intermedia de transferencia de tecnología o finalmente, acelerar la difusión de las tecnologías. Las medidas propuestas contribuyen para crear un **marco habilitante**, cuya **misión a largo plazo** es:

- Existencia de fondos y de condiciones para financiar tecnologías WTE.
- Colaboración interinstitucional, dentro y fuera del sector público, para sacar adelante proyectos con tecnologías WTE.
- Marco jurídico claro y estable con responsabilidades bien definidas para todos los actores.
- Condiciones económicas estables que permitan desarrollar tecnologías WTE.
- Cadena industrial nacional sólida que permita abastecer de conocimiento y tecnología al país.
- Educación, concientización y sensibilidad en los ciudadanos para que valoren la importancia de las tecnologías WTE, asumiendo responsabilidad directa en la cantidad de RSM generados y contribuyendo con la disposición final de los mismos. En esta situación, los ciudadanos reducen generación de basura per cápita, incrementan reciclaje y apoyan aprovechamiento energético de los RSM.
- Investigación en universidades, laboratorios y empresa privada siendo desarrollada dentro del país.

En ese contexto, este consultoría ofrece finalmente apenas un esbozo general de los **detalles que tendrán que considerarse para cada medida sugerida, y que necesariamente deberá ser desarrollada con mayor profundidad en caso de se quiera ejecutarla** (financiarla).

De esta forma, los detalles contemplados en los cuadros de caracterización de las medidas estratégicas son: justificación, actores, tiempo de duración, indicadores, costo estimado.

A continuación el desarrollo de la propuesta de “Estrategia de Transferencia y Difusión de Tecnología para la Producción de Energía a partir de Residuos Sólidos Municipales”.

CAPÍTULO 6: PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO DEL SECTOR ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

6.1. ACCIONES A NIVEL SECTORIAL: ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

6.1.1. Breve descripción del sector

En Ecuador la tasa de generación de residuos sólidos municipales (RSM) media es de 0,58 kg/hab/día (MAE-PNGIDS, 2011)⁶⁰. Esto representa una generación de RSM a nivel nacional de aproximadamente 9.000 ton/día, de las cuales el 61% se concentra en el sector urbano. La penetración del servicio de recolección de RSM varía mucho entre el sector urbano y rural: en el nivel urbano nacional esta tasa alcanza aproximadamente 87%, mientras que en los sectores rurales la media es de 22% (INEC, 2001).

La alta fracción de residuos orgánicos en la composición porcentual de los RSM, el alto contenido de humedad y el bajo poder calorífico son características del sector residuos en Ecuador. La fracción orgánica en Ecuador varía entre una media de 61% para las ciudades más desarrolladas (Quito y Guayaquil) y una media de 64 – 70 % en el resto del país (MAE-PNGIDS, 2011). Adicionalmente una caracterización típica de RSM en Ecuador presenta un alto contenido de humedad, de aproximadamente 51 % y una media de poder calórico inferior (LHV) de 5,5 MJ/kg (MAE-PNGIDS, 2011)⁶¹.

La línea base referente a la disposición final de RSM en Ecuador está caracterizada por el uso generalizado de botaderos de basura (a cielo abierto y controlados), y de algunos rellenos sanitarios. Las cerca de 9.000 ton/día de RSM generadas en Ecuador son depositadas en 215 sitios de disposición final (SDF⁶²) de RSM (MAE-PNGIDS, 2011), de los cuales el 77% son botaderos a cielo abierto, un 3% son botaderos controlados y 20% son rellenos sanitarios (MAE-PNGIDS, 2011). Aproximadamente el 35% de los rellenos sanitarios existentes son manuales y el 65% son mecanizados. Según datos preliminares del MAE-PNGIDS, (2011), hasta fin de 2011 apenas un 23% de los rellenos sanitarios tenían licencia ambiental. Los botaderos existen en zonas rurales y ciudades de medio y pequeño tamaño.

En pocos municipios existe la infraestructura para la recuperación de gas de relleno sanitario (LFG) emitido por los botaderos a cielo abierto o por rellenos sanitarios, gas que en todos los casos es simplemente quemado en una antorcha. Algunos de estos municipios

⁶⁰Los datos citados que provienen de (MAE-PNGIDS, 2011), corresponde a información preliminar elaborada por el MAE/PNGIDS que no ha sido publicada. Esta información fue proporcionada por el MAE/PNGIDS para el objetivo específico de este trabajo.

⁶¹Los datos del MAE-PNGIDS (MAE-PNGIDS, 2011) sobre composición de los RSM por Municipio fueron usados para calcular el poder calorífico inferior (LHV) de los RSM en los municipios de Ecuador.

⁶²SDF: sitio de disposición final de los RSM. Estos pueden ser botaderos a cielo abierto, rellenos sanitarios semi-controlados y rellenos sanitarios controlados. Los 215 sitios mencionados, son información preliminar no publicada

son Quito, Cuenca, Atuntaqui y Otavalo⁶³. El proyecto de captación de LFG realizado en el antiguo botadero a cielo abierto de Zámiza, en Quito, es quizás el más representativo con relación a la aplicación de tecnología de mitigación de GEI en el sector residuos debido a su tentativa de generación eléctrica a partir del LFG recuperado. Éste proyecto fue el primero en ser registrado como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por la Junta Ejecutiva MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático (CMNUCC) (ALQUIMIATEC S.A.; NOBLE CARBON CREDITS LIMITED, 2004).

Estos métodos tradicionales de disposición final RSM producen diversos impactos sobre el ambiente, entre los principales se cuentan: la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), causante del cambio climático, generación de lixiviados que contamina el suelo y los cuerpos de agua, emisión de malos olores y proliferación de vectores causantes de problemas de salud pública, etc. (HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, 2000; etc.) Tanto los botaderos a cielo abierto como los rellenos sanitarios demandan significativos y continuos desembolsos económicos para su construcción, operación, mantenimiento y cierre técnico, recursos que no son recuperados a lo largo de su vida útil. Adicionalmente este tipo de tecnologías de disposición final de RSM no favorecen el reciclaje intensivo y el aprovechamiento energético de los residuos (CHEREMISINOFF, 2003; ENVIRONMENT AGENCY, 2006a; ZANETTE, 2009).

Las peculiaridades de los RSM de Ecuador (alta fracción orgánica y alta humedad) constituyen graves amenazas al ambiente, a nivel global (generación de gas metano que contribuye con el cambio climático) y local (lixiviados, ratas, mosquitos, etc.), cuando se analizan los efectos de usar como métodos de disposición final de residuos a rellenos sanitarios, y peor aún a botaderos de basura.

En países en desarrollo como Ecuador, el volumen emitido de metano en el sector residuos es significativo debido a la alta composición orgánica de sus RSM (60% o superior) (ZERBOCK, 2003; WORLD BANK, 1999), al alto contenido de humedad, a la inadecuada recolección, y a los malos sistemas de uso y tratamiento de RSM (IPCC 2006, 2006; MCKINSEY & COMPANY, 2009). El metano, emitido por botaderos y rellenos sanitarios tiene un potencial de calentamiento global 21 veces superior (en un horizonte de tiempo de 100 años) (FORSTER *et al.*, 2007) que el CO₂ que sería emitido por ejemplo al combustionar combustibles fósiles.

Según el IPCC (2007), la tendencia es que las emisiones de GEI en el sector residuos, especialmente del CH₄ de los rellenos sanitarios, se estabilice y disminuya en muchos países desarrollados como resultado del aumento de la recuperación del gas metano generado por la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica, combinado con el uso de reciclaje, reducción en la generación de residuos y estrategias alternativas de gestión térmica y biológica de residuos. Sin embargo, según BOGNER *et al.*, (2007), las emisiones de CH₄ de rellenos sanitarios tienden a aumentar en los países en desarrollo debido al aumento de la población y al uso de sistemas convencionales de disposición final de RSM (botaderos y rellenos sanitarios sin recuperación del gas generado para quema simple o aprovechamiento energético).

En Ecuador, la Primera Comunicación Nacional de Ecuador enviado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático muestra en su inventario de GEI que el sector desperdicios⁶⁴ es responsable por la emisión de 64,02 Gg de CH₄ en el año 1990 (MAE, 2001). La Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del Ecuador muestra que entre 1990 y 2006 hubo un incremento de 74,2% de emisiones totales en el

⁶³ Información no oficial, recopilada por ENYA durante viajes de campo en 2011 y 2012.

⁶⁴ La Primera Comunicación Nacional hace referencia al sector Desperdicios, y se lo entiende como el sector de Residuos Sólidos (botaderos de basura y rellenos sanitarios) (MAE, 2001).

sector desechos⁶⁵ (incremento de 54,6% de emisiones de CH₄ en este mismo período y sector) (MAE, 2011).

El sector de desechos es el segundo que más emite metano en Ecuador como resultado de actividades de tratamiento de aguas residuales y por la disposición de residuos sólidos en tierra (MAE, 2011; MAE, 2012). Analizando el histórico de la cantidad de metano emitido anualmente en Ecuador en unidades de CO₂equivalente (CO₂e), se aprecia que en el año 2006 las emisiones del sector desechos(residuos sólidos y aguas residuales) llegaron a cerca de 8 millones de tCO₂e, observándose que la contribución del sector residuos sólidos (botaderos y rellenos sanitarios) en las emisiones de metano es de 2` 266.028 tCO₂e(MAE, 2012).

Así como a nivel mundial, para Ecuador también es importante la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en el sector residuos. Es parte de la visión del Gobierno de Ecuador⁶⁶, a través de su Ministerio de Ambiente (MAE) y de la Subsecretaría de Cambio Climático, dar mayor importancia a la mitigación de GEI, para precautelar el bienestar del ser humano y sus futuras generaciones. Mediante Decreto Ejecutivo 1815 se declaró la mitigación y adaptación al cambio climático como política de Estado. A nivel local el Gobierno también busca reducir los impactos adversos a la salud pública y minimizar impactos sociales y ambientales.

De esta forma, los objetivos estratégicos del Gobierno de Ecuador para el corto, mediano y largo plazo para la mitigación de gases GEI en el sector residuos sólidos están enmarcadas en la línea estratégica de “Fomentar la aplicación de prácticas que permitan reducir emisiones de GEI en los procesos relacionados con la provisión de servicios y la generación de bienes, desde su fabricación, distribución, consumo, hasta su disposición final” (MAE, 2012). Esta línea estratégica es parte del objetivo específico 4 del plan de mitigación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador ENCC 2012 – 2025 (MAE, 2012). Sin embargo, la ENCC 2012 – 2025 no define metas a nivel nacional para la reducción de GEI en el sector de residuos sólidos para el medio y largo plazo, con relación a la disposición final de RSM (MAE, 2012).

Una de las formas para mitigar la emisión de GEI en el sector residuos es a través de la implementación de tecnologías de aprovechamiento energético de los RSM. La obtención de energía a partir de RSM (*WTE*⁶⁷ o *EFW*⁶⁸) es una alternativa tecnológica que encaja en programas de **“Gerenciamiento Integral de Residuos Sólidos Municipales”**⁶⁹ (ENVIRONMENT AGENCY, 2006b; HOKKANEN; SALMINEN, 1997; PIRES

⁶⁵La Segunda Comunicación Nacional hace referencia al sector Desechos, y se entiende que engloba Residuos Sólidos (botaderos y rellenos sanitarios) así como también de Aguas Residuales (MAE, 2011)

⁶⁶El Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) en su política 4.4 estipula la necesidad de “Prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida”. A partir de este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos relacionados con cambio de matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de vulnerabilidades, tratamiento transversal de la gestión ambiental, entre otros temas estratégicos. En particular, la política 4.5 está orientada a “fomentar la adaptación y mitigación a la variabilidad climática, con énfasis en el proceso de cambio climático”. Este pensamiento es uno de los pilares más importantes que sustentan el trabajo llevado a cabo por el MAE en el área de mitigación de GEI en Ecuador.

⁶⁷ WTE: *Waste to energy*

⁶⁸ EFW: *Energy from waste*

⁶⁹ Las rutas de destino y disposición final de los residuos sólidos municipales (RSM) pueden ser jerarquizadas basándose en el criterio de residuo final mínimo, esto es conocido como *Sistema Integrado de Gerenciamiento de Residuos Sólidos* (SIGRS). Para el SIGRS, las rutas deben ser priorizadas en la siguiente orden: 1) reducción

et al., 2011). El aprovechamiento energético de los RSM evita emisiones de GEI⁷⁰ (CH₄ y N₂O) debido a dos motivos principales:

- a) El aprovechamiento energético de los RSM evita la emisión de una cantidad de metano que sería generada en rellenos sanitarios y botaderos debido a la descomposición anaeróbica de su fracción orgánica (IPCC, 2006). Esta cantidad de metano debe ser calculada caso a caso, no existe un valor único para todos los rellenos y botaderos sanitarios.
- b) La energía obtenida a partir de los RSM, cuyos procesos tecnológicos mayoritariamente liberan CO₂ de origen biogénico, reemplaza una cantidad de energía que tradicionalmente sería generada usando combustibles fósiles en plantas termoeléctricas convencionales (PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; BAUMERT *et al.*, 2005; IPCC, 2006).

La **gestión integral de los residuos** considera prácticas adecuadas para cada una de las etapas en el ciclo de vida de los RSM, desde la reducción en la generación, la separación en la fuente, el reciclaje y re uso y finalmente la disposición final. El actual método de disposición final impulsado por el PNGIDS es el relleno sanitario, sin embargo, para el futuro el PNGIDS también prevé la implementación de tecnologías de aprovechamiento energético de RSM.

En la actualidad diversas opciones tecnológicas están ya disponibles a nivel comercial en el mundo para la disposición final de RSM, entre ellas constan la biodigestión, pirólisis, plasma, producción de combustibles sólidos reciclados (RDF), incineración y captación de gas en rellenos sanitarios ya existentes o cerrados definitivamente.

La generación de energía a partir de RSM en media y gran escala es una alternativa tecnológica no explorada en el país, existiendo apenas pequeños proyectos piloto con tecnología MBT⁷¹ que aprovechan energéticamente estos residuos. Otras rutas tecnológicas como incineración, pirolisis y gasificación han sido modestamente estudiadas en Ecuador desde un punto de vista tecnológico, pero no se ha analizado su potencial de generación energética y peor aún su potencial para abatir GEI, entre otros beneficios ambientales.

Es importante destacar que todas las tecnologías de aprovechamiento energético pueden integrarse a los planes de gestión integral de RSM incentivados por el PNGIDS/MAE. En esta nueva era, caracterizada por el uso de tecnologías WTE operando en el marco de gestión integral de RSM, los rellenos sanitarios deberán ser entendidos como sitios de uso estratégico: lugares a donde deben destinarse únicamente los residuos no aprovechables (PAPAGEORGIOU *et al.*, 2009; BOVEA *et al.*, 2010; CHENG; HU, 2010; etc.). De esta forma se espera lograr mayores ganancias ambientales locales y globales.

Para alcanzar los objetivos estratégicos del Gobierno de Ecuador, expresados en la ENCC 2012 – 2025 (objetivo específico 4 de la línea estratégica de mitigación del cambio climático) (MAE, 2012), el Ministerio de Ambiente lleva a cabo la presente consultoría: “Evaluación de Necesidades Tecnológicas (ENT) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la Mitigación del Cambio Climático en Sector Energía, Subsector de Residuos Sólidos Municipales”. El objetivo fundamental del ENT es proponer un plan de acción tecnológica

de generación de residuos en la fuente; 2) reutilización de los residuos producidos; 3) reciclaje; 4) recuperación de energía, y 5) relleno sanitario (OLIVEIRA, 2000).

⁷⁰El CO₂ de origen biogénico emitido no es contabilizado en los inventarios nacionales. Este se forma al combustión del carbono contenido en la fracción orgánica de los RSM.

⁷¹MBT: *Mechanical Biological Treatment*, en la mayoría de casos se ha visto el uso de pequeños biodigestores.

(PAT) para cada tecnología priorizada. El PAT propone adecuados procesos de transferencia y difusión de tecnología⁷², visandocrear un marco habilitante que permita la entrada de tecnologías WTE al Ecuador. Las acciones propuestas en el PAT son básicamente políticas, programas y tareas complementares, cuya implementación contribuirá para acelerar la difusión y transferencia de las tecnologías WTE en la sociedad ecuatoriana.

En la Parte I del proyecto ENT se evaluó un portafolio de tecnologías compuesto por ocho procesos o líneas tecnológicas (ver **Figura 12**), agrupadas según su principio en diferentes grupos: mecánicos, termo-físicos, termoquímicos, bio-químicos y biológicos (aeróbicos y anaeróbicos). Las ocho tecnologías analizadas fueron: 1) Incineración con recuperación energética; 2) Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT) con recuperación de combustibles derivados de reciclaje (RDF) más co-incineración en industria cementera; 3) MBT con recuperación de RDF más co-incineración en termoeléctricas a vapor de ingenio azucarero u otras similares; 4) Producción de RDF y pirólisis con aprovechamiento de syngas y carbón; 5) Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas; 6) Plasma con aprovechamiento de syngas; 7) Captación de gas de relleno sanitario o de botadero de basura y aprovechamiento energético en motores de combustión interna; 8) MBT con digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogás en motores de combustión interna.

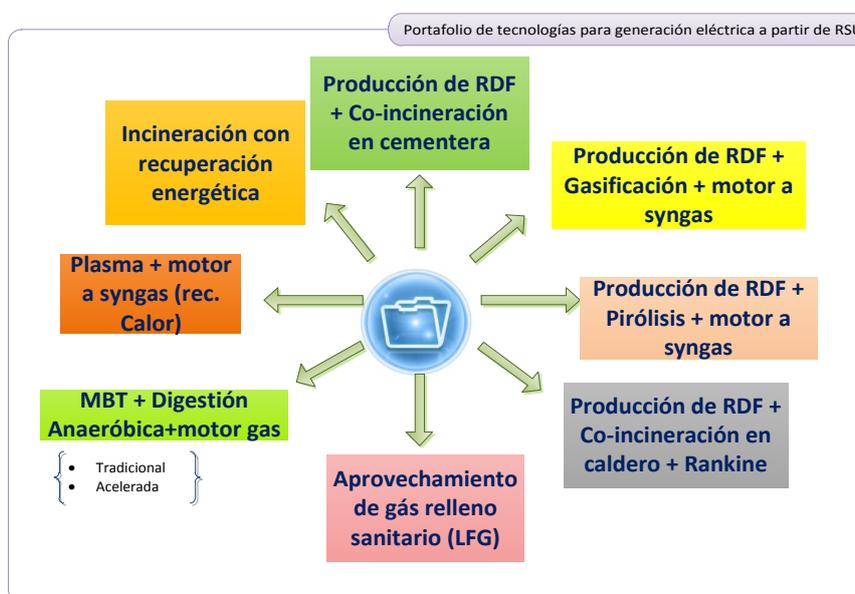


Figura 9: Portafolio inicial de tecnologías para generación eléctrica a partir de RSM.

Fuente: ENYA, (2012)

⁷²Transferencia y difusión de tecnología son temas bastante estudiados por autores como BOLDT *et al.*, (2012) y HASELIP *et al.*, (2011). El proceso de transferencia de tecnología está asociado al intercambio internacional o transfronterizo de artefactos, equipos o sistemas (hardware), conocimiento y proceso (software) y elementos organizativos (orgware) (BOLDT *et al.*, 2012). La difusión tecnológica está orientada a la divulgación de una nueva tecnología, utilizando varios canales a lo largo del tiempo, en una sociedad donde la tecnología es adoptada gradualmente por más y más miembros de ella (personas, instituciones, empresas, etc.) (BOLDT *et al.*, 2012).

Usando como metodología el análisis multi-criterio, fueron evaluados parámetros sociales, ambientales, económicos y técnicos de cada tecnología. En este punto fue fundamental la ejecución de un taller participativo llevado a cabo en la sede central del MAE en abril 2012, que reunió diversos actores quienes contribuyeron con su experiencia para adjudicar un peso o importancia relativa a cada uno de los parámetros del análisis. De esta forma se cumplió con los objetivos de priorización tecnológica de la Parte I del estudio. Fueron priorizadas tres tecnologías diferentes para dos regiones del país (Provincia de Chimborazo y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas). Las líneas tecnológicas, organizadas por Provincia de aplicación, son presentadas en la Tabla 33.

Tabla 33: Tecnologías priorizadas en las zonas escogidas.

	Tecnologías Priorizadas	
Santo Domingo de los Tsáchilas	A1) Captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura para el aprovechamiento energético en rellenos sanitarios ya existentes (o botaderos de basura cerrados).	A2) Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.
Chimborazo	A3) Producción de pellets y co-incineración en hornos cementeros.	A2) Tratamiento mecánico – biológico (MBT) con degradación anaerobia y aprovechamiento energético de biogás.

De esta forma, la meta preliminar es proponer mecanismos, políticas, programas y tareas complementares que faciliten la difusión y transferencia de las tecnologías estudiadas en el medio plazo. Las expectativas giran alrededor de la probabilidad de una amplia difusión de tecnologías WTE en todo el país, visando mitigar GEI y aprovechar mejor los recursos energéticos.

6.1.2. Proceso de identificación de barreras y proposición de medidas

Una segunda etapa del Proyecto ENT tuvo por objetivo específico desarrollar un “Análisis de Barreras y Marco Habilitante” para cada tecnología priorizada (Ver Tabla 33). Los principales contenidos de éste informe son dos:

Análisis de barreras y de medidas identificadas para superar las barreras, para cada tecnología priorizada.

Análisis del marco habilitante que permita la difusión y transferencia de las tecnologías priorizadas.

Para la identificación y jerarquización de barreras para las tres tecnologías descritas, una Comisión Técnica (CT) integrada por expertos en tecnología del sector privado y representantes de las instituciones de gobierno fue conformada. Los consultores encargados del ejercicio, así como la CT designada, adoptaron nuevamente un proceso participativo para llevar a cabo el análisis de barreras y la identificación de las medidas que contribuirán para configurar un marco habilitante propicio para la difusión y transferencia de las tecnologías mencionadas.

Se destaca el hecho que anteriormente, el equipo consultor desarrolló visitas de campo por los diferentes municipios que integran las Provincias de Chimborazo y de Santo Domingo de los Tsáchilas, en donde se ejecutó entrevistas a los encargados del tema de RSM de cada municipio y también visitó los actuales botaderos de basura o rellenos sanitarios, según el caso.

En la secuencia del análisis de barreras, los consultores encargados revisaron diversas fuentes bibliográficas para identificar las razones primarias de por qué las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM no son ampliamente usadas en Ecuador.

Después de haber identificado un conjunto de barreras iniciales, en septiembre de 2012 se realizó un taller participativo en la sede del MAE (Quito-Ecuador), en donde diferentes actores de los sectores gubernamental (MAE, MEER, INER, Municipios de Chimborazo y Santo Domingo, OLADE, SENESCYT, etc.) y académico aportaron para la identificación, agrupación y jerarquización de barreras (claves y no claves, barreras iniciales, cruciales, importantes, menos importantes e insignificantes) (MAE/ENYATEC, 2012). La metodología usada para la identificación de barreras fue la “lluvia de ideas”. Se conformó un grupo de trabajo por tecnología priorizada en cada provincia. Posteriormente todas las barreras fueron categorizadas y calificadas en consenso. En una etapa posterior al taller, la consultora realizó el mapeo de actores del sector RSM, análisis lógico del problema que ayudó a identificar causas-efectos de las principales barreras.

En el referido Taller, las barreras fueron clasificadas en las siguientes categorías(MAE/ENYATEC, 2012):

Tabla 34: Barreras identificadas

Categorías de barreras identificadas:	
Barreras económicas/financieras	
Barreras no económicas/financieras	Barreras de política/regulación
	Barreras de capacidad institucional/organizacional
	Barreras técnicas
	Barreras sociales

Debido a que la Consultoría ENT aborda tres líneas tecnológicas para el aprovechamiento energético de los RSM, que comparten barreras en las diferentes categorías mencionadas, se desarrolló un segmento de identificación de barreras comunes a las tres tecnologías.

Las barreras comunes para las tecnologías priorizadas fueron desarrolladas para dos clases: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras (Ver Tabla 34). Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

Al igual que las barreras comunes, las barreras específicas también fueron clasificadas en: barreras económicas/financieras y barreras no económicas/financieras. Éstas últimas engloban barreras políticas/regulatorias, barreras de capacidad institucional/organizacional, barreras técnicas y barreras sociales.

La especificidad de estas barreras obedece tanto a las características propias de cada tecnología al (tipo de productos, beneficios y retornos económicos de cada una), así como también a las especificidades de la provincia que sirve como entorno para el análisis (Santo Domingo de los Tsáchilas o Chimborazo).

6.1.3. Barreras comunes y medidas comunes

6.1.3.1. Barreras Económicas/financieras comunes y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Alto costo de capital (inversión) de las tecnologías propuestas.	Incentivar la facilidad para acceder a financiamientos, tasas de interés menores, tiempo de gracia, etc.
Baja prioridad para inversión en estos temas.	Concientización
Percepción de alto riesgo en la inversión.	Capacitación Visitas técnicas al exterior a plantas en funcionamiento Marco regulatorio claro, estable y de largo plazo. Estabilidad jurídica
Elevado tiempo de retorno	Preferencia para el despacho de electricidad al SIN. Contratos para largo plazo Estabilidad jurídica

Dificultad en acceder a financiamientos	Capacitación técnica a Bancos Visitas técnicas a plantas en operación
Dificultad para auto financiamiento en municipios pequeños	Soporte económico del gobierno central Cooperativismo para crear mercado de abonos, materiales reciclados, etc.
Insuficiencia en el incentivo propuesto por CONELEC (regulación 04/11), de <i>feed-in-tariff</i> para generadores eléctricos a partir de biomasa	Incremento en la tarifa para biomasa, que garantice competitividad con otras fuentes (FV, eólico y PCH).
Incertidumbre sobre la permanencia del <i>feed-in-tariff</i> (CONELEC regulación 04/11).	Estabilidad jurídica Contratos para medio y largo plazo. Directrices claras de expansión del sector eléctrico
Restricción de límite de capacidad instalada con plantas de generación eléctrica con fuentes renovables no convencionales (hasta 6% del total de la potencia eléctrica instalada total).	Revisión periódica de este límite Directrices claras para la expansión del sector eléctrico
Dificultad para incorporar el costo de las externalidades negativas al costo real de las tecnologías del escenario base.	Aplicación de métodos de valoración económica del costo ambiental.
Incertidumbre sobre la permanencia del mecanismo MDL	Participación en foros internacionales que busquen definir el futuro del mecanismo, o proponer nuevas alternativas.

6.1.3.2. Barreras no económicas/financieras comunes y medidas comunes

Barreras políticas/regulatorias comunes y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Planificación estratégica municipal no considera tecnologías WTE.	Capacitación Visitas técnicas Creación de norma técnica y ambiental que regule e incentive WTE en los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Analizar posibles incentivos
Energía renovable compite con combustibles fósiles subsidiados.	Reducción progresiva del subsidio a combustibles fósiles? Subsidio a energías renovables.
No se incentiva de forma explícita a las tecnologías WTE en las políticas, estrategias y programas nacionales que identifican a la gestión integral de RSM como el camino a seguir.	Implementar en el Plan del Buen Vivir, en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), en los objetivos y resultados esperados del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos (PNGIRS), en las políticas estratégicas de SENPLADES y en otras políticas relacionadas a RSM, las emendas necesarias para incentivar explícitamente a las tecnologías WTE dentro del marco de gestión integral de RSM en Ecuador.
Carencia de políticas para vencer la inercia del escenario base caracterizado por el uso generalizado de rellenos sanitarios y botaderos de basura a cielo abierto.	Política de incentivos Capacitación
Dificultad en llevar a cabo un remplazo prematuro del capital o tecnologías no amortizadas (rellenos sanitarios nuevos e maquinaria complementaria).	Reingeniería para aprovechamiento de la infraestructura en uso.
Falta de incentivo en el MIPRO para la producción de electricidad con residuos	Fortalecer los nexos y actividades desarrolladas con las empresas de reciclaje.
Falta de planificación estratégica, en las empresas generadoras, que considere la generación de electricidad a partir de RSM.	Capacitación Políticas de soporte y esquemas para mejorar la organización inter institucional.
Falta de estudio en el INP sobre el	

potencial de producción de electricidad a partir de RSM.	
Visión de corto plazo en autoridades municipales	Capacitación para las autoridades municipales y para los ciudadanos.
Ausencia de ordenanzas municipales orientadas a incentivar y regular WTE.	Creación de ordenanzas municipales
Dificultad para la formación de mancomunidades	Capacitación, asesoramiento jurídico, planificación estratégica, que permita aprovechar las ventajas de la formación de mancomunidades.
Falta de planificación estratégica y visión en las empresas del sector eléctrico (distribuidoras, CNEL, CENACE) para aprovechar el potencial energético de los RSM.	Planificación estratégica Programas para incentivar la cooperación inter institucional. Capacitación
Falta de injerencia de otros Ministerios (además del MAE) y organismos gubernamentales en el tema de RSM.	Capacitación Asesoramiento jurídico Formación y consolidación de redes inter institucionales
Carencia de normativa para regular WTE en Ecuador.	Creación de norma técnica para WTE en Ecuador Incrementar lo relacionado a WTE en la Ley de Gestión Ambiental, en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA)

Barreras de capacidad institucional/organizacional comunes y medidas sugeridas

Barrera	Medida
<p>Desconocimiento sobre las tecnologías WTE en las autoridades municipales. Aversión al uso de estas nuevas tecnologías</p>	<p>Capacitación</p> <p>Visitas técnicas</p>
<p>Carencia de técnicos que conozcan a profundidad sobre la operación de las plantas WTE propuestas</p>	<p>Capacitación a técnicos del PNGIDS/MAE, quienes a su vez deberán capacitar a los encargados de RSM en cada Municipio.</p> <p>Capacitación directa para autoridades municipales y responsables de RSM.</p> <p>Cursos técnicos para la formación de profesionales en el área.</p>
<p>Falta de claridad sobre las competencias de cada una de las instituciones públicas en el tema de aprovechamiento energético de RSM.</p>	<p>Asesoramiento jurídico, que permita definir las atribuciones y límites sobre el tema de WTE en Municipios, Ministerios, Sector eléctrico, etc.</p> <p>Talleres que incentiven el diálogo entre instituciones.</p>
<p>Falta de proyectos de investigación, en el INER , para evaluar las tecnologías WTE</p>	<p>Programa de investigación desarrollado por INER para evaluar tecnologías WTE en Ecuador.</p>
<p>Falta de proyectos de investigación, en las Universidades y Centros de Investigación , para evaluar las tecnologías WTE</p>	<p>Fortalecer nexos entre gobierno (municipios y ministerios relacionados al tema de RSM) y Universidad, para incentivar investigación en temas relacionados a WTE (financiamiento de tesis de grado, de consultorías y de proyectos de ingeniería).</p> <p>Declaración de las tecnologías WTE como prioridad nacional de investigación en las líneas de energías renovables, conservación ambiental, etc. Actores fundamentales son SENASCYT y SENPLADES.</p>

<p>Desconocimiento en autoridades municipales encargadas de RSM sobre la posibilidad de que el CONELEC emita licencias ambientales para proyectos WTE, así como de otros aspectos regulatorios.</p>	<p>Capacitación técnica y jurídica a Municipios sobre las exigencias del CONELEC con relación a los requisitos para formar una empresa generadora de electricidad a partir de RSM.</p>
<p>Falta de coordinación y cooperación entre MAE, MEER, Municipios, CONELEC</p>	<p>Convenio de cooperación inter institucional para desarrollar el tema de WTE.</p>

Barreras técnicas comunes y medidas sugeridas

Barreras	Medidas
<p>Carencia de una norma técnica a nivel nacional que establezca parámetros técnicos para las tecnologías WTE.</p>	<p>Redacción de una norma técnica sobre WTE, por parte del INEN.</p>
<p>Desconocimiento de temas técnicos de las tecnologías WTE sobre instalación, operación, mantenimiento, final de la vida útil.</p>	<p>Capacitación Visitas técnicas</p>
<p>Dificultad para garantizar el flujo continuo de la suficiente cantidad de RSM a una planta WTE</p>	<p>Planificación estratégica Estudios de factibilidad</p>
<p>Insuficiente experticia en técnicos para la instalación, operación y mantenimiento de plantas WTE.</p>	<p>Capacitación a los técnicos de Municipios que trabajan en el tema de RSM.</p> <p>Creación de un centro de capacitación, u fortalecimiento de centros de capacitación existentes, visando la formación de nuevos técnicos en tecnología WTE.</p> <p>Fortalecimiento de relaciones con Universidades, para que carreras tradicionales (Ing. Mecánica, Ing. Química, Ing. Ambiental, Ing. Eléctrica) incorporen en su pensum los diversos aspectos de WTE, así como para que incentiven tesis del tema.</p>

<p>Limitada oferta de las tecnologías analizadas en el país.</p>	<p>Planeamiento energético y ambiental estratégico, claro y de largo plazo, que considere a las tecnologías WTE para la provisión de electricidad y como solución a problemas ambientales en Ecuador. Estas directrices incentivarán al sector privado (Consultoría e Industria) para ampliar la oferta de estudios y de tecnología respectivamente.</p> <p>Programa estratégico de desarrollo de tecnología, en alianza entre sector público y privado.</p> <p>Construcción de plantas piloto para las tecnologías priorizadas.</p>
--	--

Barreras sociales comunes y medidas sugeridas

Barreras	Medidas
<p>Falta de concientización y educación ambiental en la población.</p>	<p>Campana de educación ambiental y concientización sobre la producción de energía y sus usos finales, rescatando la importancia de las tecnologías WTE.</p>
<p>Conflictos sociales originados por minadores y recicladores informales quienes desconocen las ventajas de pasar a trabajar en una planta WTE.</p>	<p>Programa de inserción social de antiguos minadores a nuevas plantas WTE e industria de reciclaje. Instituciones: MIES, MAE</p>
<p>Insuficiente capacidad de empresas recicladoras para mayor aprovechamiento de los materiales reciclables de los RSM.</p>	<p>Fortalecimiento de la industria recicladora en Ecuador, incluyendo creación de nuevas empresas recicladoras y creación de un mercado formal y regulado de productos reciclados. Instituciones: MIPTRO</p>
<p>Oposición de la población al incremento del pago por el servicio de recolección y disposición final de RSM en cada Municipio</p>	<p>Campaña de concientización a nivel nacional sobre la importancia ambiental y energética de WTE.</p> <p>Tarifa incentivada para la compra de electricidad producida con WTE, materiales reciclados, abonos y RDF producido; de tal forma que se viabilice económicamente cada proyecto, o disminuya</p>

	considerablemente el incremento en la tarifa pagada por los usuarios.
--	---

En la secuencia se desarrollarán las barreras específicas para cada tecnología.

6.2. PLAN DE ACCIÓN TECNOLÓGICO SUB-SECTORIAL: ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. ACCIONES COMUNES A IMPLEMENTARSE PARA LAS TRES TECNOLOGÍAS ANALIZADAS

Según el formato de referencia del proyecto ENT las acciones a ser propuestas en una estrategia o plan de acción pueden enmarcarse en las siguientes categorías (RISO, 2012).

- Políticas, leyes y regulaciones: leyes, estándares, etiquetaje
- Incentivos fiscales: subsidios, reducción de tasas, exención de impuestos, subvenciones y subsidios, préstamos.
- Información y sensibilización: proyectos demostrativos, plantas piloto
- Mecanismos y convenios institucionales
- Planeamiento estratégico del gobierno
- Apoyo para investigación y desarrollo.

Según la Base de Datos sobre Políticas y Medidas para las Energías Renovables publicado por(IEA/IRENA, 2011) las políticas y medidas que pueden ser propuestas por una estrategia nacional o plan de acción, están categorizadas y agrupadas como muestra el siguiente cuadro.

Tabla 35: Agrupación de medidas según UNDP (2010)

Instrumentos económicos

- Inversión directa
 - Fondos para gobiernos sub nacionales
 - Inversión en infraestructura
 - Normas de contratación
 - Fondos para Investigación, Desarrollo e Implementación (RD&D)
- Incentivos financieros/fiscales
 - Tarifas Feed-in/ premiums
 - Subvenciones y subsidios
 - Préstamos
 - Desgravación fiscal
 - Impuestos
 - Cargos a los usuarios
 - Permisos para emisión de GEI
 - Certificados verdes
 - Certificados blancos

Instrumentos regulatorios

- Auditoría
- Códigos y estándares
 - Códigos y normas para la construcción
 - Estándares vehiculares
 - Estándares sectoriales
 - Estándares para economía de combustible en vehículos y estándares de emisión.
- Monitoreamiento
- Esquemas obligatorios
- Otras obligaciones

Soporte para políticas

- Creación de políticas
- Planeamiento estratégico

Información y educación

- Asesoramiento/ayuda para implementación
- Suministro de información
- Etiquetaje de desempeño
 - Etiqueta para compación
 - Etiqueta de aval
- Capacitación profesional y evaluación

Investigación, Desarrollo e Implementación (RD&D)

- Proyectos de demostración
- Programas de investigación
 - Implementación de tecnología y difusión
 - Desarrollo tecnológico
- Planteamientos voluntarios
 - Acuerdos negociados (sector público – privado)
 - Esquemas voluntarios públicos
 - Compromisos unilaterales (sector privado)

Finalmente, según el “Manual para Conducir una Evaluación de Necesidades Tecnológicas” publicado por UNDP, (2010) las medidas para acelerar la difusión y transferencia de tecnología, a ser propuestas por una estrategia pueden ser agrupadas en seis grupos (Ver Tabla 35).

Tabla 36: Agrupación de medidas según UNDP (2010)

- Creación de redes de actores
- Políticas y medidas
- Cambio organizacional y de comportamiento
- Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros
- Entrenamiento de habilidades y educación
- Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual

Según la misma publicación de UNDP, (2010), las acciones pueden ser analizadas durante las tres etapas de innovación o “curva de aprendizaje”. (Ver Tabla siguiente).

