

San José

Costa Rica

Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles

Estudios de Cambio Climático y Desarrollo Urbano

Módulo 1 | Análisis de escenarios de gestión de residuos sólidos urbanos



Autor del Documento:

Factor CO₂ (2015)

Colón de Larreátegui, 26, 48009 Bilbao, Vizcaya (España)

www.factorco2.com

Este documento de trabajo se inscribe en el marco de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este documento puede ser reproducida sin el permiso del BID.

San José

Costa Rica

Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles

Estudios de Cambio Climático y Desarrollo Urbano
Módulo 1 | Análisis de escenarios de gestión de residuos sólidos urbanos

Preparado para:

Banco Interamericano de Desarrollo
Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles
1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577, USA

Preparado por:

Factor CO₂
Colón de Larreátegui, 26, 48009 Bilbao, Vizcaya (España)
Tel: +34 902 105 560
23 de octubre de 2015

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al apoyo de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles del Banco Interamericano de Desarrollo y al apoyo del Municipio de San José. Queremos en particular, extender nuestro agradecimiento al equipo de supervisión técnica del Proyecto liderado por Beatriz López. También queremos agradecer al equipo del BID por su apoyo y coordinación, en especial a Sandra López por su conocimiento sectorial.

Queremos brindarle un especial agradecimiento a la Alcaldesa de San José, Sra. Sandra García Pérez y al equipo de la Alcaldía por su cooperación, apoyo y generosidad brindado durante el transcurso del estudio. En especial queremos agradecer a: el Vice-Ministro de Planificación, Luis Fallas Calderón; el Gerente Administrativo Financiero, Edgar Sandoval Montero; el Gerente de Gestión Municipal Mario Vargas Serrano; y la Directora de Planificación Ligia Quesada Madrigal.

El estudio se ha llevado a cabo mediante un proceso interactivo de comunicación y coordinación constante. En este sentido, queremos agradecerle al Gerente de Provisión de Servicios, Marco Vinicio Corrales, quien asumió el liderazgo del proyecto y a la Coordinadora de la ICES San José, María José Callejas Capra por su ayuda, tiempo, energía y liderazgo durante este proceso, y por la coordinación realizada durante las visitas y llamadas técnicas con el equipo consultor.

Muchas personas han participado en el proceso de desarrollo de este estudio. Agradecemos especialmente la cooperación, el apoyo y la participación en nuestros talleres y llamadas de validación técnica. En especial, queremos agradecer los consejos y la guía brindada de parte de los miembros de los equipos espejos, en particular a los líderes del mismo: Delia Guevara Sánchez del Departamento de Gestión Ambiental; Emperatriz Ordeñana Ayerdis del Departamento de Servicios Ambientales, Lorena Romero Vargas de la Oficina de Gestión de Riesgo a Desastres; Vladimir Klotchkov del Departamento de Gestión Urbana; Álvaro Rivas Villatoro del Departamento de Desarrollo Económico Social y Cultural; y Patricia Zúñiga Villalobos del Observatorio Municipal.

Adicionalmente, queremos agradecer al equipo profesional por el apoyo técnico ofrecido por: Jonathan Arias Garro, Gabriela Rodríguez Vílchez, Vanesa Acosta Solorzano y Luis Fernando Fonseca.

Un agradecimiento adicional a todas las Instituciones Públicas y organizaciones que nos abrieron la puerta y nos permitieron trabajar de la mano con ellos. En especial agradecemos a todo el personal de la Municipalidad de San José por el apoyo logístico y técnico brindado durante el desarrollo del proyecto y que han hecho posible la implementación de la Iniciativa ICES en la ciudad.

Descripción de la compañía

Factor CO₂ es una compañía que presta servicios en materia de cambio climático, con una filosofía común. Cuando comenzó su andadura, en el año 2004, era una empresa especializada en políticas de cambio climático y en el comercio europeo de derechos de emisión. Hoy, después de más de 1.000 proyectos, con más 400 clientes, en 35 países, es una iniciativa global que aporta ideas y servicios frente al cambio climático desde muy distintas perspectivas, a través de su red internacional de oficinas.

Equipo de trabajo

En el desarrollo de este informa han participado las siguientes personas del equipo de Factor CO₂:

Kepa Solaun, Socio y Director General.

Itxaso Gómez, Socia y Directora de la División de Consultoría.

Hugo Lucas, Director del Departamento de Energía.

Fernando Liaño, Responsable de proyecto.

Dra. María Jesús Muñoz, Responsable de proyecto.

Julie Urban, Consultora senior.

Alba Genovés, Consultora.

Juan Carlos Gómez, Consultor.

Luis Galiana, Consultor.

Contenidos

Resumen ejecutivo	16
Capítulo 1. Marco de estudio.....	20
1.1. La Iniciativa ICES	20
1.1.1. Los tres estudios base	20
1.1.2. Una visión holística e integral	20
COMPONENTE 1. ANÁLISIS DE EMISIONES DE GEI	20
COMPONENTE 2. ANÁLISIS DE RIESGO DE DESASTRES Y VULNERABILIDAD A LOS IMPACTOS NEGATIVOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	21
COMPONENTE 3. ANÁLISIS DE LA HUELLA URBANA	21
LA INTEGRACIÓN DE LAS TRES COMPONENTES	21
1.2. Definición del área de estudio	21
Capítulo 2. Diagnóstico	23
2.1. Inventario de emisiones de GEI.....	23
2.2. Caracterización de RSU del Cantón San José	24
2.3. Análisis FODA	25
MATRIZ FODA DE FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS	27
Capítulo 3. Análisis de escenarios	29
3.1. Escenario 1. Tendencial.....	29
ANÁLISIS AMBIENTAL	30
ANÁLISIS ECONÓMICO	32
ANÁLISIS SOCIAL	33
3.2. Escenario 2. Educación y reciclaje	34
ANÁLISIS AMBIENTAL	34
ANÁLISIS ECONÓMICO	36
ANÁLISIS SOCIAL	38
3.3. Escenario 3. Compostaje	38
ANÁLISIS AMBIENTAL	38
ANÁLISIS ECONÓMICO	40
ANÁLISIS SOCIAL	42
3.4. Escenario 4. Biometanización	43
ANÁLISIS AMBIENTAL	43
ANÁLISIS ECONÓMICO	43
ANÁLISIS SOCIAL	45
3.5. Escenario 5. Co-incineración	45
ANÁLISIS AMBIENTAL	45

ANÁLISIS ECONÓMICO.....	47
ANÁLISIS SOCIAL.....	49
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones	50
NIVEL MACRO O NACIONAL:.....	55
NIVEL MICRO O LOCAL:.....	56
Referencias.....	58
Anexo 1. Marco de planificación.....	61
1.1. Nivel nacional	61
PLANIFICACIÓN ESPECÍFICA DE CAMBIO CLIMÁTICO	61
PLANIFICACIÓN TRANSVERSAL	62
PLANIFICACIÓN SECTORIAL DE RESIDUOS	63
1.2. Nivel de la municipalidad de San José	65
PLANIFICACIÓN TRANSVERSAL	65
PLANIFICACIÓN SECTORIAL DE RESIDUOS	66
1.3. Capacidades institucionales	67
Anexo 2. Proceso de definición de escenarios de gestión de RSU	71
2.1. Recogida de información	71
2.1.1. Entrevistas	71
2.1.2. Conclusiones	73
2.2. Escenarios posibles para el tratamiento de los RSU	75
Anexo 3. Aspectos metodológicos del análisis de escenarios.....	77
3.1. Aspectos ambientales.....	77
3.2. Aspectos económicos.....	77
3.3. Aspectos sociales.....	78
Anexo 4. Información sobre los escenarios.....	79
4.1. Escenario 1. Tendencial.....	79
4.2. Escenario 2. Educación y reciclaje	81
ANÁLISIS AMBIENTAL.....	87
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	88
4.3. Escenario 3. Compostaje.....	89
ANÁLISIS AMBIENTAL.....	92
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	93
4.4. Escenario 4. Biometanización	95
ANÁLISIS AMBIENTAL.....	98
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	99
4.5. Escenario 5. Co-incineración	99
ANÁLISIS AMBIENTAL.....	103
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	104

Anexo 5. Criterios técnicos mínimos de viabilidad de cada escenario	106
Anexo 6. Análisis multicriterio	110
6.1. Aspectos metodológicos	110
6.1.1. Criterios de evaluación y desempeño de los escenarios	110
6.1.2. Ponderación de criterios	112
6.1.3. Resultados ponderados	112
6.2. Contraste de escenarios.....	113
Anexo 7. Modelos de gestión de RSU y experiencias destacadas	114
7.1. Modelos de gestión de RSU existentes	114
7.1.1. Manejo directo	115
7.1.2. Manejo indirecto mediante participación del sector privado.....	117
7.1.3. Pequeñas empresas, microempresas y cooperativas	118
7.2. Experiencias destacadas	120

Lista de figuras.

Figura 1. Integración de los componentes del estudio previo de desarrollo urbano y cambio climático. Elaboración propia a partir de BID (2015).	21
Figura 2. Delimitación del área del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).	22
Figura 3. Distritos del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).	22
Figura 4. Evolución poblacional de los distritos del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).	23
Figura 5. Línea base de las emisiones en el GAM para el año 2010 obtenida para el proyecto FIRM. Fuente: (Araya, Salas, Campos, & Mendez, 2014).	23
Figura 6. Disposición de RSU en el distrito central de San José. Fuente: Autores.	29
Figura 7. Imágenes del relleno sanitario La Carpio y la antorcha de quema de biogás del sitio. Fuente: Autores.	30
Figura 8. Imágenes del Centro de Recogida y Reciclaje de Hatillo. Fuente: Autores.	30
Figura 9. Evolución de las emisiones de metano en el escenario tendencial (1991-2045). Fuente: Autores.	31
Figura 10. Efecto de la recuperación de biogás sobre las emisiones del relleno sanitario. Fuente: Autores.	31
Figura 11. Estimación de la evolución de la generación de residuos esperada en el escenario 2 y el escenario tendencial. Fuente: Autores.	34
Figura 12. Efecto total acumulado de la reducción de GEI en el escenario 2. Fuente: Autores.	35
Figura 13. Balance económico total acumulado del escenario 2. Fuente: Autores.	36
Figura 14. Costo-eficiencia global del escenario 2. Fuente: Autores.	37
Figura 15. Efecto total acumulado de la reducción de GEI en el escenario 2. Fuente: Autores.	39
Figura 16. Balance económico total acumulado del escenario 3. Fuente: Autores	40
Figura 17. Costo-eficiencia global del escenario 3. Fuente: Autores	41
Figura 18. Balance económico total acumulado del escenario 4. Fuente: Autores	44
Figura 19. Costo-eficiencia global del escenario 4. Fuente: Autores	44
Figura 20. Eficiencia y costo del Escenario 2. Educación y reciclaje. Fuente: Autores.	51
Figura 21. Eficiencia y costo del Escenario 3. Compostaje. Fuente: Autores.	51
Figura 22. Eficiencia y costo del Escenario 4. Biometanización. Fuente: Autores.	52
Figura 23. Eficiencia y costo del Escenario 2+5. Educación y reciclaje más co-incineración. Fuente: Autores	53
Figura 24. Eficiencia y costo del Escenario 3+5. Compostaje más co-incineración Fuente: Autores	54
Figura 25. Eficiencia y costo del Escenario 4+5. Biometanización más co-incineración Fuente: Autores.	54
Figura 26. Diagrama del ciclo de tratamiento de los RSU propuesto para el Cantón de San José. Fuente: Autores.	55
Figura 27. Línea de tiempo de la planificación nacional de cambio climático en Costa Rica. Elaboración propia.	63
Figura 28. La jerarquía en la GIRS (Programa CYMA, 2009).	64
Figura 29. Equipo responsable del diseño del PMGIRS de San José.	66
Figura 30. Línea de tiempo de la Planificación para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para el Cantón central de San José. Autores.	67
Figura 31. Localización de los rellenos sanitarios. Fuente: Google Maps.	68
Figura 32. Organigrama de organización del Departamento de Servicios Ambientales. Fuente: Web MSJ.	68
Figura 33. Ingresos anuales municipales por el servicio de recolección de basuras y aseo de vías. Fuente: Estados Financieros y Presupuestarios de la MSJ.	69
Figura 34. Evolución de la tasa de vertido en relleno sanitario en países europeos y en USA. Fuente: EUROSTAT y OECD.	79
Figura 35. Evolución de la población y la tasa de generación de residuos. Fuente: Autores.	81
Figura 36. Evolución de la tasa de generación de residuos por habitante en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, EPA.	82
Figura 37. Ejemplo de campañas de comunicación y educación ciudadana impulsadas en otros países. Fuente: Recuperado, portal web ECOEMBES.	84
Figura 38. Ejemplos de materiales repartidos a la ciudadanía para promocionar la separación en origen. Fuente: Varias.	84
Figura 39. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: Modificado de ECOEMBES (www.ecoembes.com)	86
Figura 40. Parque ambiental y tecnológico del Caribe (Colombia). Fuente: TECNIAMSA.	86

Figura 41. Evolución de la tasa de reciclaje en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.....	87
Figura 42. Procesos en una planta de compostaje industrial. Fuente: Cogersa.....	91
Figura 43. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: Modificado de ECOEMBES.....	92
Figura 44. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de biometanización. Fuente: Planta de biometanización de Las Dehesas, España.	96
Figura 45. Evolución de la tasa de compostaje y biometanización en países europeos (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.	97
Figura 46. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: ECOEMBES.....	98
Figura 47. Esquema de incineración en horno de parrilla. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España. .	101
Figura 48. Esquema de incineración en horno rotatorio. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España. ...	101
Figura 49. Esquema de incineración en horno de lecho fluidizado. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España.	101
Figura 50. Evolución de la tasa de incineración en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.	102
Figura 51. Ejemplos de residuos para co-incineración industria. (Grech, 2010).....	102
Figura 52. Ejemplos de cánones de procesos en diversos países de Europa (Comisión Europea, 2011).....	105
Figura 53. Método del Triángulo de Tanner para evaluar la combustibilidad de los RSU (IBRD & World Bank, 1999).	109
Figura 54. Preferencia relativa de la opción. Fuente: Elaboración propia.	111
Figura 55. Gráfico de araña representando las puntuaciones de cada escenario en cada criterio de evaluación. Fuente: Autores.	111
Figura 56. Puntuación acumulada ponderada de cada escenario bajo evaluación y orden de importancia en base a la misma. Fuente: Autores.	113
Figura 57. Corrientes y flujos de residuos y su modalidad de gestión en Porto Alegre (AIDIS & IDRC, 2006).	120
Figura 58. Relación de actores implicados en el modelo de Ciudad Sostenible (Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano, 2014).	121

Lista de tablas.

Tabla 1. Distritos incluidos en el área de estudio (Cantón de San José). (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).....	22
Tabla 2. Resumen de cuantificación costo-beneficio para las medidas del sector RSU del proyecto FIRM. Supuestos técnicos y resultados económicos. Fuente: (Araya, Salas, Campos, & Mendez, 2014).	24
Tabla 3. Resultados del estudio de caracterización realizado para el Cantón San José (MSJ, 2014).	25
Tabla 4. Matriz FODA de la GIR en el Cantón de San José. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 5. Aspectos ambientales considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	32
Tabla 6. Aspectos económicos considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	33
Tabla 7. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	34
Tabla 8. Resultados del escenario 2 en términos de GEI. Fuente: Autores.....	35
Tabla 9. Aspectos ambientales considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	36
Tabla 10. Análisis costo-beneficio del escenario 2. Fuente: Autores.	36
Tabla 11. Análisis costo-eficiencia del escenario 2. Fuente: Autores.....	36
Tabla 12. Análisis costo-eficiencia del escenario 2. Fuente: Autores.....	37
Tabla 13. Aspectos económicos considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	38
Tabla 14. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	38
Tabla 15. Resultados del escenario 3 en términos de GEI. Fuente: Autores.....	39
Tabla 16. Aspectos ambientales considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	40
Tabla 17. Análisis costo-beneficio del escenario 3. Fuente: Autores.	40
Tabla 18. Análisis costo-eficiencia del escenario 3. Fuente: Autores.....	41
Tabla 19. Análisis costo-beneficio del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.....	41
Tabla 20. Análisis costo-eficiencia del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.	42
Tabla 21. Análisis costo-beneficio del escenario 3 para un valor de compost de 125 USD/tn. Fuente: Autores.....	42
Tabla 22. Análisis costo-eficiencia del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.	42
Tabla 23. Aspectos económicos considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.	42

Tabla 24. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	43
Tabla 25. Aspectos ambientales considerados en el escenario 4. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	43
Tabla 26. Análisis costo-beneficio del escenario 4. Fuente: Autores.....	44
Tabla 27. Análisis costo-eficiencia del escenario 4. Fuente: Autores.....	44
Tabla 28. Aspectos económicos considerados en el escenario 4. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	45
Tabla 29. Resultados del escenario 5 en términos de GEI. Fuente: Autores.....	45
Tabla 30. Aspectos ambientales considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	47
Tabla 31. Análisis costo-beneficio del escenario 5. Fuente: Autores.....	47
Tabla 32. Análisis costo-eficiencia del escenario 5. Fuente: Autores.....	48
Tabla 33. Aspectos económicos considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	49
Tabla 34. Aspectos sociales considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.....	49
Tabla 35. Tasas y tarifas por servicios ambientales municipales. Fuente: elaboración propia a partir de Diario Oficial La Gaceta N. 233 (2013), N° 18 (2014) y N° 120 (2012).....	70
Tabla 36. Entrevistas durante el proceso de recogida de información. Elaboración propia.....	73
Tabla 37. Escenarios de gestión de RSU. Elaboración propia.....	76
Tabla 38. Potenciales de calentamiento global de los principales gases de efecto invernadero. Fuente: (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanabe, 2006).....	77
Tabla 39. Hipótesis asumidas en el análisis ambiental del escenario tendencial. Fuente: Autores.....	80
Tabla 40. Variables consideradas en la definición del escenario 2. Fuente: Autores y EBI.....	87
Tabla 41. Hipótesis económicas del escenario 2. Fuente: Autores.....	88
Tabla 42. Variables consideradas en la definición del escenario 3. Fuente: Autores y EBI.....	93
Tabla 43. Hipótesis económicas del escenario 3. Fuente: Autores.....	93
Tabla 44. Variables consideradas en la definición del escenario 4. Fuente: Autores y otros.....	98
Tabla 45. Hipótesis económicas del escenario 2. Fuente: Autores.....	99
Tabla 46. Residuos susceptibles de ser usados para la combustión en la industria cementera (Central Pollution Control Board Bhopal, 2011).....	103
Tabla 47. Variables consideradas en la definición del escenario 5. Fuente: Autores y otros.....	104
Tabla 48. Hipótesis económicas del escenario 5. Fuente: Autores.....	105
Tabla 49. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad del compostaje como alternativa. Fuente: Varios autores.....	106
Tabla 50. Criterios mínimos para comercializar el compost. Fuente: Varios autores.....	107
Tabla 51. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad de la biometanización como alternativa. Fuente: Varios autores.....	108
Tabla 52. Criterios mínimos para comercializar el biogás (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).....	108
Tabla 53. Análisis químico promedio para el compost y el digestato resultante. Fuente: (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).....	108
Tabla 54. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad del compostaje como alternativa (IBRD & World Bank, 1999).....	109
Tabla 55. Puntuación de escenarios en cada criterio de análisis. Fuente: Autores.....	111
Tabla 56. Criterios de asignación de importancias relativas en la valoración binomial de criterios (Saaty, 1980).....	112
Tabla 57. Resultado de la ponderación binomial de criterios en el análisis MCA de las opciones de gestión de RSU. Fuente: Autores.....	112
Tabla 58. Resultado final del análisis multicriterio. Fuente: Autores.....	113
Tabla 59. Modelos de prestación de servicios de gestión de residuos sólidos y sus características asociadas (OPS, 2005).....	115

Lista de ecuaciones.