Tabla 37: Etapas de la curva de aprendizaje de una tecnología UNDP, (2010)

- Innovación (Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D))
- Implementación
- Difusión

En la primera etapa, de ID&D, se considera que las tecnologías se encuentran en estudio a escala de plantas piloto en donde la demostración se lleva a cabo para pasar a la siguiente etapa. La segunda etapa, de implementación, es un período de prueba de la tecnología en escala real, una etapa dedicada a la concientización de la población, educación y formación de profesionales capacitados para instalar, operar y dar mantenimiento a la tecnología. La segunda etapa también es la época en donde se debe incentivar la demanda, dar oportunidades de financiamiento y asegurar la disponibilidad de la misma. Finalmente, en la tercera etapa o etapa de difusión la tecnología se considera que la tecnología ya es competitiva en el mercado y ésta puede esparcirse libremente según las leyes de oferta y demanda y regulaciones de mercado. En la etapa de difusión se considera que ya habrá el suficiente número de plantas instaladas de tal forma que la cadena productiva y comercial de esta tecnología puede mantenerse en el largo plazo.

El estado de innovación de una tecnología debe ser analizada **dentro de cada país** (UNDP, 2010), de esta forma a pesar de que las tecnologías estudiadas ya se encuentran en la

etapa de difusión en países desarrollados, **en Ecuador éstas aún siguen en la primera etapa de ID&D.**

Este trabajo tomará como referencias la agrupación de acciones y las etapas de análisis propuesto por UNDP (2010), así como la clasificación de políticas y medidas propuesta por IEA/IRENA (2011).

A continuación se detalla el conjunto de acciones comunes propuestas para acelerar las etapas de ID&D, implementación y difusión de las tecnologías A1, A2 y A3 en Ecuador.

6.2.1. Consolidación de estrategia para superar barreras comunes

La consolidación de esta estrategia se visualiza en la Tabla 38

Tabla 38: Agregación de medidas propuestas para la estrategia sectorial “Energía a partir de Residuos Sólidos Municipales”.

Medida estratégica	Acelerar innovación ID&D	Acelerar la implementación	Acelerar la difusión
Instrumentos económicos: inversión directa			
Apertura de Línea de Financiamiento Público	■	■	■
Formación de empresas mixtas que faciliten opciones de financiamiento.	■	■	■
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales			
Incremento de tarifa preferencial para generación eléctrica con residuos urbanos y rurales.	■	■	■
Focalización y transferencia de subsidios a energías renovables	■	■	■
Instrumentos regulatorios			
Reglamentar el despacho preferencial de la electricidad producida en las plantas de aprovechamiento energético de RSM.	■	■	■
Revisión y ajuste del límite de capacidad instalada con plantas de generación eléctrica que usen biomasa.	■	■	■
Instaurar un plazo razonable para que acontezca la conversión de rellenos sanitarios y de botaderos de basura, activos o cerrados, sin recuperación de biogás, a sitios con extracción de biogás y aprovechamiento energético del mismo.	■	■	■
Soporte para políticas y leyes			

Creación de una política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, que incluya explícitamente a las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM como una alternativa prioritaria para el tratamiento de RSM al final del ciclo.			
Definir como línea estratégica para desarrollo de nuevas políticas y de planeamiento estratégico al aprovechamiento energético de RSM			
Reformular en el COOTAD y otros cuerpos legales, políticas y directivas orientadas para promover la transición de fuentes de energía fósil a renovable.			
Definir un organigrama para coordinar la ejecución de proyectos usando tecnologías WTE			
Incentivar la conducción de la Subsecretaría de Cambio Climático del MAE y de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética del MEER del tema de aprovechamiento energético de RSM.			
Analizar la situación actual institucional, organizacional, administrativa, económica/financiera, tecnológica y política de cada uno de los 221 municipios que componen el país.			
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades			
Programa de capacitación para funcionarios municipales y de entidades del gobierno central encargados del tema de RSM.			
Socialización con la comunidad de los proyectos que incluyan plantas de energía a partir de RSM.			

Incorporar en el pensum de escuelas y colegios temas y programas de concientización ambiental y valoración de los RSM como fuente de energía y materia prima			
Desarrollar programas de educación y políticas de inclusión social que busquen erradicación del trabajo infantil y de la presencia de minadores ilegales en botaderos y rellenos sanitarios.			
Incentivar el estudio de Posgrados en temas relacionados al tratamiento de RSM y su aprovechamiento energético			
Mecanismos y convenios institucionales			
Formación de mancomunidades estratégicas para tratar el tema de RSM.			
Programa de fortalecimiento de relaciones entre instituciones del Gobierno visando acuerdos de cooperación para desarrollar las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM.			
Creación de un organismo de gestión pública que agrupe las plantas de aprovechamiento energético (electricidad y calor) a partir de RSM.			
Incrementar capacidades institucionales y organizativas en MAE/ Subsecretaría de Calidad Ambiental, MEER, INER, INP, MIPRO, MIES, SENASCYT, SENPLADES, CELEC EP, Subsecretaría de Cambio Climático, Direcciones de Ambiente y Aseo de los GADs; de tal forma que más actores se vinculen en el tema de gestión integral de los RSM y aprovechamiento energético de RSM, desde la perspectiva de cada uno.			
Programa de capacitación a instituciones del sector eléctrico para que consideren a los RSM como fuente de energía usando tecnologías WTE			

Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)			
Programa de investigación en el área de energías renovables y medio ambiente, con énfasis en la producción de electricidad a partir de las tecnologías WTE priorizadas (A1, A2 y A3).			
Crear materias nuevas en cursos de graduación y crear cursos de posgraduación que aborden el tema de aprovechamiento energético de los RSM			
Construcción de plantas piloto de la tecnología A1, A2 y A3			
Modificación y adaptación del Complejo Ambiental de Santo Domingo de los Tsáchilas para que considere el aprovechamiento energético del gas a ser recuperado			
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros			
Programa de fortalecimiento del mercado de productos reciclados, abonos orgánicos y combustibles sólidos derivados (RDF)			
Programas de inclusión social para que antiguos minadores se incorporen a otras actividades productivas (plantas WTE, etc.)			
Programa de desarrollo de la cadena industrial local para proveer tecnología y servicios relacionadas a WTE			
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual			
Apertura de Línea de Financiamiento en Bancos Internacionales			
Convenio con organizaciones internacionales de asistencia técnica y financiera para			

países en desarrollo para desarrollar plantas piloto, realizar intercambios técnicos, programas de investigación, etc.			
--	--	--	--

SIMBOLOGÍA: Período de acción

corto plazo (0 - 5 años)	medio plazo (0 - 10 años)	largo plazo (0 - 20 años)
-----------------------------	------------------------------	------------------------------

6.2.2. Priorización y caracterización de las medidas propuestas

La priorización realizada fue resultado de la evaluación de los sectores y medidas determinantes para el desarrollo de proyectos de plantas WTE: económico, político, educativo, institucional, académico y soporte multilateral, en función a su peso específico para la toma de decisiones, lo cual fue desarrollado en el Informe de Barreras y Marco Habilitante.

Tabla 39: Priorización y caracterización de las medidas propuestas

Medida estratégica	Prioridad	Justificación	Quién debería hacerlo?	Duración	Medidas para monitorear, reportar y verificar	Costos estimados
Instrumentos económicos: inversión directa						
Apertura de línea de financiamiento público		Bancos como BEDE, BIESS, CFN, CAF, el Banco del Sur, BID y otras entidades financieras multilaterales o privadas, no tienen experiencia en la región y en el país, con el análisis de plantas WTE. Por ejemplo, en lo relacionado a RSM, el BEDE concede préstamos a GADs para recolectores y construcción de rellenos sanitarios.	Oferta: BEDE, BIESS, CFN, CAF, BID, Banco del Sur. Demanda: GADs, emprendedores privados.	Indefinida	Monto de préstamos otorgados por año, para diseño y construcción de plantas WTE.	No determinado. Debe considerar: costo de desarrollo de herramientas de calificación de plantas WTE + promoción de nuevo producto financiero entre GADs, en función de los protocolos de cada institución.
Formación de empresas mixtas que faciliten opciones		Es de interés del Estado ser promotor del desarrollo de estas nuevas tecnologías,	Puede ser integrado por la combinación	Indefinida	Número de empresas mixtas	No estimado

de financiamiento.		velar por la calidad ambiental y dar soluciones creativas a la demanda creciente de energía. Es factible entonces que el Estado integre empresas mixtas con el sector privado. De esta forma el sector privado contribuirá aportando su experiencia organizacional y con innovación.	de gobierno central, municipios, organismos multilaterales, cooperación internacional y proveedores de la tecnología.		einstalen y operen plantas WTE.	
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales						
Incremento de tarifa preferencial para generación eléctrica con residuos urbanos y rurales.		Una señal muy efectiva para inversionistas y GADs, sería una tarifa preferencial suficiente para atraer inversiones y levantar interés en generación con RSM. Se lo comprobó con la tarifa de 40,05 centavos USD/kWh para generación fotovoltaica, que atrajo muchos más proyectos que la capacidad límite.	MICSE, MEER, CONELEC, CENACE, Ministerio de Finanzas	Indefinida	Potencia acumulada de nuevos proyectos de biomasa residual, instalados cada año. Número de plantas WTE instaladas cada año.	Si se estima la tarifa para proyectos de biomasa en 15 centavos USD/kWh, para una potencia incremental de 30 MW por año, el valor de energía comercializada sería alrededor de 33'507.000 USD/año.
Focalización y transferencia de subsidios a energías renovables		Apoyo concreto a la masificación de energías renovables no convencionales, con la creación de un fondo que podría ser capitalizado usando una fracción del subsidio a energías fósiles. Este fondo se realimentaría con los ingresos por venta de energía proveniente de fuentes	Sector oficial: Presidencia, MICSE, MEER, SENPLADES, CONELEC, CENACE, Ministerio de Finanzas, MRNNR, Agencia de	Formulación del modelo de transferencia de recursos: 3 – 4 meses Implementación: permanente.	Disminución inicial del 10% de subsidios brutos a los combustibles fósiles. Construcción de proyectos de	Formulación del modelo: 80.000 – 60.000 USD

		renovables. No se pretende que la energía renovable sea subsidiada permanentemente, sino crear las condiciones para la transición de fuentes y ajuste de costos.	Hidrocarburos, Sector privado: organizaciones de derecho privado, emprendedores, consultores, investigadores		energías renovables no convencionales por al menos 100'000.000 USD cada año.	
Instrumentos regulatorios						
Reglamentar el despacho preferencial de la electricidad producida en las plantas de aprovechamiento energético de RSM.		Reglamentar el despacho preferencial de esta energía a las líneas de distribución local y al sistema interconectado nacional sería una forma de incentivar la producción eléctrica con energías renovables no convencionales, entre ellas con las tecnologías WTE (A1, A2, A3)	CENACE, CONELEC	Debe implementar-se en el corto plazo. En el medio y largo plazo esta regulación deberá ser revisada	Cantidad anual de energía aportada al SIN por plantas de aprovechamiento energético de RSM, medido en kWh/año.	No estimado
Revisión y ajuste del límite de capacidad instalada con plantas de generación eléctrica que usen biomasa.		El CONELEC ha fijado este límite en 6% del total de capacidad instalada nacional, esto en la actualidad es aproximadamente 280MW. Se debe liberar este límite para plantas de biomasa. Esto es fundamental para la continuidad del proceso de difusión tecnológica de las tecnologías A1, A2 y A3, especialmente para las dos últimas	CONELEC, MEER	Debe implementar-se en el corto plazo. En el medio y largo plazo esta regulación deberá ser revisada	Potencia total instalada con plantas de aprovechamiento energético de RSM, medido en KWe	No estimado
Instaurar un plazo razonable para que acontezca la conversión de rellenos sanitarios y de botaderos de basura, activos o cerrados, sin		Los problemas ambientales tanto en escala local como en escala global causados por rellenos sanitarios y botaderos de basura, así como los problemas sociales y de salud pública,	MAE, MEER	El inicio de esta operación puede ser en el medio plazo, tiempo en el cual se da	Número de rellenos sanitarios o de botaderos en los cuales se aproveche	No estimado

recuperación de biogás, a sitios con extracción de biogás y aprovechamiento energético del mismo.	motivan el cierre definitivo de estas instalaciones y la implementación de sistemas de captación de gas metano para aprovechamiento energético en esos sitios.		oportunidad a buscar alternativas tecnológicas para la disposición final de RSM	energéticamente el gas metano colectado.	
Soporte para políticas y leyes					
Creación de una política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, que incluya explícitamente a las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM como una alternativa prioritaria para el tratamiento de RSM al final del ciclo.	<ul style="list-style-type: none"> • A la fecha, no existe un cuerpo legal que trate específicamente el desarrollo de las energías renovables no convencionales, sino artículos dispersos en algunas normativas. • Preparación de normativa económica energética para transición de energías de origen fósil a renovables. • La nueva normativa que incluya la valorización energética de residuos urbanos y rurales, debe dar lugar también a la reducción y separación de basura en la fuente. También incentivar el reciclaje en la fuente y en la planta WTE. • Se busca una política de “gestión integral” de manejo y aprovechamiento de desechos sólidos urbanos y rurales para generación eléctrica y/o térmica, como energía renovable no convencional y método avanzado de 	Elaboración de Ley: MEER, INER, SENESCYT, CONELEC y Ministerio del Ambiente: Equipo técnico de funcionarios gubernamentales + soporte externo de consultores especializados locales y/o extranjeros (IRENA por ejemplo).	Elaboración Ley: 6 meses. Revisión y aprobación por parte de Presidencia y Asamblea: desconocido.	Verificar aprobación de la ley en la Asamblea y en la Presidencia.	Elaboración Ley: 80.000 – 100.000 USD

		disposición de desechos sólidos.				
Definir como línea estratégica para desarrollo de nuevas políticas y de planeamiento estratégico, en el MAE, al aprovechamiento energético de RSM		<ul style="list-style-type: none"> • El MAE-PNGIDS no tiene instrumento legal para exigir y calificar estudios de aprovechamiento energético de RSM, que sean parte de los SGIDS. • Existe la tecnología para implementar una política “0 Residuos sin Aprovechamiento en el Ecuador”. No se trata únicamente de cumplir con la normativa vigente, sino avanzar más allá en tecnología, eficiencia energética y cultura social sobre RSM. 	MAE: Ministro de Ambiente, Subsecretaría de Calidad Ambiental, Subsecretaría de Cambio Climático MEER: técnicos de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética INER/SENESCYT: técnicos responsables del sector de energía de biomasa.	3 meses	Opción de análisis de transformación de RSM en materia prima energética, como parte de los SGIDS.	Elaboración propia funcionarios MAE-PNGIDS + MEER + INER: 0 USD (parte de su remuneración) Si es necesario, contratación de consultoría externa: 10.000 USD.
Reformular en el COOTAD y otros cuerpos legales, políticas y directivas orientadas para promover la transición de fuentes de energía fósil a renovable.		Es importante que los grandes marcos jurídicos incentiven la transición de fuentes de energía a nuevas formas más limpias, disminuyendo progresivamente el uso de fuentes fósiles e incrementando el uso de fuentes renovables.	SENESCYT, Asamblea Nacional	Modificación Ley: 6 meses	Verificar modificación en la ley.	Modificación Ley: 40.000 – 80.000 USD
Definir un organigrama para coordinar la ejecución de proyectos usando tecnologías WTE		Es fundamental que exista claridad en las responsabilidades, alcances y limitaciones de cada institución gubernamental que se relacione con el tema de RSM.	SENESCYT, Consultores privados	3 meses	Verificar publicación que presente este producto	40.000 USD
Incentivar la conducción de la		• Adaptación y Mitigación de los efectos	• Directamente:	• Medición línea	Construcción de	• Medición línea

<p>Subsecretaría de Cambio Climático del MAE y de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética del MEER del tema de aprovechamiento energético de RSM.</p>	<p>del Cambio Climático deben ser ejes transversales en todos los programas y políticas. Este tema debe ser incorporado en la planificación de todas las actividades que emiten GEI. Por ejemplo, el destino final de los RSM, residuos líquidos de ciudades, campos e industrias.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es importante desarrollar herramientas que permitan incorporar los costos ambientales reales en el análisis financiero tradicional. Esta responsabilidad debe ser coordinada por la Subsecretaría de Cambio Climático del MAE, en una nueva situación de jerarquía institucional. <p>Otras herramientas como análisis de ciclo de vida también deberían ser evaluadas a este nivel de jerarquía.</p>	<p>Subsecretaría de Cambio Climático, MAE-PNGIDS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indirectamente: sociedad civil ecuatoriana. 	<p>base de emisión de GEI de botaderos, rellenos sanitarios y plantas WTE: 1 año</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de metas: 2 meses • Campaña de reducción de emisiones: permanente. 	<p>curva de abatimiento de emisiones de GEI, con datos reales tomados en campo.</p>	<p>base: no determinado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de metas: 0 USD (remuneración funcionarios públicos) • Campaña de mitigación de emisiones GEI: no estimado
<p>Analizar la situación actual institucional, organizacional, administrativa, económica/financiera, tecnológica y política de cada uno de los 221 municipios que componen el país.</p>	<p>Esto es vital para diagnosticar su real capacidad de aplicación de la normativa COOTAD (atribuciones y jurisdicción sobre RSM) y para ejecutar todas las competencias que tienen por ley.</p>	<p>SENECYT, GADs, MAE</p>	<p>1 año</p>	<p>Verificar reporte que presente un informe de la situación de cada GADs.</p>	<p>100.000 USD</p>
<p>Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades</p>					
<p>Programa de capacitación para funcionarios municipales y de entidades</p>	<p>Un reclamo recurrente de los GADs es la falta de apoyo técnico de parte de los</p>	<p>MEER / INER</p>	<p>Primer curso: 2 meses intensivos</p>	<p>Realización del primer curso de</p>	<p>Primer curso: 150.000 USD</p>

<p>del gobierno central encargados del tema de RSM.</p>	<p>ministerios e instituciones centrales, sobre gestión de RSM. Se ve la necesidad de formar equipos de funcionarios municipales, de ministerios, academia y otras instituciones públicas y privadas, que puedan asumir la capacitación sobre tecnologías WTE.</p>		<p>(1 tecnología por semana x 8 semanas = 8 tecnologías) Cursos de refrescamiento cada 2 años</p>	<p>tecnologías WTE. Número de funcionarios que aprobaron el curso.</p>	
<p>Socialización con la comunidad de los proyectos que incluyan plantas de energía a partir de RSM.</p>	<p>La responsabilidad del manejo y aprovechamiento de los RSM, no es tarea únicamente de las autoridades a cargo. La sociedad civil, academia, organizaciones de recicladores, minadores, empresas recicladoras y otras, deben tomar parte activa. El involucramiento de la sociedad parte de la información de todas las opciones e implicaciones ambientales, económicas, sanitarias y políticas que determinan una forma de manejo de los RSM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y construcción de Parque Temático de Energías Renovables y Eficiencia Energética: MEER / INER / SENESCYT. • Consolidación y elaboración de material educativo de ER y EE: MEER / INER / Min. Educación • Consolidación y elaboración de material educativo de impactos de RSM: MAE / Min. Educ. • Consolidación y elaboración de material educativo de plantas WTE: MEER / MAE / Min. Educación • Lanzamiento de campañas de ER, EE y 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y construcción de Parque Temático de Energías Renovables y Eficiencia Energética: 15 meses • Campañas de información y educación de ER, EE y RSM: 2 años • Réplica cada 3 años, con nuevas generaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la entrada en operación del Parque Temático de Energías Renovables y Eficiencia Energética. • Índice de penetración de campañas de ER, EE y RSM. • Número de alumnos visitantes y aprobados en el Parque Temático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y construcción de Parque Temático de Energías Renovables y Eficiencia Energética: 1,5 – 2,0 millones USD • Campañas de información y educación de ER, EE y RSM: 1'000.000 USD (no incluye desplazamiento de alumnos de escuelas y colegios al Parque Temático).

			RSM: Secretaría de Comunicación de la Presidencia / MEER / MAE / Min. Educación			
Incorporar en el pensum de escuelas y colegios temas y programas de concientización ambiental y valoración de los RSM como fuente de energía y materia prima		El sistema educativo debe resaltar la importancia de la conservación del ambiente, cambio climático, reducción de generación de basura, reciclaje, aprovechamiento de RSM y eficiencia energética.	MAE/MEER/Min. Educación/Min. Salud y GAD's.	2 años	Verificar el pensum de escuelas y colegios escogidos en muestreo	1.000.000 USD
Desarrollar programas de educación y políticas de inclusión social que busquen erradicación del trabajo infantil y de la presencia de minadores ilegales en botaderos y rellenos sanitarios.		La erradicación del trabajo infantil es una prioridad del Estado, buscando cumplir con los derechos humanos y mejorar la calidad de vida de los ecuatorianos	MIES, Min. Educación, MAE	2 años	Verificar reducción en el número de minadores en rellenos sanitarios monitoreados	200.000 USD
Incentivar el estudio de Posgrados en temas relacionados al tratamiento de RSM y su aprovechamiento energético		En Ecuador ya es una realidad la posibilidad de estudiar maestrías y doctorados en el exterior gracias a las políticas del SENESCYT y Gobierno Central. Es importante incentivar a los estudiantes para que quien se interesen por el tema de tratamiento de RSM. Para esto es importante que el tema sea área es estratégica de investigación y desarrollo	SENESCYT, Universidades	Campaña anual	Número de profesionales con títulos de cuarto grado cuyas tesis estén enfocadas en tratamiento de RSM	40.000 USD por año
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores						

<p>Formación de mancomunidades estratégicas para tratar el tema de RSM.</p>		<p>Por alcanzar economías de escala, ahorro de recursos económicos, logísticos y concentración de sitios de industrialización de RSM, se deben conformar mancomunidades de municipios en función de su cercanía geográfica y no su afinidad política.</p>	<p>Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados (MCPGAD), Asociación de Municipalidades del Ecuador, MAE-PNGIDS.</p>	<p>Elaboración de estudios simultáneos para definición de mancomunidades : 4 meses Elaboración de normativa mancomunidades y socialización por regiones: 6 meses Aprobación Presidencia, GADs y Asamblea: no determinado</p>	<p>Conformación de x mancomunidades por año, hasta completar en tres años todas las determinadas por los estudios y normativa realizados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estudios de determinación de mancomunidades para gestión común de RSM a nivel nacional: 100.000 – 200.000 USD Elaboración de normativa y socialización con municipios: 100.000 USD
<p>Programa de fortalecimiento de relaciones entre instituciones del Gobierno visando acuerdos de cooperación para desarrollar las tecnologías de aprovechamiento energético de RSM.</p>		<p>Es evidente la necesidad de fortalecer las relaciones entre el MAE, MEER y GAD's. El acercamiento de las instituciones es importante para acceder a capacitación técnica en temas ambientales y energéticos, asumiendo que cada institución especializada puede compartir sus conocimientos específicos del área que les compete.</p>	<p>MEER/MAE/MIPRO y GADs</p>	<p>2 años</p>	<p>Número de acuerdos de cooperación firmados entre las instituciones</p>	<p>200.000 USD</p>
<p>Creación de un organismo de gestión pública que agrupe las plantas de aprovechamiento</p>		<p>Crear una base técnica, operativa y de profesionales calificados en el sector, a más de lograr economías de escala.</p>	<p>Todas las generadoras eléctricas que usen</p>	<p>Una vez iniciado, puede tardar 6 meses</p>	<p>Verificar la existencia del organismo</p>	<p>80.000 USD</p>

energético (electricidad y calor) a partir de RSM.			tecnologías WTE			
Incrementar capacidades institucionales y organizativas en MAE/ Subsecretaría de Calidad Ambiental, MEER, INER, INP, MIPRO, MIES, SENASCYT, SENPLADES, CELEC EP, Subsecretaría de Cambio Climático, Direcciones de Ambiente y Aseo de los GADs; de tal forma que más actores se vinculen en el tema de gestión integral de los RSM y aprovechamiento energético de RSM, desde la perspectiva de cada uno.		El manejo y aprovechamiento de los RSM es un problema complejo que concierne a varias instituciones, cuyas funciones y resultados pueden ser mejorados y reorientados mediante las medidas que se enuncian a continuación.	Funcionarios designados de cada institución indicada.	Permanente	Por definir en cada institución.	Por definir en cada institución.
Programa de capacitación a instituciones del sector eléctrico para que consideren a los RSM como fuente de energía usando tecnologías WTE		Se requiere de mayor integración entre las instituciones del sector eléctrico, desde las generadoras, auto productores, distribuidoras y comercializadoras. Esta red de actores puede incentivar el mejor aprovechamiento energético de los RSM	MEER, CONELEC, MAE	1 año	Número de talleres y encuentros llevados a cabo.	100.000 USD
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)						
Programa de investigación en el área de energías renovables y medio ambiente, con énfasis en la producción de electricidad a partir de las		La investigación es el pilar fundamental para que un país soberano desarrolle tecnología propia, adaptado para la realidad y necesidades específicas de Ecuador	SENASCYT, Universidades, MEER, INER, MAE	4 años	Número de publicaciones científicas, número de prototipos, número de	5.000.000 USD

tecnologías WTE priorizadas (A1, A2 y A3).					informestécnicos on line, etc.	
Crear materias nuevas en cursos de graduación y crear cursos de posgraduación que aborden el tema de aprovechamiento energético de los RSM		La contribución de la educación superior al proceso de difusión y transferencia de tecnología es fundamental	SENESCYT, Universidades, MEER, MAE	2	Verificar la existencia de materias en los pensum de estudios de universidades monitoreadas	200.000 USD
Construcción de plantas piloto de la tecnología A1, A2 y A3		Es fundamental para combatir el desconocimiento y la incertidumbre de los GADs, MAE-PNGIDS y otros actores, quienes podrán comprobar localmente el trabajo de una planta WTE. • Plantas piloto permitirán realizar distintos tipos de experiencias sin tener que salir del país, permitirán comparar indicadores ambientales y económicos con relación a la línea base y entre tecnologías WTE.	Técnicos MEER, INER, SENESCYT y consultores locales y/o extranjeros.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño pre factibilidad y definitivo planta prototipo: 5-6 meses • Construcción planta: 10-12 meses • Operación planta: 10 años 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción y operación planta prototipo de 20 ton/día capacidad. • Pruebas de rendimientos, eficiencia, costos, replicabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño prefactibilidad y definitivo: 450.000 USD • Construcción: 3 – 4 millones USD según tecnología adoptada.
Modificación y adaptación del Complejo Ambiental de Santo Domingo de los Tsáchilas para que considere el aprovechamiento energético del gas a ser recuperado		Este Complejo ambiental no considera el aprovechamiento energético, apenas la quema simple del gas metano capturado.	Municipio de Santo Domingo, MAE	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción y operación planta prototipo de 20 Ton/día capacidad. • Pruebas de rendimientos, eficiencia, costos, replicabilidad. 	Verificar la adaptación del proyecto definitivo; Verificar la cantidad de energía eléctrica generada por año.	400.000 USD

Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros						
Programa de fortalecimiento del mercado de productos reciclados, abonos orgánicos y combustibles sólidos derivados (RDF)		Dado que los RSM no son simplemente basura, sino una fuente de materia prima y de energía, otras instituciones como MEER, MIPRO, CONELEC y CENACE también deberían ser actores de un Programa que incentive la creación y fortalecimiento de un mercado de reciclados, abonos y RDF.	MEER, MIPRO, CONELEC y CENACE	2 años	Verificar conformación de mercados, cooperativas, etc.	200.000 USD
Programas de inclusión social para que antiguos minadores se incorporen a otras actividades productivas (plantas WTE, etc)		Es parte de la responsabilidad social el minimizar la presencia de minadores y del trabajo infantil botaderos de basura y rellenos sanitarios.	MIES, MAE, MIPRO	1 año	Número de personas incorporados a nuevas actividades	200.000 USD
Programa de desarrollo de la cadena industrial local para proveer tecnología y servicios relacionadas a WTE		Sin una industria consolidada no es posible desarrollar tecnología local propia, reducir la dependencia a importaciones y alcanzar soberanía tecnológica	MIPRO, SENESCYT	4 años	Número de empresas conformadas que fabriquen partes para tecnologías WTE. Número de empresas que provean servicios	5.000.000 USD
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual						
Apertura de Línea de Financiamiento en Bancos Internacionales		Contar con diversas alternativas de financiamiento es fundamental para poder invertir en tecnologías que presentan altos costos iniciales	BID, BNDES, Banco Mundial, CAF, etc.	Indefinida	Monto de préstamos otorgados por año, para diseño y	No estimado

					construcción de plantas WTE.	
Convenio con organizaciones internacionales de asistencia técnica y financiera para países en desarrollo para desarrollar plantas piloto, realizar intercambios técnicos, programas de investigación, etc.		La experiencia y conocimiento de las organizaciones internacionales de cooperación técnica y financiera puede contribuir para acelerar el proceso de difusión y transferencia de tecnología.	ONGs, MEER, MAE, MIPRO	Indefinida	Número de convenios firmados con organizaciones internacionales de cooperación	No estimado

6.3. PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A1: CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y DE GAS DE BOTADERO DE BASURA PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN RELLENOS SANITARIOS YA EXISTENTES (O BOTADEROS DE BASURA CERRADOS)

6.3.1. Descripción de la tecnología y razones de priorización

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica depositada en los rellenos sanitarios y en botaderos de basura a cielo abierto genera la producción de un gas compuesto aproximadamente por 55% de metano (CH₄), 40% de gas carbónico (CO₂) y 5% de nitrógeno (N₂) más otros gases minoritarios. El gas recuperado es un gas combustible y tiene potencial de aprovechamiento energético (OLIVEIRA, 2000, 2004). En lugar de que el gas sea simplemente emitido a la atmósfera, éste puede ser drenado, canalizado, filtrado y encaminado para equipos de generación eléctrica (motores de combustión interna y mini turbinas a gas acoplados a generadores, células a combustible, etc.) y/o a equipos de aprovechamiento térmico (co-generación, cocción, iluminación, calefacción).

La captación del biogás de un relleno sanitario maduro (cerrado definitivamente o con gran cantidad de RSM acumulados) obedece a tasas de captación de biogás bajas (entre 30 - 35% del volumen generado), por lo que la mayoría del metano generado sigue emitiéndose directamente a la atmósfera. Un mayor desarrollo se encuentra en el numeral 3.7 del Informe de Medio Término (Portafolio y Priorización de Tecnologías para generación eléctrica a partir de RSU).

Esta tecnología no incentiva la creación de rellenos sanitarios (peor de botaderos de basura a cielo abierto) per se, sino, el aprovechamiento energético del gas generado en rellenos sanitarios y en botaderos de basura ya existentes, con o sin infraestructura para captación del gas. Si el relleno sanitario o botadero de basura no cuenta con las instalaciones para la captación del gas, esta tecnología igualmente puede ser adaptada al lugar (perforación de pozos, instalación de ductos, etc.). Si el relleno sanitario ya cuenta con la infraestructura para captación de "gas de relleno sanitario" y se acostumbra la quema simple del gas en una antorcha o *flare*, la alternativa tecnológica propuesta para la mitigación de GEI es el aprovechamiento energético de este gas como combustible para generación eléctrica.

Esta tecnología ya ha sido usada en el país, por ejemplo, se la usó para extraer el gas generado en el antiguo botadero a cielo abierto de Zámbriza, cercano a la ciudad de Quito. En el mencionado proyecto, el gas capturado es simplemente quemado y hasta la actualidad no se ha implementado la etapa de aprovechamiento energético que estaba inicialmente contemplada en el plan de acción (CARBON FINANCE GMBH, ARA, 2007). Se conoce que esta etapa no se ejecutó debido a problemas técnicos con la calidad del gas extraído (alta humedad y bajo poder calórico) y debido a dificultades en el mercado de comercialización de electricidad para este tipo de aplicaciones (SORIA, 2011). Se demandarían de tratamientos adicionales para que este gas pueda ser usado en motores de combustión interna, lo cual disminuye la rentabilidad del proyecto (OLIVEIRA, 2000).



Figura 11: Perforación de pozos para instalación de ductos en el antiguo botadero de Zámbriza.



Fuente: Alquimatec, 2007

Figura 10: Instalación de ductos para captación de gas en el antiguo botadero de Zámbriza.



Fuente: ARA Carbon Finance GmbH, 2007

Figura 12: Antorcha o “flare” usada para quemar el gas recuperado en el antiguo botadero de Zámbriza.

Entre las tecnologías con mayor calificación durante la priorización, la captación de biogás de relleno sanitario con aprovechamiento energético se considera como una solución efectiva a corto plazo, únicamente para los botaderos o rellenos sanitarios que actualmente se encuentran operando. Esta alternativa no es sostenible en el largo plazo porque no se alinea con la meta de aprovechamiento intensivo de los RSM (mediante clasificación en la fuente, reciclaje, reutilización y aprovechamiento energético), por lo que no debería ser asumida como una solución integral para el manejo de residuos.

6.3.2. Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología

Fijar metas de forma cuantitativa es un proceso complejo que demanda de diversos esfuerzos multidisciplinarios y acuerdos políticos. Fijar metas cuantitativas escapa al objetivo de este estudio. Para fijar metas realistas, justificadas con argumentos técnicos, económicos, ambientales y sociales válidos se deben desarrollar otro tipo de estudios complementarios, como: Evaluación del potencial de generación de metano para cada relleno sanitario y botadero de basura en Ecuador, usando el método de decaimiento de segundo orden (IPCC, 2006); Estudio del potencial técnico-económico para la tecnología A1, usando la metodología de curva de abatimiento u otras metodologías de valor presente neto (VPL); etc.

A pesar de que es difícil fijar metas cuantitativas para ser expuestas por ejemplo, por una Estrategia Nacional, es posible citar ciertos **objetivos estratégicos y resultados esperados**:

- Es de interés del Gobierno de Ecuador, incentivar explícitamente la implementación de tecnología de captación de gas de relleno sanitario y de gas de botadero de basura, para ser usado con fines energéticos (sea para la producción de electricidad o para la generación de calor) en **rellenos sanitarios o botaderos de basura ya existentes. No se incentiva la creación de nuevos rellenos sanitarios o botaderos de basura**, a menos de que un estudio caso a caso lo muestre como la medida más idónea para un Municipio específico.
- En principio, esta tecnología es factible de ser implementada en rellenos sanitarios y botaderos de basura (cerrados o en operación) con un gran volumen de RSM depositados. Deberá ejecutarse un análisis caso a caso para determinar la factibilidad. Sin embargo, un objetivo preliminar para el **mediano y largo plazo es la implementación de esta tecnología en los sitios de disposición final de todas las capitales provinciales y de otros Municipios en donde se estime oportuno** (estudios caso a caso).

6.3.3. Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante

Barreras económicas/financieras y medidas sugeridas

Para la tecnología A1 aplican las barreras comunes y medidas económicas/financieras comunes analizadas previamente.

Barreras políticas/regulatorias y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de normas técnicas que determinen parámetros técnicos para la captación de gas, instalación de los equipos y operación de la planta A1.	INEN debe crear una norma técnica nacional que rija a la tecnología A1.

Barreras institucionales/organizacionales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de capacitación en encargados municipales sobre el tema de gestión integral de RSM acerca de la tecnología A1.	Capacitación a Municipios
Capacitación y asistencia insuficiente sobre el tema impartida por el MAE/PNGIDS para los Municipios.	Capacitación a MAE/PNGIDS
Insuficiencia de técnicos especializados en esta tecnología en MAE/PNGIDS.	Programa de formación de profesionales

Barreras técnicas y medidas sugeridas

Barreras	Medidas
Incerteza sobre el volumen de biogás generado y sobre el volumen de biogás a ser capturado para aprovechamiento energético, puesto que depende de múltiples variables no controlables.	Consultoría para calcular el volumen de gas generado.

Incerteza sobre la composición química del biogás capturado (calidad del gas asociado a cantidad de metano, contenido de humedad, etc.). Esto repercute sobre el valor calórico.	Campaña de medición de composición de gas de relleno sanitario y botaderos de basura
Dificultad técnica para llevar a cabo tratamientos de adecuación del gas extraído.	Asistencia técnica con organismos internacionales.
No existe oferta local de la tecnología requerida. No existen empresas prestadoras de servicios de operación, mantenimiento. Existe dificultad para compra de repuestos. En resumen, no existe una cadena productiva para difundir ampliamente esta tecnología.	<p>Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A1. El objetivo es diseñar y construir localmente toda la tecnología⁷³ para la captación y aprovechamiento del gas de relleno sanitario o de gas de botadero de basura.</p> <p>Esto implica también el desarrollo de sistemas de control automático y monitoreo durante la succión del gas, medición de la cantidad de electricidad producida, etc. Es necesario incentivar el desarrollo de tecnologías nacionales para perforación de pozos de captación de biogás, instalación de redes horizontales, instalación de bombas de vacío y compresores, diseño e instalación de secadores y filtros. En este escenario se considera que la industria local domina el proceso de adaptación de motores de combustión interna a diésel o gasolina para operar con biogás. Se perfeccionan técnicas para generación eléctrica interconectada a la red nacional.</p>

Barreras sociales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
La población asocia a la tecnología de captura y aprovechamiento de gas de	Campaña de sensibilización

⁷³ Se entiende por tecnología al conjunto de software, hardware y orgware (BOLDT *et al.*, 2012).

<p>relleno sanitario y de gas de botaderos de basura con mantener en operación el relleno sanitario o el botadero de basura, cuya operación per se ya causa conflictos sociales.</p>	<p>Programa de capacitación y sociabilización de la tecnología</p>
---	--

6.3.4. Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A1

Para la tecnología **A1** se aplican el mismo análisis de barreras **comunes**, medidas **comunes** y la consolidación de la estrategia **común**.

A continuación se detallan algunas medidas específicas para la tecnología A1 (Ver Tabla 40)

Tabla 40: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A1

Medida estratégica	Acelerar innovación ID&D	Acelerar la implementación	Acelerar la difusión
Instrumentos económicos: inversión directa			
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales			
Evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A1.			
Instrumentos regulatorios			
Norma técnica para regular la implementación de la tecnología A1			
Soporte para políticas y leyes			
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A1. (caso específico Santo Domingo de los Tsáchilas).			
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente			
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades			
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A1			
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A1.			
Programa para formación de técnicos de la tecnología A1.			

Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la fuente y reciclaje.			
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores			
Programa de asistencia técnica sobre tecnología A1 a Municipios			
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)			
Consultoría para cálculo de volumen de gas generado en un relleno sanitario o botadero de basura específico			
Campaña de medición de la composición de gas de relleno sanitario o botadero de basura.			
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros			
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A1.			
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual			
Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A1			
	SIMBOLOGÍA: Período de acción		
	corto plazo (0 - 5 años)	medio plazo (5 - 10 años)	largo plazo (10 - 20 años)

6.3.5. Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A1.

Tabla 41: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A1

Medida estratégica	Prioridad	Justificación	Quién debería hacerlo?	Duración	Medidas para monitorear, reportar y verificar	Costos estimados
Instrumentos económicos: inversión directa						
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales						
Evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A1.		Es fundamental hacer una evaluación financiera detallada, con datos específicos de la región, para validar y sociabilizar la viabilidad financiera de proyectos específicos que usen tecnología A1	Municipios en alianza con MAE. Asistencia técnica de organizaciones internacionales y consultoras nacionales.	5 meses	Informes finales de la consultoría	50.000 USD
Instrumentos regulatorios						

Norma técnica para regular la implementación de la tecnología A1		Una norma técnica que dicte las especificaciones técnicas de cada etapa de un proyecto que use tecnología A1 es fundamental, desde la perforación de pozos, la instalación de ductos, la captación y tratamiento de gas, y su uso final para generación eléctrica.	INEN, MEER, MAE	8 meses	Norma técnica aprobada y publicada	50.000 USD
Soporte para políticas y leyes						
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A1. (caso específico Santo Domingo de los Tsáchilas).		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A1.	Municipios, MAE, MEER, INEN	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la separación en la fuente y reciclaje en sector residencial y comercial.	Municipios, MAE, MEER	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades						
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A1		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos municipales relacionados directamente	MAE, MEER, Municipios, Universidades, organizaciones	8 meses	Número de municipios que	1.000.000 USD

		con el tema de gestión de residuos municipales.	internacionales		recibieron capacitación	
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A1.		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos en el Ministerio de Ambiente, específicamente al interior del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos, relacionados directamente con el tema de gestión de residuos municipales.	Universidades, consultores nacionales privados, organizaciones internacionales	4 meses	Técnicos de MAE/PNGIDS deben rendir y aprobar prueba técnica	60.000 USD
Programa para formación de técnicos de la tecnología A1.		Un curso técnico de formación de profesionales contribuirá con la oferta de profesionales capacitados que trabajen en la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A1.	Universidades, MEER, MAE, SENESCYT, MIPRO	8 meses	Número de profesionales formados por período de clases	500.000 USD
Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la fuente y reciclaje.		La ciudadanía en general debe estar consciente de la importancia de la separación de basura en la fuente y del reciclaje. Deben entender que la basura es responsabilidad de todos, que la basura puede ser fuente de energía y fuente de materia prima.	Municipios, MAE, MIPRO	1 año	Encuesta para determinar el grado de recordación del mensaje	500.000 USD
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores						

Programa de asistencia técnica sobre tecnología A1 a Municipios		MAE/PNGIDS debe continuar con su labor de capacitación y asistencia técnica a los Municipios sobre el tema de gestión integral de RSM, haciendo esta vez especial énfasis en la tecnología A1. Otras instituciones deben sumarse a los esfuerzos.	MAE/PNGIDS, Municipios, MEER	Indeterminado	Número de municipios que recibieron capacitación	No determinado
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)						
Consultoría para cálculo de volumen de gas generado en un relleno sanitario o botadero de basura específico		Esta consultoría debe aplicar el método de cálculo de IPCC de "decaimiento de segundo orden" para estimar la producción de biogás a lo largo del ciclo de vida del relleno sanitario o botadero de basura. Esta es una buena forma de estimar el mejor momento para la extracción de gas.	Consultores nacionales, asistencia técnica internacional, universidades	6 meses	Informe final de la consultoría	60.000
Campaña de medición de la composición de gas de relleno sanitario o botadero de basura.		Estas mediciones permitirán conocer con mayor grado de precisión y certeza cuál es el contenido promedio del gas generado en un determinado relleno sanitario o botadero de basura	Consultores nacionales, MAE, MEER, asistencia internacional, universidades	8 meses	Informe final de la consultoría	80.000
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros						
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A1.		Un país soberano debe invertir en desarrollar una industria sólida nacional, disminuyendo así la dependencia	SENECYT, MIPTRO, Cámaras de comercio,	5 años	No determinado	No determinado

		internacional (importaciones) de conocimiento y tecnología. Esprioridad del Gobierno trabajar para fortalecer la soberanía.	Industria, Sector privado, Bancos, asistencia internacional, etc.			
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual						
Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A1		El conocimiento y experiencias acumuladas por organizaciones internacionales puede contribuir para acelerar en Ecuador el proceso de transferencia y difusión de la tecnología A1.	Asistencia internacional, INER, MEER, MAE, Universidades, Municipios, etc.	2 años	Número de convenios firmados con organizaciones internacionales	

6.4. PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A2: TRATAMIENTO MECÁNICO – BIOLÓGICO (MBT) CON DEGRADACIÓN ANAEROBIA Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS

6.4.1. Descripción de la tecnología y razones de priorización

Los RSM pasan por diversas etapas de clasificación manual y mecánica en donde se separan las fracciones orgánicas, plásticos, vidrios, metales y otros residuos no aprovechables. Cada fracción, excepto la no aprovechable, es susceptible a reciclaje y re uso, aliviando la demanda por materia prima nueva en el mercado.

El fundamento de la biodigestión es la acción bacteriana sobre la fracción orgánica de los RSM, que en un medio anaeróbico (sin presencia de oxígeno) la descompone y la convierte en biogás, biol y lodos de residuo. El biogás es un gas combustible que está formado por 55 – 75% de metano (CH_4), 30 – 45% de dióxido de carbono (CO_2), y otros gases minoritarios como ácido sulfhídrico (H_2S) (0 - 0,5%), nitrógeno (N_2) (0 – 5%), hidrógeno (H_2) y trazas de monóxido de carbono (CO) (HILKIAH IGONI *et al.*, 2008). El poder calórico inferior (LHV) del biogás estará en función de la cantidad de metano presente, y en media su valor es 23 MJ/Nm^3 (HILKIAH IGONI *et al.*, 2008; PIPATMANOMAI *et al.*, 2009; SALOMON; SILVA LORA, 2009).

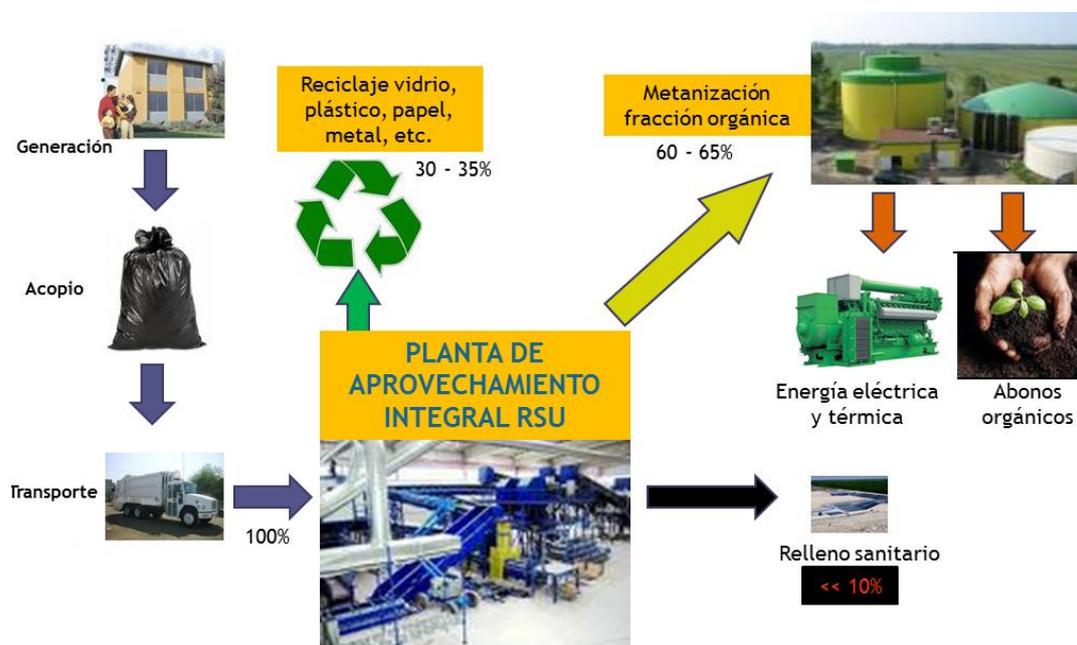


Figura 13: Representación de la línea tecnológica MBT con generación eléctrica.

Fuente: ENYATEC

Debido a que el biogás es un combustible con un importante valor calórico, éste puede ser usado como combustible para motores de combustión interna, turbinas a gas, pila a combustible, etc. La energía mecánica generada puede ser convertida a energía eléctrica usando generadores eléctricos. También puede ser usado para aplicaciones térmicas como producción de vapor, secadores, calefacción, etc.

Información más detallada sobre el proceso de biodigestión, la correlación entre sus variables biológicas y mecánicas, las características constructivas de un biodigestor y los métodos de generar energía eléctrica a partir de biogás puede ser obtenida de referencias como: REITH *et al.*, (2003), BAERE, DE, (2008), etc.

A nivel mundial la tecnología MBT tiene un estado de madurez avanzado (BAERE, DE, 2008; BOVEA *et al.*, 2010; HILKIAH IGONI *et al.*, 2008; PIRES *et al.*, 2011), sin embargo, no existen experiencias previas en Ecuador que apliquen toda la línea tecnológica descrita. Únicamente existen experiencias de biodigestión, usando residuos agropecuarios, para la generación de biogás. En el Proyecto Demostrativo de Biodigestión instalado en el Jardín Botánico de la Ciudad de Quito, el biogás es usado como combustible para una cocineta y para alimentar un pequeño motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico que produce electricidad para iluminar dos focos (MEER/ENYATEC, 2011). Existen en Ecuador varios biodigestores de gran volumen (en Santo Domingo de los Colorados de la empresa PRONACA, en el Cantón Lasso de una empresa florícola, etc) pero el biogás producido no es usado para generación eléctrica (MEER/ENYATEC, 2011). Sin embargo, en Ecuador ya existen empresas privadas que tienen la capacidad de hacer diseños definitivos y de construir plantas MBT para tratamiento de RSM.

La tecnología de MBT con digestión anaerobia y aprovechamiento de biogás, fue priorizada al entenderse que ésta puede llegar a ser una solución real en el corto y mediano plazo debido al potencial agropecuario y alto contenido orgánico en los RSM presentes en Ecuador. Esto será posible siempre y cuando los programas de gestión integral de RSM (reciclaje y aprovechamiento energético de RSM) sean fomentados y apoyados, además de que haya un cambio cultural sobre la percepción de los RSM.

6.4.2. Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología

Fijar metas de forma cuantitativa es un proceso complejo que demanda de diversos esfuerzos multidisciplinarios y acuerdos políticos. Fijar metas cuantitativas escapa al objetivo de este estudio. Para fijar metas realistas, justificadas con argumentos técnicos, económicos, ambientales y sociales válidos se deben desarrollar otro tipo de estudios complementarios, como: Evaluación del potencial de biomasa en Ecuador, incluyendo la fracción orgánica presente en los RSM, residuo agro industrial y residuos agropecuarios; Estudio de potencial técnico – económico para la tecnología A2, usando métodos de valor presente neto (VPL) o de curva de abatimiento; Estudio sobre la cadena industrial requerida para el desarrollo local de esta tecnología; etc.

A pesar de que en este momento es difícil fijar metas cuantitativas para ser expuestas, por ejemplo, por una Estrategia Nacional, es posible citar ciertos **objetivos estratégicos y resultados esperados**:

- Es de interés del Gobierno de Ecuador, incentivar explícitamente la implementación de tecnología de tratamiento biológico-mecánico de los RSM, visando el máximo aprovechamiento de los materiales reciclables y la producción de biogás para producción de electricidad.
- En principio, esta tecnología es factible de ser implementada en todos los municipios del país, pero debe estudiarse caso a caso la viabilidad económica. Sin embargo, un objetivo preliminar para el mediano y largo plazo es la implementación de esta tecnología en todas las capitales provinciales y en otros Municipios con alta productividad agropecuaria que demuestren viabilidad técnica-económica (estudios caso a caso).

6.4.3. Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante

Barreras económicas/financieras y medidas sugeridas

Barrera	Medida
No se ha mostrado la viabilidad financiera de esta línea tecnológica a los Municipios.	MAE/PNGIDS debe evaluar la viabilidad financiera, caso a caso, de la implementación de este tipo de proyectos para presentar estos resultados a los municipios.
Ausencia de mercado formal regulado para abonos orgánicos producidos con la tecnología A2.	Creación de un mercado para abonos orgánicos regulados, tal vez, por una nueva institución. Esto debe ser mejor estudiado.

Barreras políticas/regulatorias y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de normas técnicas que determinen parámetros técnicos para la generación de biogás, instalación de los equipos y operación de una planta del tipo A2.	INEN debe crear una norma técnica nacional que rija a la tecnología A2.

Barreras institucionales/organizacionales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de capacitación en encargados municipales sobre el tema de gestión integral de RSM acerca de la tecnología A2, especialmente sobre el uso de la biodigestión para residuos urbanos.	Programa de capacitación a Municipios
Capacitación y asistencia insuficiente sobre el tema impartida por el MAE/PNGIDS para los Municipios.	Programa de capacitación a MAE/PNGIDS
Insuficiencia de técnicos especializados en la tecnología A2 en MAE/PNGIDS.	Programa de formación de técnicos en la tecnología A2
Inexistente o precaria aplicación de programas de separación de residuos en la fuente en las Provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y de Chimborazo. En caso de existir, el grado de complejidad de la planta sería menor, reflejándose en costos menores.	Ordenanza Municipal para regular e incentivar la separación en la fuente y reciclaje.

Barreras técnicas y medidas sugeridas

Barreras	Medidas
Dificultad en el transporte de residuos ya clasificados hasta la planta de procesamiento. Si esto fuera posible los costos serían menores.	Planificación estratégica en el Municipio para diseñar mecanismos y esquemas apropiados de transporte.
Un proceso de separación en la fuente ineficiente puede afectar la producción de biogás. Esto sucede por ejemplo, cuando una pila ingresa en el biodigestor, reduciendo la actividad bacteriana.	Ordenanza municipal regulando e incentivando separación en la fuente y reciclaje.
Dificultad técnica para llevar a cabo tratamientos de adecuación del biogás producido.	Asistencia técnica con organismos internacionales.

Reducida o mínima capacidad industrial nacional para producir los componentes de esta tecnología y para brindar servicios de operación y mantenimiento.	Programa de fortalecimiento de la cadena productiva nacional para la tecnología A2.
---	---

Barreras sociales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Resistencia de la población indígena de Chimborazo a implementar sistemas que operan con tecnologías más modernas.	Capacitación

6.4.4. Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A2

Para la tecnología **A2** se aplican el mismo análisis de barreras **comunes**, medidas **comunes** y la consolidación de la estrategia **común**.

A continuación se detallan algunas medidas específicas para la tecnología A2 (Ver Tabla 42)

Tabla 42: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A2

Medida estratégica	Acelerar innovación ID&D	Acelerar la implementación	Acelerar la difusión
Instrumentos económicos: inversión directa			
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales			
Evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A2.			
Instrumentos regulatorios			
Norma técnica para regular la implementación de la tecnología A2			
Soporte para políticas y leyes			
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A2.			
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente			
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades			
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A2			
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A2.			
Programa para formación de técnicos de la tecnología A2.			
Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la			

fuelle y reciclaje.			
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores			
Programa de asistencia técnica sobre tecnología A2 a Municipios			
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)			
Consultoría para cálculo de potencial técnico y económico de producción de electricidad a partir de RSM usando tecnología A2.			
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros			
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A2.			
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual			
Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A2.			

SIMBOLOGÍA: Período de acción

corto plazo (0 - 5 años)	medio plazo (5 - 10 años)	largo plazo (10 - 20 años)
--------------------------	---------------------------	----------------------------

6.4.5. Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A2.

Tabla 43: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A2.

Medida estratégica	Prioridad	Justificación	Quién debería hacerlo?	Duración	Medidas para monitorear, reportar y verificar	Costos estimados
Instrumentos económicos: inversión directa						
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales						
Evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A2.		Es fundamental hacer una evaluación financiera detallada, con datos específicos de la región, para validar y sociabilizar la viabilidad financiera de proyectos específicos que usen tecnología A2	Municipios en alianza con MAE. Asistencia técnica de organizaciones internacionales y consultoras nacionales.	5 meses	Informes finales de la consultoría	50.000 USD
Instrumentos regulatorios						

Norma técnica para regular la implementación de la tecnología A2		Una norma técnica que dicte las especificaciones técnicas de cada etapa de un proyecto que use tecnología A2 es fundamental, desde la pre mezcla de residuos orgánicos con agua, el proceso de biodigestión, tratamiento del biogás y aplicaciones finales del biogás.	INEN, MEER, MAE	8 meses	Norma técnica aprobada y publicada	50.000 USD
Soporte para políticas y leyes						
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A2.		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A2.	Municipios, MAE, MEER, INEN	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la separación en la fuente y reciclaje en sector residencial y comercial.	Municipios, MAE, MEER	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades						
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A2		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos municipales relacionados directamente	MAE, MEER, Municipios, Universidades, organizaciones	8 meses	Número de municipios que	1.000.000 USD

		con el tema de gestión de residuos municipales.	internacionales		recibieron capacitación	
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A2.		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos en el Ministerio de Ambiente, específicamente al interior del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos, relacionados directamente con el tema de gestión de residuos municipales.	Universidades, consultores nacionales privados, organizaciones internacionales	4 meses	Técnicos de MAE/PNGIDS deben rendir y aprobar prueba técnica	60.000 USD
Programa para formación de técnicos de la tecnología A2.		Un curso técnico de formación de profesionales contribuirá con la oferta de profesionales capacitados que trabajen en la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A2.	Universidades, MEER, MAE, SENESCYT, MIPRO	8 meses	Número de profesionales formados por período de clases	500.000 USD
Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la fuente y reciclaje.		La ciudadanía en general debe estar consciente de la importancia de la separación de basura en la fuente y del reciclaje. Deben entender que la basura es responsabilidad de todos, que la basura puede ser fuente de energía y fuente de materia prima.	Municipios, MAE, MIPRO	1 año	Encuesta para determinar el grado de recordación del mensaje	500.000 USD
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores						

Programa de asistencia técnica sobre tecnología A2 a Municipios		MAE/PNGIDS debe continuar con su labor de capacitación y asistencia técnica a los Municipios sobre el tema de gestión integral de RSM, haciendo esta vez especial énfasis en la tecnología A2. Otras instituciones deben sumar esfuerzos.	MAE/PNGIDS, Municipios, MEER	Indeterminado	Número de municipios que recibieron capacitación	No determinado
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)						
Consultoría para cálculo de potencial técnico y económico de producción de electricidad a partir de RSM usando biodigestión (tecnología A2).		Esta es una buena forma de estimar el verdadero potencial de producción de electricidad a partir de biogás producido con tecnología A2.	Consultores nacionales, asistencia técnica internacional, universidades	6 meses	Informe final de la consultoría	60.000
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros						
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A2.		Un país soberano debe invertir en desarrollar una industria sólida nacional, disminuyendo así la dependencia internacional (importaciones) de conocimiento y tecnología. Es prioridad del Gobierno trabajar para fortalecer la soberanía.	SENESCYT, MIPRO, Cámaras de comercio, Industria, Sector privado, Bancos, asistencia internacional, etc.	5 años	No determinado	No determinado
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual						

<p>Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A2.</p>		<p>El conocimiento y experiencias acumuladas por organizaciones internacionales puede contribuir para acelerar en Ecuador el proceso de transferencia y difusión de la tecnología A2.</p>	<p>Asistencia internacional, INER, MEER, MAE, Universidades, Municipios, etc.</p>	<p>2 años</p>	<p>Número de convenios firmados con organizaciones internacionales</p>	
---	--	---	---	---------------	--	--

6.5. PLAN DE ACCIÓN PARA TECNOLOGÍA A3: PRODUCCIÓN DE PELLETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNOS CEMENTEROS

6.5.1. Descripción de la tecnología y razones de priorización

A partir de los RSM es posible la recuperación de combustibles sólidos (SRF⁷⁴ o RDF⁷⁵) mediante procesos de separación mecánica (clasificación por tipo de material, secado artificial, picado o pelletización, compactación, briquetado, entre los más importantes) y procesos de secado biológico (biodrying) (VAINIKKA *et al.*, 2012; MORCOS, 1989). Es posible elaborar diversos RDF con altos contenidos de carbono biogénico, esto con el fin de tener un sustrato con mayor valor calórico que los RSM. El RDF puede ser preparado a partir de residuos domiciliarios, comerciales y de algunos industriales. Dependiendo de la fracción de RDF co-incinerado, se puede evitar el consumo de bunker, fuel oil y carbón peat en una cantidad estimada de energía de 380 kWh/ton RSM tratado (FOSTER WHEELER, 2006). Esta es una tecnología comercialmente madura con una proyección de vida útil de 25 años (FOSTER WHEELER, 2006; GENON; BRIZIO, 2008).

La energía necesaria para el byodring es generada por la descomposición aeróbica exotérmica de la materia orgánica biodegradable. La característica principal de los RDF es poseer alto contenido de plásticos y celulosa principalmente debido a su alto poder calórico (AL-SALEM *et al.*, 2009). La humedad del RDF es aproximadamente 12% (UNFCC, 2011).

Según varias referencias: (“Appendix 5 - *European Directive 2000/76 (waste incineration)*”, 2006), (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012), los combustibles RDF tienen 3 aplicaciones principales: a) co-incineración en plantas termoeléctricas para reemplazar a una parte del combustible principal; b) co-incineración en plantas de cogeneración usando incineradores de lecho fluidizado con burbujeo (BFB⁷⁶) y con circulación (CFB⁷⁷); c) co-incineración en hornos para fabricación de cemento (*kiln*).

La co-incineración es entendida como el proceso de incineración de combustibles derivados de residuos (*RDF, SRF*), conjuntamente con combustibles tradicionales líquidos, sólidos o gaseosos en procesos industriales que típicamente demandan incineración, combustión en calderas, etc. (GENON; BRIZIO, 2008; PAPAGEORGIU *et al.*, 2009; VAINIKKA *et al.*, 2012).

Este trabajo estudia la posibilidad de la co-incineración de RDF en hornos para fabricación de cemento. El combustible RDF entra en el proceso de producción de cemento en lugar de una fracción del combustible tradicional. El RDF es co-incinerado en los hornos de fabricación de cemento a altas temperaturas (1.200°C), disminuyendo así el uso de combustibles tradicionales. Las cenizas generadas son re-utilizadas en la fabricación de cemento sin afectar su calidad (GENON; BRIZIO, 2008; KIKUCHI, 2001; PAPAGEORGIU *et al.*, 2009). En Ecuador, los combustibles tradicionales en las cementeras son diésel #2, diésel #6 (fuel oil), bunker e inclusive carbón mineral importado.

⁷⁴ SRF: *Solid Recovered Fuel*, o *Specified Recovered Fuel*. La diferencia entre SRF y RDF es que los primeros deben cumplir con normas específicas como la CEN-TC 343.

⁷⁵ RDF: *Refuse- Derived Fuel*

⁷⁶ BFB: *Bubbling Fluidized Bed*

⁷⁷ CFB: *Circulating Fluidized Bed*

A nivel mundial esta es una tecnología madura (BOVEA *et al.*, 2010; FOSTER WHEELER, 2006; GENON; BRIZIO, 2008), sin embargo en Ecuador no existen experiencias previas con este tipo de línea tecnológica para el tratamiento de RSM.

La fabricación de RDF a partir de RSM y su co- incineración en hornos cementeros es una línea tecnología que fue priorizada debido a que en la zona de Chimborazo la industria cementera está fuertemente posicionada y es un eje de desarrollo económico regional. Ésta industria se ubica cerca de los principales centros poblados del norte de la provincia, los mismos que podrían aportar sus RSM para fabricación de combustible sólido derivado (RDF), que a su vez puede ser usado directamente en los hornos de la cementera. Se entiende que esta idea es una alternativa atractiva para disminuir el uso de combustibles fósiles de esta industria.

6.5.2. Objetivos a alcanzar en la difusión y transferencia de tecnología

Fijar metas de forma cuantitativa es un proceso complejo que demanda de diversos esfuerzos multidisciplinarios y acuerdos políticos. Fijar metas cuantitativas escapa al objetivo de este estudio. Para fijar metas realistas, justificadas con argumentos técnicos, económicos, ambientales y sociales válidos se deben desarrollar otro tipo de estudios complementares, como: Evaluación del potencial técnico – económico para la tecnología A3, usando métodos de valor presente neto (VPL) o de curva de abatimiento; Estudio sobre la cadena industrial requerida para el desarrollo local de esta tecnología; Estudio sobre el interés que las cuatro cementeras de Ecuador muestran para este tipo de proyectos.

A pesar de que en este momento es difícil fijar metas cuantitativas para ser expuestas, por ejemplo, por una Estrategia Nacional, es posible citar ciertos **objetivos estratégicos y resultados esperados**:

- Es de interés del Gobierno de Ecuador, incentivar explícitamente la implementación de tecnología de fabricación de combustibles sólidos reciclados (RDF) a partir de RSM para ser co-incinerados en hornos de industrias cementeras, industrias cerámicas y otros afines.
- En principio, esta tecnología es factible de ser implementada en limitados municipios del país debido a restricciones de distancia máxima de transporte de RDF (medida entre la fábrica de RDF y la cementera más próxima). Debe estudiarse caso a caso la viabilidad económica. Sin embargo, un objetivo preliminar para el mediano y largo plazo es la implementación de esta tecnología en las Mancomunidades próximas las cuatro industrias cementeras de Ecuador (Holcim, Lafarge, Industrias Guapán y Cemento Chimborazo). Es necesario estudiar la posibilidad caso a caso.

6.5.3. Barreras específicas para alcanzar los objetivos esperados de difusión y transferencia de la tecnología y medidas indicadas que definen un marco habilitante

Barreras económicas/financieras y medidas sugeridas

Barrera	Medida
No se ha demostrado a Cementos Chimborazo los beneficios financieros que supone la sustitución de una parte de los combustibles fósiles usados tradicionalmente por combustibles reciclados sólidos	Consultoría de pre-factibilidad, factibilidad que evalúe este proyecto.

Barreras políticas/regulatorias y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de normas técnicas que determinen parámetros técnicos para la producción de RDF en Ecuador.	INEN debe crear una norma técnica nacional que rijan la producción de RDF en Ecuador.
Ausencia de normas técnicas para medir y limitar el valor de emisiones generadas con la combustión de RDF en hornos de la industria cementera.	INEN y MAE deben trabajar en conjunto para crear normas ambientales al respecto.

Barreras institucionales/organizacionales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de capacitación en encargados municipales sobre el tema de gestión integral de RSM acerca de la tecnología A3.	Programa de capacitación a Municipios sobre tecnología A3
Capacitación y asistencia insuficiente sobre el tema impartida por el MAE/PNGIDS para los Municipios.	Programa de asistencia técnica del MAE/PNGIDS para Municipios
Insuficiencia de técnicos especializados en esta tecnología en MAE/PNGIDS.	Programa de capacitación a MAE/PNGIDS sobre tecnología A3
Ausencia de diálogo entre Municipios de Chimborazo y la empresa Cementos Chimborazo para sociabilizar la idea.	Rondas de diálogo y negociaciones.

Barreras técnicas y medidas sugeridas

Barreras	Medidas
Incerteza sobre las emisiones de las chimeneas de la Cementera Chimborazo al usar RDF.	Asistencia técnica internacional Consultoría para medición de gases en pruebas piloto
No hay experiencias similares en Ecuador.	Asistencia técnica internacional

Barreras sociales y medidas sugeridas

Barrera	Medida
Falta de concientización y educación ambiental en la población, especialmente para valorar la separación en la fuente y el reciclaje. Si esto existiera, los costos de la tecnología serían menores.	Campaña de concientización sobre la importancia de la separación en la fuente y el reciclaje.

6.5.4. Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A3

Para la tecnología **A3** se aplican el mismo análisis de barreras **comunes**, medidas **comunes** y la consolidación de la estrategia **común**.

A continuación se detallan algunas medidas específicas para la tecnología A3 (Ver Tabla 44)

Tabla 44: Agregación de medidas propuestas para la estrategia de transferencia y difusión de la tecnología A3

Medida estratégica	Acelerar innovación ID&D	Acelerar la implementación	Acelerar la difusión
Instrumentos económicos: inversión directa			
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales			
Consultoría para evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A3.			
Instrumentos regulatorios			
Norma técnica para regular la producción de RDF en Ecuador.			
Norma técnica y ambiental que regule la composición y cantidad de emisiones de chimeneas de cementeras después de combustionar RDF			
Soporte para políticas y leyes			
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A3			
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente y reciclaje			
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades			
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A3			
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A3.			

Programa para formación de técnicos de la tecnología A3.			
Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la fuente y reciclaje.			
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores			
Programa de asistencia técnica sobre tecnología A3 a Municipios			
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)			
Consultoría para cálculo de potencial técnico y económico de co- incineración de RDF en hornos cementeros			
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros			
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la línea tecnológica A3 (producción de RDF)			
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual			
Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A3.			

SIMBOLOGÍA: Período de acción

corto plazo (0 - 5 años)	medio plazo (5 - 10 años)	largo plazo (10 - 20 años)
--------------------------	---------------------------	----------------------------

6.5.5. Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A3.

Tabla 45: Priorización y caracterización de las medidas propuestas para tecnología A3.

Medida estratégica	Prioridad	Justificación	Quién debería hacerlo?	Duración	Medidas para monitorear, reportar y verificar	Costos estimados
Instrumentos económicos: inversión directa						
Instrumentos económicos: incentivos financieros y fiscales						
Evaluación financiera caso a caso para aplicación de tecnología A3.		Es fundamental hacer una evaluación financiera detallada, con datos específicos de la región, para validar y sociabilizar la viabilidad financiera de proyectos específicos que usen tecnología A3	Municipios en alianza con MAE. Asistencia técnica de organizaciones internacionales y consultoras nacionales.	5 meses	Informes finales de la consultoría	50.000 USD
Instrumentos regulatorios						

Norma técnica para regular la implementación de la tecnología A3.		Una norma técnica que dicte las especificaciones técnicas de cada etapa de un proyecto que use tecnología A3 es fundamental, desde la producción de RDF, especificaciones del RDF producido y forma de uso en los hornos cementeros	INEN, MEER, MAE	8 meses	Norma técnica aprobada y publicada	50.000 USD
Soporte para políticas y leyes						
Ordenanza municipal que regule e incentive el uso de la tecnología A3.		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A3.	Municipios, MAE, MEER, INEN	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Ordenanza municipal regulando la separación de basura en la fuente		Es preciso contar con una ordenanza municipal que contemple las especificidades del Municipio y su población, y que regule los aspectos relacionados a la separación en la fuente y reciclaje en sector residencial y comercial.	Municipios, MAE, MEER	8 meses	Ordenanza aprobada y publicada	50.000 USD
Información, educación y sensibilización y entrenamiento de habilidades						
Programa de capacitación a Municipios acerca de la tecnología A3		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos municipales relacionados directamente	MAE, MEER, Municipios, Universidades, organizaciones	8 meses	Número de municipios que	1.000.000 USD

		con el tema de gestión de residuos municipales.	internacionales		recibieron capacitación	
Capacitación a MAE/PNGIDS sobre la tecnología A3		El proceso de transferencia y difusión tecnológica depende en gran medida de la capacitación de las autoridades y técnicos en el Ministerio de Ambiente, específicamente al interior del Programa Nacional de Gestión de Residuos Sólidos, relacionados directamente con el tema de gestión de residuos municipales.	Universidades, consultores nacionales privados, organizaciones internacionales	4 meses	Técnicos de MAE/PNGIDS deben rendir y aprobar prueba técnica	60.000 USD
Programa para formación de técnicos de la tecnología A3.		Un curso técnico de formación de profesionales contribuirá con la oferta de profesionales capacitados que trabajen en la instalación, operación y mantenimiento de la planta con tecnología A3.	Universidades, MEER, MAE, SENESCYT, MIPRO	8 meses	Número de profesionales formados por período de clases	500.000 USD
Programa de educación a la población sobre la importancia de la separación en la fuente y reciclaje.		La ciudadanía en general debe estar consciente de la importancia de la separación de basura en la fuente y del reciclaje. Deben entender que la basura es responsabilidad de todos, que la basura puede ser fuente de energía y fuente de materia prima.	Municipios, MAE, MIPRO	1 año	Encuesta para determinar el grado de recordación del mensaje	500.000 USD
Mecanismos y convenios institucionales - Creación de redes de actores						

Programa de asistencia técnica sobre tecnología A3 a Municipios		MAE/PNGIDS debe continuar con su labor de capacitación y asistencia técnica a los Municipios sobre el tema de gestión integral de RSM, haciendo esta vez especial énfasis en la tecnología A3. Otras instituciones deben sumar esfuerzos.	MAE/PNGIDS, Municipios, MEER	Indeterminado	Número de municipios que recibieron capacitación	No determinado
Investigación, Desarrollo y Demostración (ID&D)						
Consultoría para cálculo de potencial técnico y económico de producción de RDF para co incineración en industria cementera (tecnología A3).		Esta es una buena forma de estimar el verdadero potencial de producción de electricidad a partir de biogás producido con tecnología A3.	Consultores nacionales, asistencia técnica internacional, universidades	6 meses	Informe final de la consultoría	60.000
Mercado, sistema de apoyo y servicios financieros						
Programa de creación y fortalecimiento de la cadena industrial para la tecnología A3.		Un país soberano debe invertir en desarrollar una industria sólida nacional, disminuyendo así la dependencia internacional (importaciones) de conocimiento y tecnología. Es prioridad del Gobierno trabajar para fortalecer la soberanía.	SENESCYT, MIPRO, Cámaras de comercio, Industria, Sector privado, Bancos, asistencia internacional, etc.	5 años	No determinado	No determinado
Cooperación internacional y hechos relacionados a Derechos de Propiedad Intelectual						

<p>Convenio de asistencia técnica para transferencia y difusión de tecnología A3.</p>		<p>El conocimiento y experiencias acumuladas por organizaciones internacionales puede contribuir para acelerar en Ecuador el proceso de transferencia y difusión de la tecnología A3.</p>	<p>Asistencia internacional, INER, MEER, MAE, Universidades, Municipios, etc.</p>	<p>2 años</p>	<p>Número de convenios firmados con organizaciones internacionales</p>	
---	--	---	---	---------------	--	--

PARTE 4: IDEAS DE PROYECTO

CAPÍTULO 7: IDEAS DE PROYECTO

GENERALIDADES

a. PRESENTACIÓN	<p>El “Documento Idea de Proyecto” (PIN por sus siglas en inglés), lo presenta el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE)– Subsecretaría de Cambio Climático, a las entidades multilaterales o bilaterales de financiamiento de programas y proyectos de mitigación de Cambio Climático (CC).</p> <p>Ecuador es un país en vías de desarrollo, parte de la segunda convocatoria del Proyecto de Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA por sus siglas en inglés).</p>
b. PROPÓSITO	<p>El propósito de este documento es de llevar a cabo programas y proyectos de mitigación de CC.</p>
c. OBJETIVOS	<p>Obtener financiamiento y soporte técnico para desarrollar, implementar y replicar los programas y proyectos de mitigación de CC, según los resultados del Proyecto de Evaluación de Necesidades Tecnológicas – Sector de Energía a partir de Residuos Sólidos Municipales (RSM, y otros que el MAE - Subsecretaría de CC, lo propongan.</p> <p>En este caso, se solicita financiamiento para diseñar en detalle, ejecutar proyectos piloto, monitorear, retroalimentar y replicar en todos los municipios del Ecuador -trabajando como mancomunidades o individualmente-, del:</p> <p>“Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de Residuos Sólidos Municipales, con Énfasis en Producción de Energía Renovable”, consecuente con políticas de Cero Basura sin Beneficios, Ciclo de Vida Continuo de Materiales y Compras Verdes.</p>

d.	ELABORACIÓN Y REVISIÓN
	<p>El PIN ha sido elaborado por ENYATEC Cía. Ltda., consultora contratada para el desarrollo del TNA – Sector Energía a partir de RSM.</p> <p>La revisión está a cargo de la Comisión Técnica (CT) conformada por delegados de las siguientes instituciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio del Ambiente (MAE), • Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), • Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e (SENESCYT, y • Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES • Centro para Energía, Clima y Desarrollo Sostenible UNEP - RISØ CENTRE (Dinamarca), • Fundación Bariloche (Argentina) y • Fundación Libélula (Perú).
e.	DOCUMENTO DE REFERENCIA
	<p>El PIN ha sido elaborado tomando como referencia al documento “Accesing International FinancingforClimateChangeMitigation – A GuidebookforDevelopingCountries”, editado en noviembre 2012 por el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, el Fondo Global Ambiental, y el Centro para Energia, Clima y Desarrollo Sostenible (UNEP, GEF y UNEP por sus siglas en inglés respectivamente).</p>

7.1. DISEÑO DEL PROGRAMA

a.	AREA GEOGRÁFICA DE COBERTURA
	El Programa propuesto, abarca al Ecuador continental y las Islas Galápagos 256.370 Km ² , aunque éstas tienen un tratamiento específico regulado por el Parque Nacional Galápagos en materia ambiental y energética.
b.	MERCADOS OBJETIVO
	Las entidades directamente beneficiarias de los proyectos de mitigación de CC, mediante la aplicación de tecnologías de energías renovables para el aprovechamiento total de RSM, son los 221 municipios del país, quienes tienen la competencia legal para la gestión de los RSM, según el Art. 55, literal d) del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización vigente a la fecha.
c.	TAMAÑO DE MERCADO
	La población objetivo, son los 14'483.499 habitantes del Ecuador ⁷⁸ .
d.	CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD DEL PROPONENTE
	El Ecuador es un país en vías de desarrollo, parte de la Segunda Convocatoria realizada para el Proyecto TNA. La entidad proponente es el MAE, entidad gubernamental, por lo tanto cumple con los requisitos estipulados en el Documento de Referencia ⁷⁹ .
e.	MAXIMO Y MÍNIMO TAMAÑO DE LOS PROYECTOS O ACTIVIDADES INDIVIDUALES
	El proyecto cuyo máximo monto estimado que se requiere financiar dentro del Programa propuesto, es el correspondiente para el diseño, construcción y pruebas de plantas de transformación de RSM en energía, que sumen aproximadamente 2800 Ton/día de capacidad (ciudad de Guayaquil), valorada según la tecnología a ser utilizada, en un rango entre 120 a 550 millones de USD.