Ecuación 1. Costo-eficiencia de una acción.....	78
Ecuación 2. Valor actual neto de una inversión.....	78
Ecuación 3. Puntaje global de las opciones.....	112

Acrónimos

ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
C40	Grupo de Liderazgo Climático
CBA	Análisis costo-beneficio
CDM	Mecanismo de Desarrollo Limpio
CEA	Análisis costo-eficiencia
CICR	Cámara de Industria de Costa Rica
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
CNPU	Consejo Nacional de Planificación Urbana
Conclima	Comisión Nacional de Cambio Climático
COVMD	Compuestos Orgánicos Volátiles
CYMA	Programa de Competitividad y Medio Ambiente
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas frente al Cambio Climático
DANIDA	Agencia Danesa de Desarrollo Internacional
DCC	Dirección de Cambio Climático
DGA	Departamento de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San José
DIGECA	Dirección de Gestión de la Calidad Ambiental
DSA	Departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de San José
ECN	Red Europea del Compost
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FEMETROM	Federación Metropolitana de Municipalidades
FIRM	Facilitando la Implementación y Preparación para la Mitigación
FODA	Fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas
GAM	Gran área metropolitana
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Agencia de Cooperación Técnica Alemana
GIRS	Gestión integral de residuos sólidos urbanos
GWP	Potencial de Calentamiento Global
ICE	Instituto Costarricense de la Electricidad
ICES	Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles
IFAM	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
IPN	Iniciativa Paz con la Naturaleza
IPPU	Procesos industriales y uso de productos
LAC	América Latina y el Caribe
MAG	Ministerio de Agricultura
MBT	Procesamiento mecánico-biológico
MCA	Análisis multicriterio
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos
MRV	Monitoreo, reporte y verificación
MSJ	Municipalidad de San José
PCI	Poder calorífico inferior
PMGIRS	Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PRESOL	Plan de Residuos Sólidos de Costa Rica
PRUGAM	Plan Regional Urbano de la GAM
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales

RSU	Residuos Sólido Urbanos
SDDR	Sistema de Depósito, devolución y retorno de envases
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TdR	Términos de referencia
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UGA	Unidad de Gestión Ambiental

Resumen ejecutivo

La iniciativa ICES

La Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), impulsada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), busca apoyar la mejora de la calidad de vida en las ciudades intermedias de América Latina y el Caribe (LAC) en el proceso de urbanización acelerada que éstas experimentan, de manera que se desarrollen de una forma sostenible. Dicho proyecto fue ideado para facilitar a las ciudades la formulación de planes de acción específicos para su crecimiento y desarrollo a corto, mediano y largo plazo, con una visión integral en tres dimensiones: (1) ambiental y de cambio climático, (2) urbano y (3) fiscal y de gobernabilidad. Entre las 55 ciudades que forman parte de la iniciativa se encuentra la ciudad de San José.

La técnica propuesta por ICES plantea cinco fases metodológicas, junto con una fase previa de preparación y una última fase de inversión, que se corresponde con la ejecución de la planificación diseñada. El presente trabajo se incluye en la *fase 1. Análisis y diagnóstico: identificación de problemas*, dentro de la cual se plantean tres estudios base diferenciados denominados componentes:

- Componente 1 (C1). Análisis de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Componente 2 (C2). Análisis de riesgo de desastres y vulnerabilidad a los impactos negativos del cambio climático.
- Componente 3 (C3). Análisis de la huella urbana. Tanto histórica como proyectada.

Este informe se centra en el C1 para el municipio de San José, en Costa Rica. Sin embargo, en el caso de San José, el municipio ya contaba con un estudio similar al previsto en el C1, denominado “Proyecto FIRM Estrategia de Desarrollo de Bajo Impacto GAM – Costa Rica”. Derivado de este estudio, se identificaba el sector de los residuos sólidos urbanos (RSU) como una de las áreas principales para la mitigación del cambio climático. Teniendo en cuenta esto, así como las competencias municipales en este sector y el interés especial del municipio en analizar en mayor detalle las opciones de mitigación en el mismo, desde la Municipalidad de San José (MSJ) y, desde el propio BID, se consideró adecuada la reorientación del alcance del C1 hacia un análisis más práctico, centrado en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU).

Objeto del informe

El objetivo del estudio ha sido, por lo tanto, apoyar en la toma de decisión sobre la alternativa de gestión de RSU más adecuada a la realidad de la MSJ. Para ello, se han llevado a cabo las siguientes fases:

1. Estudio de diferentes escenarios de gestión de RSU posibles para el Cantón de San José y sus implicaciones en términos ambientales (específicamente de reducción de GEI, aunque se valoran también otros impactos ambientales asociados), sociales y económicos.
2. Análisis de las barreras a la gestión de los residuos.
3. Recomendaciones específicas para la mejora de la gestión de los RSU, teniendo presentes los resultados de los análisis previos.
4. Planteamiento de un programa de acción que pueda servir como base a la MSJ para implementar la gestión integral de los RSU en el Cantón de San José.

Análisis de escenarios de gestión de RSU

Se ha llevado a cabo la definición y análisis de cinco escenarios de gestión de RSU en el Cantón de San José. Dicho análisis se ha realizado desde una triple visión: ambiental, económica y social; con un horizonte temporal hasta 2045 (es decir, 30 años).

Escenario 1. Tendencial:

En este escenario la situación actual de gestión de los residuos se mantiene en el tiempo, manteniendo los niveles de crecimiento en la generación de residuos por habitante, así como los niveles de recogida selectiva y reciclaje actuales, en torno al 1%. La disposición final del resto de residuos recogidos se sigue realizando en el relleno sanitario, con recuperación y quema del biogás generado.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que en la actualidad (año 2015) las emisiones de GEI se sitúan en torno a las 6.400 tCH₄, es decir, algo más de 134.000 t CO₂e. De continuar con la tendencia actual, las emisiones podrían llegar a alcanzar 14.000 t CH₄, casi 300.000 t CO₂e, para el final del periodo analizado, es decir, el año 2045. Ello es debido tanto al crecimiento previsto de la población, como al crecimiento previsto de la tasa de generación en ausencia de políticas adicionales para frenarlo.

Además de la contribución al cambio climático, existen otros aspectos ambientales que es necesario considerar, como son la emisión de otros gases a la atmósfera, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas o la ocupación del suelo, entre otros. La principal desventaja de este sistema de gestión se presenta cuando no se pasa previamente por las anteriores etapas de la jerarquía de gestión de residuos. Es decir, cuando no se realiza una recuperación y tratamiento previo del material valorizable.

Desde el punto de vista económico, en este escenario se mantienen los costos actuales de la recogida y gestión de los RSU. El producto energético producido en los rellenos sanitarios, no está siendo empleado con fines energéticos. Por otra parte, debido a que la tasa de reciclaje es baja, en este escenario no se reciben beneficios económicos significativos derivados de la venta de productos valorizables (por lo que tampoco aporta beneficios sociales a la población).

Desde el punto de vista social, los rellenos sanitarios conllevan oposición, en especial originada desde las comunidades que se encuentran más próximas a su emplazamiento, potencialmente más afectadas. Por otra parte, la disposición actual en bolsas de los residuos en la calzada puede provocar malos olores, mayor suciedad y contaminación en los centros urbanos.

Escenario 2. Educación y reciclaje

Sobre el escenario tendencial, se ha construido un escenario en el que se realiza un mayor esfuerzo político por la educación para la prevención, la separación en origen, posterior recogida selectiva y el reciclaje de los materiales valorizables. Como resultado, la generación de RSU disminuye y la cantidad que llega al tratamiento final se ve reducida. Se mantiene como tratamiento final el relleno sanitario, en las mismas condiciones que en el escenario tendencial.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que en el Escenario 2 se podrían alcanzar reducciones en las emisiones de GEI cercanas a las 190.000 t CO₂e en el periodo de 30 años analizado. Ello supondría una reducción anual media de en torno a las 6.300 t CO₂e. Esta reducción se produciría, tanto por la menor generación de residuos de este escenario, como por la menor disposición de RSU en el relleno sanitario, gracias al aumento del reciclaje de los materiales valorizables.

El análisis de otros aspectos ambientales revela que este segundo escenario aportaría una disminución en la demanda de materias primas, así como una menor necesidad de recursos naturales, ya que la separación, reuso y reciclaje permiten la reincorporación en los ciclos productos de materiales que antes tenían el estatus de residuo.

El análisis económico, apunta a que la inversión necesaria en el total del periodo superaría los 112 millones de dólares, pero se obtendrían unos beneficios que superarían los 136 millones de dólares, derivados tanto de los ingresos por la venta de materiales, como del ahorro por la menor disposición en el relleno sanitario. El valor actual neto de la inversión sería, por lo tanto, de algo más de -16 millones de dólares. El coste-eficiencia del escenario sería de -\$87,03 USD/t CO₂e, lo que supondría beneficio económico por tonelada reducida.

Desde el aspecto social, este escenario supone un aumento de la generación de empleo verde asociado a la gestión de los RSU. Con el impulso de esta vía de gestión podrían generar empleo en torno a la educación y formación ambiental, actividades de ecodiseño e I+D+i, y sobre todo en la propia recuperación, gestión y valorización de los residuos.

Escenario 3. Compostaje

Sobre las hipótesis asumidas en el escenario 2, se incluye el compostaje como tratamiento de la materia orgánica contenida en los RSU y previamente separada de forma selectiva.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que, con este escenario se alcanzarían reducciones al final del periodo que superarían las 400.000 t CO₂e, 13.300 t CO₂e al año aproximadamente. Esta reducción sería adicional a la estimada para el Escenario 2, añadiéndole el efecto del compostaje de la materia orgánica.

En relación a otros impactos ambientales, la valorización de la materia orgánica y la aplicación al suelo del producto resultante (compost) mejora las propiedades físicas y químicas de éste, de forma que el suelo es más fértil y quedando éste protegido de los procesos erosivos. Por otro lado, su separación de la corriente de residuos que va a la disposición final en los rellenos sanitarios incrementaría la vida útil de los mismos y se reduciría el riesgo asociado a los lixiviados.

El análisis económico del escenario, apunta a inversiones que rondarían los 20 millones de dólares en todo el periodo, obteniendo unos ahorros de casi 8 millones por la menor cantidad de residuo vertida en el relleno sanitario. El valor actual neto de la inversión sería, por tanto, de casi 3 millones de dólares. El costo-eficiencia de este escenario revela que, aunque el costo por tCO₂e reducida comenzaría en torno a los 23 USD los primeros años, en el conjunto del periodo se quedaría en torno a los 7 USD.

Los principales aspectos sociales de este escenario radican en mejoras a la salud, por la menor disposición de materia orgánica en los rellenos sanitarios. Adicionalmente, el tratamiento de la

materia orgánica, puede generar puestos de empleo, si se realiza de forma generalizada.

Escenario 4. Biometanización

El escenario 4 se plantea como un escenario alternativo al 3. Es decir, sobre el escenario 2 se incluye la biometanización como tratamiento de la materia orgánica contenida en los RSU y previamente separada de forma selectiva, en lugar del compostaje

Los resultados en términos de GEI apuntan a que en el escenario 4 sería similares a los reportados en el escenario 3, con alguna pequeña variación, debida a la generación eléctrica renovable generada en este escenario, pero mínima en cualquier caso. Los aspectos ambientales que se relacionan con la biometanización de la materia orgánica son, igualmente, muy similares a aquellos correspondientes al compostaje.

La inversión en el periodo podría alcanzar los 37 millones de dólares, obteniendo unos beneficios que podrían rondar los 10,5 millones de dólares. El valor actual neto de la inversión sería, por lo tanto, de algo más de 6 millones de dólares. El costo-eficiencia apunta a valores elevados, de casi 50 dólares por tonelada reducida al comienzo del periodo y reduciéndose hasta los USD 15,6 por tonelada al final del periodo.

Los aspectos sociales de este escenario son muy similares a los valorados en el escenario anterior, por contra sí se estima que se requiere que la mano de obra generada sea más cualificada en este escenario.

Escenario 5. Co-incineración

El último escenario plantea la valorización energética de los RSU como alternativa al relleno sanitario, en la disposición final de los mismos. Este escenario se valora sobre los escenarios anteriores, donde existen sistemas de recogida selectiva, reciclaje y tratamiento de la materia orgánica.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que sustituyendo el vertido en relleno sanitario por la co-incineración de los RSU, las reducciones podrían alcanzar 1,7 millones de tCO₂e, en torno a las 56.000 t CO₂e anuales. La incineración supone, por tanto, una alternativa al relleno sanitario, por lo que reduce los impactos negativos causados por éste. Sin embargo, este tratamiento también presenta aspectos ambientales negativos, ligados sobre todo a la generación de gases y efluentes nocivos, que es necesario tratar de forma adecuada. En este sentido, a nivel nacional se está construyendo un marco normativo que será necesario aplicar.

El análisis económico de los diferentes escenarios de co-incineración apunta a inversiones que rondarían los 300-400 millones de dólares en el periodo de 30 años analizado. Los beneficios estimados podrían llegar a superar los 400 millones de dólares, en el caso del reciclaje y la incineración, con un valor actual neto de la inversión de 4 millones de dólares. En el caso del compostaje y la biometanización se quedaría en torno a los 240 millones de dólares, con un valor actual neto cercano a los 20-25 millones. El costo-eficiencia de los escenarios muestra que por tonelada de CO₂e reducida rondaría los 3 dólares en el caso de la opción de sistemas de reciclaje y co-incineración y aumentaría en el caso del compostaje y la biometanización, hasta 13 y 15 dólares por tonelada reducida.

En este sentido, las opciones tecnológicas que presentan mayor viabilidad económica son aquellas que optan por una única instalación de gran capacidad que dé servicio a una población elevada, ya que se necesita que exista un flujo elevado y constante de entrada de residuos para operar en condiciones óptimas, tanto en términos técnicos como económicos.

Desde el punto de vista social, la población en general sigue percibiendo la co-incineración de los residuos sólidos como un tratamiento perjudicial para el medio ambiente y la salud humana. Otro aspecto importante a considerar está ligado a la inversión necesaria, que podría repercutir en las tasas que se deben recaudar. En cuanto a la generación de empleo, este tipo de instalaciones requieren de personal cualificado y, en general, no emplean a un número elevado de operarios.

Análisis multicriterio

Se ha llevado a cabo un análisis multicriterio (MCA) de los cinco escenarios, en base a los diferentes aspectos analizados, como metodología de apoyo en su priorización. El resultado apunta a que el escenario 2, denominado "Educación y reciclaje", presenta mayores ventajas, por tanto, sería el más recomendable y prioritario para ser abordado en primer lugar.

El escenario 3, de compostaje, se sitúa en segundo lugar en la priorización, dado su potencial de mitigación y sus características en cuanto a la valoración social y económica.

El escenario de co-incineración se sitúa en tercer lugar ya que, a pesar de obtener la mejor puntuación en términos de potencial de mitigación, presenta valoraciones más bajas en el resto de criterios valorados (aspectos sociales y económicos).

Por último se sitúa el escenario de biometanización que, aunque presenta el mismo potencial de mitigación y co-beneficios ambientales que el caso del compostaje, es económicamente y socialmente menos favorable.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con el análisis realizado y las hipótesis asumidas, las conclusiones se presentan en dos etapas. Por un lado, una primera etapa donde se analiza la mejor opción de gestión de los RSU antes de su disposición final. Por otro lado, una segunda etapa dirigida a las opciones existentes como tratamiento de disposición final de los residuos que no son tratados de forma previa.

Por lo tanto, en la primera etapa, las opciones más ventajosas en términos ambientales serían el compostaje o la biometanización, por su mayor impacto en la reducción de GEI frente a la educación y el reciclaje, con valores muy similares.

Atendiendo a otros aspectos técnicos y ambientales, el compostaje genera un subproducto que puede ser utilizado para mejorar la calidad de los suelos, como abono, además de tener otras utilidades que se están desarrollando actualmente. Como aspecto negativo, esta tecnología puede generar malos olores en el caso de que el proceso no se realice de forma correcta, cosa que no ocurre con la biometanización, al ser un proceso más controlado.

Por el contrario, la biometanización requiere de una tecnología más complicada, que permite generar dos subproductos, el biogás que se puede aprovechar energéticamente y el digestato, que se puede compostar a su vez y utilizar como abono de alta calidad. En ambos casos es necesario desarrollar reglamentos específicos sobre las condiciones de calidad y uso del compost como sustrato, abono o enmienda fertilizante.

En términos económicos, el escenario denominado “Educación y reciclaje” podría suponer un balance positivo, siempre que el precio de venta de los materiales reciclables superase de media los USD 118 / t RSU, en base a las hipótesis asumidas. En el caso del compost, el balance económico podría llegar a ser positivo también, obteniéndose beneficios, en el caso de que el precio del compost alcance los USD 100 / t RSU.

En términos sociales, la opción que mayor empleo puede generar es la “Educación y el reciclaje”. Por otra parte, las opciones que incluyen un tratamiento de la materia orgánica de los residuos (compostaje y biometanización) favorecerían la disminución de la problemática social asociada a los rellenos sanitarios.

Por lo tanto, **las conclusiones apuntan a que el modelo de gestión de RSU del Cantón de San José podría apostar por el reciclaje de los materiales valorizables, ligado a una recogida separada de los mismos.**

Para alcanzar un escenario de éxito, sería necesario acompañar las acciones que implican infraestructuras con campañas de

sensibilización, información y educación ambiental en todos los sectores y a nivel de distrito, con un trato muy personalizado que busque la implicación y corresponsabilidad ciudadana.

Además, podría ser interesante comenzar a trabajar una línea de tratamiento de la materia orgánica, debido a la problemática ambiental y social ligada a su disposición final. Entre los dos escenarios analizados, compostaje y biometanización, el primero, presenta menores costos asociados y, aunque el segundo genera también electricidad renovable, en cuanto a los beneficios sociales y ambientales pueden considerarse casi similares.

En cuanto a la disposición final de los RSU, en términos ambientales, la co-incineración parece presentar un potencial elevado de reducción de GEI. A ello hay que añadirle la capacidad para generar electricidad a partir de los RSU, que contribuiría a la reducción de GEI a nivel nacional. Todo ello depende, sin embargo, del poder calorífico de los residuos que se traten. En este sentido, los residuos que presentan un mayor poder calorífico son también aquellos susceptibles de ser reciclados o compostados (papel y cartón, plásticos, madera y otros residuos de jardinería y podas).