⁷⁸Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, Fasículo Nacional, 2011

⁷⁹(GEF / UNEP / RISO CENTRE, 2012), pág. 78.

	<p>Los gastos de operación y mantenimiento (O&M) de las plantas de conversión de RSM en energía (WastetoEnergy – WTE por su siglas en inglés) serán cubiertos por los productos de las propias plantas.</p> <p>El proyecto cuyo monto sea mínimo, será alrededor de 40.000 USD y corresponde a la elaboración de la Guía Metodológica para Elaboración, Calificación y Financiamiento de Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de Residuos Sólidos de Municipios.</p>
f.	<p>INSTALACIONES TÍPICAS</p>
	<p>Las instalaciones típicas previstas, son plantas industriales que permitan la clasificación manual y mecánica de los diferentes tipos de RSM (aunque exista clasificación en la fuente), para separar residuos inorgánicos reutilizables con un balance energético positivo, y obtener energía de los residuos orgánicos, mayoritarios en el Ecuador. En particular, las tecnologías priorizadas en el presente proyecto se resumen en el siguiente literal.</p> <p>Otros tipos de instalaciones similares, pueden ser plantas de producción de pellets a partir de los RSM, que alimenten hornos cementeros, calderos de ingenios azucareros y aún centrales termoeléctricas de generación eléctrica.</p> <p>Se incluirían también plantas industriales de producción de biocombustibles líquidos y gaseosos, que utilicen RSM y cultivos energéticos no alimenticios.</p>
g.	<p>TECNOLOGÍAS, PRODUCTOS O EQUIPAMIENTO A SER INSTALADO</p>
	<p>Las tecnologías WTE priorizadas en el Proyecto TNA – sector de energía a partir de RSM, son descritas brevemente a continuación. Se aclara que no son las únicas tecnologías WTE</p> <ol style="list-style-type: none"> 0. Aprovechamiento energético de biogás de relleno sanitario, de aplicación temporal puesto que depende de la existencia de botaderos y rellenos sanitarios de cierto tamaño, lo que se contrapone al Programa propuesto por el MAE / CC y a las tecnologías WTE. En esta práctica, se extrae el biogás producido en los botaderos y rellenos mediante tuberías enterradas y bombas de succión, para secarlo y utilizarlo como combustible en generadores eléctricos o quemadores térmicos. El botadero o relleno sanitario, no tiene alteración alguna. 1. Plantas de Tratamiento Mecánico – Biotecnológico (MBT), que tienen una etapa de clasificación manual y mecánica para separar los residuos inorgánicos reutilizables como insumos industriales, de los residuos orgánicos que son tratados anaerobiamente para

	<p>producción de biogás, el cual puede ser inyectado a generadores eléctricos o térmicos. Los lodos orgánicos de los biodigestores se tratan para producir biofertilizantes.</p> <p>2. Planta de Pelletización y Co incineración en Hornos Cementeros, la cual incluye una fase de clasificación de RSM, y donde se producen pellets por deshidratación y compactación del material con presencia de carbono, el cual puede ser incinerado en hornos cementeros o calderos de hogar abierto (ingenios, termoeléctricas).</p>
--	---

7.2. OBJETIVOS DEL PROGRAMA

a.	MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
	<p>Las plantas WTE que se pudieran construir y operar en el país, por su definición significa que estarán localizadas en las vecindades de los centros poblados, por lo que su generación eléctrica o térmica es descentralizada respecto de los proyectos hidroeléctricos emplazados en las estribaciones montañosas o embalses creados artificialmente.</p> <p>Al generar energía más cerca de los centros poblados, se reducen las pérdidas por transporte de electricidad y derivados del petróleo, que es uno de los conceptos de eficiencia energética en la fase de distribución.</p> <p>Casa adentro, las plantas WTE son diseñadas, construidas y operadas con altos estándares de uso eficiente de energía, arquitectura bioclimática en relación al entorno en el que se encuentren.</p>
b.	INCREMENTO DE USO DE ENERGÍA RENOVABLE
	<p>La energía de biomasa residual es uno de los filones aún no explotados intensivamente en el Ecuador. Solamente se ha aprovechado los desechos de la caña de azúcar en los ingenios, para producir energía eléctrica y térmica. Al 2011, la capacidad nominal instalada de este tipo de generación fue de 101,30 MW (2,02% de la potencia nominal total instalada – 5016,03 MW), que produjo 147,27GWh/año de energía (0,80% de la producción total de energía + importaciones – 21.838,73 GWh/año)⁸⁰(CONELEC, 2012).</p>

⁸⁰ CONELEC, Boletín Estadístico 2011, pág. 41, 2012.

	<p>Las plantas WTE son instalaciones industriales que producen energía renovable de biomasa, a partir de desechos aparentemente sin uso, cuyo volumen es creciente en el tiempo (en términos absolutos y relativos per cápita), y que se genera en cada población, sector agropecuario o agroindustrial del país. Por lo tanto, los RSM son una nueva fuente de energía renovable no convencional, que ayuda a la diversificación de la matriz energética ecuatoriana.</p> <p>El potencial energético de RSM urbanos solamente, se estimaría en unos 60 – 70 MW de capacidad nominal instalada, utilizando tecnología MBT; en caso de ser pirolisis – gasificación, el potencial superaría los 100 MW aproximadamente⁸¹, a un mayor monto de inversión.</p>
c.	REDUCCIÓN DE EMISIONES
	<p>De acuerdo a la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (MAE - Proyecto GEF, PNUD, MAE, 2011), el sector de residuos sólidos, se encuentra entre los de menor aporte de emisiones al año 2006, pero con el mayor incremento porcentual (74,2%)⁸² en el período 1990-2006. (MAE - Proyecto GEF, PNUD, MAE, 2011). Se estima que una medición in situ y un cálculo bioquímico de las emisiones en los principales botaderos y rellenos sanitarios del país, arrojaría un valor mucho mayor al presente año, considerando las casi 9000 Ton/año de RSM que se disponen de la forma tradicional.</p> <p>Se debe mencionar que los rellenos sanitarios producen gases de efecto invernadero (GEI), porque allí se producen condiciones anaerobias por compactación de residuos orgánicos, con capas de tierra y presencia de humedad propia y agua lluvia, en mayor proporción que los botaderos a cielo abierto (condiciones mayoritariamente aerobias).</p> <p>Las plantas WTE en cambio, en la medida de la tecnología que utilicen en su proceso de generación de energía eléctrica y/o térmica, transforman las propiedades físicas, químicas y bioquímicas de los residuos, de tal manera que su volumen e impacto ambiental es significativamente reducido, o bien eliminado si confluyen diversas técnicas. Sin duda que tales procesos también producen emisiones fugitivas o secundarias provenientes de chimeneas de generadores, turbinas, calderos o reactores según el caso; sin embargo el balance es muy favorable a las plantas WTE, si se compara con las emisiones de botadero o relleno que persisten por décadas hasta que agoten su carga de compuestos sólidos volátiles.</p>

⁸¹Datos estimados con un uso de 75% de los RSM producidos diariamente, proyecto (ENYA / MEER, 2011), (ENYATEC / COMPENSAFER S.A., 2012)

⁸²(MAE - Proyecto GEF, PNUD, MAE, 2011), págs. 8 y 9.

	En cualquier caso, las emisiones provenientes de plantas WTE, serán controladas por la normativa existente sobre emisiones de fuentes fijas.
d.	OTRAS METAS RELACIONADAS CON MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO
	Además de la reducción significativa de emisiones provenientes de botaderos y rellenos, al introducir plantas WTE se producirían los siguientes efectos relacionados: <ul style="list-style-type: none"> a. Sustitución de energía generada por quema de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas, b. Posibilidad de distribución de biometano por redes de distribución cercanas a las plantas WTE, o de su licuefacción para producir combustibles para vehículos de transporte (aprovechando la misma energía eléctrica allí generada por la planta WTE o bien de origen hidroeléctrica (mas barata) c. Reducción de las pérdidas en transmisión de redes eléctricas debido al aporte de fuentes descentralizadas como serían las plantas WTE, d. Reducción de demanda de energía por uso intensivo de materiales reciclables en plantas industriales e. Reducción de uso de combustibles por uso de transporte de fertilizantes agroquímicos, sustituidos por biofertilizantes producidos en plantas MBT
e.	METAS INTERMEDIAS PARA FACILITAR EL AVANCE DEL PROGRAMA
	<ul style="list-style-type: none"> a. Declaración como Política de Estado el “Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de Residuos Sólidos Municipales, con Énfasis en Producción de Energía Renovable”, Cero Basura sin Beneficio, Ciclo de Vida Continuo de Materiales y Compras Verdes. b. elaboración de Guía Metodológica Técnica para la aprobación de los Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM por parte de los Municipios. c. Expedición de Regulación del CONELEC con tarifa preferencial para energía de biomasa, y de la ARCH para tarifa de biometano distribuido por red o envasado a presión. d. Expedición de políticas complementarias de fomento de las energías renovables no convencionales, como transferencia de una fracción de subsidios de combustibles fósiles. e. Apertura de línea de crédito y herramientas de calificación de proyectos WTE por parte del BEDE, BIESS a nivel nacional. f. Diseño y construcción de plantas pilotos de las tres tecnologías priorizadas para Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo para validación, diseño definitivo de plantas de escala real, construcción y monitoreo de operación. g. Capacitación de técnicos del MAE / MEER / INER / AME / municipios en tecnologías WTE y nuevo modelo de aprovechamiento total de RSM
f.	DESARROLLO DE POLÍTICAS Y REGULACIONES ORIENTADAS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA
	A. La elaboración de una Guía Metodológica Técnica para la aprobación de los Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM , a cargo del Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) del MAE, para uso de los municipios del país, donde se incluyan las opciones energéticas como método positivo de disposición final de sus RSM, por partida triple, y análisis de efectos de mitigación de CC del sistema propuesto:

	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa del impacto ambiental global (al agua, suelo, aire, paisaje, flora, fauna y antrópico) • Generación de energías renovables • Sustitución de energía de origen fósil. <p>La referida Guía deberá contener directrices claras sobre:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de Mancomunidades de municipios cercanos geográficamente entre sí, para lograr proyectos de escala de aprovechamiento de RSM, con ahorro de recursos comunes. 2. Clasificación en la fuente, recolección, barrido, transporte, plantas de clasificación de alta eficiencia y generación de energía como forma de disposición final de RSM. 3. Análisis de viabilidad y sostenibilidad técnica, ambiental, legal, económica, financiera y social. 4. Requisitos legales para registrar y obtener el permiso de generación eléctrica, o de producción de biocombustibles líquidos o gaseosos en el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), o en la Agencia de Regulación de Hidrocarburos (ARHC), si se trata de energía eléctrica o térmica según sea pertinente. 5. Formato de solicitud de crédito a instituciones financieras públicas por parte de los municipios, para que sean sujetos de crédito para inversión en plantas WTE. <p>B. Expedición de un Decreto Presidencial de creación de un Fondo para proyectos de Energías Renovables y Eficiencia Energética, alimentado por un % del subsidio actual a los combustibles fósiles. Es una señal clara de reducción, focalización y transferencia de subsidios de energías fósiles a energías renovables, como preparación a una época de transición de economía energética en escenario de escasez de petróleo, lo cual requiere la formulación de un modelo macroeconómico de equilibrio económico – energético – social complejo.</p> <p>C. Aprobación de una Regulación de Tarifa Preferencial para Energía de Biomasa por parte del CONELEC, donde además se establezcan las condiciones de vigencia, cupo de generación, preferencia en el despacho de energía, pago por potencia, requerimientos de medición, interconexión, etc., de carácter específico para generación eléctrica descentralizada. Una tarea equivalente se propone realizar para el caso de generación térmica en forma de biocombustibles líquidos y gaseosos, por parte de la Agencia de Regulación de Hidrocarburos (ARHC).</p> <p>Nota: se puede escalar el nivel de la normativa propuesta, a una Ley Orgánica de Fomento de Energías Renovables no Convencionales por ejemplo, pero puede ser más rápido la elaboración y expedición de los tres normativas indicadas.</p>
g.	<p>CREACIÓN DE NUEVOS ACUERDOS INSTITUCIONALES PARA FACILITAR LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA</p>
	<p>La nueva normativa propuesta puede generar actividad en diversos frentes para el MAE / PNGIDS con las siguientes instituciones:</p>

	<p>a. Asociación de Municipalidades del Ecuador (AME): aplicación nuevo orden sobre gestión y aprovechamiento total de RSM.</p> <p>b. MEER - INER: implementación conjunta de plantas piloto WTE de diferentes tecnologías para investigación</p> <p>c. CONELEC: aprobación Estudios de Impacto Ambiental de plantas WTE (CONELEC tiene la competencia como Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable sobre proyectos de generación eléctrica.</p> <p>d. Instituciones Financieras públicas locales y externas: calificación de proyectos municipales WTE para ser financiados.</p> <p>e. SENPLADES: priorización del Programa de Gestión y Aprovechamiento Totalde RSM, en el entorno del Plan Nacional del Buen Vivir, que es Política de Estado.</p> <p>f. MEER - SENESCYT – Academia - Municipios: capacitación de funcionarios públicos en tecnologías WTE.</p> <p>g. Entidades multilaterales o bilaterales de financiamiento de proyectos de mitigación de CC.</p> <p>Otros niveles de relacionamiento pueden acontecer más fluidamente que en la actualidad:</p> <p>h. Entidades auditoras, validadoras, certificadoras, intermediarios y bolsas de venta de certificados de reducción de emisiones (CERs) con promotores de plantas WTE.</p> <p>i. Empresas privadas desarrolladoras o representantes de tecnologías WTE con Municipios: ofertas de plantas WTE o de equipos.</p> <p>j. Empresas privadas recicladoras, asociaciones de recicladores formales e informales y transportistas con plantas WTE: acuerdos para provisión de materiales reciclables en volumen.</p> <p>k. Proyectos públicos, privados y comunitarios de agricultura orgánica y recuperación de suelos degradados con plantas WTE MBT: acuerdos para provisión de biofertilizantes certificados.</p> <p>l. Empresas de Agua Potable y Alcantarillado con Plantas WTE: acuerdos para instalaciones conjuntas de tratamiento de aguas residuales y RSM, solución que resulta muy atractiva para los dos casos, particularmente si se trata de plantas MBT.</p> <p>m. Ingenios, centrales termoeléctricas, empresas cementeras – municipios: provisión de RSM como combustibles alternativos para abaratar costos de generación con diésel, bunker, etc.</p> <p>n. Empresas de diseño industrial, metalmecánicas, constructoras de facilidades industriales, proveedoras de equipos varios de fabricación nacional o importados, oferta de servicios de mantenimiento y operación con plantas WTE.</p>
h.	<p>CAPACIDAD DE EJECUCIÓN (USUARIOS ENERGÍA, ACTORES, INSTITUCIONES FINANCIERAS)</p>
	<p>Actores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Municipios: en general con nula capacidad técnica, económica y administrativa, para el desarrollo propio de plantas WTE, con excepción de las tres principales ciudades del país: Quito, Guayaquil y Cuenca. El resto de los 218 municipios precisa soporte de todo tipo para emprender este tipo de proyectos. • MAE / PNGIDS: progresiva apertura para el desarrollo de plantas WTE como eje del Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM. Resta trabajar en ese sentido en los órdenes jurídico (expedir nuevas guías), técnico (capacitar a su personal), económico

(procurar fondos o empréstitos), social (socializar con autoridades municipales y ciudadanía el nuevo modelo), y ambiental (concientizar como forma válida de solución ambiental al problema de disposición final de RSM, el uso energético de los RSM).

- **Población en general:** poco interés en la forma como terminan sus desechos, con excepción de las comunidades que son vecinas a los botaderos y rellenos sanitarios antiguos o por construirse. Mucho trabajo por hacer para consolidar el mensaje que la basura no es un desecho, es un material con un ciclo de vida extendido, y con valor energético y económico propio que debe ser aprovechado. Introducción y exposición creciente de conceptos de energías renovables, eficiencia energética, CC, uso intensivo de recursos disponibles en economía basada en derivados de petróleo cada vez menos disponibles sin embargo altamente subsidiados, son temas urgentes que deben ser asumidas.
- **Usuarios de energía:** Generalmente al usuario final de energía (industrial, comercial, residencial, etc.) no le interesa mayormente cómo se genera la electricidad o combustibles sino su precio de venta, el cual está subsidiado en el Ecuador, lo cual no estimula actitudes de ahorro o desarrollo de nuevas fuentes renovables. En un entorno de economía energética de transición, este sería un capítulo muy importante para ser desarrollado, que la ciudadanía aprenda y valore el uso tecnológico de los recursos renovables disponibles, como la energía a partir de RSM, a precios progresivamente reales.⁸³ (NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE, 2009)
- **Proveedores de Equipos y Servicios Energéticos:** a más del diseño, implementación y control de las nuevas redes híbridas, el impacto de generación descentralizada proveniente de fuentes renovables como RSM, no plantea mayor problema tecnológico, económico o ambiental desde el punto de vista de las empresas proveedoras de servicios energéticos o de distribución de energía o biocombustibles locales. Los proveedores de equipos importados o desarrollados localmente, también responden en el presente y futuro, a la nueva demanda proveniente de plantas WTE de varias tecnologías.
- **Gobierno Central:** una vez elaborado el nuevo cuerpo legal básico del país (Constitución, Plan Nacional del Buen Vivir, Código de Ordenamiento Territorial y Código de la Producción entre los cuerpos legales relevantes a este proyecto), se debe proseguir con la inversión social en proyectos productivos, ambientales
- **Entidades Financieras:** Banco del Estado (BEDE), Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS), entidades financieras multilaterales o bilaterales comunes: necesidad de desarrollar procedimientos y herramientas internos para calificar solicitud de financiamiento de municipios o emprendedores privados o mixtos (público-privados), para construcción de plantas WTE, puesto que no hay precedentes en el país⁸⁴.
- **Fondos multilaterales o bilaterales de financiamiento de proyectos de mitigación de**

⁸³NationalGeographic Magazine, marzo 2009, Ed. en español, pág. 2.

⁸⁴Con excepción de una planta WTE (150 Ton/día – 10.7 MW capacidad nominal) de iniciativa privada para la ciudad de Chone, que dispone del Contrato de Permiso de Generación otorgado por el CONELEC a fines de 2012.

	<p>CC: acercamiento y oferta al país (gobierno central, MAE / PNGIDS, municipios) de sus productos, incluida la instrucción para su acceso.</p>
i.	<p>EVOLUCIÓN DE MERCADO</p> <p>Dado que los municipios (con excepción de Chone – provincia de Manabí), no disponen de información, capacidad técnica y económica para emprender por si solos en proyectos de Aprovechamiento Total de RSM, la implementación de las plantas WTE, dependerá de la actividad en dos formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asociaciones empresas privadas – municipios: la empresa privada proporciona la tecnología WTE que representa, financiamiento o búsqueda de capital de inversión y condiciones de contrato de procesamiento energético de RSM. El municipio se compromete a proveer los residuos por x años, el pago de una tasa por tonelada procesada, ordenanzas, permisos y posiblemente el terreno para la implantación del proyecto. Es un modelo principalmente privado, con una limitada participación municipal. • Plantas WTE pilotos y de escala real financiados por entidades públicas del sector residuos: MAE / PNGIDS / MEER / INER / BEDE / BIESS / Municipio X, como eje del nuevo Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM propuesto por este estudio. En cambio este modelo tiene origen público y sería controlado en todas sus fases por las entidades estatales involucradas en el sector, aunque la construcción y hasta administración pudieran estar a cargo de Empresas Públicas (EP) o concesionadas a empresas privadas. <p>Cabe la pregunta sobre cuál es el modelo más exitoso y conveniente para los municipios y el país? La respuesta puede identificarse en primer lugar en el que ofrezca los mejores indicadores de TEP⁸⁵ neta producida/Tonelada RSM, monto inversión USD/ TEP netos disponibles para la venta, emisiones CO2 eq./TEP y otros indicadores similares. Otro tipo de evaluación cualitativa se debe realizar en relación al cumplimiento de las Políticas de Estado sobre RSM, objetivos replanteados del MAE / PNGIDS, grado de dependencia y transferencia tecnológica al país, facilidad de integración al entorno ecuatoriano, etc.</p> <p>Claro que para la necesaria comparación entre tecnologías, costos, resultados y modelos de administración de plantas WTE, se debe contar con casos de estudios reales.</p>
j.	<p>DESARROLLO Y DEMOSTRACIÓN DE NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN O PRODUCTOS FINANCIEROS</p>

⁸⁵TEP: toneladas equivalentes de petróleo: medida de energía útil para comparación de producción eléctrica y térmica.

k.	DEMOSTRACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
	<p>Aunque no son las únicas tecnologías WTE, las tres tecnologías priorizadas en el proyecto ENT para las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y para Chimborazo son aplicables, y de las dos primeras hay precedentes en el país:</p> <p>1. Captación de biogás para aprovechamiento energético de botaderos y relleno sanitario: Santo Domingo de los Tsáchilas tiene varios botaderos y próximamente un Complejo Ambiental que contiene dos cubetos para almacenamiento de RSM, donde cabe instalar sistemas de succión de biogás para utilizarlo como combustible en generadores eléctricos, quemadores térmicos (si hay demanda cercana), o quema simple en teas para evitar que fugue a la atmósfera. Ejemplos de esta práctica se los encuentra en Pichacay, el relleno sanitario de la ciudad de Cuenca, que empezará a operar generadores de 1,3 MW a fines del presente año; otro ejemplo es la instalación de captación en el botadero de Zámiza (Quito) y el relleno sanitario de El Inga (Quito), sin aplicación energética, solo quema de biogás para venta de CERs.</p> <p>Cabe anotar que esta alternativa energética, solo puede ser implementada en botaderos o rellenos sanitarios activos (con recepción de RSM orgánicos frescos diariamente) y de cierto volumen, en términos económicamente viables (aún con una tarifa preferencial atractiva), puesto que el potencial de generación de un botadero o relleno sanitario pequeño o cerrado, declina rápidamente, la calidad del biogás es pobre (<40% CH₄) y contiene mucha humedad de vapor de agua.</p> <p>2. Pelletización de RSM para co-incineración horno cementero: en el Ecuador no existen ejemplos exactamente iguales de utilización de RSM pelletizados como combustible alterno en hornos cementeros. Sin embargo, dos cementeras han desarrollado pruebas de otros combustibles tales como llantas en Cementos Chimborazo) (NAVARRETE, 2009), raquis de palma africana y cascarilla de arroz (Lafargue) (LAFARGUE, 2011), lo que allana el camino para el aprovechamiento energético de los RSM de Riobamba y otros cantones cercanos a la empresa Cementos Chimborazo.</p> <p>El Municipio de Riobamba puede iniciar conversaciones con la Empresa Cementos Chimborazo, ubicada aproximadamente 10 Km al sur oeste de la capital provincial, Riobamba, para realizar pruebas de utilización de RSM con contenido de carbono, previamente pelletizados, para evaluar su viabilidad. Para una prueba a escala piloto, las máquinas pelletizadoras son extrusoras simples por presión hidráulica, que se pueden fabricar localmente.</p> <p>3. Planta de Tratamiento Mecánico – Biológico (MBT): en su conjunto, de esta tecnología no</p>

	<p>hay precedentes en el país, sino pocos ejemplos de módulos de clasificación manual (ciudades de Loja y Cuenca) y biodigestores de residuos pecuarios (granjas lecheras y porcícolas) o cerveceros para producción de biogás, aunque no con fines energéticos, sino ambientales.</p> <p>En otros países desarrollados y en vías de desarrollo, las plantas MBT son utilizadas desde hace casi una década; a continuación se listan algunos ejemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • España, Gobierno de Navarra – Mancomunidad de Residuos Sólidos de la Ribera, Planta de Biometanización de El Culebrete. • Argentina, Municipio de Buenos Aires – Planta Complejo Ambiental Norte III • España, Planta MBT Zaragoza • España, Murcia, Centro de Cañada Hermosa • España, Pinto, Planta de Biometanización de Residuos • Reino Unido, Planta ciudad Milton Keynes • Malta, Planta WasteServ Ltd. • India, Tamilnadu Biotech WTE Plant • Brasil, Pernambuco, Planta WTE MBT (en fase de diseño)
<p>I.</p>	<p>JUSTIFICACIÓN DE QUE LOS OBJETIVOS DEL PROGRAMA CORRESPONDEN A LAS METAS Y CRITERIOS DE LA FUENTE FINANCIERA.</p>
	<p>En el ámbito local, el BEDE particularmente tiene abierta una línea de financiamiento para sistemas de gestión de RSM de municipios, la cual estaba orientada únicamente al cierre de botaderos y apertura de rellenos sanitarios como forma de disposición final de dichos residuos. Se tiene noticias recientes que dicho Banco, va a incluir en sus protocolos de calificación de proyectos, el aprovechamiento energético de RSM, como una forma tecnológica para su disposición final; el BIESS también estaría dispuesto a invertir en plantas WTE, incluso como socio financiero temporal. En síntesis, el Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM (orientado a cero basura sin aprovechamiento), tendrá respuesta y apoyo financiero local para la construcción de las plantas WTE en el Ecuador.</p> <p>Respecto de los requerimientos comunes de las entidades financieras multilaterales (GEF, Banco Mundial, UNDP, UNEP, etc.), fondos de inversión para el clima o bonos de carbono, o bilaterales (GIZ, JICA, USAID, etc.) el Programa propuesto por este estudio corresponde perfectamente (GEF / UNEP / RISO CENTRE, 2012) con los postulados y la necesidad de recursos financieros para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo, implementación de plantas WTE, las cuales son proyectos de mitigación de CC, en el mercado ecuatoriano, puesto que su balance de emisiones es netamente positivo respecto de la sublimación espontánea de los RSM depositados en botaderos y rellenos sanitarios, que ocurre actualmente.</p>

7.3. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

a.	IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presidencia de la República / Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos 2. MAE / Subsecretaría CC / PNGIDS. 3. MEER / INER 4. CONELEC / ARCH 5. CELEC EP /CNEL EP 6. MUNICIPIOS 7. BEDE / BIESS 8. Entidades Multilaterales o Bilaterales Financieras 9. Empresas desarrolladoras / proveedoras / representantes de tecnologías WTE 10. Productores de equipamiento industrial locales 11. Asociaciones, cooperativas y empresas de reciclaje
b.	ETAPAS DE DESARROLLO DEL PROGRAMA
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expedición de Política de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM, Cero Basura sin Beneficios, Ciclo Continuo de Vida de Materiales y Compras Verdes. 2. Desarrollo de Contabilidad Ambiental, para evaluación económica de pasivos ambientales tales como botaderos, rellenos, etc. 3. Elaboración de la Guía Metodológica para los Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM, que incluirá disposiciones sobre formación de mancomunidades, creación de empresas de procesamiento de RSM, reciclaje intensivo, clasificación en la fuente, barrido, recolección, transporte, aprovechamiento energético como la forma prioritaria de disposición final de RSM, elaboración de proyecto y solicitud de financiamiento al sistema financiero público, multilateral o bilateral. 4. Formulación de tarifas preferenciales y otros incentivos financieros para generación de energía de biomasa 5. Creación de fondo para financiamiento de proyectos WTE y herramientas para calificación de solicitudes de crédito de municipios. 6. Socialización con Municipios y difusión a nivel de ciudadanía 7. Creación de Mancomunidades o Consorcios de Gestión y aprovechamiento total de RSM 8. Capacitación de personal técnico de instituciones públicas y municipios en tecnologías WTE 9. Investigación, diseño y construcción de plantas piloto de tecnologías priorizadas: captación de biogás de relleno sanitario para los botaderos y rellenos existentes; pruebas de co incineración en horno de Cemento Chimborazo y planta MBT. 10. Monitoreo, evaluación de la operación, mejoramiento y diseños de plantas de escala real para mancomunidades formadas. 11. Puesta en práctica de los Sistemas de Gestión y Aprovechamiento de RSM en mancomunidades. 12. Síntesis de lecciones aprendidas – mejoramiento de marco jurídico.
c.	DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DEL GERENCIA DEL PROGRAMA
	<p>La Entidad que gerenciará el Programa propuesto, debe ser el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGNDIS), fortalecida por técnicos en plantas WTE, reciclaje eficiente, especialistas en CC y economía energética, comunicadores sociales, y personal de apoyo.</p>

	<p>El PNGIDS, que cambiaría su nombre por Programa Cero Basura: será una entidad dentro de la Subsecretaría de CC del MAE, regida por la normativa indicada al inicio del punto anterior. No podrá financiar directamente los Sistemas de Gestión de los municipios, pero sí dará su aval para la solicitud de crédito al BEDE, BIESS, si el proyecto es aprobado.</p> <p>En el mediano plazo, el Programa Cero Basura también podrá asumir la competencia del manejo de residuos líquidos a nivel nacional.</p>
d.	IDENTIFICACIÓN DE OTRAS FUENTES REQUERIDAS
	<p>En este primer documento, no se identifican otras fuentes secundarias.</p>
e.	DEFINICIÓN DE LOS ROLES Y RESPONSABILIDADES DE LAS PARTES A CARGO DE LA IMPLEMENTACIÓN
	<p>Presidencia de la República / Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos: Formulación Política de estado Cero Basura, Ciclo de Vida Continuo y Compras Verdes.</p> <p>MAE / PNGIDS: A cargo de la formulación de las normas operativas de gestión y aprovechamiento total de RSM que la utilizarán los municipios, procedimiento de calificación técnica, energética, ambiental, social y jurídica.</p> <p>MAE / Subsecretaría CC: Formulación de modelo de contabilidad ambiental de pasivos ambientales como rellenos sanitarios, con el propósito de comparar con el costo de inversión y operación de plantas WTE.</p> <p>MEER / INER: soporte técnico en relación a las tecnologías WTE al MAE y otras entidades del sector. Revisión de los diseños, ofertas de equipamiento o plantas paquete, trabajo de campo conjunto con los municipios, contacto con agencias de energías renovables externas, investigación propia de biogás, combustibles alternos, pirolisis – gasificación, incineración controlada, plasma, producción de biocombustibles líquidos y gaseosos, etc.</p> <p>CONELEC / ARCH: emisión de nueva regulación con tarifas y condiciones preferenciales para</p>

	<p>plantas WTE, y condiciones para las transacciones de energía eléctrica allí generada.</p> <p>CELEC EP / CNEL EP: empresas generadoras y distribuidoras públicas de energía eléctrica, que deberán admitir nueva generación descentralizada. CELEC EP tiene la facultad legal para construir plantas de generación de energías renovables, por lo que podría hacer una primera planta.</p> <p>MUNICIPIOS: gobiernos descentralizados con autonomía propia, pero en materia de RSM, deberán observar el nueva normativa, y desarrollar sus Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM con nuevas perspectivas. Deberán formar necesariamente mancomunidades o consorcios con otros municipios cercanos geográficamente, sin consideraciones políticas, para poder acceder al financiamiento público.</p> <p>BEDE / BIESS: calificación de proyectos de gestión y aprovechamiento de RSM presentados por los municipios, en base a una herramienta elaborada para el caso. Calificación a sus técnicos en lineamientos generales de las nuevas tecnologías WTE. En este mismo grupo se encuentran las entidades multilaterales o bilaterales de financiamiento de programas y proyectos de mitigación de CC y/o venta de CERs.</p> <p>Desarrolladores o Proveedores de tecnologías WTE: oferta de plantas y transferencia tecnológica a operadores municipales o del gobierno central. Otorgamiento de garantías y modelos de operación accesibles al entorno ecuatoriano.</p> <p>Proveedores de Equipos y Servicios locales: diseño y desarrollo de nuevos productos, dependiendo de la tecnología prevaleciente de plantas WTE.</p> <p>Asociaciones o empresas de reciclaje: adaptación al trabajo dentro del nuevo modelo de gestión de RSM, nuevos flujos y tipos de residuos reciclables; posibilidad de transformación en productos útiles mayoritariamente en el Ecuador.</p>
f.	<p>PREPARACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIONES DESCRIBIENDO LAS ETAPAS A CARGO DE CADA ORGANIZACIÓN RESPONSABLE</p>
	<p>Este trabajo se lo deberá elaborar como parte del Programa propuesto.</p>

g.	PROGRAMA DE MARKETING Y ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN
	<p>El programa de marketing y divulgación de la nueva política de aprovechamiento de RSM, será diseñado según cuatro tipos de destinatarios:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entidades Gobierno Central: MAE / MEER / INER / SENPLADES / SENESCYT / BEDE / BIESS: todos deben conocer, asumir y hablar un solo discurso sobre RSM 2. Entidades Financieras Multilaterales o Bilaterales: presentación de proyectos muy bien elaborados para ser sujetos de créditos o fondos no reembolsables. 3. Entidades Gobiernos Seccionales: Municipios y juntas parroquiales a cargo de la implementación y manejo diario de los RSM, que tienen un rol trascendente para dar un salto tecnológico y ambiental importante. 4. Público en general: salir del desinterés sobre el destino final de los RSM, y lo que implica esto para el ambiente en el cual se vive.
h.	ACTIVIDADES DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN A SER REALIZADAS
	<p>Este punto tiene concordancia con el numeral anterior, en el cual se indica que las actividades de comunicación serán trascendentales para el éxito del Programa propuesto,</p>
i.	MECANISMOS FINANCIEROS USADOS
	<p>En primer lugar pero no exclusivo, los municipios acudirán al BEDE y aún al BIESS, como bancos especializados en financiar proyectos del sector público; es indispensable la elaboración de un manual de calificación de solicitudes de crédito, herramientas informáticas específicas y otros parámetros de decisión.</p> <p>Uno de los aspectos más decisivos para concluir en la viabilidad de un proyecto WTE, es la comparación de los costos de inversión, operación y mantenimiento de una planta de una tecnología dada, con la línea base que por ahora representan los botaderos y rellenos sanitarios, que no producen retornos y solo gastos recurrentes. Esto significa que los costos de oportunidad ambientales son sumamente importantes y onerosos para los municipios, y si no se los toma en cuenta en el análisis de la viabilidad económica – financiera de una planta, no se llegarían a conclusiones correctas.</p>

7.4. IDENTIFICACIÓN DE SOCIOS Y ACTORES

a. SOCIOS	<p>Desde el punto del vista del MAE / PNGIDS, los socios indispensables son los municipios y las entidades prestatarias de fondos (BEDE, BIESS, entidades multilaterales) para inversión y capital de trabajo inicial, para emprender los Sistemas de gestión y aprovechamiento total de RSM.</p> <p>Se contarían como socios también a las empresas recicladoras que recibirían muchos más materiales de las plantas WTE que tengan módulos de clasificación.</p>
b. ACTORES	<p>Los actores directos son el MAE / PNGIDS, los municipios y las entidades financieras, puesto que cada uno tienen un rol decisivo en la continuación de los proyectos que forman parte del Programa.</p> <p>En otro frente, se encuentran empresas proveedoras de equipos y servicios, empresas de distribución de energía eléctrica, térmica o biocombustibles, desarrolladores de proyectos MDL, y la propia Subsecretaría de CC, por obvias razones.</p>
c. ASESORES	<p>En calidad de asesores del Programa propuesto, se pueden contar al MEER, INER, SENESCYT, agencias como el PNUD, ONUDI, entidades bilaterales como la GIZ, JICA, universidades con centros de investigación y ciertas consultoras locales y externas, especializadas en tecnologías WTE. En otro nivel se encontrarían las empresas comerciales únicamente proveedoras de tecnologías WTE.</p>
d. OPINIÓN PÚBLICA	<p>Para tener una opinión pública favorable, es muy importante tener resultados positivos y bien diferenciados de los rellenos sanitarios, con la entrada en operación de las primeras plantas WTE. Para las autoridades municipales es un riesgo político y económico emprender en nuevos proyectos que no se tienen precedentes en el país.</p>

7.5. RESPONSABILIDAD DE LA GERENCIA DEL PROGRAMA

a.	DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES
	<p>El MAE PNGIDS debe constituir una unidad específica dentro de su estructura actual, para que asuma la coordinación con las entidades de control superiores (Presidencia y Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos MCPEC), con las entidades públicas relacionadas (MEER, INER, SENPLADES, SENESCYT, BEDE, BIESS, Entidades Financieras Multilaterales y Bilaterales, CONELEC, Municipios), que desarrolle el Programa Propuesto, a partir de la expedición de la Política de Estado en los términos arriba indicados.</p> <p>La Unidad Cero Basura (UCB) tendrá un coordinador técnico ambiental, con formación en tecnologías WTE y llevará adelante con su equipo de trabajo la ejecución del proyecto.</p>
b.	REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS Y SERVICIOS
	<p>El equipamiento requerido es mínimo para la Unidad: una oficina con sitios de trabajo para cinco personas y sala de reuniones es suficiente. Deben tener movilidad para cubrir el área centro norte de la sierra y opción a viajar por ruta aérea a otras ciudades.</p> <p>Una vez avanzado el Programa, se deberá contratar a los líderes de proyecto de plantas piloto WTE de las tecnologías priorizadas, e instalar oficinas en Cuenca, Riobamba y Santo Domingo de los Tsáchilas. La investigación de captación de biogás de relleno sanitario, se la realizará en el relleno sanitario de Cuenca, y el relleno sanitario de El Inga de Quito, por lo que no habrá necesidad de construir una planta piloto.</p> <p>En la etapa de construcción y operación de pequeñas plantas piloto MBT y de pelletización, se deberán contar con medidores portátiles y fijos de gases que componen el biogás en tiempo real, analizadores de emisiones de chimeneas con registro y almacenamiento de datos para su posterior análisis.</p> <p>Se deberán contar con los servicios de laboratorios especializados en la toma y análisis de muestras de sustratos, cromatografía de gases, efluentes, emisiones, ruido y contaminación de suelo, como parte de un estudio de impacto ambiental continuo in situ.</p>

c.	SELECCIÓN Y COORDINACION DE CONSULTORES
	<p>El Coordinador de la UCB, contratará a consultores locales y extranjeros, para las siguientes tareas. El perfil de los consultores será el de expertos en tecnologías WTE, y facilidad para transferir sus conocimientos a un público diverso, y otros para acometer las diferentes tareas previstas como son:</p> <ol style="list-style-type: none"> Capacitación de funcionarios públicos y municipales en tecnologías WTE. Diseño y construcción de plantas piloto MBT y Pelletización. Pruebas, análisis y monitoreo de la operación de las plantas piloto bajo estudio. Formación de las empresas públicas (EP) o mixtas a cargo de los sistemas de gestión de RSM a nivel de mancomunidad o municipios que no dispongan, Diseño y construcción de plantas WTE a escala real, para el (las) primeras mancomunidades y municipios que tengan listo sus Sistemas de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM. Selección de personal técnico, administrativo y operativo de cada localidad, para las plantas WTE a ser construidas. <p>La UCB se encargará del seguimiento de todas las tareas subcontratadas, y reporte a la gerencia del MAE / PNGIDS y Subsecretaría de CC.</p>
d.	DESARROLLO Y COORDINACIÓN DE LOS PROYECTOS INDIVIDUALES
	<p>El Coordinador y el personal núcleo de la UCB se encargará en primera instancia del trabajo de los frentes jurídico, técnico-ambiental y económico-financiero.</p> <p>Luego, se contratarán tres técnicos, cada uno para el desarrollo de las plantas y pruebas piloto de las tres tecnologías WTE priorizadas, como parte del staff de la UCB.</p>
e.	COLABORACIÓN CON LOS SOCIOS
	<p>Esta tarea estará a cargo del Coordinador de la UCB, y su equipo original de trabajo.</p>
f.	GERENCIAMIENTO, DESEMBOLSO Y CONTROL DE FONDOS
	<p>El gerenciamiento de los fondos estará a cargo del Coordinador de la UCB, y su equipo original de trabajo. Los fondos provendrán de una partida creada para el Programa propuesto, administrada por el MAE / PNGIDS, bajo la Subsecretaría de CC.</p>

g.	PREPARACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LOS DATOS Y REPORTES DEL PROGRAMA
	Esta tarea estará a cargo del Coordinador de la UCB, y su equipo original de trabajo en la primera etapa de estructuración. Posteriormente se integrarán los líderes de tecnologías WTE priorizadas.
h.	MEDIDA Y VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROGRAMA
	<p>Se distinguen los siguientes hitos, cuyo cumplimiento sirve de verificación del avance del Programa propuesto:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Selección y Contratación Coordinador UCB 2. Contratación equipo técnico y de apoyo administrativo de UCB (4 personas más) e instalación de la oficina. 3. Expedición de la Política Aprovechamiento Total de RSM (Cero Basura) 4. Elaboración de la normativa para aplicación de la Política de Aprovechamiento Total de RSM. 5. Lobbying con frentes jurídico, técnico- ambiental, municipal y financiero 6. Contratación de consultores para capacitación de tecnologías WTE. 7. Curso de capacitación de tecnologías WTE a funcionarios de los ministerios del sector y municipios. 8. Contratación para diseño y construcción de plantas pilotos MBT y Pelletización. Instalación de oficinas en Riobamba, Santo Domingo y Cuenca (captación de biogás del relleno sanitario de Pichacay). 9. Realización de pruebas de operación y monitoreo de variables ambientales por un período de al menos 4 meses. 10. Análisis de viabilidad y sostenibilidad de cada tipo de planta piloto y comparación entre sí. 11. Diseño definitivo y contratación de primeras 3 plantas de escala real, en las provincias de interés del proyecto ENT, o en las mancomunidades o municipios que estén listos con su Sistema de Gestión y Aprovechamiento total de RSM, con aplicación energética. 12. Informe de Monitoreo energético, técnico, ambiental, social, económico y financiero de la operación y mantenimiento de las plantas WTE, luego de 6 meses y cada año luego de su entrada en funcionamiento. 13. Rediseño (si es pertinente hacerlo) y réplica de plantas WTE en otras localidades del país.
i.	COMUNICACIÓN Y REPORTE DE SOCIOS, ACTORES, ASESORES Y DONANTES.
	El Coordinador de la UCB reportará al MAE / PNGIDS / Subsecretaría de CC, otros ministerios y entidades del gobierno central relacionadas, informes mensuales de actividades del Programa.

7.6. ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACIDAD DE EJECUCIÓN

a.	ASISTENCIA TÉCNICA REQUERIDA
	<p>Coordinador UCB:</p> <p>Para el cumplimiento de los objetivos del Programa de este estudio, se precisa la selección del Coordinador de la UCB, quien sería un experto con experiencia en la construcción y operación de plantas WTE en otros países, de ser posible.</p> <p>Responsables proyectos piloto:</p> <p>Como responsables de los proyectos piloto WTE, se procuraría el concurso de técnicos en las tres tecnologías seleccionadas para las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Chimborazo, para iniciar el Programa.</p> <p>Capacitación a funcionarios y diseño de plantas piloto:</p> <p>En cambio, se deberá buscar a expertos para impartir la capacitación a los funcionarios públicos y municipales, y la asistencia técnica para el diseño y construcción de plantas piloto de MBT y pelletización, bajo un esquema de transferencia de energía. También se podría contratar a una consultora extranjera para que realice todo el acompañamiento del Programa, hasta la fase de puesta en marcha de las plantas WTE a escala real.</p> <p>Area Jurídica:</p> <p>La normativa de base del programa, sería elaborada conjuntamente por el Coordinador del Programa (puede ser un ingeniero ambiental) procesos industriales, con un abogado ambiental.</p> <p>Area económica financiera:</p> <p>El documento de calificación de las solicitudes de financiamiento, será elaborado por un economista con conocimiento o especialización ambiental, quien también tendría a cargo el análisis de los resultados económico financiero de las plantas WTE en operación, y la estructuración de los créditos para iniciar la construcción.</p> <p>Monitoreo energético y ambiental construcción y operación plantas piloto:</p> <p>Para el resto de tareas técnicas planteadas de campo (monitoreo, verificación de procesos, etc.), se debería contar con el concurso de ingenieros ambientales, industriales o mecánicos con</p>

	<p>orientación al aprovechamiento de RSM.</p> <p>Actores:</p> <p>El aporte de los actores indicados anteriormente, estará en función del nivel de actividad del Coordinador y la UCB en conjunto, es decir su rol será dependiente de los requerimientos y estándares que imponga la Unidad Cero Basura.</p>
b.	DESCRIPCIÓN DE LA ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACIDAD DE EJECUCIÓN
	<p>El detalle de la asistencia técnica requerida, y la capacidad de ejecución, deberá ser desarrollado por el Coordinador de la UCB, como parte del Programa.</p>
c.	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES NECESARIAS PARA LA PROVISIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA
	<p>La primera fuente de personal técnico para la conformación de la UCB (coordinador y líderes de proyectos), serán técnicos del mismo MAE / PNGIDS / Subsecretaría CC, luego de un riguroso proceso de selección interna.</p> <p>La segunda opción son técnicos del MEER / INER / OLADE, SENESCYT y Academia, que puedan ajustarse a los términos del Programa de Gestión y Aprovechamiento Total de RSM.</p> <p>La tercera fuente de personal, serán técnicos contratados de empresas consultoras locales y extranjeras, que demuestren experiencia en el sector WTE.</p> <p>Para los cursos de capacitación (de nivel medio alto), se estima la contratación de técnicos extranjeros proporcionados por entidades de ayuda multilateral o bilateral (Banco Mundial, GIZ, ONUDI, PNUD).</p> <p>Las demás posiciones no tendrán problema en encontrar perfiles profesionales adecuados para este propósito. De igual manera, para el diseño y construcción de las plantas piloto o de escala real, la oferta será cubierta por empresas locales o externas con experiencia en tecnologías WTE.</p>

7.7. PRESUPUESTO Y USO DE FONDOS

a.	FONDOS SOLICITADOS A LAS FUENTES DE FINANCIAMIENTO
	Los fondos solicitados como financiamiento son el 70% del valor de la ejecución del Programa en 4 años, equivalente a 25'971.960 USD, que pueden constituir una partida inicial para este tipo de proyectos.. El monto total del proyecto se calcula en 37'102.800 USD; su distribución se encuentra en el Anexo 1 .
b.	CO FINANCIAMIENTO DE PARTE DE SOCIOS, ACTORES, EJECUTORES Y OTROS
	Se estima que el Gobierno Central puede aportar con un 30% del valor total del proyecto, es decir 11'130.840 USD. No se espera que haya financiamiento de otros actores, al tratarse de proyectos innovadores y dentro de la esfera municipal
c.	FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS INDIVIDUALES
	Por tratarse de un proyecto innovador técnica y ambientalmente, el monto total de la participación estatal provendrá de las partidas presupuestarias asignadas al MAE / PNGIDS y Subsecretaría de CC.
d.	COSTOS DE GESTIÓN DEL PROGRAMA
	Los costos de gestión del programa se estiman en 764.800 USD, durante los 4 años de duración del Programa. Esto incluye salarios del personal de la UCB, arriendo, equipo y mobiliario de oficina
e.	COSTOS DE MARKETING, COMUNICACIONES Y LANZAMIENTO
	Los costos de marketing, comunicaciones y lanzamiento se estiman en 480.000 USD durante los cuatro años de duración del Programa.
f.	COSTOS DE ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACIDAD DE EJECUCIÓN

	Los honorarios de dos instructores de tecnologías WTE, se estima en 48000 USD, con una duración de 4 meses aproximadamente para completar dos cursos WTE.
g.	COSTOS DE MONITOREO Y EVALUACION
	Los costos de monitoreo y evaluación de las plantas prototipo MBT, de pelletización y el seguimiento de la captación de biogás en el relleno sanitario de Cuenca, se estiman en 90000 USD.
h.	COSTOS DE MEDICIÓN Y VERIFICACIÓN
	Se incluyen en los costos anteriores.
i.	OTROS COSTOS DEL PROGRAMA
	Otros costos importantes que concierne al Programa propuesto, corresponden al diseño, construcción y operación de las plantas prototipo MBT y de Pelletización, que suman 9'780.000, y el diseño, construcción y operación de las plantas de escala real MBT y de Pelletización, estimadas en un valor de 25'600.000 USD.

7.8. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

a.	DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO
	<p>Se describe a continuación uno de los proyectos principales que componen el Programa propuesto en el presente documento: Diseño y construcción de una planta prototipo MBT para investigación y comparación con otras tecnologías WTE, en términos generales, no solamente relacionados a las tecnologías priorizadas en el Proyecto ENT.</p> <p>La UCB contratará el diseño definitivo y construcción de una planta prototipo de tecnología MBT (Tratamiento Mecánico Biológico), de capacidad 20 – 30 Toneladas por día de RSM. Esta planta tendrá estaciones de clasificación manual y posiblemente máquinas extractoras de metales y</p>

	<p>plásticos. Todos los materiales inorgánicos separados del flujo de RSM, serán pesados, embalados y puestos a la venta de recicladores para su utilización en otras instalaciones.</p> <p>Los residuos orgánicos serán pretratados mediante molinos y cribas secas que separarán cualquier material extraño. Se los enviará con cierto volumen de agua a los reactores anaerobios donde permanecerán de 30 a 45 días como tiempo máximo de retención, en condiciones de temperatura y pH controlado, para lograr su inertización y producción de biogás.</p> <p>El biogás producido, será filtrado el H₂S y CO₂ y censado en unidades de cromatografía en tiempo real, con enlace a la cabina de control de la planta. Este biogás depurado será inyectado a motores de combustión interna para generación eléctrica para autoabastecimiento de la planta. Opcionalmente se instalará una subestación de interconexión a la red pública para su venta.</p> <p>Los lodos orgánicos degradados, se transportarán a tanques sedimentadores y deshidratadores para reducir su contenido de humedad, antes de su fermentación y maduración en instalaciones cerradas y con ambiente controlado para obtener biofertilizantes de forma acelerada.</p>
b.	DEFINICIÓN DEL PROPONENTE Y EJECUTANTE DEL PROYECTO
	<p>Los proponentes del Programa será la Subsecretaría de CC del MAE, y el PNGIDS. La ejecución del Programa estará a cargo de la Unidad Cero Basura (UCB), con personal contratado específicamente para ello.</p>
c.	DEFINICIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS, PRODUCTOS Y EQUIPOS A SER INSTALADOS
	<p>Las tecnologías WTE a ser implementadas como eje de los sistemas de gestión y aprovechamiento total de RSM son las tres priorizadas en el proyecto ENT. De ser positivos los resultados de las plantas piloto, todo el Sistema de Gestión de RSM deberá ser diseñado para servir a las plantas con mejores indicadores. Por ejemplo, una rigurosa separación en la fuente entre residuos orgánicos e inorgánicos, ahorraría prácticamente el módulo de clasificación manual y mecánica de las plantas MBT y de Pelletización.</p> <p>1. Captación de biogás de relleno sanitario para aprovechamiento energético: se utilizará la instalación del relleno de la ciudad de Cuenca, para la comparación con las otras dos tecnologías priorizadas. El biogás captado mediante bombas de succión, será secado y filtrado para poder ser inyectado a motores de combustión interna para producción de energía eléctrica.</p>

	<p>2. Tratamiento Mecánico Biológico: producción de biogás para uso combustible en generadores eléctricos. La planta MBT también producirá materiales reciclables y biofertilizantes además de energía eléctrica.</p> <p>3. Pelletización de RSM clasificados para co incineración en horno cementero como combustible alternativo. Se requiere de una unidad de clasificación de RSM, deshidratación, compactación y transporte al horno cementero.</p>
d.	PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO
	<p>En breves rasgos, el proyecto de instalación de una planta piloto MBT de capacidad reducida para la evaluación y comparación con las otras dos tecnologías, se compone de las siguientes actividades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Selección del municipio para la instalación de la planta piloto MBT y caracterización de los RSM 2. Decisión de la capacidad de procesamiento de la planta piloto MBT 3. Diseño de factibilidad y definitivo de la planta piloto MBT 4. Licitación y construcción de la planta piloto. 5. Puesta en marcha y operación durante un año de la planta piloto, período en el cual se monitorearán variables de producción energética, emisiones, efluentes, contaminación al suelo, ruido, rendimiento energético por Tonelada de RSM, reducción de emisiones, balance energético, balance de masa, eficiencia en peso, y otras por definirse. 6. Análisis de resultados de monitoreo y producción energética y como medida de mitigación de CC, rediseño de elementos y socialización de resultados. 7. Selección de municipio para instalación de planta MBT de escala real 8. Decisión de la capacidad de la planta, emplazamiento, servicios, etc. 9. Contratación de diseños de factibilidad y definitivos para la planta MBT de escala real 10. Construcción de la planta, pruebas y calibración de equipos 11. Capacitación del personal operativo, técnico y administrativo 12. Entrega a la entidad municipal o mixta a cargo de su operación. 13. Monitoreo de resultados de operación , rediseño y réplica en otros municipios.
e.	CAPITAL DE INVERSIÓN DEL PROYECTO
	<p>El capital de inversión del proyecto MBT es de 21'025.000 USD, calculado como la suma del costo de diseño y construcción de una planta MBT prototipo de 20 - 30 Ton/día de capacidad, y una de escala real de hasta 200 Ton/día de capacidad + gastos preoperativos + gastos de capacitación, operación y mantenimiento durante un año aproximadamente.</p>
f.	AHORROS DE ENERGÍA O PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

	<p>Una planta MBT de 200 Ton/día de capacidad, se estima que tiene una capacidad instalada de 2 MW. Si su factor de planta es 0.85, la producción de energía bruta es de 2 MW x 8760 h/año x 0.85 /1000 = 14,89 GWh/año. No se consideran significativos los ahorros de una planta prototipo.</p>
g.	FLUJO DE CAJA RELACIONADO
	<p>El flujo de caja será desarrollado en la fase definitiva del proyecto MBT. Se asumirán valores de venta de energía eléctrica según la tarifa preferencial por el CONELEC, valores de materiales reciclables y biofertilizantes al granel.</p>
h.	PLAN DE FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO
	<p>El plan de financiamiento del proyecto, seguirá los porcentajes de aporte indicados para el financiamiento total del Programa: 70% proveniente del BEDE, BIESS o Entidades Financieras Multilaterales o Bilaterales, y 30% de aporte del Gobierno Central, mediante partidas administradas por el MAE / Subsecretaría de CC / PNGIDS. Se tienen noticias positivas al respecto.</p>
i.	TÉRMINOS DE LA DEUDA FINANCIERA
	<p>Las condiciones del financiamiento dependerán de la(s) entidades prestatarias que provean los fondos requeridos. Se esperan al menos un par de años de gracia para el pago de las cuotas de capital, interés no mayor al 5% y plazo de 10 años.</p>
j.	RESUMEN ECONÓMICO FINANCIERO DEL PROYECTO
	<p>En un diseño de factibilidad realizado para el MEER (MEER / ENYA, 2011), todos los índices financieros de TIR, VAN y período de recuperación de capital para una planta MBT de 200 Ton/día de capacidad de procesamiento de RSM, son positivos. Para la planta prototipo también se pueden calcular los índices financieros correspondientes a su flujo de caja real.</p>
k.	REDUCCIONES ESTIMADAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
	<p>Partiendo de la energía bruta generada por una planta MBT de 200 Ton/día de capacidad, 17.89 GWh/año, y utilizando el factor de emisiones publicado por el CONELEC / MAE (MAE /</p>

	<p>CONELEC, 2013)en marzo del 2013, se calculan las toneladas equivalentes de CO2 como sigue:</p> <p>14,892 GWh/año x 0,6069⁸⁶Ton eq CO2 /MWh x 1000 = 9037,95 Ton eq CO2/año</p> <p>En un cálculo más refinado, se deberán descontar la energía autoconsumida y las emisiones fugitivas provenientes de los dos generadores eléctricos a biogás.</p>
--	--

1. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROGRAMA

a.	MONTO TOTAL DE INVERSIÓN DE TODOS LOS PROYECTOS A SER IMPLEMENTADOS BAJO EL PROGRAMA
	El monto total a ser invertido es de 37'102.800 USD, en 48 meses.
b.	AHORRO DE ENERGÍA O ENERGÍA RENOVABLE PRODUCIDA RESULTADO DIRECTAMENTE DE LOS PROYECTOS A SER IMPLEMENTADOS BAJO EL PROGRAMA
	La producción total de energía eléctrica renovable es de 14,892 GWh/año.
c.	REDUCCIÓN ESTIMADA DE GASES DE EFECTO INVERNADERO RESULTADO DE LOS AHORROS DE ENERGÍA O DE ENERGÍA RENOVABLE
	El volumen bruto de GEI ahorrados es de 9037,95 Ton eq CO2/año.

⁸⁶ Factor de emisión para proyectos de energías renovables no convencionales, Ex Ante.

d.	COSTO ESTIMADO POR UNIDAD DE EMISIÓN REDUCIDA
	<p>El costo estimado por tonelada de CO2 equivalente reducida es de:</p> <p>$37'102.800 \text{ USD} / 9037,95 \text{ ton eq CO2} = 405,22 \text{ USD} / \text{Ton eq CO2}$</p>
e.	INVERSIÓN ADICIONAL EN PROYECTOS APALANCADOS POR EL PROGRAMA DEBIDO A LA TRANSFORMACIÓN DEL MERCADO, ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACIDAD DE EJECUCIÓN
	No se cuenta con estos datos. Se refiere a los encadenamientos hacia delante de las dos plantas WTE prototipo y de escala real que se instalen en 4 años.
f.	AHORROS DE ENERGÍA O ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS PROYECTOS APALANCADOS
	No se cuenta con este dato.
g.	COSTO ESTIMADO POR UNIDAD DE EMISIONES REDUCIDAS DE LA SUMA DE LOS PROYECTOS DIRECTOS Y APALANCADOS
	No se cuenta con este dato.
h.	EMISIONES REDUCIDAS POR LOS PROYECTOS APALANCADOS
	No se cuenta con este dato.

7.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN

Los puntos 10. y 11. no han sido desarrollados en esta versión del documento Idea de Proyecto.

a.	MEDICIÓN DEL PROGRESO VERSUS METAS Y OBJETIVO
b.	MÉTODOS PARA REALIZAR CORRECCIONES
c.	APROXIMACIONES A FORTALECER LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA Y SU CONTROL MEDIANTE RETROALIMENTACIÓN DESDE LA IMPLEMENTACIÓN
d.	CREACIÓN DE UNA BASE PARA EL REPORTE TÉCNICO Y CONTABILIDAD FINANCIERA
e.	MÉTODOS PARA ESTIMAR INDIRECTAMENTE O POR APALANCAMIENTO LOS EFECTOS DEL PROGRAMA, INCLUYENDO CUALQUIER ENCUESTA O ENTREVISTA
f.	PLAN DE EVALUACIÓN
g.	PROVISIONES PARA UNA EVALUACIÓN POR TERCERAS PERSONAS DEL PROGRAMA

7.10. PARAMETRIZACIÓN DEL PROGRAMA

a.	PARA PROGRAMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES
b.	PARA COMPAÑÍAS DE ENERGÍAS RENOVABLES O EFICIENCIA ENERGÉTICA
c.	PARA INSTITUCIONES FINANCIERA SOLIDARIAS AL PROGRAMA:

7.11. SOSTENIBILIDAD Y REPLICABILIDAD

a.	DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR LA CAPACIDAD PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL PROGRAMA
----	---

	<p>Se distinguen algunas medidas para garantizar la sostenibilidad del Programa:</p> <p>Expedición como Política de Estado la Gestión y Aprovechamiento total de los RSM, esto implica un fuerte apoyo político a nivel de la Presidencia de la República.</p> <p>Reestructuración del MAE / PNGIDS y apoyo de la Subsecretaría de CC para la formulación y lanzamiento del Programa.</p> <p>Elaboración de Normativa para implementación de la Política de Estado indicada</p> <p>Estructuración de la Unidad Cero Basura (puede tomar cualquier nombre relevante), con personal, medios tecnológicos y presupuesto idóneo para cumplir su cometido.</p> <p>Contratación de técnicos expertos en tecnologías WTE para capacitación de alto nivel a funcionarios de las entidades relacionadas</p> <p>Lograr compromiso de municipios en la implementación de plantas WTE.</p> <p>Disponer de un monto de financiamiento destinado a plantas WTE y Sistemas de Gestión de RSM que las alimenten.</p> <p>Contratación de diseños de factibilidad y definitivos para la construcción de las plantas MBT y pelletización prototipos, con empresas de reconocida experiencia.</p> <p>Monitoreo constante y aprendizaje de las lecciones que deja la operación de las plantas prototipo. Decisión sobre comparación de resultados de cada tipo de planta WTE.</p> <p>Contratación de diseños de factibilidad y definitivos para la construcción de las primeras plantas WTE en el país.</p> <p>Estudio a fondo de la tecnología y sus resultados, para réplica en otros municipios del país, como estándar de disposición final de residuos.</p>
b.	<p>PLAN PARA ALCANZAR Y COMUNICAR LOS RESULTADOS DE LA REPLICABILIDAD EN OTROS MERCADOS</p>
	<p>Invitaciones a autoridades municipales para que tomen contacto y conocimiento con las tecnologías WTE., eventos demostrativos, cursos de capacitación y refrescamiento, publicación de noticias en periódicos, ferias y revistas de difusión masiva sobre los beneficios ambientales, energéticos y sociales de las plantas WTE.</p>
c.	<p>PRESUPUESTO PARA LA SOSTENIBILIDAD Y ACTIVIDAD DE REPLICACIÓN</p>

	No ha sido definido este presupuesto, puesto que esta actividad corresponde a la continuación del Programa, en otra fase posterior a los 48 meses previstos originalmente.
--	--

7.12. RIESGOS Y GESTIÓN DE RIESGOS

a.	CONDICIONES MACROECONÓMICAS DE PAÍS, TASAS DE INTERÉS, INFLACIÓN, TASA DE CAMBIOS O DISPONIBILIDAD DE FONDOS
	La escasez de fondos puede afectar el desarrollo de proyectos de energías renovables, y otros en general. Sin embargo, la energía es un recurso vital y debe ser preservado aún en épocas de crisis macroeconómica.
b.	RIESGOS RELACIONADOS A POLÍTICA O CAMBIOS REGULATORIOS
	Un cambio en la política de cero basura sin beneficios, puede cambiar el enfoque de los Sistemas de Gestión y Aprovechamiento total de RSM
c.	RIESGOS TECNOLÓGICOS
	Obsolescencia tecnológica de las tecnologías priorizadas. Se requiere constante actualización de los funcionarios y desarrolladores de Sistemas de gestión de RSM.
d.	RIESGOS RELACIONADOS A LA ABSORCIÓN DE MERCADO
	Si las plantas WTE ofrecen materiales residuales o biofertilizantes por ejemplo, hay la posibilidad de que el mercado no los adquiera por posible contaminación, intereses de mercado, costos de reproceso, etc., lo que debe ser advertido con suficiente anticipación.
e.	RIESGOS RELACIONADOS A FUTUROS PRECIOS DE ENERGÍA, SUBSIDIOS GUBERNAMENTALES, O POLÍTICAS FISCALES

	Si la energía eléctrica tiene precios deprimidos en el Ecuador por ingreso masivo de generación hidroeléctrica, afectaría a generación renovable más cara.
f.	RIESGOS DE CRÉDITOS A USUARIOS DE ENERGÍA
	Generalmente los usuarios de la energía eléctrica no tienen créditos para compra de energía.
g.	PRÉSTAMOS O RIESGOS DE MALA HISTORIA FINANCIERA
	La capacidad de pago de los municipios o un emprendedor privado puede afectar a la obtención de créditos por parte de las entidades financieras.
h.	RIESGOS DE IMPLEMENTACIÓN, INCLUYENDO PERSONALES
	El análisis de desagregación tecnológica de los equipos, debe ser realizado muy detalladamente para advertir cuáles equipos y obras se pueden realizar en el país, y cuáles serán importados.
i.	SEVERIDAD DE RIESGOS E IMPACTOS POTENCIALES EN EL PROGRAMA
	No se advierten posibles riesgos severos sobre el Programa, puesto que resuelve un problema ambiental, económico y social creciente como es la disposición final de los RSM, y además ayuda a mitiga el CC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, I.; GUPTA, A. K. Characteristic of hydrogen and syngas evolution from gasification and pyrolysis of rubber. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 7, p. 4340-4347, abr 2011.
- AHMED, I. I.; GUPTA, A. K. Pyrolysis and gasification of food waste: Syngas characteristics and char gasification kinetics. **Applied Energy**, v. 87, n. 1, p. 101-108, jan 2010.
- ALQUIMIATEC. **Environmental technology for the Latin American market**. . [S.l.]: ALQUIMIATEC. Disponível em: <<http://www.alquimiatec.com/index.php?t=pro#top>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2007
- ALQUIMIATEC S.A.; NOBLE CARBON CREDITS LIMITED. **Zámbiza Landfill Gas Project. Project Design Document**. . [S.l.]: UNFCCC. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/filestorage/J/H/S/JHSHVN3MGEV1CNZTO84HDDHUYJ4GE6/Final%20PDD.pdf?t=aEN8bTNvN3k4fDDKzdRexv3toe6blayc5pvm>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2004
- AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2625-2643, out 2009.
- Appendix 5 - European Directive 2000/76 (waste incineration). **Waste Engine Oils**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 307-314.
- AQUALIMPIA. **Proyectos de biodigestores**. . [S.l.]: AquaLimpia Consultores. Disponível em: <http://www.aqualimpia.com/proyectos_2011.htm>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2010
- ARA CARBON FINANCE GMBH. **Zambiza, Ecuador**. . [S.l.]: ARA. Disponível em: <<http://www.ara-co2.de/en/references-zambiza.php>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2007
- BAERE, L. DE. **Anaerobic digestion of municipal solid waste: residual waste**. . [S.l.]: OWS. Disponível em: <http://www.ows.be/pub/AD%20of%20MSW%20residual%20waste_ldb.nov.06%20rev%2000.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011. , 2008
- BAUMERT, K.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy**. [S.l.]: World Resources Institute, 2005.
- BJÖRKLUND, A.; MELAINA, M.; KEOLEIAN, G. Hydrogen as a transportation fuel produced from thermal gasification of municipal solid waste: an examination of two integrated technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 26, n. 11, p. 1209-1221, nov 2001.

- BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2383-2395, out 2010a.
- BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2383-2395, nov 2010b.
- BUAH, W. K.; CUNLIFFE, A. M.; WILLIAMS, P.T. Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 85, n. 5, p. 450-457, 2007.
- CEN. **CEN/TC 343 - Published standards**. . [S.l.]: European Committee for Standardization. Disponível em: <<http://www.cen.eu/cen/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/default.aspx?param=407430&title=CEN/TC%20343>>. Acesso em: 15 abr. 2012. , 2011
- CHAE-GUN, P. **The Trend of Recycling Technology of Waste (Biomass) in Korea**. . Korea: [s.n.]. Disponível em: <www.biocycle.org>. , 2005
- CHENG, H.; HU, Y. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 3816-3824, jun 2010a.
- CHENG, H.; HU, Y. Curbing dioxin emissions from municipal solid waste incineration in China: Re-thinking about management policies and practices. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 9, p. 2809-2814, set 2010b.
- CHEREMISINOFF, N. P. Chapter 3 - Municipal Solid Waste. **Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies**. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2003. p. 34-95.
- CIE. **Bioenergía: Planta piloto de biomasa - La Concordia**. . [S.l.]: Corporación para la Investigación Energética (CIE). Disponível em: <<http://www.energia.org.ec/laconcordia.html>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2009
- CINCAE. **La Industria Azucarera del Ecuador**. . [S.l.]: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). Disponível em: <<http://www.cincae.org/prueba.htm>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2008
- CIRCEO, L. **Plasma Arc Gasification of Municipal Solid Waste**. . Georgia Research Tech Institute: Georgia Research Tech Institute. Disponível em: <http://www.energy.ca.gov/proceedings/2008-ALT-1/documents/2009-02-17_workshop/presentations/Louis_Circeo-Georgia_Tech_Research_Institute.pdf>. Acesso em: 6 maio. 2012. , 2008

- CLIMATETECHWIKI. **Gasification of Municipal Solid Waste for Large-Scale Electricity/Heat**. . [S.l.]: UNEP. Disponível em: <<http://climatetechwiki.org/technology/msw>>. Acesso em: 18 abr. 2012. , 2011
- CLIMATETECHWIKI. **Combustion of Municipal Solid Waste for District Heat or Electricity**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://climatetechwiki.org/technology/msw-wte#Climate>>. Acesso em: 11 abr. 2012. , 2006
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction**. 2 Rev Exp ed. [S.l.]: Wiley VCH, 2010.
- DOE. **Literature Survey of Biomass Gasification Technologies. Appendix 8**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.fischer-tropsch.org/DOE/DOE_reports/fc26-00nt40937-03/fc26-00nt40937-03-3.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2012. , 2000
- DONG, L.; ZHENHONG, Y.; YONGMING, S. Semi-dry mesophilic anaerobic digestion of water sorted organic fraction of municipal solid waste (WS-OFMSW). **Bioresource Technology**, v. 101, n. 8, p. 2722-2728, abr 2010.
- ECONOMOPOULOS, A. P. Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods. **Waste Management**, v. 30, n. 4, p. 707-715, abr 2010.
- ELBABA, I. F.; WU, C.; WILLIAMS, PAUL T. Hydrogen production from the pyrolysis-gasification of waste tyres with a nickel/cerium catalyst. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 11, p. 6628-6637, jun 2011.
- ENVIRONMENT AGENCY. **Waste Management Options**. . England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/7_wip_wm_options_2147947.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011a. , 2006
- ENVIRONMENT AGENCY. **Energy from Waste -Key facts and issues around energy from waste**. , Energy from waste. England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/6_wip_key_facts_2147955.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011b. , 2006
- ENYATEC; SORIA, R.; SUAREZ, D.; CARVAJAL, P.; ACOSTA, N. **Estudio sobre el Suministro de Energía Eléctrica producida a partir de Biogas al Sistema Nacional Interconectado y/o Distribuidoras Eléctricas; y, Estudio de Factibilidad Y Estudio de Factibilidad de Plantas de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Urbanos para la Provincia de Imabura para Generación de Energía Eléctrica**. . [S.l.]: ENYATEC. , 2011
- EPA. **Global Anthropogenic Non-Co2 Greenhouse Gas Emissions: 1990 2020**. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, 2006.
- EPCE. **Diagnóstico de la Industria Cementera en Ecuador**. . [S.l.]: Empresa Pública Cementera del Ecuador. Disponível em: <http://www.epce.gob.ec/web/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=175>. Acesso em: 15 abr. 2012. , 2012

- FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P. *et al.* **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2007.
- GAIA. **Especialistas internacionales en gestión de residuos rechazan proyectos para obtener energía de la basura**. . [S.l.]: GAIA. Disponível em: <<http://www.no-burn.org/especialistas-internacionales-en-gestin-de-residuos-rechazan-proyectos-para-obtener-energia-de-la-basura>>. Acesso em: 9 abr. 2012a. , 2011
- GAIA. **Ambientalistas advierten que la incineracion de residuos desalienta las estrategias de Basura Cero y genera riesgos sanitarios inaceptables**. . [S.l.]: GAIA. Disponível em: <<http://www.no-burn.org/ambientalistas-advierten-que-la-incineracion-de-residuos-desalienta-las-estrategias-de-basura-cero-y-genera-riesgos-sanitarios-inaceptables>>. Acesso em: 9 abr. 2012b. , 2011
- GALENO, G.; MINUTILLO, M.; PERNA, A. From waste to electricity through integrated plasma gasification/fuel cell (IPGFC) system. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 2, p. 1692-1701, jan 2011.
- GENON, G.; BRIZIO, E. Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. **Waste Management**, v. 28, n. 11, p. 2375-2385, nov 2008.
- GOMEZ, E.; RANI, D. A.; CHEESEMAN, C. R. *et al.* Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 161, n. 2-3, p. 614-626, 30 jan 2009.
- GREENGAS. **Green Gas in pioneering green project for Ecuador**. . [S.l.]: GreenGas. Disponível em: <<http://www.greengas.net/output/NewsPage.aspx?PageID=136>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2007
- HADEN, A. **Review of Alternative Waste Strategies and Technologies**. . [S.l.]: Shadow Scrutiny Panel Inquiry on the Waste Management Strategy for the Bailiwick of Jersey. Disponível em: <<http://www.scrutiny.gov.je/documents/evidence/20134-2571-2782004.htm>>. Acesso em: 20 maio. 2011. , maio 2004
- HE, M.; HU, Z.; XIAO, B. *et al.* Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 1, p. 195-203, jan 2009.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

- HILKIAH IGONI, A.; AYOTAMUNO, M. J.; EZE, C. L.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. **Applied Energy**, v. 85, n. 6, p. 430-438, 2008.
- HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 98, n. 1, p. 19-36, 1 abr 1997.
- INEC. **Resultados del Censo 2010**. . Quito, Ecuador: INEC. Disponível em: <http://www.inec.gov.ec/cpv/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=49&lang=es>. Acesso em: 23 mar. 2012. , 2010
- IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5: Waste , Chapter 1: Introduction**. 1. ed. Japan: Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)., 2006. v. 5
- IPCC. **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change. Chapter 10.3.1 Emission trends - Global overview**. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch10s10-3.html#10-3-1>. Acesso em: 4 dez. 2012. , 2006
- IPCC NGGIP. **Find Emission Factor**. . [S.l.]: IPCC NGGIP. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php>. Acesso em: 4 out. 2012. , 2006
- IPCC 2011. **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 2: Bioenergy [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2011.
- IPCC; ALCAMO, J.; DAVIS, G. *et al.* **Emissions Scenarios**. England: Cambridge University Press, 2000.
- IPT. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS e COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (IPT), 2000.
- KARAGIANNIDIS, A.; PERKOULIDIS, G. A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 8, p. 2355-2360, abr 2009.
- KARELLAS, S.; BOUKIS, I.; KONTOPOULOS, G. Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1273-1282, maio 2010.
- KIKUCHI, R. Recycling of municipal solid waste for cement production: pilot-scale test for transforming incineration ash of solid waste into cement clinker. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 31, n. 2, p. 137-147, fev 2001.