Por otra parte, la incineración de los RSU podría generar tanto contaminantes atmosféricos, como escorias, cenizas y chatarras, que son considerados residuos peligrosos. Por lo tanto, sería necesario asegurar que todo ello se trata de forma adecuada, para que no supongan un peligro para el medio ambiente y la salud humana.

Por último, la incineración de los RSU supone una menor ocupación del suelo que los rellenos sanitarios.

En términos económicos, la tecnología de co-incineración presenta un costo elevado, en comparación con el relleno sanitario. Además, parte de la rentabilidad económica de la incineración depende del precio de venta de la electricidad generada, que muy posiblemente debiese ser revisado para asegurar su viabilidad económica.

Por lo tanto, podría ser interesante una mayor apuesta por los tratamientos previos a la disposición final y, en cuanto a la misma, en los próximos años se podría continuar depositando la fracción resto en el relleno sanitario, ante los previsible mayores costos asociados a la co-incineración. En este sentido, es importante apuntar que para ello es necesario tener presente la ocupación del suelo que este tratamiento requiere.

Capítulo 1. Marco de estudio

1.1. La Iniciativa ICES

La Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) nació en 2010 impulsada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para apoyar la mejora de la calidad de vida en las ciudades intermedias de América Latina y el Caribe (LAC) en el proceso de urbanización acelerada que éstas experimentan, de manera que se desarrollen de una forma sostenible en sus tres componentes de crecimiento: social, económico y ambiental.

Dicho proyecto fue ideado para facilitar a las ciudades la formulación de planes de acción específicos para su crecimiento y desarrollo a corto, mediano y largo plazo, con una visión integral en tres dimensiones: (1) ambiental y de cambio climático, (2) urbana y (3) fiscal y de gobernabilidad.

En 2011 cinco ciudades formaron parte de la iniciativa piloto y, en el periodo 2012-2015, se está impulsando su puesta en marcha en otras 50 ciudades de la región, entre las que se encuentra, en Costa Rica, la ciudad de San José.

Para que las ciudades alcancen el objetivo de sostenibilidad marcado, ICES aporta las siguientes herramientas a las municipalidades participantes:

1. Identificación de retos para la sostenibilidad futura de la ciudad.
2. Evaluación y priorización de problemas y definición de necesidades de inversión en las áreas priorizadas.
3. Encuentro de soluciones específicas desde un punto de vista de las necesidades de inversión y los beneficios esperados, incluyendo el análisis de fuentes locales de financiamiento y la capacidad institucional instaurada.
4. Seguimiento a los progresos y avances en la implementación de la planificación adoptada.

1.1.1. Los tres estudios base

La técnica propuesta por ICES plantea cinco fases metodológicas, junto con una fase previa de preparación y una última fase de inversión, que se corresponde con la ejecución de la planificación diseñada.

El presente trabajo se incluye en la *fase 1. Análisis y diagnóstico: identificación de problemas*, de manera que en su desarrollo se ha obtenido la información de base fundamental y necesaria

para la identificación de la problemática que enfrenta la ciudad de San José en cuanto a su sostenibilidad. En este sentido se plantean tres estudios base diferenciados denominados componentes:

- Componente 1 (C1). Análisis de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para plantear acciones de mitigación en la ciudad.
- Componente 2 (C2). Análisis de riesgo de desastres y vulnerabilidad a los impactos negativos del cambio climático. Empleando escenarios climáticos futuros.
- Componente 3 (C3). Análisis de la huella urbana. Tanto histórica como proyectada.

1.1.2. Una visión holística e integral

COMPONENTE 1. ANÁLISIS DE EMISIONES DE GEI

El **C1** estaba inicialmente concebido para el desarrollo del inventario de emisiones de GEI de San José en un año base de referencia y el análisis de las opciones de mitigación. Sin embargo, este alcance ya ha sido contemplado en un estudio similar al previsto en el C1 “Análisis de mitigación del cambio climático”. El estudio, denominado “Proyecto Facilitando la Implementación y Preparación para la Mitigación (FIRM), Estrategia de Desarrollo de Bajo Impacto GAM – Costa Rica”, analiza las emisiones de GEI y las opciones de mitigación del Gran Área Metropolitana (GAM) para reducirlas¹. Dentro de los sectores emisores identificados y analizados, está el sector de los residuos sólidos urbanos, donde se identifican diferentes medidas de actuación.

En este sentido, además, se están analizando diferentes tecnologías de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) a nivel nacional y desarrollando legislación específica para que Costa Rica pueda abordarlas. Unido a ello, el proyecto FIRM identificaba este sector como prioritario para dirigir actuaciones de mitigación de GEI. Por todo ello, y teniendo presentes las competencias y capacidad de actuación que tiene la Municipalidad de San José (MSJ) sobre los RSU, finalmente se consideró adecuada la reorientación del C1 hacia este ámbito concreto de actuación. Por ello, el alcance se redirigió hacia el

¹ En el capítulo 2 se puede encontrar un resumen de las principales conclusiones del Proyecto FIRM.

estudio de los diferentes escenarios de gestión de RSU posibles para el Cantón de San José y sus implicaciones en términos ambientales (específicamente de reducción de GEI, aunque se valorarán también otros impactos ambientales asociados), sociales y económicos, con el objetivo de apoyar en la toma de decisión sobre la alternativa más adecuada a la realidad de la MSJ.

Asimismo, el estudio del C1 contempla el **análisis de las barreras institucionales, políticas, técnicas, presupuestarias y administrativas** a la gestión de los residuos. Derivado del mismo se emiten recomendaciones específicas para el escenario finalmente identificado como óptimo. Por último, ligado a ello, se plantea un programa de acción que pueda servir como base a la MSJ para implementar la gestión integral de los RSU en el Cantón de San José.

COMPONENTE 2. ANÁLISIS DE RIESGO DE DESASTRES Y VULNERABILIDAD A LOS IMPACTOS NEGATIVOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El **C2** incluye un análisis de riesgo de desastres y vulnerabilidad a los impactos negativos del cambio climático. Tiene como objetivo identificar las principales amenazas naturales que se presentan en el área de estudio y el efecto del cambio climático sobre el riesgo futuro, empleando escenarios de cambio climático.

Este estudio se basa en cartografía de riesgos y vulnerabilidad y se proponen acciones de mitigación de riesgos desde una perspectiva de costo-beneficio.

COMPONENTE 3. ANÁLISIS DE LA HUELLA URBANA

En el **C3** se realiza un análisis histórico del proceso de crecimiento urbano, proyectando el mismo a futuro. De esta manera, se ofrece un diagnóstico de la huella urbana, escenarios futuros de crecimiento urbano y usos del suelo y se proponen recomendaciones de planificación institucional para la gestión del crecimiento del área urbana.

LA INTEGRACIÓN DE LAS TRES COMPONENTES

Los productos resultantes de los tres estudios aportan una visión integrada de la ciudad de manera que facilitan una toma de decisiones que contemple todos los polos que ponen en riesgo el desarrollo sostenible de una ciudad.

A su vez, las componentes se interrelacionan entre sí. La proyección futura de crecimiento poblacional y usos del suelo

del C3 es, por ejemplo, un insumo a tener en cuenta en el análisis a realizar en el C1, con el nuevo alcance ya comentado. Por otro lado, la zonificación de riesgos actuales y futuros producto del C2 es información de partida necesaria para prever la delimitación de reservas de espacio y zonas de amortiguamiento en las proyecciones de crecimiento urbano del C3. A la inversa, las proyecciones de crecimientos poblaciones y expansión urbana del C3 permitirán conocer la exposición y vulnerabilidad futura de la población frente a los eventos extremos.

Por último, se debe destacar que siempre es interesante buscar sinergias entre las acciones de mitigación (C1) y adaptación (C2) al cambio climático para presentarlas desde una perspectiva de enfoque integrado, permitiendo la optimización de recursos económicos.

Con los nuevos alcances definidos, se intentará siempre buscar las sinergias entre ambos componentes, por ejemplo en lo relacionado con la salud humana, el cambio climático y la gestión de los RSU.

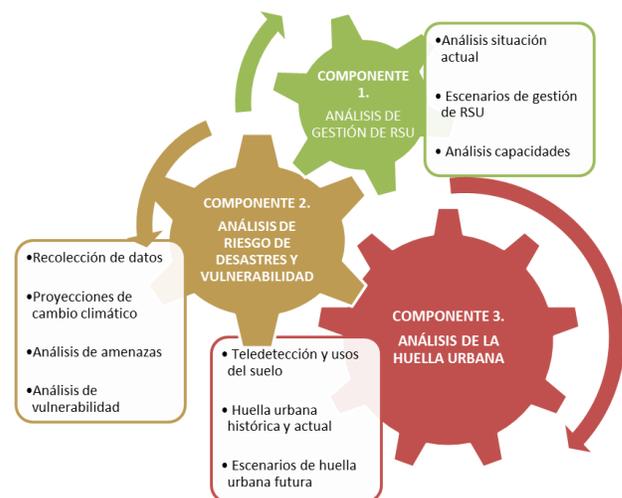


Figura 1. Integración de los componentes del estudio previo de desarrollo urbano y cambio climático. Elaboración propia a partir de BID (2015).

1.2. Definición del área de estudio

El área de estudio para el C1 se centra en el Cantón de San José. La zona de estudio, en la que habitan 322.155 personas (2011, estimada INEC), ocupa una superficie total de 45.63 km² y se

ubica en el centro del GAM y del Área Metropolitana de San José (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).

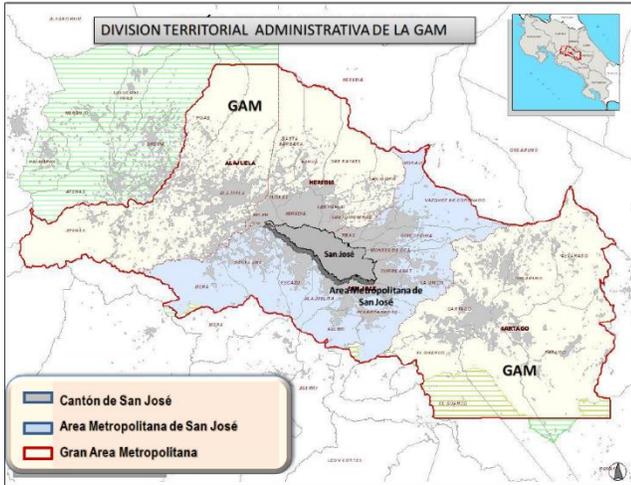


Figura 2. Delimitación del área del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011)

El Cantón de San José está dividido administrativamente en 11 distritos, que son: Carmen, Merced, Hospital, Catedral, Zapote, San Francisco de Dos Ríos, Uruca, Mata Redonda, Pavas, Hatillo y San Sebastián.

DISTRITOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Carmen	1.50 km ²
Merced	2.29 km ²
Hospital	3.38 km ²
Catedral	2.31 km ²
Zapote	2.85 km ²
San Francisco de Dos Ríos	2.68 km ²
Uruca	8.35 km ²
Mata Redonda	3.68 km ²
Pavas	9.34 km ²
Hatillo	4.27 km ²
San Sebastián	3.98 km ²

Tabla 1. Distritos incluidos en el área de estudio (Cantón de San José). (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011)

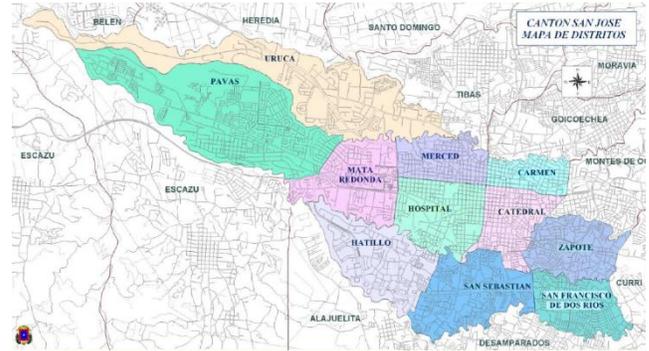


Figura 3. Distritos del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).

Los principales distritos donde se han producido los mayores aumentos de población en los últimos años han sido Pavas, Hatillo, San Sebastián y Uruca. Ello ha sido debido a las políticas de vivienda que se impulsaron a partir de la década de los 80, que han derivado en una urbanización acelerada de estos distritos.

De acuerdo con las estimaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se prevé que para el año 2025, la población haya aumentado un 10%, hasta alrededor de 357.976 personas. Estos aumentos se espera que se produzcan principalmente en los distritos de Pavas y Uruca. A la contra, los distritos centrales, como Merced, Hospital y Catedral, se espera que continúen reduciendo su población, como viene ocurriendo en los últimos años, producto de la expansión de las actividades de comercio y servicios, que están desplazando las zonas residenciales a la periferia del Cantón (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).

Las variaciones de población y crecimientos urbanos previstos tendrán incidencia tanto en la generación de residuos, como en el sistema de gestión de los mismos, por lo que es necesario tenerlo presente en los estudios de escenarios.

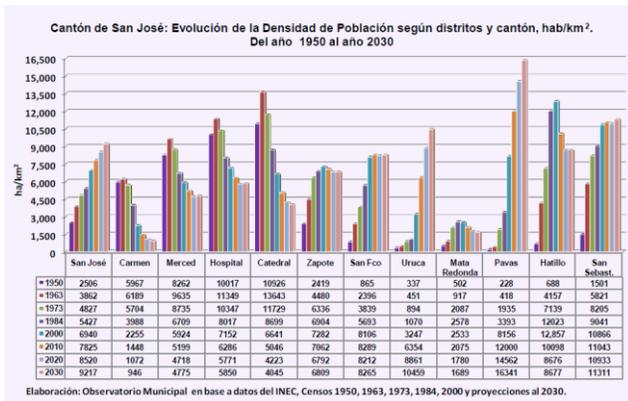


Figura 4. Evolución poblacional de los distritos del Cantón de San José. Área de estudio (Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación, 2011).

Capítulo 2. Diagnóstico

2.1. Inventario de emisiones de GEI

El Proyecto FIRM, desarrollado durante el año 2014², llevó a cabo el estudio de las emisiones de GEI del total del GAM, desarrollando un inventario de GEI que incluye las siguientes categorías sectoriales: materiales (carbono incorporado en los materiales de construcción), procesos industriales y uso de productos (IPPU), agropecuario, energía, transporte, agua residual y residuos sólidos. Para cada uno se realizaron diagnósticos y se establecieron escenarios de línea de base de las emisiones de GEI partiendo del año 2010.

Los resultados apuntan a que el total de emisiones de GEI imputables al GAM en el año 2010 es de 6.677.000 tCO₂e. El principal sector emisor es el transporte, con el 39% de las emisiones, seguido de la energía (17%), los materiales (15%) y los residuos sólidos (12%).

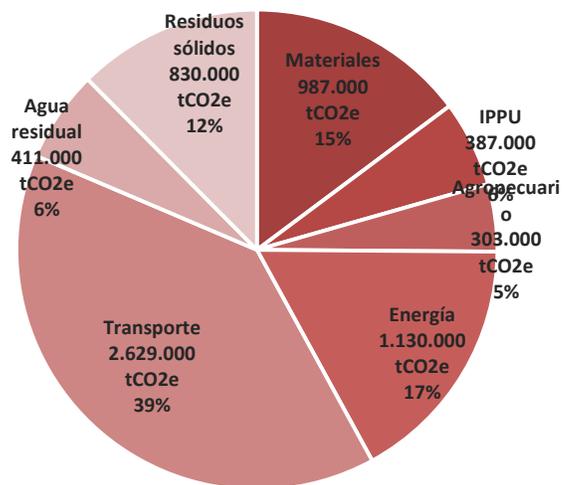


Figura 5. Línea base de las emisiones en el GAM para el año 2010 obtenida para el proyecto FIRM. Fuente: (Araya, Salas, Campos, & Mendez, 2014).

Derivado del estudio de las emisiones de GEI, dentro del proyecto FIRM también se analizaron medidas de mitigación específicas para cuatro categorías: transporte; edificaciones y vivienda; energía y residuos sólidos y aguas residuales. Por lo tanto, uno de los sectores identificados como prioritarios dentro del estudio previo llevado a cabo fue el de los residuos sólidos.

Resultados arrojados por el estudio FIRM para el sector de los residuos sólidos.

De acuerdo al estudio FIRM, las emisiones asociadas a los RSU se estimaron entre 0.1825-0.2920 tCO₂e/hab./año. Del mismo modo, las emisiones del sector RSU estimadas para la GAM ascendieron a 830.000 tCO₂e. El Cantón de San José, con una población del 13% de la GAM, representaría, por tanto, unas

² Financiado por la Agencia Danesa de Desarrollo Internacional (DANIDA), e implementado con apoyo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y RISØ Centre, por la DCC, el MINAE, Ministerio de Agricultura (MAG) y Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH).

emisiones de GEI de alrededor de 107.298 tCO₂e o 5.109 tCH₄ anuales.

En la dimensión de residuos sólidos, las acciones propuestas en el FIRM fueron dirigidas a reducir la producción de metano en la descomposición de los desechos, reducir la factura energética de la recolección, tratamiento y disposición de desechos, así como recuperar la energía producida por los RSU. En este sentido, se propusieron medidas para promover la reducción de residuos en la fuente y realizar actividades de valorización y programas de sensibilización entre los productores.

La recuperación de metano en rellenos sanitarios, la alternativa de gasificación, incineración, o co-procesamiento de RSU; así como los programas de compostaje de orgánicos, se plantearon como otras opciones para la etapa final de la GIRS.

Tras una priorización, se seleccionaron las medidas con mayor consenso, de forma que se consideraron claves las siguientes acciones:

- ❖ Las medidas que promuevan la reducción de residuos en la fuente, el reúso y el reciclaje.
- ❖ la valorización energética de los residuos sólidos.
- ❖ El compostaje de la materia orgánica.

Tras la priorización de medidas, se realizó un análisis de barreras a la ejecución de las acciones: políticas, legales, de capacidades, de mercado, financieras y de información y sensibilización. Por último se analizaron de forma exhaustiva las acciones seleccionadas, en términos de costos y beneficios, así como del potencial de mitigación.

En base a las hipótesis asumidas en el estudio, los principales resultados obtenidos en relación con la gestión de los RSU son los que se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Resultados ³
Reducción, reuso y reciclaje	
Mitigación esperada directa	0,60 tCO ₂ /tRSU
Relación beneficio por tonelada mitigada	7,01 \$/tCO ₂ e
Costo anualizado equivalente de la opción propuesta	6.057 k US\$
Costo anualizado equivalente del escenario usual	8.320 k US\$
Valorización energética de residuos sólidos	

³ Evaluado para un horizonte a 17 años, aplicando una tasa de descuento (r) del 12%.