- KUO, J.-H.; LIN, C.-L.; CHEN, J.-C.; TSENG, H.-H.; WEY, M.-Y. Emission of carbon dioxide in municipal solid waste incineration in Taiwan: A comparison with thermal power plants. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. In Press, Corrected Proof, [S.d.].
- LAWSON, P. S. Municipal solid waste conversion to energy. **Biomass and Bioenergy**, v. 2, n. 1–6, p. 319-330, 1992.
- LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3496-3502, jun 2011.
- LIU, ZHIQIANG; LIU, ZHIHUA; LI, X. Status and prospect of the application of municipal solid waste incineration in China. **Applied Thermal Engineering**, v. 26, n. 11-12, p. 1193-1197, ago 2006.
- LUO, S.; XIAO, B.; HU, Z. *et al.* Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of biomass in a fixed bed reactor: Influence of temperature and steam on gasification performance. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 5, p. 2191-2194, mar 2009.
- LUO, S.; XIAO, B.; HU, Z. *et al.* Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reactor. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 16, p. 6517-6520, ago 2010.
- MA, W.; HOFFMANN, G.; SCHIRMER, M.; CHEN, G.; ROTTER, V. S. Chlorine characterization and thermal behavior in MSW and RDF. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1–3, p. 489-498, 15 jun 2010.
- MAE. **Factor de Emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador al Año 2011. Informe 2011.** . Quito, Ecuador: MAE-MEER-CENACE-CONELEC. Disponible em: <http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/psalvarado/Factor%20Emisin_CO2_2011_2.pdf>. Acceso em: 11 abr. 2012. , 2011
- MAE. **Matriz Actualizada 2011 2402: Información de Residuos Sólidos Urbanos por Municipio en Ecuador.** . [S.l.]: Ministerio del Medio Ambiente (MAE). , 2012
- MAE/PNUD/GEF, 2011. CÁCERES, L.; NÚÑEZ, A. M. **Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ecuador 2011.** Quito, Ecuador: Gráficas Arboleda, 2011. v. 2
- MAE, 2001. CÁCERES, L. **Comunicación Nacional - República del Ecuador. Convención Marco de las Naciones Unidas Cambio Climático.** Quito, Ecuador: Gráficas Iberia, 2001. v. 1
- MALKOW, T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal. **Waste Management**, v. 24, n. 1, p. 53-79, 2004.
- MCKINSEY & COMPANY. **A Cost Curve for Greenhouse Gas Reduction.** . [S.l.]: McKinsey & Company. Disponible em:

<http://www.epa.gov/oar/caaac/coaltech/2007_05_mckinsey.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2012. , 2007

- MCKINSEY & COMPANY. **Pathway to Low Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve**. [S.l.]: McKinsey & Company, 2009.
- MENEZES, R.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. **Estágio Atual da Incineração no Brasil**. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. **Anais...** Curitiba: ABLP Associação Brasileira de Limpeza Pública. Disponível em: <<http://www.luftech.com.br/arquivos/art07.htm>>. Acesso em: 18 maio. 2011. , 2000
- MORCOS, V. H. Energy recovery from municipal solid waste incineration—A review. **Heat Recovery Systems and CHP**, v. 9, n. 2, p. 115-126, 1989.
- MORRIS, M.; WALDHEIM, L. Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology. **Waste Management**, v. 18, n. 6–8, p. 557-564, out 1998.
- MOUSTAKAS, K.; FATTA, D.; MALAMIS, S.; HARALAMBOUS, K.; LOIZIDOU, M. Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 123, n. 1-3, p. 120-126, 31 ago 2005.
- MÜLLER, C. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Solid Waste in Low- and Middle - Income Countries: Overview over existing technologies and relevant case studies**. . [S.l.]: Eawag: Instituto Federal Suizo de la Ciencia y Tecnología del Agua. Disponível em: <http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/swm/dl/Anaerobic_Digestion_high_resolution.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011. , 2007
- OLIVEIRA, B. L. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases do Efeito Estufa**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- OLIVEIRA, B. L. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- OLIVEIRA, B. N. **Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica e Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa pelo Aproveitamento do Biogás de Aterro Sanitário no Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: In: SILVEIRA, N.G.; MONCLAR, R.; SUEMITSU, W.; OLIVEIRA, J.; SOUZA, J.M... PublIt Soluções Editoriais, 2009.
- OWS. **References of DRANCO technology installed by OWS**. . [S.l.]: OWS. Disponível em: <http://www.ows.be/pages/index.php?menu=85&submenu=125&choose_lang=EN>. Acesso em: 10 jun. 2011. , 2011
- PAPAGEORGIOU, A.; BARTON, J. R.; KARAGIANNIDIS, A. Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 10, p. 2999-3012, jul 2009.

- PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 669-674, maio 2009.
- PIRES, A.; MARTINHO, G.; CHANG, N.-B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, abr 2011.
- REITH, J. H.; WIJFFELS, R. H.; BARTEN, H. **Bio-methane & Bio-hydrogen: Status and perspectives of biological methane and hydrogen production**. Netherlands: Dutch Biological Hydrogen Foundation, c/o Energy research Centre of The Netherlands, Unit Biomass., 2003.
- RUTH, L. A. Energy from municipal solid waste: A comparison with coal combustion technology. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 24, n. 6, p. 545-564, 1998.
- SALOMON, K. R.; SILVA LORA, E. E. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1101-1107, set 2009.
- SENNECA, O. Kinetics of pyrolysis, combustion and gasification of three biomass fuels. **Fuel Processing Technology**, v. 88, n. 1, p. 87-97, jan 2007.
- SINGH, R. P.; SINGH, P.; ARAUJO, A. S. F.; HAKIMI IBRAHIM, M.; SULAIMAN, O. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. **Resources, Conservation and Recycling**, v. In Press, Corrected Proof, 2011.
- SINGH, R. P.; SINGH, P.; ARAUJO, A. S. F.; HAKIMI IBRAHIM, M.; SULAIMAN, O. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. **Resources, Conservation and Recycling**, v. In Press, Corrected Proof, [S.d.].
- SORIA, R. **Inventário de Gases de Efeito Estufa do Setor Resíduo Sólidos no Distrito Metropolitano de Quito- Equador e Estimativa do Potencial de Abatimento e Custos Marginais de Abatimento para duas Alternativas de Mitigação**. . [S.l.]: Trabalho final da disciplina Mudanças Climáticas I, Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. , 2010
- SORIA, R. A. **Inventário de Gases de Efeito Estufa do Setor Resíduo Sólidos no Distrito Metropolitano de Quito- Equador e Estimativa do Potencial de Abatimento e Custos Marginais de Abatimento para duas Alternativas de Mitigação**. . [S.l.]: UFRJ. , 2010
- SØRUM, L.; GRØNLI, M. .; HUSTAD, J. . Pyrolysis characteristics and kinetics of municipal solid wastes. **Fuel**, v. 80, n. 9, p. 1217-1227, jul 2001a.
- SØRUM, L.; GRØNLI, M. .; HUSTAD, J. . Pyrolysis characteristics and kinetics of municipal solid wastes. **Fuel**, v. 80, n. 9, p. 1217-1227, jul 2001b.

- TSAI, W. T.; CHOU, Y. H. An overview of renewable energy utilization from municipal solid waste (MSW) incineration in Taiwan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 5, p. 491-502, out 2006.
- UNEP. **Global emissions of carbon dioxide, 2006**. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.grida.no/graphicslib/detail/global-emissions-of-carbon-dioxide-2006_12e8>. Acesso em: 4 abr. 2012. , 2006
- UNICEF. **Estadísticas de Ecuador**. . [S.l.]: UNICEF. Disponível em: <http://www.unicef.org/spanish/infobycountry/ecuador_statistics.html>. Acesso em: 4 abr. 2012. , 2010
- USINA VERDE. **UsinaVerde**. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.usinaverde.com.br/index.php>>. Acesso em: 9 abr. 2012. , 2010
- VAINIKKA, P.; TSUPARI, E.; SIPILÄ, K.; HUPA, M. Comparing the greenhouse gas emissions from three alternative waste combustion concepts. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 426-437, mar 2012.
- WORLD BANK. **Municipal Solid Waste Incineration**. . Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Disponível em: <http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 1999
- WU, C.; WILLIAMS, PAUL T. Pyrolysis-gasification of post-consumer municipal solid plastic waste for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 3, p. 949-957, fev 2010.
- WU, K.; SHI, H.; GUO, XIAOLU. Utilization of municipal solid waste incineration fly ash for sulfoaluminate cement clinker production. **Waste Management**, v. 31, n. 9–10, p. 2001-2008, set 2011.
- ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- ZERBOCK, O. **Urban Solid Waste Management: Waste Reduction in Developing Nations**. . Michigan: Michigan Technological University. Disponível em: <http://www.cee.mtu.edu/sustainable_engineering/resources/technical/Waste_reduction_and_incineration_FINAL.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 2003
- ZHANG, D. Q.; TAN, S. K.; GERSBERG, R. M. Municipal solid waste management in China: Status, problems and challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 8, p. 1623-1633, ago 2010.
- ZHANG, Q.; DOR, L.; FENIGSHTEIN, D.; YANG, W.; BLASIAK, W. Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process. **Applied Energy**, v. In Press, Corrected Proof, 2011.
-

- AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2625-2643, Outubro 2009.
- Appendix 5 - European Directive 2000/76 (waste incineration). **Waste Engine Oils**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 307-314.
- AQUALIMPIA. **Proyectos de biodigestores**. . [S.I.]: AquaLimpia Consultores. Disponível em: <http://www.aqualimpia.com/proyectos_2011.htm>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2010
- ARA CARBON FINANCE GMBH. **Zambiza, Ecuador**. . [S.I.]: ARA. Disponível em: <<http://www.ara-co2.de/en/references-zambiza.php>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2007
- BAERE, L. DE. **Anaerobic digestion of municipal solid waste: residual waste**. . [S.I.]: OWS. Disponível em: <http://www.ows.be/pub/AD%20of%20MSW%20residual%20waste_ldb.nov.06%20rev%2000.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011. , 2008
- BAUMERT, K.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy**. [S.I.]: World Resources Institute, 2005.
- BCE. **Reporte del Sector Petrolero II Trimestre 2012**. Quito, Ecuador: BCE, 2012.
- BENIOFF, R.; CONINCK, H. DE; DHAR, S. *et al.* **Strengthening Clean Energy Technology Cooperation under the UNFCCC: Steps toward Implementation**. . [S.I.]: NREL/ECN/URC. Disponível em: <www.osti.gov/bridge>. Acesso em: 21 jan. 2013. , 2010
- BOGNER, J.; ABDELRAFIE, M.; DIAZ, C. *et al.* **Climate Change 2007: Working Group III: for the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change. Chapter 10: Waste Management**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2007.
- BOLDT, J.; NYGAARD, I.; HANSEN, U.; TRAERUP, S. **Orientando el proceso para Superar las Barreras para la Transferencia y Difusión de Tecnologías Relacionadas con el Cambio Climático**. Dinamarca: Centro Riso de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (URC), 2012.
- BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2383-2395, nov 2010.
- CEMENTOS CHIMBORAZO. **Plan de Gestión socio ambiental de Cemento Chimborazo**. . [S.I.]: El Comercio. . Acesso em: 4 jun. 2012. , 2012

- CHACHOUA, E. **Getting ti right: Lessons from the south in managing hydrocarbon economies. Chapter 10: Turning Externalities into Opportunities: The case of Ecuador´s Yasuní ITT Trust Fund.** New York: UNDP, 2011.
- CHENG, H.; HU, Y. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 3816-3824, jun 2010.
- CHEREMISINOFF, N. P. Chapter 3 - Municipal Solid Waste. **Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies.** Burlington: Butterworth-Heinemann, 2003. p. 34-95.
- CONELEC. Regulación CONELEC 04/11. Regulación CONELEC 04/11: Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales. 2011.
- CONELEC. **Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021.** Quito, Ecuador: CONELEC, 2012.
- CORPEI. **Informe sobre el proyecto de captación de biogás en el Relleno Sanitario Las Iguanas para quema y aprovechamiento energético.** . [S.l: s.n.]. , 2012
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction.** 2 Rev Exp ed. [S.I.]: Wiley VCH, 2010.
- DEWIL, R.; APPELS, L.; BAEYENS, JAN. **Energy use ob biogas hampered by the presence of siloxanes.** . [S.I.]: Energy Conversion & Management. . Acesso em: 22 jan. 2013. , 2005
- EMAC. **Comunicado oficial sobre el estado del proyecto de extracción de gas del relleno sanitario de Pichacay para aprovechamiento energético.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.emac.gob.ec/?q=node/420>>. Acesso em: 24 jan. 2013. , 2012
- ENVIRONMENT AGENCY. **Energy from Waste -Key facts and issues around energy from waste.** , Energy from waste. England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/6_wip_key_facts_2147955.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011a. , 2006
- ENVIRONMENT AGENCY. **Waste Management Options.** . England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/7_wip_wm_options_2147947.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011b. , 2006
- ENYATEC; SORIA, R.; SUAREZ, D.; CARVAJAL, P.; ACOSTA, N. **Estudio sobre el Suministro de Energía Eléctrica producida a partir de Biogas al Sistema Nacional Interconectado y/o Distribuidoras Eléctricas; y, Estudio de Factibilidad Y Estudio de Factibilidad de Plantas de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Urbanos para la Provincia de Imabura para Generación de Energía Eléctrica .** . [S.I.]: ENYATEC. , 2011

- FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P. *et al.* **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2007.
- FOSTER WHEELER. **Lomellina II - A New Generation RDF Power Plant in Italy**. . Finland: Foster Wheeler Power Group Europe Finland. Disponível em: <http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/TP_CFB_06_06.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2012. , 2006
- GENON, G.; BRIZIO, E. Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. **Waste Management**, v. 28, n. 11, p. 2375-2385, nov 2008.
- GOBIERNO DE ECUADOR. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)- Capítulo Ili, Art 555, “Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal... literal d”.
- GOBIERNO DEL ECUADOR. Decreto Ejecutivo 645, publicado en el Registro Oficial 385 de 15 de febrero de 2011. 2011.
- HASELIP, J.; NYGAARD, I.; HANSEN, U.; ACKOM, E. **Diffusion of renewable energy technologies. Case studies of enabling frameworks in developing countries**. Denmark: UNEP Riso Centre, 2011.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- HILKIAH IGONI, A.; AYOTAMUNO, M. J.; EZE, C. L.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. **Applied Energy**, v. 85, n. 6, p. 430-438, 2008.
- HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 98, n. 1, p. 19-36, Abril 1997.
- INEC. **Censo de Población y Vivienda 2001**. . [S.l.]: INEC. Disponível em: <www.inec.ob.ec>. Acesso em: 19 jul. 2012. , 2001
- IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5: Waste , Chapter 1: Introduction**. 1. ed. Japan: Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)., 2006a. v. 5
- IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5: Waste , Chapter 3: Elimination of Solid Waste**. 1. ed. Japan: Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)., 2006b. v. 5

- KIKUCHI, R. Recycling of municipal solid waste for cement production: pilot-scale test for transforming incineration ash of solid waste into cement clinker. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 31, n. 2, p. 137-147, Fevereiro 2001.
- MA, W.; HOFFMANN, G.; SCHIRMER, M.; CHEN, G.; ROTTER, V. S. Chlorine characterization and thermal behavior in MSW and RDF. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1–3, p. 489-498, 15 jun 2010.
- MAE. **Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ecuador 2011**. Quito, Ecuador: Gráficas Arboleda, 2011. v. 2
- MAE. **Estrategia Nacional de Cambio Climático**. . Quito, Ecuador: MAE. Disponível em: <<http://www.ambiente.gob.ec/?p=6004/se-develo-la-estrategia-nacional-de-cambio-climatico>>. , 2012
- MAE, L. **Comunicación Nacional - República del Ecuador. Convención Marco de las Naciones Unidas Cambio Climático**. Quito, Ecuador: Gráficas Iberia, 2001. v. 1
- MAE/ENYATEC. **Taller de Identificación de Barreras y Entorno Habilitante para Tecnologías de Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos Municipales. Taller de Identificación de Barreras y Entorno Habilitante para Tecnologías de Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos Municipales**. [S.l: s.n.]. , set 2012
- MAE-PNGIDS. **Matriz Actualizada 2011 2402: Información de Residuos Sólidos Urbanos por Municipio en Ecuador. (Información Preliminar no Publicada)**. . [S.l.]: Ministerio del Medio Ambiente (MAE). , 2011
- MCKINSEY & COMPANY. **Pathway to Low Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve**. [S.l.]: McKinsey & Company, 2009.
- MEER/ENYATEC. **Estudio de factibilidad de plantas MBT para generación eléctrica con los residuos sólidos municipales de los cantones de Imbabura**. . [S.l: s.n.]. , 2011
- MORCOS, V. H. Energy recovery from municipal solid waste incineration—A review. **Heat Recovery Systems and CHP**, v. 9, n. 2, p. 115-126, 1989.
- MOREIRA, J. R.; ESPARTA, R. **Brazil: a country profile on sustainable energy development**.Vierna: International Atomic Energy Agency,, 2006.
- MUNICIPIO DE RIOBAMBA. **Estrategia para los Residuos Municipales de la ciudad de Riobamba**. . [S.l: s.n.]. , 2012
- MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO. **Información proporcionada por el Municipio de Santo Domingo de los Tsáchilas para la elaboración del proyecto Evaluación de Necesidades Tecnológicas (ENT) 2012**. . [S.l: s.n.]. , 2012
- OLIVEIRA, B. L. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases do Efeito Estufa**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

- OLIVEIRA, B. L. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- PAPAGEORGIOU, A.; BARTON, J. R.; KARAGIANNIDIS, A. Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 10, p. 2999-3012, jul 2009.
- PERMAN, D. R.; MA, D. Y.; COMMON, D. M.; MADDISON, D. D.; MCGILVRAY, D. J. **Natural Resource and Environmental Economics**. 4. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 2011.
- PETROECUADOR. **Informe Refinerias**. . Quito, Ecuador: PETROECUADOR. Disponível em: <<http://www.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/archivo/001358.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2012. , 2012
- PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 669-674, Maio 2009.
- PIRES, A.; MARTINHO, G.; CHANG, N.-B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, Abril 2011.
- REITH, J. H.; WIJFFELS, R. H.; BARTEN, H. **Bio-methane & Bio-hydrogen: Status and perspectives of biological methane and hydrogen production**. Netherlands: Dutch Biological Hydrogen Foundation, c/o Energy research Centre of The Netherlands, Unit Biomass., 2003.
- RETSCREEN. **RETScreen International Software e Dados. Government of Canada - Natural Resources Canada**. Disponível em: <<http://www.etscreen.net/pt/version4.php>>. Acesso em: 5 jun. 2012.
- SALOMON, K. R.; SILVA LORA, E. E. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1101-1107, Setembro 2009.
- SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; LUCENA, A. F. *et al.* **Energia e a Economia Verde: Cenários Futuros e Políticas Públicas**. . Rio de Janeiro: [s.n.]. . Acesso em: 27 set. 2011. , 2011
- SENPLADES. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 - 2013 (PNBV); en su política 4.4. . 2009.
- SORIA, R. **Cenários de geração de eletricidade a partir de geradores heliotérmicos no Brasil: a influência do armazenamento de calor e da hibridização**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- TEXEIRA, S. Lixo é matéria - prima para energia elétrica. **Revista Bio energia**, v. 4, n. 9, p. 6 - 12, 2010.

- UNEP RISO CENTRE. **TNA and TAP Report Template for Mitigation/Adaptation Version 2, Jan. 2012.** . [S.l: s.n.]. , 2012
- UNFCCC. **El Inga Landfill: CDM Project.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <Ver <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/RINA1265366854.65/view>>. Acesso em: 24 jan. 2013a. , 2012
- UNFCCC. **CDM Projects.** . [S.l.]: UNFCCC. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>. Acesso em: 19 jul. 2012b. , 2012
- VAINIKKA, P.; TSUPARI, E.; SIPILÄ, K.; HUPA, M. Comparing the greenhouse gas emissions from three alternative waste combustion concepts. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 426-437, mar 2012.
- VARIAN, H. **Intermediate Micro Economics - A Modern Approach.** 7th. ed. [S.l: s.n.], [S.d.].
- WORLD BANK. **Municipal Solid Waste Incineration.** . Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Disponível em: <http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 1999
- ZABALLA, M. **Barrier Analysis and Enabling Framework: Report Template.** . Lima: [s.n.]. Disponível em: <http://tech-action.org/WsLimaFeb2012/FormatoBarreras_Zaballa.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2013. , 2012
- ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- ZERBOCK, O. **Urban Solid Waste Management: Waste Reduction in Developing Nations.** . Michigan: Michigan Technological University. Disponível em: <http://www.cee.mtu.edu/sustainable_engineering/resources/technical/Waste_reduction_and_incineration_FINAL.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 2003
- ALQUIMIATEC S.A.; NOBLE CARBON CREDITS LIMITED. **Zámbiza Landfill Gas Project. Project Design Document.** . [S.l.]: UNFCCC. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/filestorage/J/H/S/JHSHVN3MGEV1CNZTO84HDDHUYJ4GE6/Final%20PDD.pdf?t=aEN8bTNvN3k4fDDKzdRexv3toe6blayc5pvm>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2004
- Appendix 5 - European Directive 2000/76 (waste incineration). **Waste Engine Oils.** Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 307–314.
- BAERE, L. DE. **Anaerobic digestion of municipal solid waste: residual waste.** . [S.l.]: OWS. Disponível em: <http://www.ows.be/pub/AD%20of%20MSW%20residual%20waste_ldb.nov.06%20rev%2000.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011. , 2008

- BAUMERT, K.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy**. [S.I.]: World Resources Institute, 2005.
- BOGNER, J.; ABDELRAFIE, M.; DIAZ, C.; *et al.* **Climate Change 2007: Working Group III: for the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Mitigation of Climate Change. Chapter 10: Waste Management**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2007.
- BOLDT, J.; NYGAARD, I.; HANSEN, U.; TRAERUP, S. **Orientando el proceso para Superar las Barreras para la Transferencia y Difusión de Tecnologías Relacionadas con el Cambio Climático**. Dinamarca: Centro Riso de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (URC), 2012.
- BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2383–2395, nov 2010.
- CARBON FINANCE GMBH, ARA. **Zambiza, Ecuador**. . [S.I.]: ARA. Disponível em: <<http://www.ara-co2.de/en/references-zambiza.php>>. Acesso em: 7 maio. 2012. , 2007
- CHENG, H.; HU, Y. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 3816–3824, jun 2010.
- CHEREMISINOFF, N. P. Chapter 3 - Municipal Solid Waste. **Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies**. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2003. p. 34–95.
- ENVIRONMENT AGENCY. **Energy from Waste -Key facts and issues around energy from waste**. , Energy from waste. England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/6_wip_key_facts_2147955.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011a. , 2006
- ENVIRONMENT AGENCY. **Waste Management Options**. . England: Environment Agency. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/7_wip_wm_options_2147947.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2011b. , 2006
- FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; *et al.* **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press, 2007.

- FOSTER WHEELER. **Lomellina II - A New Generation RDF Power Plant in Italy**. . Finland: Foster Wheeler Power Group Europe Finland. Disponível em: <http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/TP_CFB_06_06.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2012. , 2006
- GENON, G.; BRIZIO, E. Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. **Waste Management**, v. 28, n. 11, p. 2375–2385, nov 2008.
- HASELIP, J.; NYGAARD, I.; HANSEN, U.; ACKOM, E. **Diffusion of renewable energy technologies. Case studies of enabling frameworks in developing countries**. Denmark: UNEP Riso Centre, 2011.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- HILKIAH IGONI, A.; AYOTAMUNO, M. J.; EZE, C. L.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. **Applied Energy**, v. 85, n. 6, p. 430–438, 2008.
- HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 98, n. 1, p. 19–36, 1 abr 1997.
- IEA/IRENA. **IEA/IRENA Joint Policies and Measures database**. Disponível em: <<http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/>>. Acesso em: 24 abr. 2013.
- INEC. **Censo de Población y Vivienda 2001**. . [S.l.]: INEC. Disponível em: <www.inec.ob.ec>. Acesso em: 19 jul. 2012. , 2001
- IPCC 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5: Waste , Chapter 1: Introduction**. 1. ed. Japan: Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)., 2006. v. 5
- KIKUCHI, R. Recycling of municipal solid waste for cement production: pilot-scale test for transforming incineration ash of solid waste into cement clinker. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 31, n. 2, p. 137–147, fev 2001.
- MAE. **Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ecuador 2011**. Quito, Ecuador: Gráficas Arboleda, 2011. v. 2
- MAE. **Estrategia Nacional de Cambio Climático**. . Quito, Ecuador: MAE. Disponível em: <<http://www.ambiente.gob.ec/?p=6004/se-develo-la-estrategia-nacional-de-cambio-climatico>>. , 2012
- MAE, L. **Comunicación Nacional - República del Ecuador. Convención Marco de las Naciones Unidas Cambio Climático**. Quito, Ecuador: Gráficas Iberia, 2001. v. 1
- MAE/ENYATEC. **Taller de Identificación de Barreras y Entorno Habilitante para Tecnologías de Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos Municipales. Taller de Identificación de Barreras y Entorno Habilitante para**

Tecnologías de Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos Municipales. [S.l: s.n.], set 2012

- MAE-PNGIDS. **Matriz Actualizada 2011 2402: Información de Residuos Sólidos Urbanos por Municipio en Ecuador. (Información Preliminar no Publicada).** . [S.l.]: Ministerio del Medio Ambiente (MAE). , 2011
- MCKINSEY & COMPANY. **Pathway to Low Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.** [S.l.]: McKinsey & Company, 2009.
- MEER/ENYATEC. **Estudio de factibilidad de plantas MBT para generación eléctrica con los residuos sólidos municipales de los cantones de Imbabura.** . [S.l: s.n.], 2011
- MORCOS, V. H. Energy recovery from municipal solid waste incineration—A review. **Heat Recovery Systems and CHP**, v. 9, n. 2, p. 115–126, 1989.
- OLIVEIRA, B. L. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases do Efeito Estufa.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- OLIVEIRA, B. L. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- PAPAGEORGIOU, A.; BARTON, J. R.; KARAGIANNIDIS, A. Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 10, p. 2999–3012, jul 2009.
- PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 669–674, maio 2009.
- PIRES, A.; MARTINHO, G.; CHANG, N.-B. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1033–1050, abr 2011.
- REITH, J. H.; WIJFFELS, R. H.; BARTEN, H. **Bio-methane & Bio-hydrogen: Status and perspectives of biological methane and hydrogen production.** Netherlands: Dutch Biological Hydrogen Foundation, c/o Energy research Centre of The Netherlands, Unit Biomass., 2003.
- AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2625–2643, out 2009.
- SALOMON, K. R.; SILVA LORA, E. E. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1101–1107, set 2009.

- SORIA, R. **Cenários de geração de eletricidade a partir de geradores heliotérmicos no Brasil: a influência do armazenamento de calor e da hibridização.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- UNDP. **Handbook for Conducting Technology Needs Assessment for Climate Change.** New York: United Nations Development Programme, 2010.
- VAINIKKA, P.; TSUPARI, E.; SIPILÄ, K.; HUPA, M. Comparing the greenhouse gas emissions from three alternative waste combustion concepts. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 426–437, mar 2012.
- WORLD BANK. **Municipal Solid Waste Incineration.** . Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Disponível em:
<http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG%20folder/Waste%20Incineration.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 1999
- ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- ZERBOCK, O. **Urban Solid Waste Management: Waste Reduction in Developing Nations.** . Michigan: Michigan Technological University. Disponível em:
<http://www.cee.mtu.edu/sustainable_engineering/resources/technical/Waste_reduction_and_incineration_FINAL.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2011. , 2003

ANEXOS

Anexo I. Ayuda Memoria Comisión Técnica Energía

Ayuda Memoria 001: Reunión de la Comisión Técnica Sector Energía

	Fecha y hora de la reunión		Lugar de la reunión
	08 de Enero del 2012 11:00 am a 14:00 am		Sala de Reuniones Cambio Climático
PARTICIPANTE	Elizabeth Ibarra Ángel Valverde Alexandra Bori Laura Salgado Janeth Torres	Ministerio de Energía –MEER- Ministerio de Ambiente Ministerio de Ambiente Ministerio de Ambiente SENESCYT	
OBJETIVO	- Revisión y Priorización de la Zona de Estudio Proyecto ENT.		
DESARROLLO			
<p>La reunión de la Comisión Técnica de Energía (CNT) empezó con la exposición de algunos puntos de vista de los participantes, así El Ministerio de Energía (MEER) muestra los resultados de una consultoría que realizó el MEER en el año 2009 sobre la caracterización y estimación de desechos urbanos de ciertas provincias del Ecuador e Informa que si bien es cierto que la matriz energética se enfoca en el ahorro, eficiencia y generación de energía eléctrica, es también tarea del MEER trabajar con producción de Bioenergía. Una fuente de energía está constituida como un recurso natural, así como la tecnología que se utilice para explotarla y usarla. Al ser un bien escaso, la energía es fuente de conflictos para el control de los recursos energéticos.</p> <p>El Ministerio de Ambiente está trabajando en el levantamiento de Información de la cantidad de residuos y la caracterización de cada uno de los 120 municipios del Ecuador. Dicha información es de vital herramienta para el desarrollo del Programa Nacional para la Gestión Integral y Sostenible de Desechos Sólidos (PNGIDS), cuyo objetivo es dar un correcto manejo integral de los desechos sólidos, que permita mejorar la calidad de vida de la población y reducir el impacto ambiental. La información es presentada en una matriz Excel y cuenta con datos de la cantidad de basura por Cantón, su caracterización, la cantidad de botaderos, la cantidad de rellenos sanitarios y el número de mancomunidades.</p> <p>Los participante debatieron para establecer los criterios que se utilizarán para la selección de la zona de Intervención, el MAE por su parte señala que un criterio de selección debería ser las zonas cuyos municipios cuenten con proyectos de tratamiento de los residuos, las asociaciones o mancomunidades y la apertura que los actores brinden para el desarrollo del trabajo del equipo consultor. Por su parte el MEER señala la importancia del volumen y la caracterización de los residuos para la generación de energía, argumenta que para producir una cantidad mínima de energía se necesitan 50 toneladas de residuos.</p>			
ACUERDOS			
<ul style="list-style-type: none"> Luego del respectivo debate sobre los criterio para la selección se establecen los siguientes con las respectivas ponderaciones cuyo total suma 100 puntos: 			
	PARAMETRO	PUNTUACIÓN	CONDICIONES
	Caracterización de Desechos	10	10 posee caracterización 0 no posee caracterización
	Relleno sanitario y botaderos en funcionamiento	30	30 al menos un relleno y un botadero 20 al menos tres botaderos 10 al menos un botadero 0 Ninguno
	Volumen de Desechos toneladas día	30	300 toneladas 30 Regla de 3 para las demás toneladas
	Acceso a Información	10	10 total apertura 5 mediana apertura 0 Ninguna
	Vulnerabilidad	10	10 Alta vulnerabilidad 5 Mediana Vulnerabilidad 3 Poca Vulnerabilidad 0 Ninguna
	Mancomunidades	10	10 mancomunidades establecidas 8 mancomunidades en proceso y en registro. 5 mancomunidades de intención 3 posibles mancomunidades 0 Ninguna

Ayuda Memoria 001: Reunión de la Comisión Técnica Sector Energía

<ul style="list-style-type: none"> Se realizará la matriz considerando las provincias del Ecuador que al menos cuente con rellenos o botaderos, al que se suma la conformación de mancomunidades y los municipios que cuenten con iniciativas más avanzadas en proyectos de recolección de desechos. El MEER sugiere que no se incluya en el estudio a la Provincia de Imbabura ya que el equipo consultor contratado (ENYATEC), realizó recientemente un estudio sobre la provincia en temas de generación de energía a partir de los desechos sólidos urbanos en la provincia. Las calificaciones se presentan a continuación: 									
PROVINCIAS	CANTONES AGRUPADOS	PARÁMETROS							TOTAL
		Caracterización de Desechos	Rellenos y Botaderos en funcionamiento	Volumen de Desechos toneladas día	Acceso a Información	Vulnerabilidad	Mancomunidades		
COSTA									
Esmeraldas	Quindí, Esmeraldas y Atacames	0	30	204,97	20,50	10	6	0	66,50
El Oro	Machala, Santa Rosa, El Guabo y Pasaje	10	30	318,52	30,00	10	3	10	93,00
Manabí	Manta, Portoviejo, Jaramijo y Montecristi	0	20	368,54	30,00	5	3	8	66,00
Los Ríos	Quevedo, Mocache, Buena Fe y Valencia	0	30	206,04	20,60	10	10	5	75,60
Santo Domingo	Santo Domingo	10	30	292,69	29,27	10	6	10	95,27
SIERRA									
Carchi	Bolívar, Mira, San Pedro de Huaca, Espejo, Montufo y Tulcán	0	30	91,04	9,10	10	10	0	59,10
Cañar	Cañar, Tambo, Suscal y Bibilian	10	30	101,59	10,16	10	6	8	74,16
Tungurahua	Ambato, Baños Pallao, Patate, Quero	10	30	339,78	30,00	5	3	5	83,00
Chimborazo	Aleusi, Guano, Colta, Guamate, Riobamba, Chambo, Chunchi, Pallataba y Cumanda.	10	20	237,5	23,75	10	10	10	83,75
Cotopaxi	Latacunga, Pujilí y Sagúalili	0	10	157,45	15,75	10	10	3	48,75
Bolívar	Guaranda, San Miguel y Chimbo	10	20	81,13	8,11	10	6	5	59,11
AMAZONÍA									
Sucumbios	Lago Agrio y Shushufindi	10	10	81,34	8,13	10	3	0	38,13
Pastaza	Puyo y Mera	10	30	44	4,40	10	3	0	54,40

Nota : en la columna de volumen de desechos se colocó el total de desechos por sector a intervenir y a la derecha se colocó el puntaje según la ponderación

Ayuda Memoria 001: Reunión de la Comisión Técnica Sector Energía

- Las provincias con mayor puntaje son las seleccionadas para enfocar el estudio del ENT.
- Se excluye del estudio a la Amazonía, por dos razones fundamentales; la primera las distancias entre cantones son muy grandes y las segunda por temas políticos por la Intervención de de la región Amazónica (actualmente cuenta con el financiamiento directo del gobierno para el desarrollo de proyectos a través del ECO-RAE).
- Las observaciones técnicas e individuales que justifican la selección de las dos provincias se presentan a continuación:

OBSERVACIONES TÉCNICAS

PROVINCIAS	CANTONES AGRUPADOS	OBSERVACIONES
COSTA		
Esmeraldas	Guinindé, Esmeraldas y Atacames	No se tomó en cuenta a la Concordia ya que sus desechos son depositados en la Provincia de Santo Domingo. Cuenta con un relleno mecanizado y dos botaderos.
El Oro	Machala, Santa Rosa, El Guabo y Pasaje	En los cantones de la parte sur de la provincia la mayor parte de residuos son orgánicos. Cuenta con un relleno mecanizado y tres botaderos.
Manabí	Manta, Portoviejo, Jaramijo y Montecristi	Los cantones son sugerido por el MEER, cuentan con mayor información y acceso. Y tienen una mancomunidad en proceso. Cuatro botaderos uno por cantón.
Los Ríos	Quevedo, Mocache, Buena Fe y Valencia	Se excluye al Cantón Babahoyo ya que tiene una mancomunidad con el cantón Montalvo de la Provincia del Guayas. Un relleno y tres botaderos.
Santo Domingo	Santo Domingo	Acoge los residuos de la Concordia. Proyecto en proceso para la construcción de relleno sanitario, debido a la gran cantidad de desechos que genera la provincia. El criterio más importante es la generación de residuos (700 ton/día) junto con la iniciativa política que existe actualmente en el municipio. Implementar un proyecto con estas características sería muy viable.
SIERRA		
Carchi	Bolívar, Mira, San Pedro de Huaca, Espejo, Montufar y Tulcán	La mayoría de desechos de Tulcán son depositados en los botaderos de Ipiales. Por las distancias cortas entre cantones se ha tomado a todos. Cuenta con cinco rellenos sanitarios en la provincia.
Cañar	Cañar, Tambo, Suscal y Sibilian	Se excluye al Cantón La Troncal ya que no pertenece a ninguna mancomunidad y cuenta con proyectos propios en proceso. Posee un relleno manual y tres botaderos.
Tungurahua	Ambato, Baños Peñileo, Patate, Quero	Se toma en cuenta dos cantones por la cantidad de desperdicios y los demás por la mancomunidad. Cuenta con cuatro botaderos y un relleno mecanizado.
Chimborazo	Alausi, Guano, Colta, Guamote, Riobamba, Chambo, Chunchi, Pallatanga y Cumandá.	Se toma en cuenta todos los cantones de la provincia por su nivel de vulnerabilidad y la cercanía entre ellos. Cuenta con ocho botaderos a cielo abierto. Desechos Sólidos sugiere que evalúen a la provincia de Chimborazo debido a que es la región con menos avances en la sierra, en el tema de residuos sólidos. Asimismo, hemos considerado el nivel de desarrollo industrial de esta provincia que es bajo en comparación a la mayoría de provincias de la sierra. En esta provincia ya existe una pequeña mancomunidad como te mencionamos y pues se está trabajando en la intención de conformar otra mancomunidad que abarque la ciudad de Riobamba, Chambo, Guano, Penipe.
Cotacachi	Latacunga, Fajal y Saguisil	Los cantones se encuentran en posible mancomunidad. Cuenta con un botadero por cantón.
Bolívar	Guaranda, San Miguel y Chimbo	Los cantones se encuentran en mancomunidad de intención y la cantidad de desechos son las más altas en comparación a los demás. Cuenta con tres botaderos.
AMAZONÍA		
Sucumbios	Lago Agrio y Shushufindi	Los dos cantones fueron seleccionados por la cantidad de desechos y las distancias entre ellos. Cuenta con un botadero.
Pastaza	Fuyo y Mera	Los dos cantones fueron seleccionados por la cantidad de desechos y las distancias entre ellos. Cuenta con un botadero y un relleno mecanizado.

COMROMISOS

1. Los miembros del CTE se comprometen a brindar toda la información, así como el apoyo logístico al equipo consultor, con el fin de concluir con éxito los estudios.

Anexo II. Technology Fact Sheets

Evaluación de las necesidades tecnológicas para el cambio climático

Energía

A partir de residuos sólidos municipales (RSM)

Resumen cuantitativo y cualitativo de los criterios a evaluar en la ponderación de las tecnologías.

Elaborado por:

ENYATEC

TECNOLOGÍAS

CRITERIOS A PRIORIZAR	1. INCINERACIÓN MASIVA CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA	2. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO CEMENTERO	3. PRODUCCIÓN DE PELETS Y CO-INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICAS A VAPOR	4. PRODUCCIÓN DE PELETS Y PIRÓLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN	5. PRODUCCIÓN DE PELETS Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	6. GASIFICACIÓN POR PLASMA Y APROVECHAMIENTO DE SYNGAS	7. MBT CON DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGAS	8. CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO
Madurez tecnológica	Uso generalizado	Comercialmente maduro	Comercialmente maduro	Comercialmente disponible	Comercialmente maduro	Piloto & Demostración	Comercialmente maduro	Uso generalizado

Capacidad típica de planta (ton de RSM/día)	5 - 3.000	100 - 3.000	100 - 3.000	3 - 500	5 - 500	5 - 1.000	1 - 1.000	1 - 8.000
Valor calórico de RSM ideal para operar (MJ/kg)	7	6	6	5	6	6	4	4
Producción de energía neta (kWh/ ton de RSM)	240 - 550	300 - 400	300 - 400	570 -580	680 -690	800 - 810	10 - 150	20 - 60
Tiempo de vida del proyecto (años)	20	25	25	20	20	20	20	25

Costo de capital (miles USD/ ton diaria tratada)	130 - 180	50 -220	50 -220	190 - 230	150 - 230	150 -180	300 -320	80 -100
Costo O&M (USD/ton)	55 - 520	30 -60	30 - 60	35 - 50	80 - 90	30 - 35	115 - 125	0,10 - 0,50

Factor de emisión GEI (tCO ₂ e/ ton RSM tratado)	0,1981	-0,376	-0,376	-0,5	-0,5	-0,6	0,1	0,15
---	--------	--------	--------	------	------	------	-----	------

Generación de empleo directo (puesto/ 5 ton RSM tratada)	1	3	3	3	3	1	3	1
Incentivo a otros sectores de la economía	No genera	Máximo: varios sectores.	Máximo: varios sectores.	Medio: reciclaje, etc.	Medio: reciclaje, etc.	Mínimo: catadores	Medio: reciclaje, etc.	No genera

Mejora calidad de vida en los trabajadores del sector residuos.	Ninguna	Grande	Grande	Grande	Grande	Media	Grande	Pequeña
Impacto ambiental, impacto visual, etc. en el área de implantación	Medio	Mínimo	Mínimo	Medio	Medio	Medio	Mínimo	Alto
Incidencia sobre salud pública en trabajadores y/o población cercana	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio	Información no disponible	Mínimo	Alto
Exigencia de mejor capacitación en los trabajadores	Media	Media	Media	Máxima	Máxima	Máxima	Media	Ninguna

Facilidad para replicar la tecnología	Moderada	Moderada	Moderada	Alta	Alta	Muy alta	Moderada	Baja
Dependencia y complejidad tecnológica	Esfuerzo moderado	Esfuerzo moderado	Esfuerzo moderado	Con investigación	Con investigación	Secreto tecnológico	Esfuerzo moderado	Sencillo

Apertura de las autoridades municipales a la innovación en el sistema de gestión de residuos. Aceptación de la comunidad.	Mínimo	Medio	Medio	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Medio	Mínimo
Existencia de ordenanzas municipales, decretos, normas, planes, etc. que favorezcan sistemas integrados de gestión de residuos sólidos para generación energética.	Ninguno							

INCINERACIÓN CON RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 1

Nombre de tecnología alternativa	Incineración de RSM con recuperación energética para generación eléctrica
Nombre opcional	Waste to Energy (WtE), Waste from Energy (WfE)
Escala	Gran Escala: Plantas masivas procesan entre 100 - 3.000 ton/día. Plantas modulares procesan 5 - 150 ton/día.
Tiempo de vida	20 años
Madurez tecnológica	Uso generalizado
Disponibilidad para países en desarrollo	Corto plazo

<p>Criterios a considerar:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de capital y la necesidad de capitales extranjeros. - Instalaciones con complejidad técnica moderada que requiere de personal calificado. - Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica). - Requerimientos especiales con relación a la cantidad y composición de los RSU (valor del poder calórico superior a 6 MJ/kg). - Necesidad de un sistema integral de tratamiento de residuos en estado maduro y con una institucionalidad fuerte. - Demanda de energía constante a precios establecidos. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura. - Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%). - Desarrollo de la ciudad e impulso al turismo. - Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.) - Transferencia de tecnología hacia los trabajadores (aprox. 1 trabajador/6 ton incineradas). - Creación de puestos de trabajo. - Sustentabilidad en la generación de energía (mínimo back-up) - Cuestiones políticas – ideológicas: incineración es contrario a "basura cero".
<p>Descripción de la opción tecnológica:</p>	<p>Proceso de combustión a altas temperaturas (900 - 1200°C) para reducir el volumen de los RSU. El calor de la combustión es aprovechado para producir calor y/o electricidad.</p>
<p>Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?</p>	<p>Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc.</p>
<p>Factor de emisión</p>	<p>a) Factor de emisión de incineración: 0,3581 tCO₂e/ton RSM; b) Emisiones evitadas en el SNI por la generación eléctrica: - 0,16 tCO₂e/ton RSM c) Factor de emisión total: 0,1981 tCO₂e/ton RSM;</p>
<p>Generación eléctrica</p>	<p>240 - 544 kWh/ton RSM</p>
<p>Tecnología a ser incluida en la priorización?</p>	<p>Sí</p>

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	<p>Incineración constituye un riesgo para los minadores que se quedarían sin su fuente de trabajo. Si parte de los minadores son contratados por la planta de incineración, estos mejorarían razonablemente la calidad de vida, pero, una gran mayoría perdería por completo el empleo. Quien viva cerca tendrá una calidad de vida cuestionable, pudiendo presentarse problemas de salud por material particulado, gases, etc..Por otro lado, este tipo de plantas demanda de profesionales mejor capacitados debido a la alta complejidad tecnológica, aunque en número inferior. Se pone en riesgo toda una cadena productiva a partir del reciclaje, compostaje, reuso, etc. Esta tecnología puede incidir sobre los valores y la filosofía de los ciudadanos con relación al valor de los recursos materiales y energéticos ocasionando incremento en el consumo de bienes y desinterés por el destino final de los residuos.</p>
Económico	<p>El alto costo de la tecnología es traducido en altos costos de mitigación. El costo marginal medio de abatimiento es 289 USD/tCO₂e. El hecho de producir electricidad (0,24 MWh/ton RSU/ano) facilita la sustentabilidad económica de la planta a lo largo de su vida útil. También el proyecto puede calificar como MDL y financiar una fracción de la inversión a través de la venta de CERS.</p>
Ambiental	<p>Esta tecnología puede des-incentivar planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador. La adopción de MDL para proyectos con incineración es considerado un modelo de incentivo perverso. La incineración disminuye notablemente serios problemas ambientales a nivel local (ratas, mosquitos, vectores, lixiviados, etc.), y disminuye el uso de tierra para rellenos sanitarios en un 90%. A nivel global, la incineración con generación eléctrica constituye una alternativa de mitigación importante de GEI, a pesar de que existen serias críticas por la emisión de dioxinas, furanos y material particulado. El impacto visual por la cantidad de gases en la chimenea puede ser alto si no existen las etapas de tratamiento de gases de combustión.</p>
Salud pública	<p>Científicamente no se há comprobado la correlación entre afecciones de salud y las emisiones de gases de plantas de incineración de RSM. Sin embargo, existen muchos medios de comunicación, revistas técnicas, cuestionamientos a nivel mundial de ONGs y grupos ambientalistas que afirman danos</p>

	causados a la salud por la presencia de dioxinas y furanos en los gases emitidos por estas plantas.
--	---

Potencial de mercado

Potencial de mercado	Dado que el poder calórico inferior (LHV) mínimo para viabilizar técnica y económicamente a proyectos con incineración es más de 6 MJ/kg, el uso de esta tecnología se restringe mucho en Ecuador. Considerando que la media de LHV en cantones pequeños y medianos es 5,5 MJ/kg con un alto contenido de humedad, puede descartarse de entrada a esta tecnología. Por otro lado, vale la pena estudiar en detalle la aplicación de incineración para las ciudades más económicamente desarrolladas del país (6,5 MJ/kg), especialmente en climas cálidos, en donde existe un gran potencial de mercado.
Transferencia de tecnología	Dependencia tecnológica mínima debido a que esta tecnología es muy utilizada en muchos países desarrollados. Existen diversos fabricantes y la tecnología presenta una complejidad media. La reproducción local de la tecnología es pausable.

Costos

Costos de capital	Se verifican economías de escala según la capacidad de la planta. Para tecnologías de incineración masiva se argumenta que el tamaño ideal para asegurar la rentabilidad económica de la planta es entre 240 ton/día (10 ton/h) – 720 ton/día (30 ton/h), por línea, para lo cual el costo de capital varía entre 50 -130 millones USD. Para plantas de incineración modular, el tamaño óptimo es 150 ton/día, dependiendo de la composición de los RSU, con un costo de capital de 20 millones USD aproximadamente.
Costos de operación y mantenimiento	Para plantas masivas entre 240 - 720 ton/día varía entre 5 - 7 millones USD/año. Para plantas modulares de 150 ton/día el costo de O&M varía entre 17 -29 millones USD/año.
Otros costos	El nivel tecnológico para los sistemas de tratamiento de gases es muy significativo, puede incrementar hasta en 35% del total de costos instalados. De igual forma, los costos por disposición final de cenizas en relleno sanitario debe considerarse. El costo del combustible de back-up será representativo si los RSM son de bajo LHV y alta humedad.

MBT CON RECUPERACIÓN DE RDF (PELLETS) Y CO-INCINERACIÓN EN HORNO DE INDUSTRIA CEMENTERA

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 2

Nombre de tecnología alternativa	MBT con producción de RDF y co-incineración en horno de industria cementera
Nombre opcional	RDF (refusederivedfuels) o SRF (solidrecoveredfuels) o pellets, incinerados en horno de industria cementera (kiln)
Escala	Gran Escala: en 1997 1,8 millones de ton/año de RDF co-incineradas en hornos cementeros en Europa
Tiempo de vida	25 años
Madurez tecnológica	Comercialmente maduro
Disponibilidad para países en desarrollo	Corto plazo
Criterios a considerar:	<ul style="list-style-type: none"> - La planta de producción de RDF representa un alto costo de capital que disminuirá significativamente conforme incremente la separación de RSM en la fuente. - Complejidad técnica moderada. - Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia

	<p>tecnológica moderada).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Requerimientos especiales con relación a la cantidad y composición de los RSM. El combustible RDF eleva el poder calórico contenido en un mismo volumen, así se consigue valores calóricos inferiores (LHV) de entre 10 - 13 MJ/kg dependiendo de la composición. - Demanda por RDF constante a precios establecidos. Si el mercado de RDF no es sólido, estos pellets pueden ir a parar a un relleno sanitario lo cual sería pésimo. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta de RDF. Hasta 150 km de distancia se justificaría en un balance energético al comparar con el combustible gastado. - Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%). - Alto desarrollo de la ciudad e impulso al turismo. - Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.) - Alta transferencia de tecnología hacia los trabajadores. - Creación de puestos de trabajo, aproximadamente 3 puestos por cada 5 toneladas tratadas. - Sustentabilidad en la generación de energía: La combustión de pellets es más sustentable que la incineración simple debido al mayor poder calórico y menor humedad, no habría que usar tanto diesel complementario. - Cuestiones políticas – ideológicas: esta tecnología incentiva el reciclaje y separación en la fuente.
<p>Descripción de la opción tecnológica:</p>	<p>A través de procesos mecánicos - biológicos (MBT) los RSM son pre-tratados y clasificados para poder ser reciclados. Es posible elaborar diversos RDF con altos contenidos de carbono biogénico, con mayor valor calórico que los RSM. Posteriormente el RDF es co-incinerado en hornos de fabricación de cemento a altas temperaturas (1.200°C), disminuyendo así uso de combustibles fósiles como bunker, fuel oil, carbón peat, etc. Las cenizas generadas son re-utilizadas en la fabricación de cemento.</p>

Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?	Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc. Se puede proponer políticas de incentivo fiscal a las cementeras según el % de RDF que co-incineren en sus instalaciones. También es factible proponer planes conjuntos para la formación de cooperativas de reciclaje.
Factor de emisión	a) Factor de emisión total: -0,376 tCO ₂ e/ton de RSM.
Generación eléctrica	Dependiendo de la fracción de RDF co-incinerado, se puede evitar el consumo de bunker, fuel oil y carbón peat. Un estimado de la energía líquida que aporta esta línea tecnológica es de 380 kWh/ton RSM tratado.
Tecnología a ser incluida en la priorización?	Sí

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	Los minadores podrían mejorar sus condiciones de trabajo y razonablemente su calidad de vida si pasan a las plantas de producción de RDF y reciclaje. Quien viva cerca tendrá una calidad de vida razonable. Por otro lado, este tipo de plantas demanda de profesionales mejor capacitados debido a la complejidad tecnológica, aunque en número inferior. Se da importancia a toda una cadena productiva a partir del reciclaje, compostaje, reuso, etc.
Económico	Dado que los hornos cementeros ya están construídos el costo de capital de la tecnología refleja básicamente la instalación de la planta MBT para la producción de RDF. Los costos operativos son elevados pero deberían financiarse por la venta de RDF a las cementeras y venta de materiales reciclados. También el proyecto puede calificar como MDL y financiar una fracción de la inversión a través de la venta de CERS. Para las cementeras la

	<p>alternativa representa un importante ahorro en combustible de hasta 30 - 40% según el porcentaje de RDF usado.</p>
Ambiental	<p>Esta tecnología puede incentivar planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador. Esta alternativa disminuye notablemente serios problemas ambientales a nivel local en rellenos sanitarios (ratas, mosquitos, vectores, lixiviados, etc.), y disminuye el uso de tierra para rellenos sanitarios en un 90%. A nivel global, la co- incineración de RDF con generación eléctrica constituye una alternativa de mitigación importante de GEI, a pesar de que existen serias críticas por la emisión de dioxinas, furanos y material particulado. Co- incineración no representa impacto visual adicional pues las instalaciones ya existen. Las etapas de pelletización cuentan con extracción de olores, aislamiento de ruido, tratamientos de agua, captura de polvo y particulados.</p>
Salud Pública	<p>La literatura científica no reporta ninguna afección a la salud pública por la co- incineración de pellets hechos a partir de RSM.</p>
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	<p>En Ecuador existen 4 empresas cementeras (Holcim, LaFarge, Chimborazo y Guapan) que producen 5,6 millones de toneladas de cemento/año. Éstas consumen fuel oil, bunker y carbón peat. Una de estas empresas ya co- incinera cascarilla de arroz en sus hornos. Por tanto, existe un potencial importante para sustituir una fracción de los combustibles tradicionales por RDF.</p>
Transferencia de tecnología	<p>Dependencia tecnológica moderada debido a que esta tecnología es muy utilizada en muchos países desarrollados. Existen diversos fabricantes y la tecnología presenta una</p>

	complejidad media. La reproducción local de la tecnología es pausable.
--	--

Costos

Costos de capital	Se verifican economías de escala según la capacidad de la planta. El costo de la planta de reciclaje y producción de pellets varía entre 30 millones USD para 50 mil ton RSM/año y 70 millones USD para 500 mil ton RSM/año.
Costos de operación y mantenimiento	Los costos O&M totales, (producción de pellets + incineración en ind. Cementera) varía entre 3 millones USD/año para 50 mil ton RSM/año y 16 milloes USD/año para 500 mil ton RSM/ año.
Otros costos	El nivel tecnológico para los sistemas de clasificación y reciclaje es muy significativo. De igual forma, los costos por disposición final de cenizas en relleno sanitario debe considerarse.

MBT CON RECUPERACIÓN DE RDF (PELLETS) Y CO-INCINERACIÓN EN TERMOELÉCTRICA A BAGAZO U OTRA BIOMASA.

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 3

Nombre de tecnología alternativa	MBT con producción de RDF y co-incineración en termoeléctrica a bagazo u otra biomasa
Nombre opcional	RDF (refusederivedfuels) o SRF (solidrecoveredfuels) o pellets, incinerados en caldera de planta termoeléctrica a bagazo o biomasa.
Escala	Gran Escala: a finales de los años 90, se consolidó en Europa un mercado maduro de pellets que proveía de combustible a termoeléctricas e industrias cementeras.
Tiempo de vida	25 años
Madurez tecnológica	Comercialmente maduro
Disponibilidad para países en desarrollo	Corto plazo

Criterios a considerar:

- La planta de producción de RDF representa un alto costo de capital que disminuirá significativamente conforme incrementa la separación de RSM en la fuente.
- Complejidad técnica moderada.
- Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica moderada).
- Requerimientos especiales con relación a la cantidad y composición de los RSM. El combustible RDF eleva el poder calórico contenido en un mismo volumen, así se consiguen valores calóricos inferiores (LHV) de entre 10 - 13 MJ/kg dependiendo de la composición.
- Demanda por RDF constante a precios establecidos. Si el mercado de RDF no es sólido, estos pellets pueden ir a parar a un relleno sanitario lo cual sería pésimo.
- Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta de RDF. Hasta 150 km de distancia se justificaría en un balance energético al comparar con el combustible gastado.
- Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%).
- Alto desarrollo de la ciudad e impulso al turismo.
- Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.)
- Alta transferencia de tecnología hacia los trabajadores.
- Creación de puestos de trabajo, aproximadamente 3 puestos por cada 5 toneladas tratadas.
- Sustentabilidad en la generación de energía: La combustión de pellets es más sustentable que la incineración simple debido al mayor poder calórico y menor humedad, no habría que usar tanto diesel complementario.
- Cuestiones políticas – ideológicas: esta tecnología incentiva el reciclaje y separación en la fuente.

Descripción de la opción tecnológica:	A través de procesos mecánicos - biológicos (MBT) los RSM son pre-tratados y clasificados para poder ser reciclados. Es posible elaborar diversos RDF con altos contenidos de carbono biogénico, con mayor valor calórico que los RSM. Posteriormente el RDF es co-incinerado en termoeléctricas a bagazo que ya tienen calderas apropiadas para trabajar con este tipo de combustible. Así, durante las épocas de no zafra, cuando la cantidad de bagazo es menor, estas plantas de generación eléctrica pueden operar a plena carga, incrementando sus ingresos por la venta de electricidad.
Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?	Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc. Se puede proponer políticas de incentivo fiscal a las termoeléctricas a biomasa según el % de RDF a partir de RSM que co-incineren en sus instalaciones. También es factible proponer planes conjuntos para la formación de cooperativas de reciclaje.
Factor de emisión	a) Factor de emisión total: -0,376 tCO ₂ e/ton de RSM.
Generación eléctrica	Dependiendo de la fracción de RDF co-incinerado y de la capacidad de las plantas termoeléctricas se puede incrementar la producción eléctrica y mantenerla constante a lo largo del año. La energía líquida que aporta esta línea tecnológica es de aproximadamente 380 kWh/ton RSM tratado.
Tecnología a ser incluida en la priorización?	Sí

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	Los minadores podrían mejorar sus condiciones de trabajo y razonablemente su calidad de vida si pasan a las plantas de producción de RDF y reciclaje. Quien viva cerca tendrá una calidad de vida razonable. Por otro lado, este tipo de plantas
--------	--

	<p>demanda de profesionales mejor capacitados debido a la complejidad tecnológica, aunque en número inferior. Se da importancia a toda una cadena productiva a partir del reciclaje, compostaje, reuso, etc.</p>
Económico	<p>Dado que las instalaciones de las plantas termoeléctricas ya están construídas el costo de capital de la tecnología refleja básicamente la instalación de la planta MBT para la producción de RDF. Los costos operativos son elevados pero deberían financiarse por la venta de RDF a las termoeléctricas y venta de materiales reciclados. También el proyecto puede calificar como MDL y financiar una fracción de la inversión a través de la venta de CERS. Para las termoeléctricas la alternativa representa un importante oportunidad de incrementar su producción eléctrica y de mantenerla constante a lo largo del año, afrontando así las épocas de no zafra.</p>
Ambiental	<p>Esta tecnología puede incentivar planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador. Esta alternativa disminuye notablemente serios problemas ambientales a nivel local en rellenos sanitarios (ratas, mosquitos, vectores, lixiviados, etc.), y disminuye el uso de tierra para rellenos sanitarios en un 90%. A nivel global, la co-incineración de RDF con generación eléctrica constituye una alternativa de mitigación importante de GEI, a pesar de que existen serias críticas por la emisión de dioxinas, furanos y material particulado. Las etapas de pelletización cuentan con extracción de olores, aislamiento de ruido, tratamientos de agua, captura de polvo y particulados.</p>
Salud Pública	<p>La literatura científica no reporta ninguna afección a la salud pública por la co-incineración de pellets hechos a partir de RSM.</p>
Potencial de mercado	

Potencial de mercado	En Ecuador existen 3 termoeléctricas (ECUDOS, San Carlos y Valdez) a vapor que usan bagazo de caña de azúcar como combustible. Estas plantas representan una potencia instalada de 73,8 MW. Estas plantas enfrentan el problema de la estacionalidad del cultivo de caña de azúcar. Durante los meses de no zafra, las instalaciones operan a media potencia, disminuyendo así su factor de capacidad y por consiguiente perdiendo ingresos. La co-incineración de pellets a partir de RSM en esta industria es una gran oportunidad de incrementar la producción eléctrica y mantenerla constante a lo largo del año, con los consiguientes réditos económicos.
Transferencia de tecnología	Dependencia tecnológica moderada debido a que esta tecnología es muy utilizada en muchos países desarrollados. Existen diversos fabricantes y la tecnología presenta una complejidad media. La reproducción local de la tecnología es pausable.

Costos

Costos de capital	Se verifican economías de escala según la capacidad de la planta. El costo de la planta de reciclaje y fabricación de pellets varía entre 30 millones USD para 50 mil ton RSM/año y 70 millones USD para 500 mil ton RSM/año.
Costos de operación y mantenimiento	Los costos O&M totales (producción de pellets + co-incineración en termoeléctrica) varía entre 3 millones USD/año para 50 mil ton RSM/año y 16 millones USD/año para 500 mil ton RSM/año.
Otros costos	El nivel tecnológico para los sistemas de clasificación y reciclaje es muy significativo. De igual forma, los costos por disposición final de cenizas en relleno sanitario debe considerarse.

PRODUCCIÓN DE RDF Y PIRÓLISIS CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS Y CARBÓN.

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 4

Nombre de tecnología alternativa	Producción de RDF y pirolisis de RDF con aprovechamiento de syngas y carbón.
Nombre opcional	Pirólisis rápida (obtención de líquidos combustibles y algo de gas); Pirólisis lenta (obtención de carbón y algo de gas).
Escala	Pequeña y media escala: Plantas masivas procesan hasta 500 ton/día. La mayor parte de plantas instaladas son pequennas (desde 3 ton/día), y son diseñadas para biomasa exclusivamente. Existen plantas de pirólisis de RDF de RSM en Estados Unidos, Canada, Alemania y otros.
Tiempo de vida	20 a 25 años
Madurez tecnológica	Comercialmente disponible
Disponibilidad para países en desarrollo	Largo plazo

<p>Criterios a considerar:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de capital y la necesidad de capitales extranjeros. - Instalaciones con complejidad técnica alta que requiere de personal calificado. - Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica alta). - Dado que los pellets tienen mayor valor calórico que los RSM , al pirolizar RDF se optimiza el proceso y se controla mejor sus variables, en comparación a la pirólisis de RSM sin pretratamiento.. - Necesidad de un sistema integral de gestión de residuos en estado maduro y con una institucionalidad fuerte. - Demanda de energía constante a precios establecidos. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta de producción de RDF, y de pirólisis. - Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%). - Desarrollo de la ciudad e impulso al turismo. - Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.) - Transferencia de tecnología hacia los trabajadores. - Creación de puestos de trabajo (aproximadamente 3 puestos por cada 5 ton RSM tratadas). - Energéticamente hablando, plantas de pirólisis son más sustentables que plantas de incineración masiva.- Cuestiones políticas – ideológicas: incineración es contrario a "basura cero".
<p>Descripción de la opción tecnológica:</p>	<p>Proceso termo-químico que sucede por el calentamiento indirecto de la materia orgánica en una atmósfera libre de oxígeno, provocando así la descomposición química de esta materia en gases, líquidos y sólidos (carbón y ceniza) que pueden ser usados para producir calor y/o electricidad posteriormente. Dependiendo del control de las variables del proceso (tamaño de partícula, temperatura, velocidad de calentamiento, composición del material, tiempo de residencia, porosidad, análisis próximo, valor calórico, etc.) los productos de la pirólisis</p>

	<p>variarán en cantidad y tipo. Así, para pirolisis rápidas (alta velocidad de calentamiento) se obtendrá más fracciones líquidas, mientras que con pirolisis lentas se obtendrá más fracción sólida (carbón y ceniza).</p>
<p>Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?</p>	<p>Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc.</p>
<p>Factor de emisión</p>	<p>No existe información específica sobre un factor de emisión para la pirólisis de RSM dado que esta tecnología aún está en estudio y son pocas las plantas operando en el mundo, sin embargo, todos los autores concuerdan en que la cantidad de emisiones de gases tóxicos es mucho menor a la emitida con incineración masiva. La disminución de gases GEI ocurre no solo por las mejoras en el proceso termoquímico (por el uso de pellets), sino también por las contribuciones del reciclaje, compostaje, reaprovechamiento, etc.</p>
<p>Generación eléctrica</p>	<p>571 kWh/ton de RSM tratada</p>
<p>Tecnología a ser incluida en la priorización?</p>	<p>Sí</p>

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	<p>Pirólisis, por ser altamente tecnificado, demanda de menos trabajadores y a la vez de mayor capacitación. Quienes trabajen en la planta y a sus alrededores gozarán de una buena calidad de vida. Dado que esta propuesta consorcia reciclaje, producción de pellets y pirólisis de pellets, el incentivo para la separación en la fuente y reciclaje es mayor que para el caso de incineración masiva. Así, se incentiva el desarrollo de otras cadenas productivas (reciclaje, etc.). La diversidad de productos que la pirólisis permite obtener también fomenta la aparición de nuevas industrias. Así, el carbón producido podrá ser usado para calderas en termoeléctricas, para fabricación de coque para industria metalúrgica, para carbón activado, como insumo para el proceso de gasificación e inclusive para usos domésticos como carbón de parrillada.</p>
Económico	<p>El uso de RDF como combustible disminuye los costos de generación eléctrica en comparación a la pirólisis de RSM sin tratamiento previo debido a que permite mayores eficiencias de conversión energética. El aparente costo adicional por la fabricación de RDF es compensado por la optimización de las cantidades y calidades de los productos. El hecho de producir electricidad facilita la sustentabilidad económica de la planta a lo largo de su vida útil. También el proyecto puede calificar como MDL y financiar una fracción de la inversión a través de la venta de CERS.</p>
Ambiental	<p>Esta tecnología incentiva planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador. La pirólisis disminuye notablemente serios problemas ambientales a nivel local (ratas, mosquitos, vectores, lixiviados, etc.), y disminuye el uso de tierra para rellenos sanitarios en un 90%. A nivel global, la pirólisis de RDF con generación eléctrica constituye una alternativa de mitigación importante de GEI, a pesar de que existen aún críticas por la emisión de gases contaminantes (dioxinas, furanos) y material particulado. La cantidad de emisiones es mucho menor a la generada por incineración masiva debido al uso de RDF que permite</p>

	<p>controlar mejor las variables del proceso. Impacto visual ocasionado similar a otras industrias. En caso de no disponer de un adecuado pos-tratamiento de gases, éstos pueden ser muy fuertes y penetrantes.</p>
Salud Pública	<p>Si el sistema de tratamiento de gases pos-combustión es efectivo se reduce sustancialmente el riesgo a la salud pública. Por naturaleza, este riesgo en el caso de pirólisis es mucho menor en comparación a incineración convencional, por el volumen y composición de los gases.</p>
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	<p>A pesar de que la producción de RDF ha sido largamente demostrada, aún hay pocos ejemplos de plantas de pirolisis de RSM en el mundo y son necesarios mayores esfuerzos para que la tecnología alcance niveles más comerciales. La pirolisis de RSM y de combustibles RDF en Europa está todavía en un estado prematuro de desarrollo y las expectativas son de que no juegue un papel protagónico en la planificación de sistemas integrales de manejo de RSM en el medio plazo, a no ser que los compromisos por reducir emisiones GEI sean más importantes.</p> <p>Ecuador, país en desarrollo, aún está distante de esta tecnología, no solo por el estado de poca madurez comercial de la misma, sino también por el avance en la planificación de la gestión de RSM en sus municipios. Ecuador no ha desarrollado conocimiento en esta área, no cuenta con especialistas sobre el tema, y sería muy difícil proponer una tecnología de alto grado de complejidad en una realidad que aún debate soluciones para problemas más básicos.</p>

Transferencia de tecnología	Dependencia tecnológica elevada debido a que esta tecnología es solo utilizada en países desarrollados, en donde existen pocas plantas operando con RSM. Existen pocos fabricantes y la tecnología presenta una complejidad elevada. La reproducción local de la tecnología es poco viable en corto y medio plazo en Ecuador.
-----------------------------	---

Costos

Costos de capital	Se verifican economías de escala según la capacidad de la planta. Una planta de pirólisis de 260.000 – 370.000 ton/año de capacidad tiene un costo de capital de 528 USD/ ton/año
Costos de operación y mantenimiento	Una planta de pirólisis de 260.000 – 370.000 ton/año de capacidad tiene un costo un costo de O&M de 36 USD/ton incluyendo valores de recuperación de capital, interés y facilidad de operación y gerenciamiento, economía de escala y venta de productos y electricidad.
Otros costos	El sistema de tratamiento de gases es muy significativo, pero menos caro que para incineración masiva por el menor volumen de gases tóxicos producidos con pirólisis. De igual forma, los costos por disposición final de cenizas en relleno sanitario debe considerarse. El costo del combustible de back-up será representativo si los RSM son de bajo LHV y alta humedad.

PRODUCCIÓN DE RDF Y GASIFICACIÓN CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS.

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 5

Nombre de tecnología alternativa	Producción de RDF y gasificación con aprovechamiento de syngas
Nombre opcional	Termólisis (en verdad, éste sería un proceso integrado de pirólisis y gasificación).
Escala	Pequeña y media escala: Plantas masivas procesan hasta 500 ton/día. La mayor parte de plantas instaladas son pequennas (desde 5 ton/día), y son diseñadas para biomasa exclusivamente.
Tiempo de vida	20 a 25 años
Madurez tecnológica	Comercialmente disponible: En Europa (Suecia, Alemania, Italia, Dinamarca, Austria y Finlandia) existen algunas plantas operando con biomasa y RSM, que inicialmente eran de demostración y hoy están entrando a una etapa de comercialización. Existen experiencias con RSM también en Estados Unidos y Canada.

Disponibilidad para países en desarrollo	Largo plazo
<p>Criterios a considerar:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de capital y la necesidad de capitales extranjeros. - Instalaciones con complejidad técnica alta que requiere de personal calificado. - Dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica alta). - Dado que los pellets tienen mayor valor calórico que los RSM , al gasificar RDF se optimiza el proceso y se controla mejor sus variables, en comparación a la gasificación de RSM sin pretratamiento.. - Necesidad de un sistema integral de gestión de residuos en estado maduro y con una institucionalidad fuerte. - Demanda de energía constante a precios establecidos. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta de producción de RDF, y de gasificación. - Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%). - Desarrollo de la ciudad e impulso al turismo. - Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.) - Transferencia de tecnología hacia los trabajadores. - Creación de puestos de trabajo (aproximadamente 3 puestos por cada 5 ton RSM tratadas). - Energéticamente hablando, plantas de gasificación son más sustentables que plantas de pirólisis y mucho más que plantas de incineración masiva. <p>A17+B17 Cuestiones políticas – ideológicas: incineración es contrario a "basura cero".</p>

Descripción de la opción tecnológica:	La gasificación es un proceso termoquímico de conversión (inicialmente pirolisis con un volumen de oxígeno controlado, seguida por más reacciones de alta temperatura de los productos de pirolisis para generar sustancias gaseosas con bajo peso molecular). Así un sustrato carbonoso (carbón, biomasa, plástico) es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de adición de calor y un agente oxidante controlado (aire, oxígeno, vapor de agua o hidrógeno), a presiones cercanas a la atmosférica y temperaturas próximas a 850 – 900 °C.
Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?	Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc.
Factor de emisión	No existe información específica sobre un factor de emisión para la gasificación de RSM dado, sin embargo, autores concuerdan en que la cantidad de emisiones de gases tóxicos es mucho menor a la emitida con incineración masiva, al igual que pirólisis. Hasta julio de 2010, cuatro proyectos de gasificación de biomasa fueron registrados como proyectos MDL ante el Comité Ejecutivo UNFCC. La disminución de gases GEI ocurre no solo por las mejoras en el proceso termoquímico (por el uso de pellets), sino también por las contribuciones del reciclaje, compostaje, reaprovechamiento, etc.
Generación eléctrica	685 kWh/ton de RSM tratada
Tecnología a ser incluida en la priorización?	Sí

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	<p>Gasificación, al igual que pirólisis, por ser altamente tecnificado, demanda de menos trabajadores y a la vez de mayor capacitación. Quienes trabajen en la planta y a sus alrededores gozarán de una buena calidad de vida. Dado que esta propuesta consorcia reciclaje, producción de pellets y gasificación de pellets, el incentivo para la separación en la fuente y reciclaje es mayor que para el caso de incineración masiva. Así, se incentiva el desarrollo de otras cadenas productivas (reciclaje, etc.).</p>
Económico	<p>El uso de RDF como combustible disminuye los costos de generación eléctrica en comparación a la gasificación de RSM sin tratamiento previo debido a que permite mayores eficiencias de conversión energética. El aparente costo adicional por la fabricación de RDF es compensado por la optimización de las cantidades y calidades de los productos. El hecho de producir electricidad facilita la sustentabilidad económica de la planta a lo largo de su vida útil. También el proyecto puede calificar como MDL y financiar una fracción de la inversión a través de la venta de CERS.</p>
Ambiental	<p>Esta tecnología incentiva planes de separación en la fuente, reciclaje, compostaje y reutilización de materiales ya implementados en algunas ciudades de Ecuador. La gasificación disminuye notablemente serios problemas ambientales a nivel local (ratas, mosquitos, vectores, lixiviados, etc.), y disminuye el uso de tierra para rellenos sanitarios en un 90%. A nivel global, la gasificación de RDF con generación eléctrica constituye una alternativa de mitigación importante de GEI, a pesar de que existen aún críticas por la emisión de gases contaminantes (dioxinas, furanos) y material particulado. La cantidad de emisiones es mucho menor a la generada por incineración masiva debido al uso de RDF que permite controlar mejor las variables del proceso. La gasificación retiene compuestos alcalinos y metales</p>

	<p>pesados (excepto mercurio y cadmio), como azufre y cloro dentro de los residuos del proceso en forma de escoria, previniendo grandes formaciones de PCDD/F y reduciendo la formación térmica de NOx debido al rango de temperaturas y condiciones de reducción a las que se trabaja. Impacto visual ocasionado similar a otras industrias.</p>
Salud Pública	<p>Si el sistema de tratamiento de gases pos-combustión es efectivo se reduce sustancialmente el riesgo a la salud pública. Por naturaleza, este riesgo en el caso de gasificación es mucho menor en comparación a incineración convencional, por el volumen y composición de los gases. El riesgo también es menor al caso de pirólisis.</p>
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	<p>Mientras la gasificación de carbón es una tecnología bien establecida, y algunos gasificadores de biomasa ya son de uso comercial, los gasificadores de RSM son tecnologías todavía en desarrollo de las cuales hay pocos ejemplos en el mundo. En general, las reacciones de gasificación son complejas y aún están en investigación en los países desarrollados. A pesar de existir varios fabricantes, a nivel comercial, se verifica que aún son pocas las plantas a nivel mundial que evidencian su desempeño. Las pocas plantas existentes están en los países desarrollados y sus capacidades aún son pequeñas.</p> <p>Ecuador, país en desarrollo, aún está distante de esta tecnología, no solo por el estado de poca madurez comercial de la misma, sino también por el avance en la planificación de la gestión de RSM en sus municipios. Ecuador no ha desarrollado</p>

	<p>conocimiento en esta área, no cuenta con especialistas sobre el tema, y sería muy difícil proponer una tecnología de alto grado de complejidad en una realidad que aún debate soluciones para problemas más básicos.</p>
Transferencia de tecnología	<p>Dependencia tecnológica elevada debido a que esta tecnología es solo utilizada en países desarrollados, en donde existen pocas plantas operando con RSM. Existen pocos fabricantes y la tecnología presenta una complejidad elevada. La reproducción local de la tecnología es poco viable en corto y medio plazo en Ecuador.</p>

Costos

Costos de capital	<p>Son comparables e incluso más baratos que para incineración masiva convencional de RSM, eso sucede debido a que la eficiencia eléctrica de estos sistemas puede ser hasta 50% mayor. La marca VIBKIN presenta costos de capital de 2.860 USD/kWe para un gasificador de 4,3 kWe y de 3.250 USD/kW para un gasificador con cogeneración (4 kWth y 4,2 We). La marca ENERKEN también ofrece gasificadores con costo de capital entre 1.000 – 2.000 USD/kWe. Una de las plantas de más alto costo de capital en Europa es de la marca Thermoselect con cerca de 237 millones USD para una planta de 1.587 ton/día.</p>
Costos de operación y mantenimiento	<p>Los costos O&M de la referida planta de Thermoselect de 1.587 ton.día son de alrededor de 86,11 USD/ton.</p>

Otros costos

El sistema de tratamiento de gases es muy significativo, pero menos caro que para incineración masiva por el menor volumen de gases tóxicos producidos con gasificación. De igual forma, los costos por disposición final de cenizas en relleno sanitario debe considerarse. El costo del combustible de back-up será representativo si los RSM son de bajo LHV y alta humedad.