Variable	Resultados ³
Mitigación esperada directa	0,35 tCO ₂ /tRSU 0,16 tCO ₂ /MWh
Relación beneficio por tonelada mitigada	-37,00 \$/tCO ₂ e
Costo anualizado equivalente de la opción propuesta	17.755 k US\$
Costo anualizado equivalente del escenario usual	36.497 k US\$
Compostaje y tratamiento biológico mecánico	
Mitigación esperada directa	0,15 tCO ₂ /tRSU
Relación beneficio por tonelada mitigada	-28,40 \$/tCO ₂ e
Costo anualizado equivalente de la opción propuesta	4.366 k US\$
Costo anualizado equivalente del escenario usual	5.111 k US\$

Tabla 2. Resumen de cuantificación costo-beneficio para las medidas del sector RSU del proyecto FIRM. Supuestos técnicos y resultados económicos. Fuente: (Araya, Salas, Campos, & Mendez, 2014).

2.2. Caracterización de RSU del Cantón San José

En el año 2014 se realizó un estudio de caracterización de los residuos para el Cantón de San José, siguiendo los consejos de la guía CYMA (CYMA, 2012). Los resultados arrojados por este tipo de estudios se condicionan por el nivel de ingresos de la población, la cantidad de población, los hábitos de vida y el nivel cultural; la estructura industrial y el marco legal, entre otros. Aspectos como la composición de los residuos, sus propiedades físicas (densidad y humedad) y químicas (relación C/N, contenido en cenizas, poder calorífico, etc.), determinan las técnicas de gestión más adecuadas a emplear.

En este aspecto, para la caracterización de residuos en San José, se realizó un reconocimiento del área de estudio, identificando los lugares donde realizar encuestas y realizar muestreos, tanto para el sector residencial como para el comercial. Adicionalmente, el sector residencial se diferenció en tres zonas urbanas según los estratos alto, medio y bajo, en función de las condiciones económicas de las familias. El sector comercial, por el contrario, se clasificó según el tipo de comercio.

Se solicitó la colaboración de un número alto de generadores de cada tipo de estrato y de comercio. Se les entregaron bolsas identificadas, se les dieron instrucciones sobre el proceder y se hizo la recogida durante 7 días consecutivos. Una vez recolectadas las muestras, se procedió al pesaje, cuarteo y homogeneizado de las bolsas individuales. Por esta vía, se obtuvieron los siguientes subproductos (fracciones): papel y cartón, plástico, metales, textiles, polilaminados (tetrabrick), peligrosos, electrónicos y eléctricos; vidrio, biodegradables y otros. Dichos subproductos se pesaron para conocer su representatividad sobre la muestra total. De esta forma y, a partir del peso volumétrico, se obtuvo el valor de la generación per cápita de los RSU, dividiendo el peso de la bolsa por los habitantes del hogar o de los trabajadores del establecimiento de cada muestra. Seguidamente, en el laboratorio, se realizaron las pruebas químicas: contenido en humedad, determinación de pH, cenizas o materia orgánica.

A partir de los resultados, se obtuvieron los valores promedio representativos para estimar la generación per cápita diaria, además del resto de parámetros. Los resultados finales de la caracterización son los siguientes:

Variable	Viviendas	Comercios
Tasa de generación		
Promedio ponderado (Kg/hab. (o empleado) x día)	0,66	0,84
Composición		
Papel y cartón	11%	26%
Plástico	10%	15%
Metales	2%	2%
Textiles	2%	3%
Polilaminados	1%	1%
Peligrosos	2%	5%
Electrónico y eléctrico	0%	1%
Vidrio	2%	1%
Biodegradable	55%	26%
Otros	15%	19%
Peso volumétrico		
Kg/m³	19,71	10,22
Análisis químico		

Variable	Viviendas	Comercios
Humedad (%)	66,45	57,61
Cenizas (%)	12,74	12,98
M. O. (%)	87,26	87,02
pH	5,35	5,19
Nitrógeno (%)	0,394	0,389

Tabla 3. Resultados del estudio de caracterización realizado para el Cantón San José (MSJ, 2014).

Por otro lado y, a través de las encuestas, **la población y comercios respondieron en relación a si realizaban la separación de residuos en origen. El 55% de los hogares respondió que no, mientras que lo mismo dijo el 66% de los comercios entrevistados.** La mayor parte de los vecinos que sí realizan separación entregan sus residuos separados (principalmente papel y cartón -35%-, plásticos -26%-, metales -16%-, envases polilaminados -14%- y vidrio -8%-) en el centro de acopio municipal (28%), al camión de recogida de la municipalidad (22%) o en las campañas especiales (22%).

Mientras que los comercios clasifican papel y cartón (46%), plástico (28%), metales (12%), peligrosos (4%) y vidrio (6%); que son recolectados, principalmente por empresas privadas (21%) o particulares (14%), o son llevados al centro de acopio municipal (17%).

La percepción de la calidad del servicio de recolección municipal tanto por los hogares como por los comercios, es en torno al 70% bueno y al 13% excelente. Mientras que un 11% piensa que es regular y menos del 3% considera que es malo o muy malo.

2.3. Análisis FODA

El análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) permite evaluar la situación de partida de un proyecto y plantear estrategias de acción para el futuro con la adecuada información de partida. Con este análisis, por un lado, se evalúan las características externas para aprovechar las oportunidades detectadas y prepararse frente a las amenazas.

Por otro lado, se evalúan las condiciones favorables internas, fortalezas, así como las desfavorables, debilidades, para plantear estrategias que refuercen la viabilidad del proyecto y exploten los puntos fuertes del mismo.

En este caso, derivado del análisis realizado (ver Anexo I), se puede concluir que la Municipalidad de San José se enfrenta a unos factores externos de gran relevancia, como es la legislación nacional en desarrollo que comienza a prestar un marco adecuado para el desarrollo de la GIRS. Por otro lado, la gestión de residuos es cada vez más un tema de interés social y político, considerándose el manejo inadecuado de los mismos como uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad costarricense. Sin embargo, tiene un mercado interno en cuanto a alternativas y tecnologías de gestión poco evolucionado, en especial, en lo referente a la valorización de ciertas fracciones, como la materia orgánica o los materiales reciclables.

Como principales barreras internas, se encuentran las barreras culturales para un cambio de paradigma, así como las capacidades técnicas para transformar proyectos piloto de gestión alternativa en iniciativas generalizadas en el Cantón de San José, que podrían ser reforzadas. Por otro lado, el sistema recaudatorio para asumir el costo efectivo del servicio municipal cuenta con un déficit debido a la elevada morosidad y podría mejorarse incluyendo aspectos que favorezcan la reducción en la generación.

MATRIZ FODA DE FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS

CARACTERÍSTICAS INTERNAS	
FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Equipo técnico municipal capacitado, proactivo y muy concienciado en la necesidad de mejorar la GIR en el cantón. ❖ Existencia de recursos humanos municipales bien capacitados para la educación y sensibilización ambiental, que podría emplearse para fomentar la sensibilización ciudadana ❖ Mayor conocimiento sobre la situación de partida del cantón respecto a la GIRS, con la realización de diversos estudios de base y sobre las alternativas futuras. ❖ Desarrollo de un estudio para la optimización de las actuales rutas de barrido y recolección de residuos. ❖ Existencia de centros municipales de acopio de residuos. ❖ Regulación nacional en desarrollo, en cuanto a nuevas tecnologías de GIR. ❖ Existencia de un porcentaje de la población que podría profesionalizar la separación y recogida de los residuos. ❖ Existencia de diversos proyectos piloto (como el de reciclaje en distritos y comunidades, la iniciativa de compostaje doméstico Takakura o superhéroes ambientales), que han presentado gran éxito y tienen capacidad de replicar resultados a mayor escala. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Necesidad de reforzar el tamaño del equipo de la MSJ para la GIR. ❖ Necesidad de mejora de la coordinación entre los Departamentos implicados en la gestión de residuos y con el nivel político, municipal y nacional. ❖ Baja capacidad para la aplicación de sanciones ante el incumplimiento de la ley de residuos. ❖ Falta de incentivos a ciudadanos y comercios para reducir y separar en fuente los residuos. ❖ Poca capacidad para incrementar la inversión económica en el servicio con recursos propios de la municipalidad. ❖ Ausencia de información estadística completa en materia de residuos, incluyendo los volúmenes de generación y tratamiento de los residuos no gestionados por la MSJ. ❖ Falta de dimensionamiento y profesionalización de los sistemas de recogida selectiva y reciclaje, que derivan en que sólo una pequeña fracción de los RSU tenga este tratamiento. ❖ Escaso mantenimiento, reparación y sustitución de los depósitos públicos (tachos) de basura. ❖ Acumulación de desechos en la vía pública y obstrucción de vías de evacuación de pluviales. ❖ Ausencia de un reglamento municipal de GIR, para regular adecuadamente las condiciones de prestación del servicio y de usabilidad del servicio por parte de la municipalidad y la ciudadanía, definir atribuciones y competencias, garantizar derechos y deberes, tributos, sanciones, etc. ❖ Existencia de vertederos ilegales, que siguen proliferando en el cantón. ❖ Casi ausencia de tratamientos específicos para las diferentes fracciones de residuos (como, por ejemplo, el compostaje de la materia orgánica). ❖ Poca rentabilidad para la valorización energética del biogás generado en los rellenos sanitarios.

CONTEXTO EXTERNO

OPORTUNIDADES	AMENAZAS (permanentes y circunstanciales)
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Mayor conciencia y sensibilización social en materia de gestión de los RSU. ❖ Posibilidad de modificar el sistema tarifario para impulsar la menor generación de RSU. ❖ Interés de empresas multinacionales del sector residuos en realizar inversiones en el país, en relación con tecnologías de tratamiento de RSU. ❖ Voluntad de actores privados relacionados con la gestión de residuos en la creación de alianzas público-privadas. ❖ Iniciativas crecientes de profesionalización del sector informal y de pequeños gestores, relacionadas con la recogida selectiva y reciclaje. ❖ Tendencias favorables en el mercado de valorización material de residuos. ❖ Presencia de Organismos Internacionales y Bancos Multilaterales con capacidad para apoyar proyectos de inversión en la zona. ❖ Capacidad del Cantón de San José, al tratarse de la capital, de catalizar la acción y de coordinarse con las Instituciones elevadas del Estado y con otros cantones. ❖ Alianzas entre municipalidades para para prestar servicios en conjunto y disminuir costos. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Próxima colmatación del relleno sanitario situado en el Cantón. ❖ Falta de conocimiento real sobre el mercado existente para residuos valorizables. ❖ Morosidad existente en el sistema de cobro de tasas de gestión de residuos. ❖ Barreras culturales, resistencia al cambio de comportamiento en los ciudadanos debido a la inercia.

Tabla 4. Matriz FODA de la GIR en el Cantón de San José. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3. Análisis de escenarios

Se ha llevado a cabo la definición y análisis de diferentes escenarios de gestión de RSU en el Cantón de San José. Dicho análisis se ha realizado desde una triple visión: ambiental, económica y social⁴. Los aspectos metodológicos claves del análisis pueden consultarse en el Anexo 3 del presente documento.

A continuación se comentan los principales resultados alcanzados en cada escenario.

3.1. Escenario 1. Tendencial

En el escenario tendencial, la situación actual de gestión de los residuos, descrita en el capítulo anterior, se mantiene en el tiempo. Ello implica que los niveles de generación de residuos por habitante, así como los niveles de recogida selectiva y reciclaje son similares.

Por otra parte, la disposición de los residuos se realiza de forma generalizada a través de bolsas de plástico que se disponen en determinados puntos de la calzada. El sistema de recogida de los residuos se realiza a través de camiones. La disposición final de los residuos recogidos se sigue realizando en el relleno sanitario, con recuperación y quema del biogás generado.



Figura 6. Disposición de RSU en el distrito central de San José. Fuente: Autores.

⁴ En el Anexo 2 se desarrolla el proceso que se ha seguido para la definición de los escenarios de gestión de RSU analizados.

La Municipalidad se encarga de la recolección y transporte de los residuos domiciliarios y parte de los comerciales, mientras que contrata la disposición final a un proveedor privado⁵. La disposición de los residuos se continúa realizando en rellenos sanitarios privados y se mantienen las tasas de recuperación y reciclado en un porcentaje bajo, en torno al 1% de los residuos tratados por la MSJ.

En la actualidad, los rellenos sanitarios donde vierte el Cantón de San José son La Carpio y El Huazo. El primero lleva en operación desde el año 2002 y se prevé su clausura para el año 2016. El segundo comenzó su actividad en el año 2005 y se encuentra en la actualidad en proceso de adecuación de nuevas celdas. Ambos rellenos tienen o están en proceso de adquisición de sistemas de recuperación activa y quema del biogás generado.



⁵ En la actualidad, los dos rellenos sanitarios existentes son operados por la empresa canadiense Enterprise Berthier Inc (EBI) y EBI Costa Rica, SA.



Figura 7. Imágenes del relleno sanitario La Carpio y la antorcha de quema de biogás del sitio. Fuente: Autores.

La tasa de reciclaje es debida a los residuos recogidos de forma selectiva y reciclados gracias a la acción del centro de Hatillo, que realiza una recogida bajo demanda y utiliza operarios para la separación manual de las diferentes fracciones.



Figura 8. Imágenes del Centro de Recogida y Reciclaje de Hatillo. Fuente: Autores.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que en la actualidad (año 2015) las emisiones de GEI se sitúan en torno a

las 6.400 tCH₄, es decir, algo más de 134.000 t CO₂e. De continuar con la tendencia actual, las emisiones podrían llegar a alcanzar 14.000 t CH₄, casi 300.000 t CO₂e, para el final del periodo analizado, es decir, el año 2045. En el Anexo 4 pueden encontrarse los supuestos técnicos utilizados.

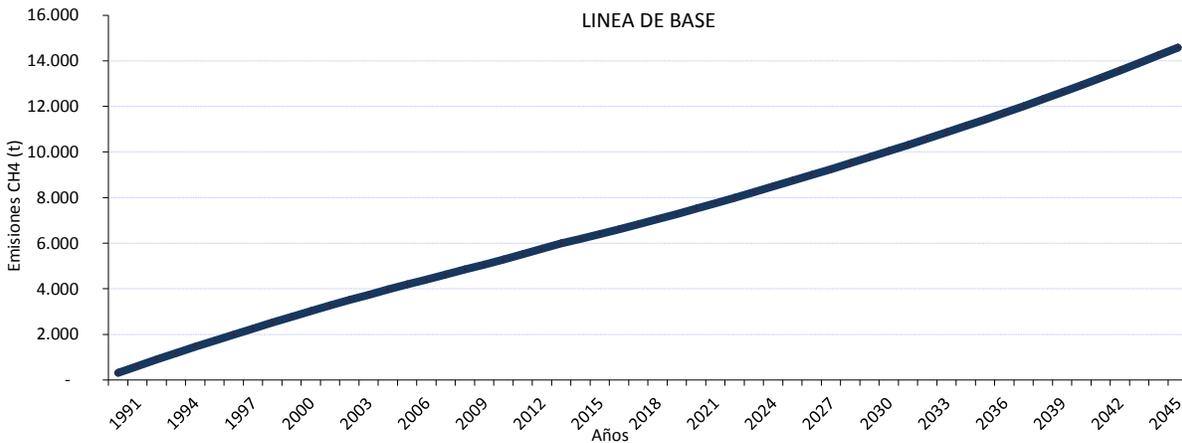


Figura 9. Evolución de las emisiones de metano en el escenario tendencial (1991-2045). Fuente: Autores.

Ello es debido tanto al crecimiento previsto de la población, como al crecimiento previsto de la tasa de generación en ausencia de políticas adicionales para frenarlo.

Como se ha comentado, la quema en antorcha del biogás producido permite la transformación del CH₄ en CO₂, que se libera a la atmósfera. De acuerdo con las metodologías de cálculo de GEI internacionales (Directrices del IPCC), el CO₂ de origen biogénico no se contabiliza en los inventarios de GEI, al

formar parte del ciclo natural del carbono. Por lo tanto, las emisiones de GEI asociadas a los rellenos sanitarios con recuperación y quema de biogás son menores que los que no tienen este tipo de sistemas. La siguiente gráfica muestra el efecto de la recogida de biogás, a partir del año 2015 (año hipotético, ya que la recogida de biogás en los rellenos sanitarios en operación para el Cantón de San José está en operación desde antes).

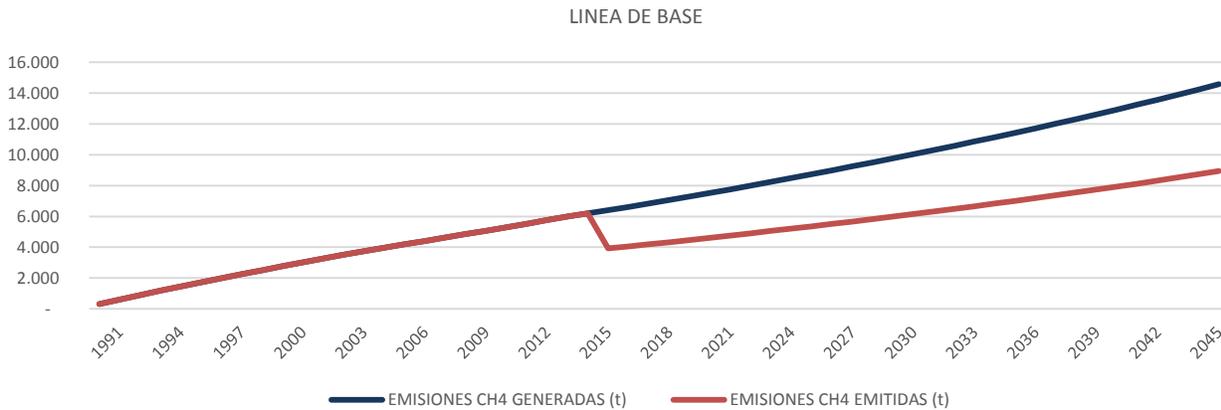


Figura 10. Efecto de la recuperación de biogás sobre las emisiones del relleno sanitario. Fuente: Autores.

Otros aspectos ambientales

Además de la contribución al cambio climático, existen otros aspectos ambientales que es necesario considerar en el análisis de los diferentes escenarios de gestión de RSU, como son la emisión de otros gases a la atmósfera, la contaminación de las

aguas superficiales y subterráneas o la ocupación del suelo, entre otros.

En primer lugar, es de destacar que este escenario presenta ventajas ambientales en relación a la existencia de vertederos ilegales incontrolados, que no cuentan con preparación previa, sin técnicas, ni controles adecuados para el tratamiento de

gases y lixiviados generados durante el proceso de descomposición de los RSU. En este sentido, la Municipalidad realiza trabajos para clausurar los mismos y retirar el material acumulado.

Pero, aunque los rellenos sanitarios ostentan un entorno más controlado que los vertederos ilegales, no dejan de presentar aspectos ambientales negativos derivados, principalmente, de las características de los residuos depositados. En los rellenos se depositan diferentes tipos de residuos, algunos con un componente peligroso, como pilas, fluorescentes o refrigerantes, entre otros. El agua de lluvia que cae sobre el relleno, junto con el líquido procedente de la descomposición de los residuos orgánicos (lixiviados), se contamina a su paso por el relleno. La presencia de cauces o un nivel freático alto puede provocar la contaminación de las aguas, si los lixiviados no se recogen y tratan de la forma adecuada. La descomposición de la materia orgánica, además, también produce olores. También existe una contaminación acústica, por el tránsito de vehículos para la deposición de los RSU en el relleno.

Ello se une a los problemas que a menudo causa la fauna local, como roedores o aves, que pueden llegar a representar un problema de salud para las comunidades adyacentes.

Por último, hay que tener presente también la ocupación del suelo que precisan los rellenos sanitarios. La Carpio, por ejemplo, tiene una superficie de 16 hectáreas y se prevé que el Huazo ocupe 42.

La principal desventaja de este sistema de gestión, por tanto, se presenta cuando no se pasa previamente por las anteriores etapas de la jerarquía de gestión de residuos. Es decir, cuando no se realiza una recuperación y tratamiento previo del material valorizable (materia orgánica, papel y cartón, textiles, plásticos, metales, etc.). Además, la entrada de materiales valorizables en los rellenos disminuye la vida útil de los mismos.

A continuación se sintetizan los principales aspectos ambientales comentados.

ASPECTOS AMBIENTALES	Positivos	<ul style="list-style-type: none"> * Frente a los vertederos ilegales, los rellenos sanitarios presentan ventajas ambientales, como el control de la proliferación de vectores de enfermedades, la selección de los emplazamientos adecuados y el cumplimiento de normas técnicas de operación reducen el riesgo ambiental al aire, agua y suelo, la proliferación de olores; así como los riesgos a la salud humana y la degradación del paisaje. * Posibilidad de valorizar energéticamente el biogás generado, contribuyendo a la generación de electricidad renovable.
	Negativos	<ul style="list-style-type: none"> * Emisión de gases a la atmósfera, por la descomposición de los residuos orgánicos. * Pérdida de oportunidades por valorización de residuos y de minimización de los efectos de la disposición final, lo que además reduce la vida útil de los rellenos sanitarios. * Generación de lixiviados, con riesgo de contaminación de las aguas y ecosistemas fluviales (en el caso del relleno de La Carpio – en Uruca- el nivel freático y los cursos fluviales se encuentran muy próximos al sitio de disposición), así como de contaminación de los suelos, cambio de la composición química y biológica del suelo. * Inestabilidad por efecto de las aguas de lluvia, provocando riesgo de deslizamiento, lavado de las capas superficiales, aumento de lixiviados, etc. * Riesgo de explosiones e incendios incontrolados, por los gases que no se llegan a captar. * Proliferación de vectores (roedores, insectos, aves, etc.). * Olores y otras emisiones a la atmósfera (como compuestos orgánicos volátiles, COV). * Necesidad de monitoreo del sitio tras su clausura y restauración ambiental (post-cierre) tras el cierre técnico por un lapso de 15 años, para garantizar la estabilidad de los residuos allí depositados. * Ocupación del suelo e impacto paisajístico. * Contaminación acústica por el tránsito de camiones.

Tabla 5. Aspectos ambientales considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Desde el punto de vista económico, en este escenario se mantienen los costos actuales de la recogida y gestión de los RSU, que se cubren con el presupuesto recolectado a partir de la

tasa existente y que se expone en el Anexo I, en el presente informe.

Adicionalmente, existen otros aspectos económicos a comentar para este escenario, que ya han sido adelantados, y es que en la actualidad el producto energético producido en los rellenos

sanitarios (principalmente compuesto a base de metano), si bien se capta y canaliza de forma activa a través de tuberías, no está siendo empleado con fines energéticos.

Aunque la generación de biogás es suficiente para realizar la valorización energética, dado el alto contenido y volumen en materia orgánica de los residuos depositados, los precios de venta de la energía producida son relativamente bajos con respecto a los costos de implantar la infraestructura adecuada de (co)generación y de canalización de la energía eléctrica producida hasta su interconexión con la red eléctrica nacional.

Por tanto y como se ha comentado anteriormente, actualmente, se produce la extracción activa de biogás pero se conduce hacia

una antorcha para su posterior quema y transformación en CO₂. La viabilidad técnico-económica del aprovechamiento del biogás generado es apta a partir de potencias superiores 400 kWe, con alto caudal y altas concentraciones de metano.

Por otra parte, debido a que la tasa de reciclaje es baja, en este escenario no se reciben beneficios económicos significativos derivados de la venta productos valorizables.

Los aspectos económicos a tener en cuenta se resumen en la siguiente tabla:

ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS	<ul style="list-style-type: none"> * Poca viabilidad de comercialización del subproducto energético (biogás) producido, por las tarifas que marca el ICE y las inversiones necesarias para ello. * Acuerdos con empresas privadas para la operación de rellenos sanitarios con una duración muy limitada. Los acuerdos de contratación se regulan por la Ley y Reglamento de Contratación Administrativa, lo que dificulta la viabilidad económica de este tipo de sitios de disposición. * Necesidad de cubrir los costos de recolección y disposición con la tasa de servicio a la ciudadanía. La tasa del servicio de recolección y disposición de residuos debe corresponder al costo efectivo del servicio más un 10% de utilidad para el desarrollo del servicio, de acuerdo con el código municipal (Art. 74).
--	--

Tabla 6. Aspectos económicos considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes

ANÁLISIS SOCIAL.

En general, los rellenos sanitarios conllevan una oposición social, en especial originada desde las comunidades que se encuentran más próximas a su emplazamiento, potencialmente más afectadas. Las comunidades perciben el relleno como una amenaza a su ambiente, su calidad de vida y su salud. Ello es debido, además de al impacto visual que presenta una gran instalación de estas características, a la proliferación de asentamientos informales, olores, ruido por el tránsito de vehículos, así como a la proliferación de vectores transmisores de enfermedades. Todos ellos son riesgos a los que se enfrentan las poblaciones aledañas.

Por otra parte, la disposición actual en bolsas de los residuos en la calzada provoca que algunas personas abran dichas bolsas, generando malos olores en la calzada, así como mayor suciedad y contaminación en los centros urbanos.

Debido a que en este escenario la tasa de reciclaje es baja, el modelo de gestión de residuos presentado tampoco aporta beneficios sociales a la población.

En la siguiente tabla se enumeran los principales aspectos sociales a considerar en esta vía de gestión:

**ASPECTOS
SOCIOCULTURALES**

- * Problemas con el relleno sanitario de El Huazo, ya que se encuentra en una zona urbana y presenta conflictos con los horarios de disposición final.
- * Dificultades para adquirir nuevos terrenos para emplazamiento de rellenos, por la fuerte oposición vecinal.
- * Proliferación de asentamientos informales en torno a los sitios de disposición, donde las familias aprovechan los residuos valorizables antes de que lleguen al sitio de disposición.
- * Baja generación de empleo, por la falta de impulso y proliferación de la recogida selectiva y posterior reciclaje de RSU.
- * Efectos a la salud: olores (calidad de vida y bienestar) y riesgo de proliferación de enfermedades transmitidas por vectores.
- * Polvo y emisiones de los vehículos de transporte de los residuos hasta el vertedero en las rutas de paso de los mismos, con las consecuentes molestias y riesgos a la salud.
- * Impacto visual.
- * Impacto acústico debido al tránsito intenso de vehículos.
- * Pérdida de valor económico de los terrenos aledaños y viviendas al relleno sanitario.

Tabla 7. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 1. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

3.2. Escenario 2.

Educación y reciclaje

Sobre el escenario tendencial, se ha construido un escenario en el que se realiza un mayor esfuerzo político por la educación para la prevención, la separación en origen, posterior recogida selectiva y el reciclaje de los materiales valorizables. Como resultado, la generación de RSU disminuye y la cantidad que llega al tratamiento final se ve reducida. En este sentido, se mantiene como tratamiento final el relleno sanitario, en las mismas condiciones que en el escenario tendencial.

Para alcanzar este escenario, las campañas de comunicación y educación a la población deberían ser continuas en el tiempo, ya que el cambio de hábitos, que es su objetivo final, es difícil de conseguir y mantener en el tiempo.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

Para el escenario 2, se ha estimado una menor tasa de crecimiento del ratio de generación de residuos por habitante, en comparación con el Escenario 1, que se conseguiría gracias a las campañas de información, sensibilización y educación ambiental continuas (ver Anexo 4 para mayor información).

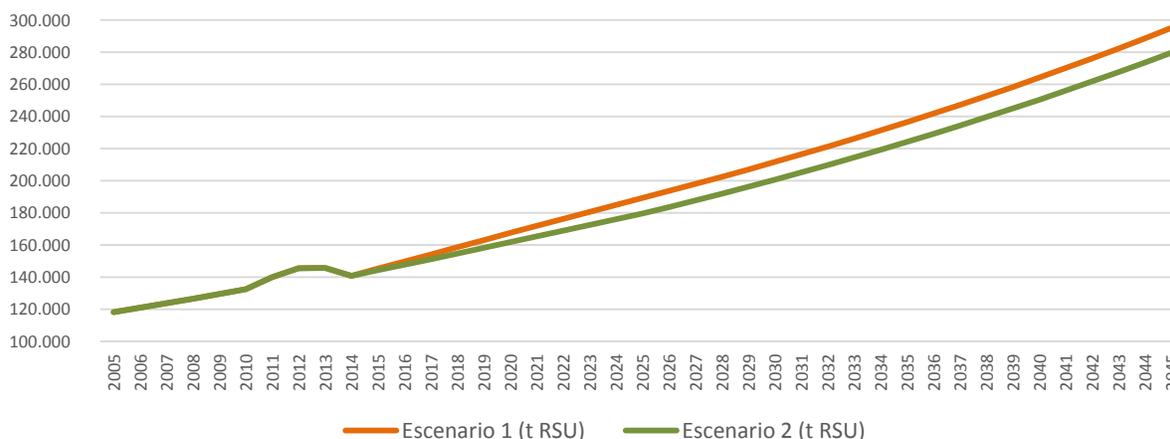


Figura 11. Estimación de la evolución de la generación de residuos esperada en el escenario 2 y el escenario tendencial. Fuente: Autores.

Además, en este escenario se ha considerado un incremento del porcentaje de reciclaje de los residuos, gracias a la implantación de sistemas de recogida selectiva comunitaria y profesionalizada

y plantas de acopio y clasificación. La tendencia de crecimiento en la tasa de residuos urbanos gestionados por medio del reciclaje en el periodo 2015-2030 está basada en la progresión

que han experimentado países como Portugal en la serie histórica 1995-2010, ya que presentan una tasa de reciclaje y de renta per cápita en 1995 similares a las actuales en el Cantón de San José. La progresión se ha completado para el periodo 2031-2045, en base a la tendencia de los años anteriores.

Los resultados en términos de GEI apuntan a que en el Escenario 2 se podrían alcanzar reducciones en las emisiones de GEI cercanas a las 190.000 t CO₂e en el periodo de 30 años analizado. Ello supondría una reducción anual media de en torno

a las 6.300 t CO₂e. Esta reducción se produciría, tanto por la menor generación de residuos de este escenario, como por la menor disposición de RSU en el relleno sanitario, gracias al aumento del reciclaje de los materiales valorizables.

	2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Reducción de GEI acumulada por periodos (t CO ₂ e)	2.906	37.765	117.453	187.962

Tabla 8. Resultados del escenario 2 en términos de GEI. Fuente: Autores.

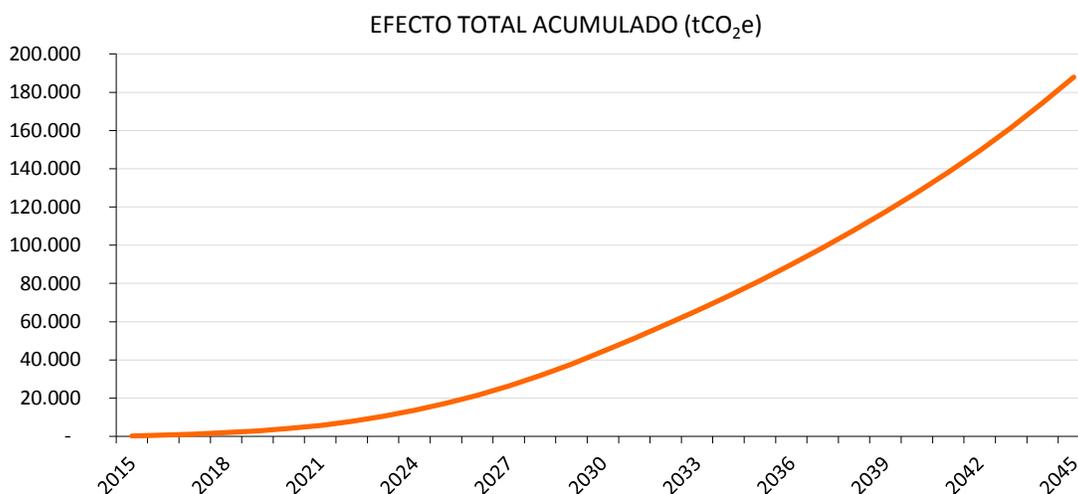


Figura 12. Efecto total acumulado de la reducción de GEI en el escenario 2. Fuente: Autores.

Como se puede observar en la gráfica anterior, los primeros años se conseguirían reducciones de emisiones más limitadas, debido a que son los años en los que se implanta el sistema de recogida selectiva y reciclaje. Con el tiempo, el sistema se consolida y aumenta el % de residuos que son tratados a través de esta vía y, por lo tanto, no depositados en el relleno sanitario.

materias primas, así como una menor necesidad de recursos naturales, ya que la separación, reuso y reciclaje permiten la reincorporación en los ciclos productos de materiales que antes tenían el estatus de residuo.

Otros aspectos ambientales

El análisis de otros aspectos ambientales revela que este segundo escenario aportaría una disminución en la demanda de

ASPECTOS AMBIENTALES	Positivos	<ul style="list-style-type: none"> * Menor contribución al cambio climático, por la menor generación de residuos y el aumento del reciclaje. * Menor consumo de recursos/materias primas y de energía, se reduce la sobreexplotación de los recursos naturales. * Reducción del volumen de materiales que va a relleno sanitario, aumentando la esperanza de vida del mismo.
	Negativos	<ul style="list-style-type: none"> * Consumo de agua y electricidad en el proceso de tratamiento de los residuos reciclables, aunque inferior al correspondiente a la producción de una unidad nueva equivalente de

	materia prima.
--	----------------

Tabla 9. Aspectos ambientales considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

El análisis costo-beneficio realizado, apunta a que la inversión necesaria en el total del periodo superaría los 112 millones de dólares, pero se obtendrían unos beneficios que superarían los 136 millones de dólares, derivados tanto de los ingresos por la venta de materiales, como del ahorro por la menor disposición en el relleno sanitario. El valor actual neto de la inversión sería, por lo tanto, de algo más de -16 millones de dólares (ver Anexo 4 para mayor información).

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Valor actual neto	USD	-\$748.445	-\$6.088.916	-\$12.892.019	-\$16.359.203
Costos	USD	\$1.709.281	\$21.958.127	\$69.972.510	\$112.476.547
Beneficios	USD	-\$2.036.429	-\$26.563.105	-\$84.838.369	-\$136.452.853

Tabla 10. Análisis costo-beneficio del escenario 2. Fuente: Autores.

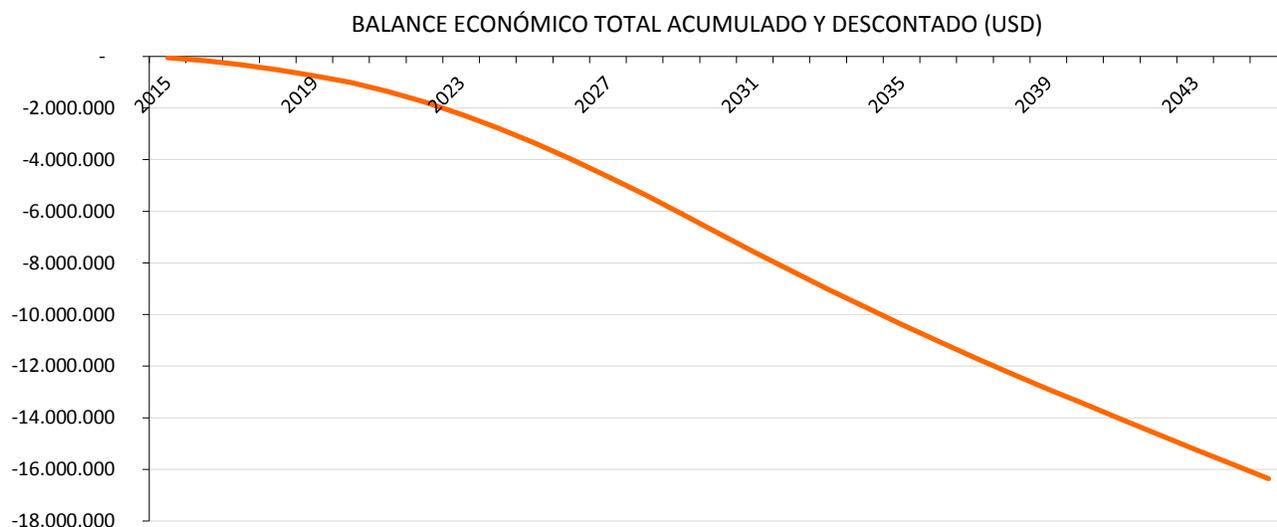


Figura 13. Balance económico total acumulado del escenario 2. Fuente: Autores.

El análisis de costo-eficiencia del escenario demuestra que por cada tonelada de GEI reducida, se lograrían beneficios. El ratio

iría reduciéndose en el tiempo, por el efecto de la actualización del valor económico.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO ₂ e	2.906	37.765	117.453	187.962
Costo	USD	-\$748.445	-\$6.088.916	-\$12.892.019	-\$16.359.203
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO ₂ e	-\$257,59	-\$161,23	-\$109,76	-\$87,03

Tabla 11. Análisis costo-eficiencia del escenario 2. Fuente: Autores.