PLASMA CON APROVECHAMIENTO DE SYNGAS

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 6

Nombre de tecnología alternativa	Plasma con aprovechamiento de syngas
Nombre opcional	Plasma, Gasificación por plasma.
Escala	Pequeña y media escala: Plantas masivas procesan hasta 1.000 ton/día. La mayor parte de plantas instaladas son pequeñas (desde 5 ton/día) y son piloto.
	20 a 25 años
Madurez tecnológica	Piloto y demostración.
Disponibilidad para países en desarrollo	Largo plazo

<p>Criterios a considerar:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Muy alto costo de capital y la necesidad de capitales extranjeros. - Instalaciones con complejidad técnica muy alta que requiere de personal súper calificado. - Extrema dificultad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica altísima). - Dadas las características de la tecnología no haría falta pre-tratamientos para la fabricación de pellets. El insumo puede ser directamente los RSM. - Necesidad de un sistema integral de gestión de residuos en estado maduro y con una institucionalidad fuerte. - Demanda de energía constante a precios establecidos. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta de plasma. - Reducción de uso de tierra para rellenos sanitarios (aprox. 90%). - Desarrollo de la ciudad e impulso al turismo. - Disminución del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.) - Transferencia de tecnología hacia los trabajadores: limitada. - Creación de puestos de trabajo (aproximadamente 1 puesto por cada 5 ton RSM tratadas). - Energéticamente hablando, plantas de plasma es la más sustentable con relación a todas las otras plantas termoquímicas (incineración, pirólisis y gasificación). <p>Cuestiones políticas – ideológicas: plasma es muy contrario a "basura cero".</p>
<p>Descripción de la opción tecnológica:</p>	<p>Es un proceso termo-químico drástico de no-incineración que usa temperaturas extremadamente altas (6.000°C) en un ambiente que no necesita de agente oxidante para descomponer completamente los RSM hasta llegar a moléculas muy simples, que son a la vez sub-productos de valor comercial como gases combustibles y escoria inerte vitrificada.</p>
<p>Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?</p>	<p>Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por danos ambientales de otros sectores) ; etc.</p>
<p>Factor de emisión</p>	<p>La tecnología de plasma emite menor cantidad de CO₂ (1, 42 lb de CO₂/ MWh) en comparación a incineración masiva (2,98 lb de CO₂/ MWh). Esta es una de las pocas referencias que se tiene dada la escases de información para esta nueva tecnología.</p>
<p>Generación eléctrica</p>	<p>816 kWh/ton de RSM tratada</p>
<p>Tecnología a ser incluida en la priorización?</p>	<p>Sí</p>

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	Plasma, por ser altamente tecnificado (más que pirólisis y gasificación), demanda de menos trabajadores y a la vez de mayor capacitación. Quienes trabajen en la planta y a sus alrededores gozarán de una buena calidad de vida. La propuesta de gasificación por plasma de forma masiva no contempla reciclaje y/o producción de pellets, por lo cual no se estaría incentivando a otros sectores de la economía, y por el contrario se desincentivaría a buenas prácticas como reciclaje, separación en la fuente, consumismo, etc.
Económico	La falta de control combinado con inconvenientes económicos, ha sido el principal obstáculo para el crecimiento de la tecnología de plasma térmica. Sin embargo, el no uso de rellenos sanitarios, el valor añadido por el re- uso de los productos vitrificados, la producción de energía a partir del syngas y la recuperación de metales, juntos mejoran la viabilidad comercial del proceso de plasma para RSM .
Ambiental	La tecnología de plasma presenta niveles mucho más bajos de daño ambiental por emisiones y por toxicidad de escoria en comparación a otras tecnologías como incineración. Esto se debe en parte al uso de ciclo combinado para la generación eléctrica. Así el syngas (H ₂ y CO) es directamente combustionado en una turbina a gas a elevadas temperaturas y de esta forma estos gases no entran en contacto previo con la atmósfera. Por otro lado ayudan a neutralizar rápidamente los gases ácidos formados, con las consiguientes ganancias ambientales. El uso de temperaturas extremadamente altas permite neutralizar los gases ácidos y también capturar materiales tóxicos, metales pesados, etc. al interior de una escoria vítrea inerte, que puede ser depositada sin ningún otro tratamiento en un relleno sanitario convencional. Impacto visual ocasionado menor al de otras industrias debido a la escala de la tecnología.
Salud Pública	La literatura científica proporciona poca evidencia sobre las posibles afecciones a la salud que la tecnología de plasma podría traer. Se desconocen datos reales al respecto.
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	La gasificación por plasma de residuos municipales es cada vez más usada en países desarrollados. Existen por lo menos 22 plantas de plasma instaladas en Asia, Norte América y Europa. Se constata que la mayoría de plantas de plasma son usadas para algún tipo de residuo peligroso, y aún es limitado el número de plantas existentes para RSM como tal. La planta de Utashinai, en Japón, es uno de los pocos ejemplos sobre esta aplicación. Su capacidad es de 300 ton/día con una potencia instalada de 7,9MW y una potencia efectiva suministrada al grid de 4,3 MW. Ecuador aún está muy distante de esta tecnología en todos los sentidos: tecnología, cultura, economía, etc.

Transferencia de tecnología	Dependencia tecnológica muy alta debido a que esta tecnología es solo utilizada en pocos países desarrollados, en donde existen pocas plantas operando con RSM, en escala piloto y de laboratorio. Existen muy pocos fabricantes y la tecnología presenta una complejidad muy alta. La reproducción local de la tecnología es poco viable en corto y medio plazo en Ecuador.
-----------------------------	--

Costos

Costos de capital	Existe el proyecto de construcción de una planta de generación eléctrica a partir de gasificación por plasma de RSM en Florida, Estados Unidos. Esta planta, diseñada para 3.000 ton/día de RSM (6 unidades de gasificación de 500 ton/día cada una), con una potencia total instalada de 160 MW y una potencia efectiva de 120 MW conectada al sistema de eléctrico nacional. El costo de capital para esta planta es de 450 millones de dólares.
Costos de operación y mantenimiento	Los costos O&M de la referida planta son entre 30 – 35 USD/ton.
Otros costos	El sistema de tratamiento de gases representan un alto costo de capital.

MBT CON DIGESTIÓN ANAERÓBICA Y APROVECHAMIENTO DE BIOGAS EN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 8

Nombre de tecnología alternativa	MBT con Digestión anaeróbica y aprovechamiento de biogas en motore de combustión interna
Nombre opcional	Biodigestores, y diversas marcas de biodigestión rápida como DRANCO.
Escala	Gran Escala: Existen plantas de hasta 1.000 ton de RSM /día.
Tiempo de vida	20 años
Madurez tecnológica	Comercialmente maduro
Disponibilidad para países en desarrollo	Corto plazo

<p>Criterios a considerar:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de capital - Instalaciones con alta complejidad técnica. - Facilidad para compra de partes mecánicas para los mantenimientos (dependencia tecnológica limitada). - Es importante una buena pre-clasificación de los RSM retirando fracciones no orgánicas y tóxicas, a fin de no inhibir la acción bacteriana. - Funciona en lugares del mundo con un buen grado de organización institucional, a fin de garantizar el suministro de la planta y la compra de su producción, tanto de electricidad como de abonos y reciclados. - En caso de generar electricidad, se requiere un mercado estable. - Se debe considerar la distancia de transporte de la basura hasta la planta. - Se evita el uso de grandes superficies de relleno sanitarios en 70-85%. - Desarrollo en la ciudad e impulso al turismo. - Eliminación del impacto ambiental local por la disposición de basura en botaderos y rellenos (ratas, moscos, malos olores, etc.). El fomento de esta tecnología, permite el desarrollo de otros sectores de la economía (reciclaje). - Transferencia de tecnología hacia los trabajadores : sencilla debido a experiencias previas. - Creación de puestos de trabajo: reciclaje, venta de abonos, eléctrica, etc. - Sustentabilidad en la generación de energía: media - Cuestiones políticas – ideológicas: incentivo a biodigestores fomenta políticas de separación en la fuente, reciclaje, reuso, etc.
<p>Descripción de la opción tecnológica:</p>	<p>Estos tratamientos suceden en un medio anaeróbico (sin presencia de oxígeno), aquí la acción bacteriana descompone la fracción orgánica de los RSM y los convierte en biogás, biol y lodos de residuo. El biogás es un gas combustible que está formado por dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y otros gases minoritarios.</p>
<p>Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?</p>	<p>Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de tratamiento; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por daños ambientales de otros sectores) ; 5) Asociación entre municipios (mancomunidades).</p>
<p>Factor de emisión</p>	<p>Una planta de biodigestión de 55 ton/día tiene un factor de emisión de CO₂e que varía entre 208 – 228 kg CO₂e/t de RSM tratado.</p>

Generación eléctrica	Una planta MBT con biodigestión generaría aproximadamente 66 kWh/ton de RSM tratada, pero dado que habría un autoconsumo energético en la planta de 54 kWh/ton de RSM tratada, el excedente energético que podría ser aportado al sistema nacional es apenas 10 - 12 kWh/ton de RSM tratado.
Tecnología a ser incluida en la priorización?	Sí

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	<p>Esta tecnología se adaptaría fácilmente al entorno ecuatoriano por diversas razones:</p> <p>a) Ya existen experiencias diversas con biodigestores en el área rural, colegios técnicos, universidades, haciendas, hosterías, etc.,</p> <p>2) La realidad agropecuaria de Ecuador incentiva el uso de tecnologías biológicas que potencian la producción de abonos (sólidos y líquidos) para fertilizar los mismos campos de cultivo.</p> <p>3) Esta tecnología tiene un grado de complejidad moderada, y en ningún caso se compara a la operación de procesos termoquímicos en donde el control del proceso es mucho más complicado.</p> <p>Quienes trabajen en la planta y a sus alrededores gozarán de una buena calidad de vida, identificada con tecnologías de energía renovable.</p>
Económico	<p>Este tipo de proyectos presentan varias oportunidades de ingresos económicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Venta de energía eléctrica al sistema nacional interconectado. - Calificando como proyecto MDL, se puede optar por la venta de certificados de carbono en un mercado internacional. - Venta de abonos (líquido y sólido) - En el caso de existir industrias cercanas a la planta se puede pensar en la oportunidad de vender el biogas, transportado a través de un gasoducto (de PVC), para su uso en calderas, cocinas, calefones, calentadores, etc.

Ambiental	<p>Escenarios con biodigestión asociados con rellenos sanitarios y con recuperación energética alcanzan mejores indicadores de desempeño ambiental en comparación con escenarios que no tienen estas opciones. Los mejores escenarios son aquellos que consideran más altas tasas de reciclaje y mayores tasas de RSM tratados biológicamente.</p> <p>Desde un punto de vista ambiental la alternativa de biodigestión anaeróbica de RSM con etapas previas de reciclaje y posteriores de producción eléctrica son mejores que otras (termoquímicas).</p> <p>Impacto visual considerable debido al volumen de los tanques (biodigestores), sin embargo esto se puede amenizar con diseños adecuados. Nivel mínimo de ruido.</p>
Salud Pública	<p>La literatura muestra únicamente experiencias positivas con relación a los efectos de este tipo de tecnologías sobre la salud pública, directamente, e indirectamente debido a los beneficios que se generan para el suelo agrícola por el enriquecimiento con los abonos generados. Esto ha dado origen en muchos países a mercados de productos orgánicos con 0% de pesticidas y abonos químicos.</p>
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	<p>Ecuador tiene gran potencial para esta tecnología. Se debe hacer énfasis en optimizar la recuperación energética e incrementar la recuperación de abonos para ser viable económicamente por presentar costos operativos bajos, ser ambientalmente amigable por disminuir consumo de agua fresca y por disminuir emisión de gases de efecto invernadero.</p>
Transferencia de tecnología	<p>Dependencia tecnológica mínima. Existen muchos fabricantes de biodigestores a nivel mundial, varias plantas comerciales operando con RSM. La tecnología no presenta un elevado nivel de complejidad. Es posible su reproducción en corto plazo.</p>
Costos	
Costos de capital	<p>Una planta de 200 ton/día puede costar alrededor de 8 millones de dólares, una de 8 ton/día puede costar 3 millones USD. Depende de las etapas de reciclaje, de la capacidad de la planta y de la tecnología usada.</p>
Costos de operación y mantenimiento	<p>Para una planta de 55 ton/día, con diferentes tecnologías de digestión anaeróbica, los costos O&M varían entre 62 – 95 Euros/ton tratada</p>
Otros costos	<p>Costo por disposición en relleno sanitario de los materiales no reciclables, no biodegradables y no combustible.</p>

CAPTACIÓN DE GAS DE RELLENO SANITARIO Y APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN MCI

Generalidades

Sector	Energía
División	Generación eléctrica
Sub sector	Residuos Sólidos Municipales (RSM)
Tecnología de la línea base	Botaderos a cielo abierto y relleno sanitario.
Emisiones GEI del subsector en la línea base (megatoneladas de CO ₂ e). Año 2006.	0,116 Mt de CH ₄ , equivalente a 2,44 Mt de CO ₂ e.
Factor de emisión de línea base	0,3318 tCO ₂ e/tRSM depositada
Factor de emisión del SNI (margen combinado, con energías renovables no convencionales)	0,6467 tCO ₂ e/MWhe

Tecnología en el Escenario Alternativo 7

Nombre de tecnología alternativa	Captación de gas de relleno sanitario y aprovechamiento energético en motores de combustión interna.
Nombre opcional	LFG (landfill gas), GDL (gas do lixo)
Escala	Gran Escala: Este tipo de tecnología se ha usado en varios de los rellenos sanitarios más grandes del mundo (6.000 ton/día en Denver, EEUU por ejemplo).
Tiempo de vida	25 años
Madurez tecnológica	Uso generalizado
Disponibilidad para países en desarrollo	Corto plazo
Criterios a considerar:	

Descripción de la opción tecnológica:	La descomposición anaeróbica de la materia orgánica depositada en los rellenos sanitarios genera la producción de biogás, que puede ser recuperado para la producción de energía eléctrica, con la consiguiente ganancia ambiental debido a la reducción de emisiones de metano (CH ₄). El biogás es compuesto por aproximadamente 55% de CH ₄ , 40% de CO ₂ y 5% de N ₂ y de otros gases, y tiene potencial de aprovechamiento energético. En lugar de ser lanzado a la atmósfera, puede ser drenado, canalizado y encaminado para equipos específicos (motores, turbinas, etc.) que permitan usarlo como combustible para la producción de electricidad y/o calor (co-generación CHP). La actual tecnología permite capturar hasta un 40% del total de gases generados.
Supuestos de implementación ¿Cómo la tecnología será implementada y difundida en el subsector?	Políticas de incentivo: 1) cobro en el recibo de luz, agua o alcantarillado por el servicio de incineración; 2) cobro de valor más alto a industrias; 3) impuesto sobre el uso de rellenos sanitarios; 4) subsidios en diversas formas (valor de entrada para maquinaria, condiciones de financiamiento especiales, compensaciones por daños ambientales de otros sectores) ; etc.
Factor de emisión	Este valor varía para cada caso específico. Dado que esta tecnología consigue captar como máximo un 40% de los gases generados, su factor de emisión puede ser estimado entre 40 - 50% del factor de emisión de la línea base, o sea, alrededor de 0,15 tCO ₂ e/tRSM.
Generación eléctrica	40 kWh/ton RSM depositada en un relleno sanitario (caso Quito)
Tecnología a ser incluida en la priorización?	Sí

Impactos Cómo esta opción impacta las prioridades de desarrollo del país

Social	La generación eléctrica con gas de relleno sanitario trae pocas plazas de trabajo (máximo 5) si esta alternativa es comparada con la simple quema del gas en una antorcha. Si la línea base no contempla la recolección del gas, el proyecto completo de diseño e instalación de ductos para recuperación de gas generaría aproximadamente unas 20 plazas de trabajo mientras dura la fase de instalación y montaje. Posteriormente, para la operación de las instalaciones de generación eléctrica con gas de relleno sanitario el número de puestos de trabajo es reducido. Quienes trabajen en la planta y a sus alrededores gozarán de una calidad de vida muy cuestionable, pues seguramente enfrenten problemas relacionados a los rellenos sanitarios como ratas, moscos, olores, etc.
--------	--

Económico	<p>Este tipo de proyectos presentan varias oportunidades de ingresos económicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Venta de energía eléctrica al sistema nacional interconectado. - Calificando como proyecto MDL, se puede optar por la venta de certificados de carbono en un mercado internacional. - En el caso de existir industrias cercanas al relleno sanitario se puede pensar en la oportunidad de vender el gas recuperado transportado a través de un gasoducto (de PVC), para su uso en calderas, cocinas, calefones, calentadores, etc.
Ambiental	<p>La captación de gas de relleno sanitario para aprovechamiento energético presenta importantes beneficios en comparación a un relleno sanitario simple (que no recupera el gas) debido a que el metano contenido en este gas es 21 veces más contaminante desde el punto de vista de calentamiento global, en un horizonte de vida de 100 años.</p> <p>Si se compara esta alternativa con la quema simple del gas recuperado, también representa beneficios ambientales ya que la energía eléctrica generada está substituyendo una cantidad equivalente de energía que debería ser generada por el sistema nacional, caracterizado por un importante componente termoeléctrico basado en fuel oil y bunker que dejaría de ser consumido. Impacto visual elevado, pues permanece el relleno sanitario a la vista.</p>
Salud Pública	<p>Existe serios conflictos con la salud pública de habitantes de sectores aledanos a rellenos sanitarios. A pesar de generar energía eléctrica con el gas captado, la evidencias muestran que se mantienen los problemas con roedores, vectores, olores, mosquitos, lixiviados, etc.</p>
Potencial de mercado	
Potencial de mercado	<p>Esta es una tecnología factible de ser implementada en el país. Ya existen varios rellenos sanitarios que recolectan el gas producido y simplemente lo queman (Zámbiza, El Inga, etc.). Los problemas encontrados en Ecuador son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El gas tiene alto contenido de humedad y un valor calórico bajo que imposibilitaría económicamente la producción de electricidad. - Faltan políticas de incentivo para superar barreras de mercado y de regulación al interior del sector eléctrico ecuatoriano (MEER, CENACE y CONELEC) que permitan vender al SNI la electricidad generada.
Transferencia de tecnología	<p>Esta tecnología es ampliamente difundida por el mundo. No representa ninguna complejidad técnica. En el país existen experiencias sobre captación y quema de gas de relleno sanitario. La generación eléctrica con este gas no representa un gran paso adicional.</p>

Costos

Costos de capital	Si la profundidad media de los pozos de captación de gas es 10 m, el costo de capital del sistema de colecta varía entre 20.000 – 40.000 USD/ha, y el sistema de succión varía entre 10.000 – 45.000 USD/ha. La mayor inversión corresponde a los equipos de compresión (cerca del 43% del total de la inversión). Un valor medio de costo de capital es 1.000 - 2.300 USD/kW instalado.
Costos de operación y mantenimiento	Una media de costo O&M de la instalación de captación de gas y generación eléctrica es 7 - 8 USD/MWh producido.
Otros costos	Se debe considerar los costos por transporte, disposición de RSM en el relleno sanitario, operación, gastos administrativos, estaciones de transferencia, etc. Para rellenos más tecnificados como el de Quito, el costo de O&M del relleno es 42,5 USD/ton. Este valor variará para cada Municipio. Un valor medio de referencia es 25 USD/Ton.

Anexo III. Mapeo de Actores

Sector Residuos Sólidos y Energía

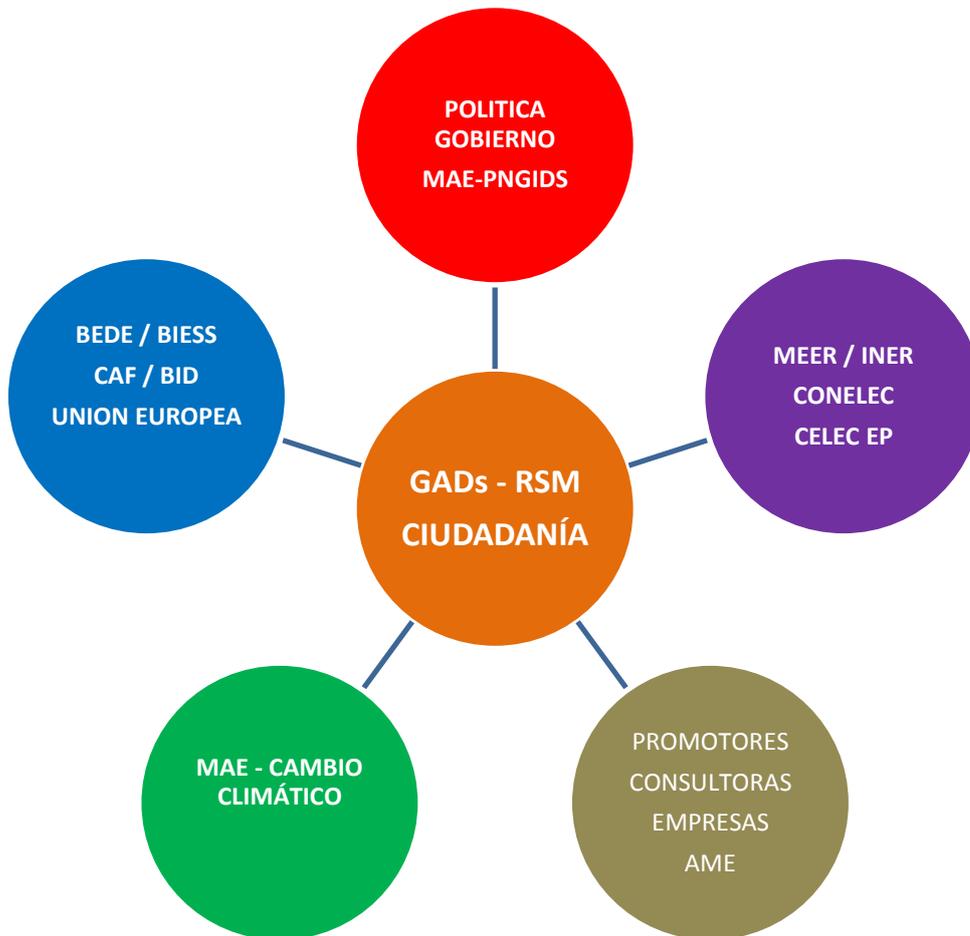


TABLA EXPLICATIVA

	ENTIDADES	EXPLICACIÓN
1.	GADs CIUDADANÍA	Municipios a cargo de la gestión de RSM, lo cual impacta a la ciudadanía. Espacio donde se plasman las decisiones de las autoridades locales y nacionales sobre residuos: impactos positivos y negativos.
2.	POLITICA GOBIERNO TRABAJO MAE- PNGIDS	Influencia directa en el enfoque, diseños e implementación de los Sistemas de Gestión Integral de RSM, promovidos por MAE-PNGIDS: conversión de botaderos en rellenos sanitarios hasta el 2017. Prevalece ampliamente sobre trabajo de MAE-Cambio Climático.
3.	MEER / INER CONELEC CELEC EP	Instituciones sector energético, con capacidad de ejecución (MEER/INER), de control (CONELEC) y competencia (CELEC EP) para desarrollar proyectos de plantas WTE.
4.	MAE – CC	Soporte ambiental tangencial (MAE-Cambio Climático) sobre gestión de RSM a cargo de MAE-PNGIDS. Actividad prácticamente inexistente sobre GADs.
5.	BEDE / BIESS CAF / BID UNION EUROPEA	Instituciones financieras locales (BEDE / BIESS) y multilaterales (CAF / BID). Institución de ayuda para desarrollo de proyectos a GADs (Delegación de la Unión Europea en el Ecuador)
6.	PROMOTORES CONSULTORAS PROVEEDORES AME	Promotores privados para el desarrollo de proyectos de plantas WTE. Consultoras privadas para el diseño tanto de rellenos sanitarios como de plantas WTE Proveedores de tecnologías WTE y empresas locales de construcción de plantas WTE Asociación de Municipalidades del Ecuador, ente que agrupa a la mayoría de municipios del país, para soporte organizacional y técnico, aunque restringido a rellenos sanitarios.

Nota:

No se mencionan Universidades, porque su actividad en el sector de energía a partir de residuos, es prácticamente inexistente.

Anexo IV. Árbol de Problemas de Sector Energía a partir de Residuos Sólidos

Anexo V. Barreras

ANEXO 5.1

Identificación, agrupación y jerarquización de barreras - MBT Chimborazo

		BARRERA	VALORES (4= decisiva; 3= importante.; 2= menos imp.; 1= insignif.)					CALIFICACIÓN
			1	2	3	4	5	
Económica y financiera	1	Costo de tecnología			3	4		25
	2	Costo de operación		3	4			18
	3	Preferencia de financiamiento solo para relleno sanitario				5	2	30
Fallas/imperfecciones en el mercado	1	Subsidio del gas		1		4		18
Políticas legales y reguladoras	1	No hay interés de las autoridades municipales			1	4	1	24
	2	No hay incentivos aprovechamiento de residuos		1	2	1	2	22
Fallas en la red organizacional	1	No hay enlace programa residuos- Chimborazo	1	2	3			14
	2	Instituciones energéticas sin ninguna ingerencia	2	2	3			15
Capacidad institucional y organizativa	1	Falta de personas capacitadas manejen regulaciones			1	2	2	21
Aptitudes humanas	1	Falta transferencia de conocimientos de la tecnología		1	1	2	2	23
Sociales, culturales y de comportamiento	1	Capacidad económica de la población	1	3	1			10
	2	Falta de conocimiento sobre la tecnología	1	2	1			8
	3	Población indígena cerrada a cambios	1	1	2			9
Información y sensibilización	1							0
Técnicos	1	Falta de clasificación de basura		2	3			13
	2	Dificultad de transporte a residuos				2	3	23

Otras	1	Diseño para número de habitantes		2	2			10
-------	---	----------------------------------	--	---	---	--	--	----

Descomposición del problema - MBT Chimborazo

	CATEGORÍA		BARRERA	ELEMENTOS DE BARRERA	DIMENSIÓN DE LOS ELEMENTOS
1	Económica y financiera	1	Costo de tecnología	Costo inversión elevado	Mayor presupuesto de gobiernos autónomos
		2	Costo de operación	No existe partida presupuestaria	Elaborar partida presupuestaria
		3	Preferencia de financiamiento solo para relleno sanitario	Desconocimiento de otras tecnologías y costos de inversión inicial elevados	Generar planes de socialización y generar plan de gestión económico para realizar esta tecnología
2	Fallas/ imperfecciones en el mercado	1	Subsidio del gas	No permite competir en el mercado	Trasladar parte del subsidio a la generación de biogás
3	Políticas legales y reguladoras	1	No hay interés de las autoridades municipales	Desconocimiento de los beneficios	Plan de socialización
		2	No hay incentivos aprovechamiento de residuos	Desconocimiento y falta de enfoque económico	Generar políticas de incentivo de aprovechamiento de residuos
4	Fallas en la red	1	No hay enlace programa residuos- chimborazo	Falta de liderazgo	Planes que busquen proyectos y política a nivel de gobiernos autónomos
		2	Instituciones energéticas sin ninguna ingerencia	Falta de capacitación interna	Generación de proyectos de beneficio mutuo
5	Capacidad institucional y organizativa	1	Falta de personas capacitadas manejen regulaciones	Selección adecuada de personal	Apoyo a carreras relacionadas a este tema con enfoque de la realidad nacional
6	Aptitudes humanas	1	Falta transferencia de conocimientos de la tecnología	Falta de apoyo a la investigación	Falta de financiamiento para proyectos de investigación
7	Sociales, culturales y de comportamiento	1	Capacidad económica de la población	Ingresos bajo la canasta básica	Fomento de inversión privada
		2	Falta de conocimiento sobre la tecnología	Falta de divulgación de las tecnologías	Plan de socialización
		3	Población indígena cerrada a cambios	Falta de comunicación	Plan de socialización
8	Información y sensibilización	1		0	
9	Técnicos	1	Falta de clasificación de basura	Falta de ordenanzas municipales	Socialización de la ordenanza y socialización a la población

10	Otras	2	Dificultad de transporte a residuos	Falta presupuesto destinado a esta actividad	Decisión política de alcaldía para creación de partida presupuestaria
		1	Diseño para número de habitantes	Factibilidad económica	Conocimiento de la viabilidad y rentabilidad de la implementación de la tecnología según el volumen de residuos en base al número de habitantes, fomentar la creación de mancomunidades.

ANEXO 5.2

Identificación, agrupación y jerarquización de barreras MBT STO. DOMINGO

	BARRERA	VALORES (4= decisiva; 3= importante.; 2= menos imp.; 1= insignif.)					CALIFICACIÓN	
		1	2	3	4	5		
Económica y financiera	1	Las inversiones en tecnologías generalmente superan la capacidad de endeudamiento de los municipios				1		4
	2	La basura no es conceptualizada como un medio de ingreso económico (se piensa en la basura como un gasto y no inversión)			1			3
Fallas/imperfecciones en el mercado	1	No existe una industria estable o mercado para los subproductos de la tecnologías MBT (abonos y biogás)				1		4
Políticas legales y reguladoras	1	No existe un linamiento o directriz en los municipios que especifique el % de inversión en RSM				1		4
	2	Falta de conocimiento de marcos regulatorios para la comercialización de la electricidad proveniente del biogás			1			3
	3	No existen incentivos o penalización en lo referente a clasificación y disposición de RSM			1			3
	4	Decisión política para vincular la innovación tecnológica (desarrollo y transferencia) de los RSM				1		4

Fallas en la red organizacional	1	Falta de coordinación interinstitucional para promover la tecnología de RSM				1		4
Capacidad institucional y organizativa	1	No existe institucionalidad (unidad) para el manejo exclusivo de RSM				1		4
Aptitudes humanas	1							0
Sociales, culturales y de comportamiento	1	No tolerancia de la comunidad respecto a la ubicación de una planta de tratamiento de la basura		1				2
	2	Desconocimiento de la comunidad a nuevas tecnologías		1				2
	3	Grupos que se benefician económicamente de la disposición actual de la basura		1				2
	4	La ubicación de los RSM provoca una devaluación económica de los predios		1				2
	5	No existe cultura de clasificación de la basura				1		4
Información y sensibilización	1	No hay conocimiento de los municipios de una línea base (técnicas) para adoptar una tecnología			1			3
	2	Falta de información y sensibilización de los municipios o GADs sobre el tratamiento de la basura			1			3
Técnicos	1	La biodigestión requiere un buen sistema de clasificación en la fuente o planta			1			3
Otras	1							0

ANEXO 5.3

Identificación, agrupación y jerarquización de barreras - Captación biogás de Relleno Sanitario - Sto. Domingo

	BARRERA	VALORES (4= decisiva; 3= importante.; 2= menos imp.; 1= insignif.)					CALIFICACIÓN	
		1	2	3	4	5		
Económica y financiera	1	Alto costo por kilovatio * hora		4				8
	2	Devaluación de la tierra a los alrededores			4			12
Fallas/imperfecciones en el mercado	1							0
Políticas legales y reguladoras	1							0
Fallas en la red organizacional	1	Falta de mecanismos para facilitar asistencia técnica de los ministerios de línea		1	3			11
Capacidad institucional y organizativa	1							0
Aptitudes humanas	1	Poco personal capacitado para las operaciones		4				8
Sociales, culturales y de comportamiento	1	Oposición por tecnología invasiva				4		16
Información y sensibilización	1							0
Técnicos	1	No saber rendimiento final, se sabe que es bajo		4				8
	2	Alto impacto ambiental			3	1		13
Otras	1	Condiciones ambientales poco favorables	4					4

ANEXO 5.4

Identificación, agrupación y jerarquización de barreras - Pellets Chimborazo

	BARRERA	VALORES (4= decisiva; 3= importante.; 2= menos imp.; 1= insignif.)					CALIFICACIÓN
		1	2	3	4	5	
Económica y financiera	1 Falta de inversión				5		20
	2 Bajo presupuesto municipal				5		20
	3 Presupuesto para estudios		5				10
	4 Costos elevados de mantenimiento					5	25
	5 Cantidad insuficiente de residuos generados				5		20
	6 Falta de presupuesto para personal técnico			5			15
	7 Resistencia de empresarios			1	4		19
Fallas/imperfecciones en el mercado	1 Falta de gestión de recursos			5			15
Políticas legales y reguladoras	1 Excesivos trámites burocráticos			5			15
	2 Falta de interés de los GAD				5		20
	3 Falta de ordenanzas para GR			5			15
Fallas en la red organizacional	1 Insuficiente difusión de información		5				10
	2 Falta de comunicación interna en los GAD		5				10
Capacidad institucional y organizativa	1 Falta de capacitación		5				10
Aptitudes	1 Falta de conocimiento de los técnicos			5			15

humanas							
Sociales, culturales y de comportamiento	1	Resistencia de organizaciones de minadores				5	20
	2	Falta de voluntad para formar mancomunidades					5
	3	Aceptación de la población por costo extra				5	20
Información y sensibilización	1	Selección inadecuada de estrategias de sensibilización			4	1	16
Técnicos	1	Emisiones generadas por incineración			5		15
Otras	1						0

Anexo VI. Lista de participantes en el Taller de Análisis de Barreras y Entorno Habilitante

INSTITUCION	NOMBRE	TELÉFONO	CORREO	TIPO	SEXO
1. C. E. N. - E. G. M.	REYES, JACQUELINE	02125122	rejes@cega.gov.ve	Profesora	F
2. GPS - G. M. S.	CASTRO, CAROLINA	02125122	carolinas@cega.gov.ve	Profesora	F
3. G. M. S.	Alfonso, J. A.	02125122	alfonso@cega.gov.ve	Profesora	M
4. Universidad Francisco de Miranda de Guayana	Alfonso, Jorge	2711908	alfonso@unfmir.edu.ve	Profesora	M
5. MAC - Chimborazo	Fernanda, Rosendo	04122211189	fernanda@mac.gov.ve	Profesora	F
6. MAC - Chuquisaca	J. Carlos, Agustín G.	041222211	carlos@mac.gov.ve	Profesora	M
7. J. G. S.	Carolina, Hilda	041213374	carolina@jgs.gov.ve	Profesora	F
8. H. A. E. - Santa Petronila	Trinidad, Hilda	02125122	trinidad@hae.gov.ve	Profesora	F
9. H. A. E. - Guayana	Carolina, Jacinta	02125122	carolina@hae.gov.ve	Profesora	F
10. QUARE	Carolina, Jacinta	02125122	carolina@quare.gov.ve	Profesora	F
11. H. A. E. - M. T. G. M. S. U. G. U.	Carolina, Jacinta	02125122	carolina@hae.gov.ve	Profesora	F
12. SEVRECHIT	Wendy, Sandy	02125122	wendy@sevrechit.gov.ve	Profesora	F
13. H. E. G.	Sandra, Hilda	02125122	sandra@heg.gov.ve	Profesora	F
14. H. E. G.	Carolina, Hilda	02125122	carolina@heg.gov.ve	Profesora	F
15. H. E. G.	Carolina, Hilda	02125122	carolina@heg.gov.ve	Profesora	F
16. C. A. D. N. - Guayana	Carolina, Hilda	02125122	carolina@cadn.gov.ve	Profesora	F
17. Consejo 15/14	Carolina, Hilda	02125122	carolina@consejo1514.gov.ve	Profesora	F
18.					
19.					
20.					
21.					
22.					
23.					
24.					
25.					

Anexo VII. Presupuesto estimado para implementación del programa de gestión y aprovechamiento total de residuos sólidos municipales

ACTIVIDADES	CANT	MONTO	MESES	TOTAL
Estructuración UCB				
Coordinador	1	3500	48	168000
Líderes plantas WTE	3	2500	48	120000
Economista	1	2000	48	96000
Abogado	1	2000	48	96000
Secretaría	1	800	48	38400
ARIENDO	1	2500	48	120000
SERVICIOS OFICINA	1	500	48	24000
MUEBLES OFICINA	1	15000		15000
EQUIPO OFICINA	1	25000		25000
MOVILIZACION	4	400	24	38400
EVENTOS	1	1000	24	24000
MARKETING Y COMUN.	1	10000	48	480000
ELAB NORMA WTE	1	40000		40000
INSTRUCTOR WTE	2	6000	4	48000
CURSO WTE	2	5000	2	20000
DISEÑO PLANTA MBT	1	150000		150000
DISEÑO PLANTA PELL	1	130000		130000
CONSTRUCC MBT	1	5000000		5000000
CONSTRUCC PELL	1	4000000		4000000
OPERACIÓN MBT	1	40000	12	480000
OPERACIÓN PELL	1	25000	12	300000
MONITOREO MBT	1	45000		45000
MONITOREO PELL	1	45000		45000
DISEÑO PLANTA MBT	1	350000		350000
DISEÑO PLANTA PELL	1	250000		250000
CONSTRUC MBT	1	15000000		15000000
CONSTRUC PELL	1	10000000		10000000
GASTOS VARIOS	1	150000		150000
TOTAL USD		70%	25.971.960	37.102.800
		30%	11.130.840	