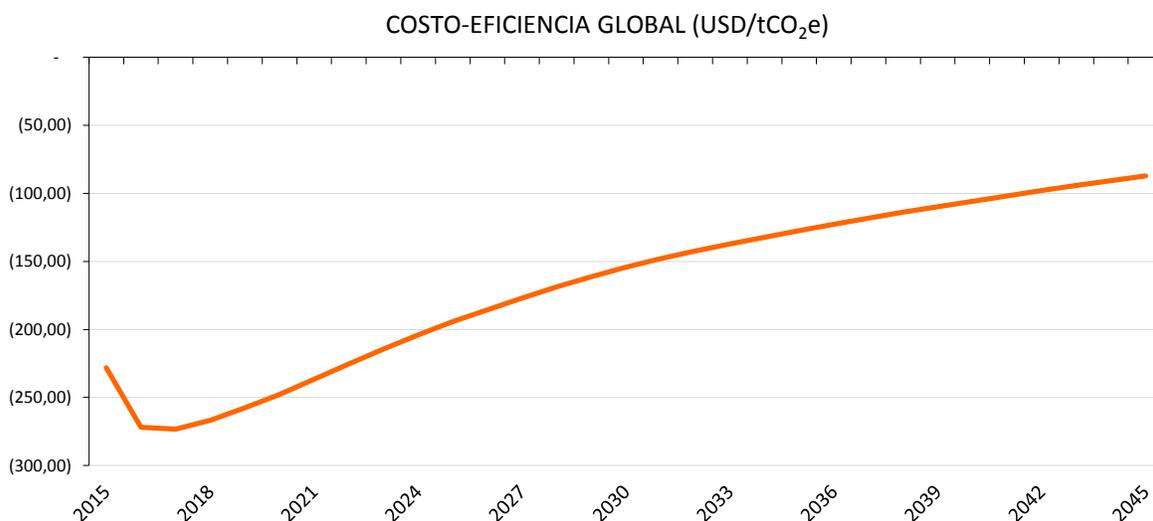


Figura 14. Costo-eficiencia global del escenario 2. Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta que un parámetro clave en el análisis es el ingreso por la venta de los materiales que se reciclarían, se ha estimado el umbral de rentabilidad (*break-even*), entendido como el precio mínimo al que se deberían vender los materiales reciclables para alcanzar un balance final neutro con las

hipótesis técnicas y económicas asumidas para este escenario. Este valor promedio debería rondar los USD 117-118 / t RSU reciclable. De esta forma, en el conjunto del periodo la reducción de 1 tCO₂e se conseguiría a USD 0,00.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO₂ e	2.906	37.765	117.453	187.962
Costo	USD	\$18.490	\$13.508	\$4.778	\$37
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$6,36	\$0,36	\$0,04	\$0,00

Tabla 12. Análisis costo-eficiencia del escenario 2. Fuente: Autores.

Por lo tanto, desde el punto de vista económico, aunque el escenario implica una inversión con las hipótesis asumidas, se podría conseguir un balance positivo, gracias a los ingresos que se producirían por la venta de los materiales recuperados. Además, la reducción en la generación aportaría también una disminución de los costos de recolección y disposición en vertedero.

Sin embargo, el sistema actual de costos tarifarios, el panorama de mercado actual y las barreras culturales, pueden suponer una barrera para que esta opción alcance viabilidad económica. Sería necesario acompañar las actuaciones de normativa y legislación que vaya dirigida a reducir la disposición final de residuos sin

tratamiento previo. A modo de ejemplo, la Comisión Europea estima que con el establecimiento de un adecuado marco político pueden romperse las barreras persistentes al reciclaje en los mercados. El consumo de energía y materias primas es uno de los principales costos económicos en las empresas, por tanto, se estima que la minimización en la fuente, el ecodiseño la reutilización, etc. pueden suponer a las empresas europeas alrededor de 600.000 millones de €, lo que supondría el 8% del volumen de negocio anual europeo (CE, 2014).

ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS	<ul style="list-style-type: none"> * Limitaciones a la viabilidad de comercialización de los subproductos obtenidos a través de la recogida selectiva. * Parte de los desechos no son recolectados por no ser viables comercialmente. * Necesidad de acompañar la medida con la adecuación de las tarifas de recogida y reducción de la morosidad, así como de normativa que apunte hacia la reducción de la disposición final de residuos sin tratamiento previo. * Beneficio de la venta de residuos por parte del productor. * Posibilidad de establecer alianzas con empresas privadas de reciclaje para potenciar el modelo y revertir en una reducción de costos.
--	--

Tabla 13. Aspectos económicos considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS SOCIAL.

Desde el aspecto social, este escenario supone un aumento de la generación de empleo verde asociado a la gestión de los RSU. Con el impulso de esta vía de gestión podrían generar empleo en torno a la educación y formación ambiental, actividades de ecodiseño e I+D+i, y sobre todo en la propia recuperación, gestión y valorización de los residuos.

Adicionalmente, estas iniciativas podrían desarrollarse como parte de iniciativas comunitarias de autogestión, creando empleos directos en el entorno de la comunidad y facilitando un efecto multiplicador entre las familias. Para aprovechar este potencial sería, sin embargo, clave que se acompañasen los objetivos con programas adecuados y permanentes de educación a la ciudadanía para provocar el necesario cambio de hábitos.

ASPECTOS SOCIOCULTURALES	<ul style="list-style-type: none"> * Creación de empleo en torno a la recogida separada, selección y valorización material. * Barreras culturales ante un cambio de paradigma, que requiere esfuerzo activo de la ciudadanía. * Creación de un tejido económico en torno al reciclaje y reutilización y beneficios a las comunidades involucradas en la recogida selectiva y reciclaje, si autogestionan sus residuos valorizables. * Reducción de los impactos a la salud que producen los rellenos sanitarios y vertederos clandestinos. * Posibilidad de reducción de costos de producción de nuevos productos. * Menor tránsito de vehículos hacia los lugares de disposición final, al haber menos residuos que tratar, lo que repercute en la mejora la calidad de vida en los asentamientos próximos a los rellenos sanitarios (reducción de polvo, ruido, emisiones, etc.).
---------------------------------	---

Tabla 14. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 2. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

3.3. Escenario 3. Compostaje

Sobre las hipótesis asumidas en el escenario 2, se incluye el compostaje como tratamiento de la materia orgánica contenida en los RSU y previamente separada de forma selectiva.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

Con las hipótesis especificadas en el Anexo 4, los resultados en términos de GEI apuntan a que, con este escenario se alcanzarían reducciones al final del periodo que superarían las 400.000 t CO₂e, 13.300 t CO₂e al año aproximadamente. Esta reducción sería adicional a la estimada para el Escenario 2, ya

que este escenario parte de sus mismas hipótesis, añadiéndole el efecto del compostaje de la materia orgánica. El mayor efecto sobre las emisiones de GEI se debe a que el residuo orgánico que se composta es el que mayor cantidad de GEI emite por unidad.

	2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Reducción de GEI acumulada por periodos (t CO ₂ e)	6.599	70.408	234.922	402.158

Tabla 15. Resultados del escenario 3 en términos de GEI. Fuente: Autores.

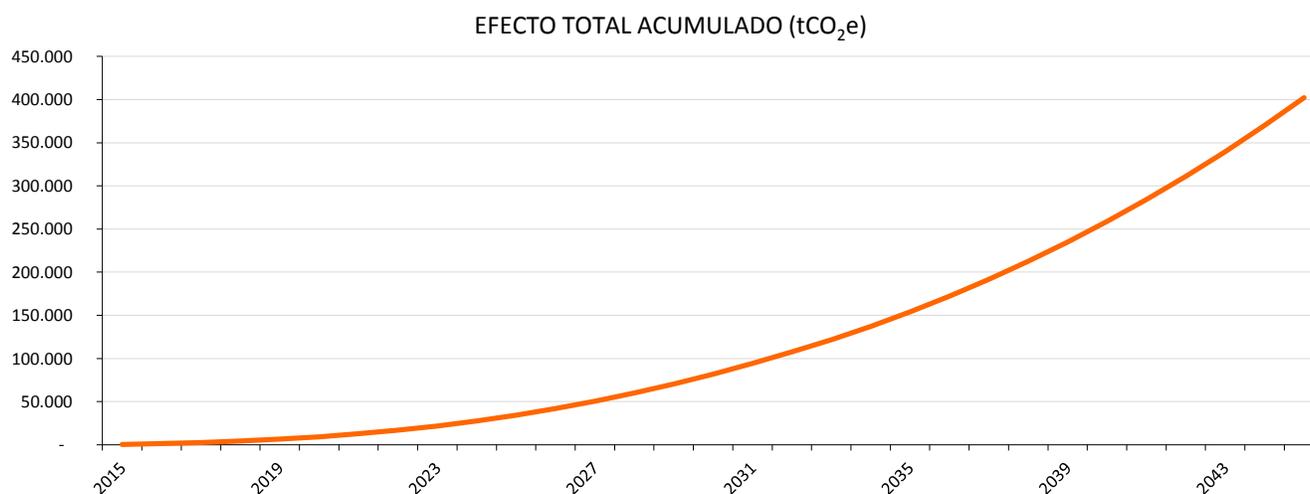


Figura 15. Efecto total acumulado de la reducción de GEI en el escenario 2. Fuente: Autores.

Al igual que en el escenario anterior, la reducción de emisiones de GEI se incrementarían con el tiempo, al consolidarse el sistema de compostaje y aumentar la cantidad de residuos destinados a este tratamiento.

Otros aspectos ambientales

En relación a otros impactos ambientales, la valorización de la materia orgánica y la aplicación al suelo del producto resultante (compost) mejora las propiedades físicas y químicas de éste, de forma que el suelo es más fértil y quedando éste protegido de los procesos erosivos. Este tratamiento imita las condiciones en que la propia naturaleza transforma la materia orgánica degradable en minerales, por tanto, su reinsertión en el suelo permite cerrar el ciclo natural de carbono, permitiendo actuar al suelo como sumidero de carbono. La Red Europea del Compost⁶ (ECN, por sus siglas en inglés) calcula para la aplicación del compost en el suelo un potencial de ahorro en el uso de fertilizantes fosforados (10%), potásicos (9%) y cálcicos (8%).

Logrando una mejora de la calidad del suelo en un 3-7% (Siebert, y otros, 2015).

Por otro lado, la fracción biodegradable de los residuos urbanos del Cantón supone un % elevado, en torno al 55%, por lo que su separación de la corriente de residuos que va a la disposición final en los rellenos sanitarios incrementaría la vida útil de los mismos.

Adicionalmente, se reduciría el riesgo asociado a los lixiviados en los rellenos sanitarios, al llegar menor cantidad de materia orgánica.

⁶ Ver: <http://www.compostnetwork.info/>

ASPECTOS AMBIENTALES	Positivos	<ul style="list-style-type: none"> * Reducción de la contribución al cambio climático. * Reduce la cantidad de desechos llevados al relleno sanitario, por lo que, además de reducirse las emisiones por degradación de la materia orgánica, se reducen las del transporte de los residuos y el peligro que representan los lixiviados en los rellenos. * Ampliación de la vida de los rellenos sanitarios. * Permite cerrar el ciclo natural del carbono en la tierra. * Permite la sustitución de los fertilizantes inorgánicos de naturaleza química, más dañinos para el medio ambiente de más rápida liberación y con un mayor potencial de percolación hacia las aguas subterráneas. * Aumenta la capacidad de sumidero de CO₂ del suelo. * Mejora de la estructura, composición, textura y fertilidad del suelo. * Reduce la erosión. * Mejora la capacidad de absorción de agua del suelo y la de nutrientes de las plantas.
	Negativos	<ul style="list-style-type: none"> * Requiere de aporte energético para mantener el volteo de la materia en descomposición. * Puede producir olores y emisiones de GEI, si el proceso no se realiza de forma adecuada. * Emisiones de polvo, además los materiales pueden ser arrastrados por el viento. * Se generan lixiviados, que deben ser tratados adecuadamente.

Tabla 16. Aspectos ambientales considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

El análisis económico del escenario, bajo las hipótesis especificadas en el Anexo 4, apunta a inversiones que rondarían los 20 millones de dólares en todo el periodo, obteniendo unos

ahorros de casi 8 millones por la menor cantidad de residuo vertida en el relleno sanitario. El valor actual neto de la inversión sería, por tanto, de casi 3 millones de dólares.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Valor actual neto	USD	\$150.706	\$1.005.528	\$2.197.226	\$2.907.972
Costos	USD	\$313.838	\$3.359.564	\$11.526.772	\$19.833.414
Beneficios	USD	-\$120.646	-\$1.291.484	-\$4.431.122	-\$7.624.362

Tabla 17. Análisis costo-beneficio del escenario 3. Fuente: Autores.

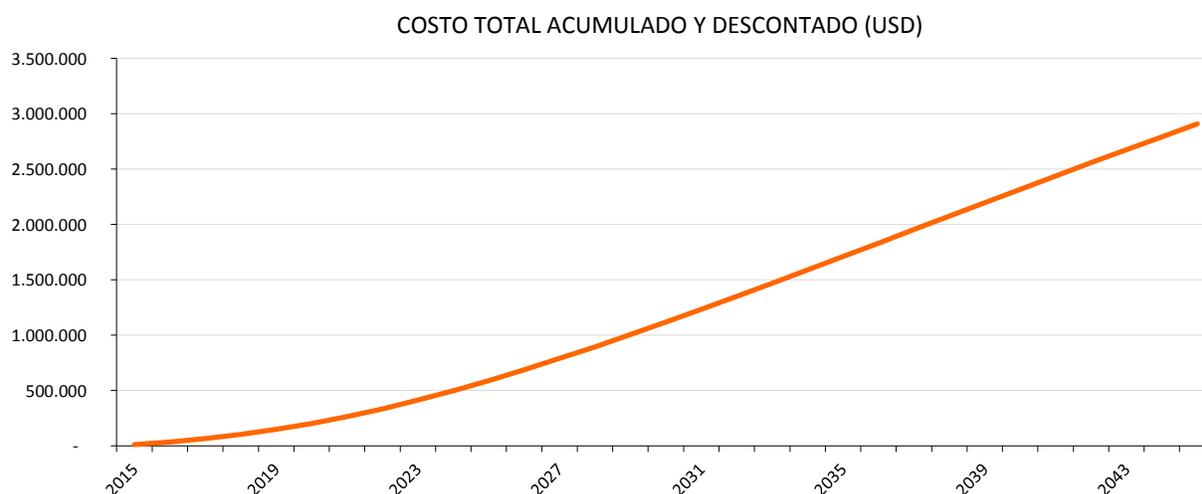


Figura 16. Balance económico total acumulado del escenario 3. Fuente: Autores

El análisis del costo-eficiencia de este escenario revela que, aunque el costo por tCO₂e reducida comenzaría en torno a los USD 23 los primeros años, en el conjunto del periodo se quedaría en torno a los 7.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO₂ e	6.599	70.408	234.922	402.158
Costo	USD	\$150.706,08	\$1.005.527,85	\$2.197.226,09	\$2.907.971,92
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$22,84	\$14,28	\$9,35	\$7,23

Tabla 18. Análisis costo-eficiencia del escenario 3. Fuente: Autores.

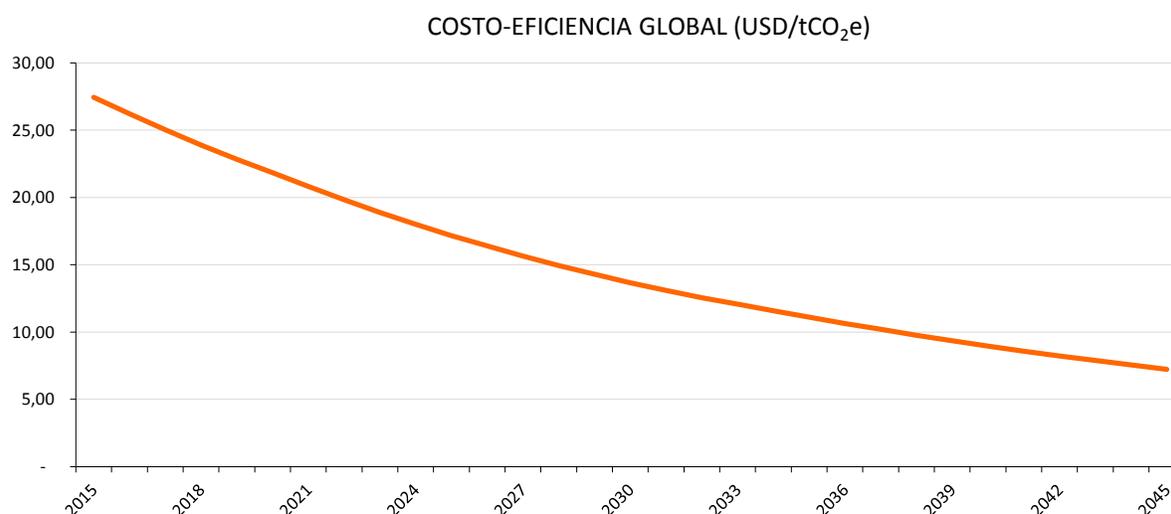


Figura 17. Costo-eficiencia global del escenario 3. Fuente: Autores

En cualquier caso, se incluye también el análisis valorando un precio para este subproducto. En base a la consulta a productores de compost y bibliografía especializada, incorporando al análisis diferentes precios (USD 10 por tonelada

(USAID, 2013; Huerta et al., 2008); USD 125 la tonelada (Brenes-Peralta y Jiménez-Morales, 2013; USAID, 2013)), los resultados apuntan a un balance económico positivo, aunque menor que en el escenario anterior.

Valor compost: USD\$ 10		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Valor actual neto	USD	\$135.782	\$905.952	\$1.979.637	\$2.619.999
Costos	USD	\$313.838	\$3.359.564	\$11.526.772	\$19.833.414
Beneficios	USD	-\$139.777	-\$1.496.283	-\$5.133.796	-\$8.833.410

Tabla 19. Análisis costo-beneficio del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.

Valor compost: USD\$ 10		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO₂ e	6.599	70.408	234.922	402.158

Valor compost: USD\$ 10		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Costo	USD	\$135.782	\$905.951	\$1.979.637	\$2.619.999
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO2 e	\$20,58	\$12,87	\$8,43	\$6,51

Tabla 20. Análisis costo-eficiencia del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.

Valor compost: USD\$ 125		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Valor actual neto	USD	-\$35.847	-\$239.175	-\$522.633	-\$691.691
Costos	USD	\$313.838	\$3.359.564	\$11.526.772	\$19.833.414
Beneficios	USD	-\$359.791	-\$3.851.478	-\$13.214.546	-\$22.737.464

Tabla 21. Análisis costo-beneficio del escenario 3 para un valor de compost de 125 USD/tn. Fuente: Autores.

Valor compost: USD\$ 125		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO2 e	6.599	70.408	234.922	402.158
Costo	USD	-\$35.847	-\$239.175	-\$522.633	-\$691.691
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO2 e	-\$5,43	-\$3,40	-\$2,22	-\$1,72

Tabla 22. Análisis costo-eficiencia del escenario 3 para un valor de compost de 10 USD/tn. Fuente: Autores.

En este caso, se ha realizado el mismo ejercicio que en el escenario anterior y, con las hipótesis asumidas, el umbral de rentabilidad se situaría en un precio de USD 100 / t compost.

Por otro lado, los costos de operación de las plantas se incrementarán en la medida que se desee aumentar la eficiencia y control del proceso de descomposición y maduración de la enmienda orgánica, como por la aireación forzada y cuando se

tratan cantidades muy elevadas de residuos, que entonces requieren una parte de pre y post tratamiento. Para aumentar la calidad el producto final y su posible comercialización, es también recomendable mezclar la fracción orgánica procedente de la recogida municipal con restos vegetales (poda) de menor contenido en humedad, más porosos y más lignificados (mejorando la relación carbono/nitrógeno).

ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

* El compost producido puede ser empleado en la agricultura, jardinería, o su aplicación en suelos degradados, generando beneficios por su venta, pero debe tener una muy buena calidad para poder ser comercializado y explotado económicamente, generalmente es rechazado en la agricultura dado su alto contenido en improprios. Para mejorar la calidad de la enmienda, puede someterse a un proceso posterior de depuración (eliminación de inertes), de forma que se obtenga una composición y granulometría adecuada. Este aspecto encarece el proceso.

Tabla 23. Aspectos económicos considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS SOCIAL.

Los principales aspectos sociales de este escenario radican en mejoras a la salud, por la menor disposición de materia orgánica en los rellenos sanitarios.

Adicionalmente, el tratamiento de la materia orgánica, no sólo la procedente de los RSU, sino también la de origen agro-ganadero (purines, estiércoles, restos hortícolas, etc.), la de origen industrial y de comercios específicos (mataderos, fábricas de conservas, pescaderías, restaurantes, etc.) puede generar puestos de empleo, si se realiza de forma generalizada. El

número de operarios por planta de compostaje varía en función del tamaño, pero los proveedores de este tipo de instalaciones, para una planta media, apuntan a alrededor de 10-15 personas.

Las experiencias de producción de composta en México, por ejemplo, apuntan a la falta de cultura del manejo de la

composta, el desconocimiento ciudadano o la desconfianza en la calidad del producto final (INECC), como barreras principales para la consolidación de este tipo de tratamiento.

ASPECTOS SOCIOCULTURALES	<ul style="list-style-type: none"> * Menores olores y problemas con fauna local, al llegar menos materia orgánica al relleno sanitario. * Creación de empleos adicionales por cada instalación industrial de compostaje. * El compostaje doméstico y comunitario permite aprovechar las enmiendas orgánicas en los espacios verdes de los propios hogares, ahorrando costos en fertilizantes. * Sin un adecuado almacenaje, pueden producirse olores y lixiviados en los hogares y en la propia planta de compostaje.
---------------------------------	---

Tabla 24. Aspectos socioculturales considerados en el escenario 3. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

3.4. Escenario 4. Biometanización

El escenario 4 se plantea como un escenario alternativo al 3. Es decir, sobre el escenario 2 se incluye la biometanización como tratamiento de la materia orgánica contenida en los RSU y previamente separada de forma selectiva.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

De acuerdo con las hipótesis indicadas en el Anexo 4, los resultados en términos de GEI apuntan a que en el Escenario 4 sería similares a los reportados en el escenario 3, con alguna pequeña variación, debida a la generación eléctrica renovable generada en este escenario, pero mínima en cualquier caso. Por

lo que, con las hipótesis asumidas, las reducciones de este escenario rondarían también las 400.000 tCO₂e en el conjunto del periodo de 30 años analizado, unas 13.300 t CO₂e anuales.

Otros aspectos ambientales

Los aspectos ambientales que se relacionan con la biometanización de la materia orgánica son, en esencia, muy similares a aquellos correspondientes al compostaje. Sin embargo, existen una serie de diferencias por realizarse este proceso en condiciones de anaerobiosis. En primer lugar, los volúmenes producidos son menores, lo que facilita su eliminación final o su salida comercial si cuenta con la calidad adecuada. Por otro lado, este proceso, al contrario que en el caso anterior, genera biogás, que puede ser aprovechado para la generación de electricidad, calor o carburantes, sustituyendo las fuentes energéticas convencionales.

ASPECTOS AMBIENTALES	positivos	<ul style="list-style-type: none"> * No emite gases, como si puede ocurrir con el compostaje aeróbico, ya que el gas es recuperado. * Puede ser también empleado para la eliminación de lodos de depuradora de aguas residuales * Se produce biogás (mayoritariamente CH₄ y CO₂), que puede ser empleado como fuente de energía alternativa. * No tiene tantos requerimientos de espacio, como el tratamiento por compostaje y los productos resultantes tienen un menor volumen.
	Negativos	<ul style="list-style-type: none"> * No presenta los impactos negativos que pueden producirse en el caso del compostaje, como en materia de olores y lixiviados. * Genera mayor fracción de rechazo que el compostaje.

Tabla 25. Aspectos ambientales considerados en el escenario 4. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

De acuerdo con las hipótesis asumidas (ver Anexo 4), la inversión en el periodo podría alcanzar los 37 millones de

dólares, obteniendo unos beneficios que podrían rondar los 10,5 millones de dólares. El valor actual neto de la inversión sería, por lo tanto, de algo más de 6 millones de dólares.

2015-2019

2015-2029

2015-2039

2015-2045

Valor actual neto	USD	\$325.824	\$2.173.934	\$4.750.365	\$6.286.985
Costos	USD	\$584.457	\$6.256.477	\$21.466.178	\$36.935.545
Beneficios	USD	-\$166.778	-\$1.785.324	-\$6.125.505	-\$10.539.783

Tabla 26. Análisis costo-beneficio del escenario 4. Fuente: Autores.



Figura 18. Balance económico total acumulado del escenario 4. Fuente: Autores

El análisis costo-eficiencia apunta a valores elevados, de casi 50 dólares por tonelada reducida al comienzo del periodo y

reduciéndose hasta los USD 15,6 por tonelada al final del periodo.

		2015-2019	2010-2029	2015-2039	2015-2045
Eficiencia	t CO₂ e	6.611	70.531	235.345	402.885
Costo	USD	\$325.824	\$2.173.934	\$4.750.365	\$6.286.985
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$49,29	\$30,82	\$20,18	\$15,60

Tabla 27. Análisis costo-eficiencia del escenario 4. Fuente: Autores.

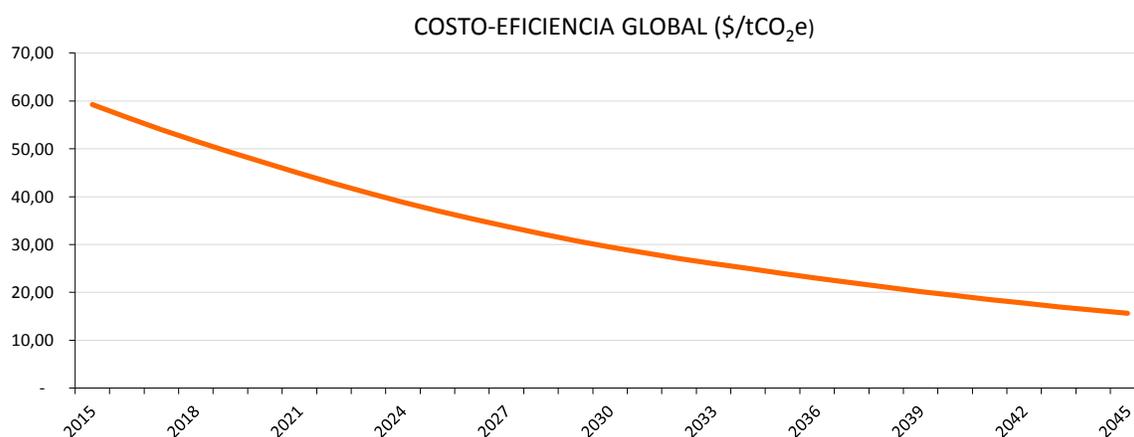


Figura 19. Costo-eficiencia global del escenario 4. Fuente: Autores

Por lo tanto, los principales aspectos económicos a tener en cuenta en este escenario son los mayores costos de inversión, operación y mantenimiento, respecto al escenario de compostaje industrial. Sin embargo, podría permitir algún ingreso generado por la venta de la energía producida en el

proceso. En este sentido, hay que tener en cuenta que esta tecnología no tiene como fin la generación de electricidad y no es competitiva si este fuese el principal objetivo para su elección. El principal motivo es que la potencia que se instala no es elevada, ronda los 2 MWe, por lo que la generación eléctrica

no es importante en términos cuantitativos y no permite crear una economía de escala. En los países donde se ha implantado este tipo de tecnología, es habitual que la generación eléctrica

de la planta se utilice como autoconsumo de las propias instalaciones, obteniendo un ahorro en los costos de mantenimiento.

ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS	<ul style="list-style-type: none"> * Respecto al escenario anterior de compostaje, permite mayores ingresos debido a la venta del producto biogás resultante. Sin embargo, el proceso de operación es más costoso que en caso del compostaje industrial, ya que el mismo debe ser más controlado y es más largo. * Requiere de mayores costos de inversión y mantenimiento de las instalaciones. * Exige sistemas de reducción de la humedad antes de la fermentación de la materia orgánica. * Requiere la instalación de las plantas de tratamiento cerca de las zonas urbanas de producción de los RSU para no encarecer el proceso de transporte.
--	---

Tabla 28. Aspectos económicos considerados en el escenario 4. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes

ANÁLISIS SOCIAL.

Los aspectos sociales de este escenario son muy similares a los valorados en el escenario anterior, por contra sí se estima que se requiere que la mano de obra generada sea más cualificada en este escenario, ya que las condiciones de operación de las plantas deben ser más controladas. El desconocimiento social de estos sistemas y la mala reputación que tiene la composta entre los compradores no contribuye a su aceptación social.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

Bajo las hipótesis asumidas (ver Anexo 4), los resultados en términos de GEI apuntan a que sustituyendo el vertido en relleno sanitario por la co-incineración de los RSU, las reducciones podrían alcanzar 1,7 millones de tCO₂e, en torno a las 56.000 t CO₂e anuales.

3.5. Escenario 5. Co-incineración

El último escenario plantea la valorización energética de los RSU como alternativa al relleno sanitario, en la disposición final de los mismos. Este escenario se valora sobre los escenarios anteriores, donde existen sistemas de recogida selectiva, reciclaje y tratamiento de la materia orgánica.

Reducción de GEI acumulada por periodos (t CO ₂ e)		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Escenario 2+5	t CO ₂ e	200.666	676.800	1.220.479	1.611.192
Escenario 3+5	t CO ₂ e	201.853	682.852	1.253.365	1.681.910
Escenario 4+5	t CO ₂ e	201.865	682.975	1.253.787	1.682.637

Tabla 29. Resultados del escenario 5 en términos de GEI. Fuente: Autores.

Hay que recordar que el planteamiento de estos escenarios de co-incineración es similar a los ya presentados y que tenían como destino final el relleno sanitario. Es decir, por ejemplo, el escenario denominado 3+5 incluye los sistemas de recogida selectiva y reciclaje del escenario anterior 2+4, complementándolos con la tecnología de compostaje para la materia orgánica.

Como se puede observar, el potencial de reducción de la co-incineración, en relación con el relleno sanitario es elevado. Aunque la co-incineración de los RSU genera emisiones de GEI también, tanto por la propia combustión de los residuos como por el uso de algún combustible fósil (se ha considerado el gas

natural⁷ en este caso) durante el proceso, éstas son menores que en el caso de los vertederos. A ello hay que agregarle el efecto de la generación eléctrica generada que, aunque el mix eléctrico de Costa Rica es bajo por su empleo de energías renovables, supone también una reducción añadida a esta tecnología.

Las diferencias entre los escenarios se deben, al igual que cuando el destino final es el relleno sanitario, al mayor poder de generación de metano en los rellenos sanitarios de la biomasa. La diferencia entre los escenarios 3+5 y 4+5 se debe principalmente a la reducción de emisiones estimada, procedente de la venta de electricidad de las plantas de biometanización. Destaca que, en comparación con la diferencia existente entre los escenarios con destino final de relleno sanitario, la reducción de emisiones es menor en este caso. Ello se debe a que el potencial de reducción de la tecnología de co-incineración, frente al relleno sanitario, difumina el efecto de las otras tecnologías complementarias (compostaje y biometanización) cuyo potencial de reducción, en este caso, se calcula sobre una línea de base que ya presenta la co-incineración.

Otros aspectos ambientales

La incineración supone una alternativa al relleno sanitario, por lo que reduce los impactos negativos causados por éste. Sin embargo, este tratamiento también presenta otros aspectos ambientales negativos, ligados sobre todo a la generación de gases y efluentes nocivos.

Además, este tipo de tecnologías aplicadas de forma masiva quedan favorecidas cuando no se cumplen las etapas de reducción y reciclaje y un flujo elevado de materiales reciclables son incinerados. De esta forma logran mantener el flujo elevado de residuos y estabilizar la combustión, debido a su alto contenido energético. Es decir, se podrían desincentivar los planes de separación en fuente, reciclaje, compostaje y reutilización. Las principales implicaciones ambientales de esta técnica se resumen en la siguiente tabla:

⁷ Gas natural como fuente combustible más común en estos casos. En Costa Rica, por el momento, no es un combustible fósil que esté en comercialización, sin embargo se están realizando estudios para su introducción en el futuro.

ASPECTOS AMBIENTALES	Positivos	<ul style="list-style-type: none"> *Reducción de residuos en rellenos sanitarios, reduciendo los impactos asociados a ellos. * Desarrollo tecnológico del proceso de incineración de residuos, llegando a minimizar parte de los impactos ambientales que suponen. * Generación de electricidad y calor, que desplazaría el uso de combustibles fósiles. * Menor ocupación de espacio, presentando una alternativa ante la dificultad de encontrar emplazamientos nuevos adecuados para la instalación de relleno sanitarios.
	Negativos	<ul style="list-style-type: none"> * Necesidad de tratamiento adecuado de los gases generados. Durante el proceso de incineración pueden producirse contaminantes atmosféricos, como los compuestos orgánicos volátiles (COVMD), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx), compuestos halogenados, partículas y metales pesados. * Necesidad de tratamiento adecuado de dioxinas y furanos, además de partículas y metales pesados, que son arrastradas por los gases hacia la chimenea. Si no se controla adecuadamente el proceso de combustión y no se instalan los filtros necesarios, estos componentes pueden ser liberados a la atmósfera, siendo perniciosos para la salud. * Necesidad de tratamiento posterior de eliminación de las escorias, cenizas y chatarras férricas resultantes del proceso de incineración. * Quema de residuos y su eliminación de manera que no pueden ser aprovechados de nuevo como materia prima, por lo que esta opción de tratamiento no reduce el agotamiento de los recursos naturales. * En ocasiones, se puede precisar del uso de un combustible fósil de apoyo durante el proceso. * Producción de un efluente líquido, lixiviado, que es contaminante para el suelo y las aguas por contener dioxinas, metales pesados y sales, entre otros componentes. * Generación de ruido e impacto paisajístico.

Tabla 30. Aspectos ambientales considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes

ANÁLISIS ECONÓMICO.

En base a las hipótesis asumidas (ver Anexo 4), el análisis económico de los diferentes escenarios de co-incineración apunta a inversiones que rondarían los 300-400 millones de dólares en el periodo de 30 años analizado. Ello es debido a que la co-incineración es una tecnología de elevado costo, aunque permite recuperar parte de la inversión, gracias a la venta de la electricidad que se generaría. En este análisis se ha considerado

el precio de venta actual pero, en el caso de que este fuese mayor, el balance económico podría cerrar con beneficios.

Los beneficios estimados podrían llegar a superar los 400 millones de dólares, en el caso del reciclaje y la incineración, con un valor actual neto de la inversión de 4 millones de dólares. En el caso del compostaje y la biometanización se quedaría en torno a los 240 millones de dólares, con un valor actual neto cercano a los 20-25 millones.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Escenario 2+5					
Valor actual neto	USD	\$5.226.090	\$7.946.299	\$5.859.692	\$4.264.052
Costos	USD	\$42.574.642	\$154.419.108	\$309.756.999	\$426.615.433
Beneficios	USD	-\$36.203.620	-\$143.461.291	-\$307.707.433	-\$436.173.527
Escenario 3+5					
Valor actual neto	USD	\$6.052.899	\$14.558.071	\$19.894.226	\$22.135.343
Costos	USD	\$40.662.497	\$130.289.368	\$232.333.613	\$301.318.616
Beneficios	USD	-\$33.227.650	-\$105.440.313	-\$185.608.222	-\$238.589.455
Escenario 4+5					
Valor actual neto	USD	\$6.194.689	\$15.693.148	\$22.414.036	\$25.481.028
Costos	USD	\$40.933.116	\$133.186.282	\$242.273.019	\$318.420.746
Beneficios	USD	-\$33.309.494	-\$105.969.865	-\$187.338.317	-\$241.540.588

Tabla 31. Análisis costo-beneficio del escenario 5. Fuente: Autores.

En comparación con los escenarios donde el destino final es el relleno sanitario, la co-incineración plantea una mayor inversión, aunque hay una mayor recuperación de la misma también.

El mayor costo asociado a la primera opción es debido al mayor volumen de residuos que irían a co-incineración, ya que no existirían otros tratamientos adicionales, exceptuando la recogida selectiva y reciclaje. De la misma forma, los beneficios mayores de este escenario se deben principalmente a la mayor venta de electricidad, generada por el mayor volumen de residuos tratado, así como a la venta de los materiales

reciclados que en los escenarios sucesivos se incluye en la línea de base.

Analizando el costo-eficiencia de los escenarios demuestra que por tonelada de CO₂e reducida rondaría los 3 dólares en el caso de la opción de sistemas de reciclaje y co-incineración y aumentaría en el caso del compostaje y la biometanización, hasta 13 y 15 dólares por tonelada reducida.

		2015-2019	2015-2029	2015-2039	2015-2045
Escenario 2+5					
Eficiencia	t CO₂ e	200.666	676.800	1.220.479	1.611.192
Costo	USD	\$5.226.090	\$7.946.299	\$5.859.692	\$4.264.052
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$26,04	\$11,74	\$4,80	\$2,65
Escenario 3+5					
Eficiencia	t CO₂ e	201.853	682.852	1.253.365	1.681.910
Costo	USD	\$6.052.899	\$14.558.071	\$19.894.226	\$22.135.343
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$29,99	\$21,32	\$15,87	\$13,16
Escenario 4+5					
Eficiencia	t CO₂ e	201.865	682.975	1.253.787	1.682.637
Costo	USD	\$6.194.688,60	\$15.693.148,03	\$22.414.035,86	\$25.481.028,30
Análisis costo-eficiencia	USD/t CO₂ e	\$30,69	\$22,98	\$17,88	\$15,14

Tabla 32. Análisis costo-eficiencia del escenario 5. Fuente: Autores.

Por lo tanto, los aspectos económicos a tener en cuenta son los elevados costos de inversión, operación y mantenimiento de este tipo de opciones de tratamiento. Sin embargo, parece determinante el precio al que se podría vender la electricidad generada.

Es de destacar que, en los países en los que se ha optado por esta tecnología para la disposición final, como por ejemplo los Países Nórdicos, Suiza, Alemania, Japón, China, Corea o Taiwán, entre otros, son países que o cuentan con una elevada renta per cápita y/o tienen una población y/o sectores económicos que producen una elevada generación de residuos derivada muy elevada. En estos casos es de destacar que se cuenta, de

promedio, con una única planta (de alta capacidad instalada) para dar servicio a poblaciones de alrededor de 1 millón de personas (estimado a partir de EUROSTAT).

Por tanto, se deduce que las opciones tecnológicas que presentan mayor viabilidad económica son aquellas que optan por una única instalación de gran capacidad que dé servicio a una población elevada, ya que se necesita que exista un flujo elevado y constante de entrada de residuos para operar en condiciones óptimas técnica y económicamente. Este no es el caso de los residuos peligrosos u hospitalarios, que pueden ser viables con menores capacidades instaladas.

ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

- * Altos costos de inversión, operación y mantenimiento.
- * Requiere del consumo de energía para iniciar el proceso de combustión, además, cuando el poder calorífico de los residuos no es muy elevado o éstos tienen un gran contenido en humedad, es necesario el aporte auxiliar de calor a lo largo del proceso, por lo que se reduce la viabilidad económica ante mayores costos energéticos.
- * La energía generada por este método no cuenta aún con tarifas diferenciales específicas del ICE. La viabilidad económica de los proyectos depende, en gran medida, de las tarifas de compra-venta de electricidad definidas y de una demanda constante. Ello también podría repercutir en la viabilidad económica de la valorización del biogás en los rellenos sanitarios.
- * Las plantas de co-incineración tienen elevados costos de construcción y de operación, por tanto, su

ASPECTOS ECONÓMICOS	<p>viabilidad en el tiempo requiere de contratos con la administración a largo plazo (del orden de 30 años) para asegurar su amortización. Sin embargo, los contratos con la administración están restringidos al orden de 3 años prorrogables.</p> <p>* Existe inviabilidad técnica-económica con residuos de menor poder calorífico, los residuos clorados y los residuos con un alto contenido en humedad.</p>
---------------------	---

Tabla 33. Aspectos económicos considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

ANÁLISIS SOCIAL.

A nivel internacional, la población en general sigue percibiendo la co-incineración de los residuos sólidos como un tratamiento perjudicial para el medio ambiente y la salud humana. En este sentido, es fundamental reforzar la información a la ciudadanía, dando a conocer la tecnología que finalmente se haya decidido implantar en el país. En el caso de Costa Rica, además, se puede ligar a la información sobre la legislación que se está preparando en la materia, para relacionar esta técnica con los límites ambientales que se están marcando para el país.

Otro aspecto importante a considerar está ligado a la inversión necesaria, que es superior a la del relleno sanitario. Ello podría repercutir en las tasas que se deben recaudar, que a su vez podría desembocar en quemas incontroladas por parte de la ciudadanía para evitar la generación de residuos.

En cuanto a la generación de empleo, este tipo de instalaciones requieren de personal cualificado y, en general, no emplean a un número elevado de operarios.

ASPECTOS SOCIOCULTURALES	<ul style="list-style-type: none"> * Baja aceptación social de este tipo de instalaciones, existe gran controversia debido a los impactos que puede ocasionar sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. * Las tarifas de venta de residuos son más altas que el vertido en relleno sanitario, por lo que presentarían repercusión sobre las tasas aplicadas a la ciudadanía para el servicio de recolección. En caso de que la diferencia sea muy elevada con respecto a la situación actual, puede provocar que los ciudadanos se deshagan de los residuos por sus propias vías y sin darles una gestión adecuada (quema incontrolada). * Estas tecnologías involucran menos a la sociedad en la responsabilidad para la gestión de residuos. * Las plantas de co-incineración requieren una mano de obra del orden de 25 trabajadores por cada 100.000tn de capacidad de incineración, lo que es menor a otras opciones de tratamiento (el reciclaje crea del orden de 7-40 más puestos por tonelada tratada). * Demanda mayor experiencia técnica y preparación profesional de los trabajadores. * Se las relaciona con mayores tasas de morbilidad: enfermedades de cáncer, efectos sobre el desarrollo y el crecimiento; o problemas de fertilidad, debido a las dioxinas, aunque la tasa de incidencia sobre la población es baja.
--------------------------	---

Tabla 34. Aspectos sociales considerados en el escenario 5. Fuente: Autores a partir de diversas fuentes.

Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

La gestión integral y sostenible de los RSU supone un reto para las entidades municipales, de acuerdo con las competencias establecidas por la Ley para la Gestión Integral de Residuos. Esta ley, además, marca las pautas que se deben seguir para una ejecución jerarquizada de dicha gestión: evitar, reducir, reutilizar, valorizar, tratar y disponer.

El análisis detallado de la situación de partida del Cantón de San José en cuanto a la gestión de sus residuos revela que existen diferentes escenarios posibles a los que se pueden combinar más de una opción para el tratamiento de las diferentes fracciones de residuos. El análisis comparado de estos escenarios arroja información sobre las alternativas más viables desde el punto de vista ambiental, económico y social.

CONCLUSIONES.

De acuerdo con la información presentada, a continuación se analizan en primer lugar los escenarios que presentan alternativas de tratamiento de los RSU alternativas a la disposición final y, posteriormente, se consideran las opciones de disposición final en relleno sanitario y co-incineración.

El análisis de los escenarios que presentan alternativas a la disposición final, es el siguiente:

- ❖ En términos ambientales y en base a las hipótesis asumidas, las opciones más ventajosas serían el compostaje o la biometanización, por su mayor impacto en la reducción de GEI. Aunque a la biometanización se le pueden imputar más reducciones de emisiones de GEI, la diferencia es mínima, por lo que ambos tratamientos podrían asumirse como similares en materia de contribución a la mitigación del cambio climático. Atendiendo a otros aspectos técnicos y ambientales, el compostaje genera un subproducto que puede ser utilizado para mejorar la calidad de los suelos, como abono, además de tener otras utilidades que se están desarrollando actualmente (material para el filtrado de aguas o material de relleno, entre otros). Además, cuando se utiliza como abono⁸, puede ser sustitutivo de los fitosanitarios químicos, contribuyendo a la

⁸ Para que el abono sea realmente sustitutivo de la fertilización inorgánica, es necesario que sea de buena calidad. En el Anexo I se incluyen los principales aspectos técnicos que deben tenerse en cuenta a este respecto.

disminución de los efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente de éstos.

Como aspecto negativo, esta tecnología puede generar malos olores en el caso de que el proceso no se realice de forma correcta, cosa que no ocurre con la biometanización, al ser un proceso más controlado.

Por el contrario, la biometanización requiere de una tecnología más complicada, que permite generar dos subproductos, el biogás que se puede aprovechar energéticamente (principalmente para autoconsumo de la planta o para generar electricidad, ya que no se produce en grandes cantidades) y el digestato, que se puede compostar a su vez y utilizar como abono de alta calidad. El volumen de digestato generado en la biometanización por unidad de RSU tratada, es menor que el compost generado por unidad de RSU. En ambos casos, tanto para el compostaje como para la biometanización, es necesario crear reglamentos específicos sobre las condiciones de calidad y uso del compost como sustrato, abono o enmienda fertilizante.

- ❖ En términos económicos, el escenario denominado “Educación y reciclaje” podría suponer un balance positivo, siempre que el precio de venta de los materiales reciclables superase de media los USD 118 / t RSU, en base a las hipótesis asumidas. En el caso del compost, el balance económico podría llegar a ser positivo también, obteniéndose beneficios, en el caso de que el precio del compost alcance los USD 100 / t RSU. Para ello, el proceso debería estar profesionalizado y dirigido a obtener un compost de alta calidad. Las experiencias en otros países revelan que, si se comienza produciendo un compost de baja calidad, es muy complicado después revertir la percepción de la sociedad y sectores consumidores del mismo.
- ❖ En términos sociales, la opción que mayor empleo puede generar es la “Educación y el reciclaje”, principalmente asociado a la recuperación y reciclaje de los materiales valorizables. Aunque las plantas de compostaje y biometanización también aumentarían el empleo por los operarios necesarios para su funcionamiento, el número no es tan elevado como el que se podría alcanzar con el impulso del reciclaje.

Además, las opciones que incluyen un tratamiento de la materia orgánica de los residuos (compostaje y biometanización) favorecerían la disminución de la problemática social asociada a los rellenos sanitarios (tecnología de disposición final contemplada en el escenario tendencial), ya que contribuirían a reducir los malos olores y parte de la contaminación ambiental provocada

por los lixiviados que produce la descomposición de este tipo de residuo.

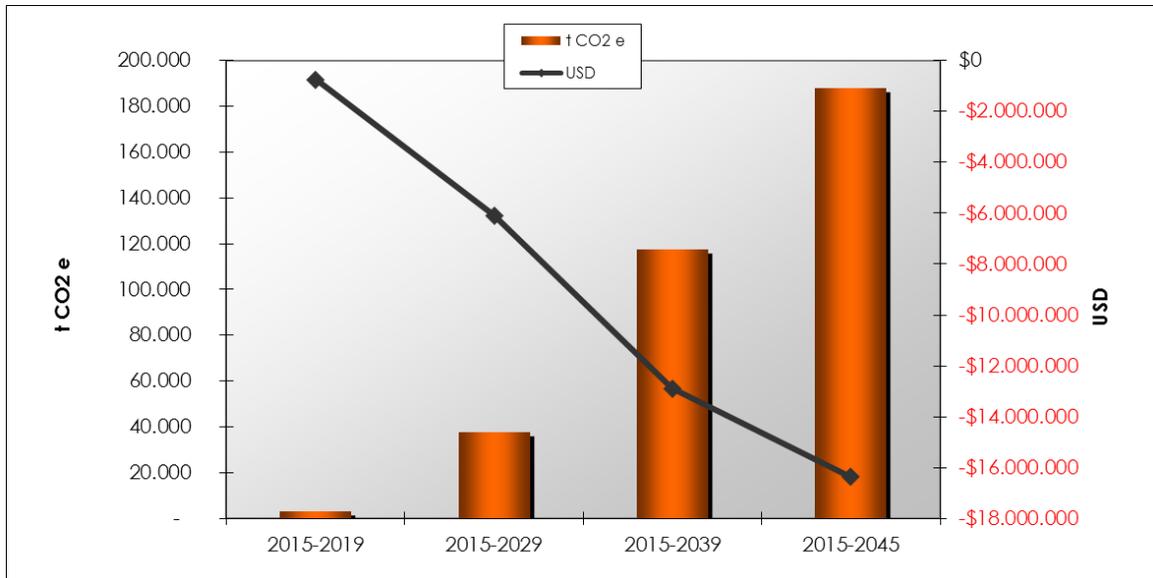


Figura 20. Eficiencia y costo del Escenario 2. Educación y reciclaje. Fuente: Autores.

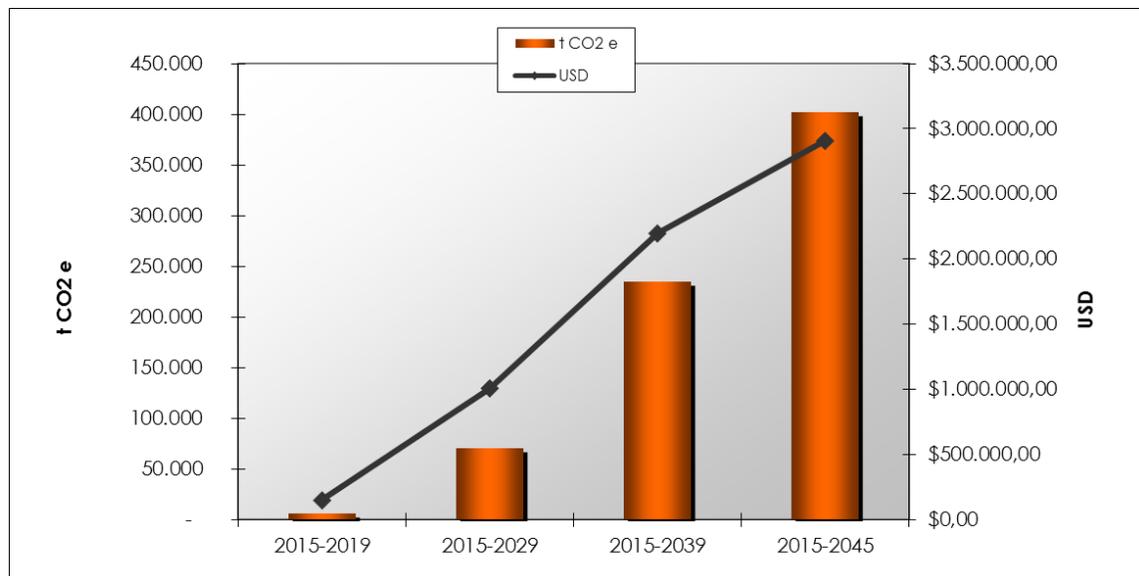


Figura 21. Eficiencia y costo del Escenario 3. Compostaje. Fuente: Autores.

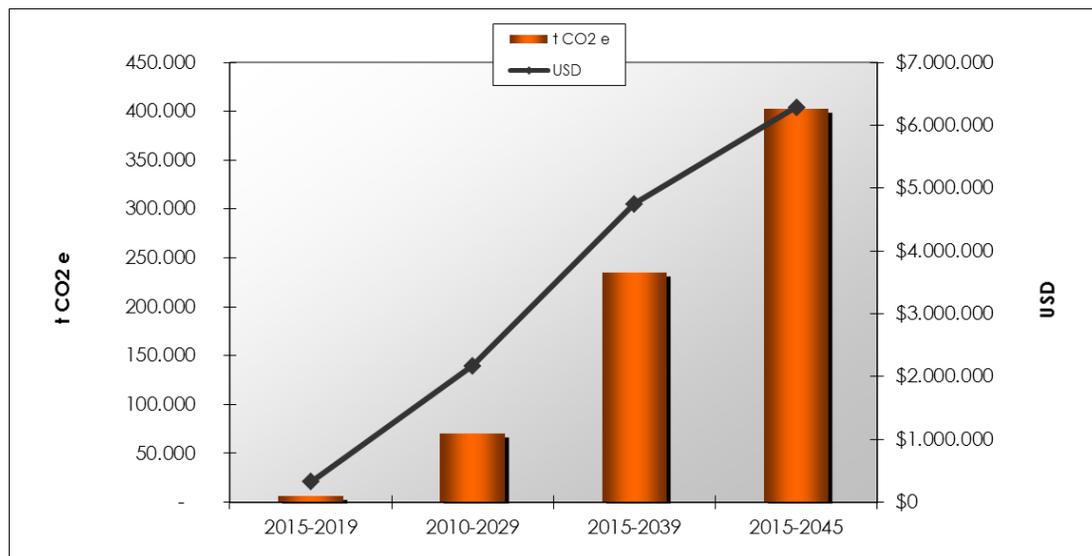


Figura 22. Eficiencia y costo del Escenario 4. Biometanización. Fuente: Autores.

Por lo tanto, teniendo en cuenta también los resultados del análisis multicriterio realizado y presentado en el capítulo anterior, haciendo una combinación de los diferentes aspectos analizados, parece que el modelo de gestión de RSU del Cantón de San José podría apostar por el reciclaje de los materiales valorizables, ligado a una recogida separada de los mismos.

Para alcanzar un escenario de éxito, sería necesario acompañar las acciones que implican infraestructuras con campañas de sensibilización, información y educación ambiental en todos los sectores y a nivel de distrito, con un trato muy personalizado que busque la implicación y corresponsabilidad ciudadana. El objetivo sería ir cambiando el sistema de recogida actual a uno que facilitase la separación en origen, por ejemplo a través de contenedores para cada fracción. Este cambio podría plantearse de forma gradual en el tiempo, en base a la experiencia de otros países, se podría comenzar por las fracciones que la ciudadanía interioriza con mayor facilidad (papel y cartón y vidrio) e ir ampliando a envases y materia orgánica.

Además, podría ser interesante comenzar a trabajar una línea de tratamiento de la materia orgánica, debido a la problemática ambiental y social ligada a su disposición final. Entre los dos escenarios analizados, compostaje y biometanización, el primero, presenta menores costos asociados y, aunque el segundo genera también electricidad renovable, en cuanto a los beneficios sociales y ambientales pueden considerarse casi similares.

Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, a continuación se valoran las diferentes opciones de tratamiento para la disposición final de los RSU, en base a las dos tecnologías principales que son el relleno sanitario o la co-incineración.

- ❖ En términos ambientales, la co-incineración parece presentar un potencial elevado de reducción de GEI. Aunque es una tecnología que genera gases en su proceso, su volumen es sustancialmente inferior al generado en los rellenos sanitarios, aun considerando la captación del biogás en éstos. Además, a ello hay que añadirle la capacidad para generar electricidad a partir de los RSU, que contribuiría a la reducción del mix eléctrico nacional (t CO₂/kWh generado), al considerarse a nivel internacional una fuente de energía renovable. Ligado a ello, el calor podría ser aprovechado por el sector industrial nacional, desplazando a fuentes fósiles y contribuyendo a una mayor reducción de GEI. En otros países, este calor a veces se utiliza también en el sector residencial, a través de redes de *district heating*, pero esta opción sería menos viable en Costa Rica, por las menores necesidades térmicas debido a su clima. Todo ello depende, sin embargo, del poder calorífico de los residuos que se traten⁹. En este sentido, los residuos que presentan un mayor poder calorífico son también aquellos susceptibles de ser reciclados o

⁹ Ver Anexo I para aspectos técnicos de las diferentes tecnologías de tratamiento de RSU analizadas.

compostados (papel y cartón, plásticos, madera y otros residuos de jardinería y podas).

Por otra parte, la incineración de los RSU podría generar tanto contaminantes atmosféricos (COV, CO, NOx, SOx, dioxinas, furanos, etc.), como escorias, cenizas y chatarras, que son considerados residuos peligrosos. Por lo tanto, sería necesario asegurar que todo ello se trata de forma adecuada, para que no supongan un peligro para el medio ambiente y la salud humana. La tecnología a nivel internacional ha avanzado mucho en las últimas décadas y, actualmente, existen opciones para su procesado. A ello hay que añadir la normativa que está finalizando el Gobierno de Costa Rica, donde se fijan los requisitos y límites que debe tener esta tecnología para su implantación en el país.

Por último, la incineración de los RSU supone una menor ocupación del suelo que los rellenos sanitarios.

embargo, hay que tener en cuenta que es posible que la tasa de vertido en el relleno sanitario pueda ser mayor a futuro, si cambian las condiciones del contrato que mantiene la MSJ con la empresa gestora. Por otra parte, la bibliografía y las consultas a expertos revelan que las tasas de incineración en otros países pueden llegar a ser más elevadas, superando incluso los USD 100 por tonelada tratada).

Además, hay que tener en cuenta que parte de la rentabilidad económica de la incineración depende del precio de venta de la electricidad generada. En el caso de Costa Rica, podría ser interesante revisar la tarifa actual, ya que en caso contrario la inversión a realizar se vería perjudicada, de acuerdo con las hipótesis asumidas en el estudio. Esta revisión del precio de la electricidad podría afectar también a los rellenos sanitarios, que actualmente están quemando el biogás captado, por la poca rentabilidad económica de valorizarlo energéticamente.

- ❖ En términos económicos, la tecnología de co-incineración parece que presenta un costo elevado, en comparación con el relleno sanitario (la tarifa por t RSU tratada actual está en torno a los USD 16-20 en el relleno sanitario y, de acuerdo con las hipótesis asumidas, alcanzaría los USD 55-60 en la co-incineración, en ambos sin tener en cuenta los costos ligados a la recogida y selección de los RSU. Sin

- ❖ En términos sociales, la tecnología de co-incineración de los RSU tiene un mayor rechazo que los rellenos sanitarios, por la problemática ambiental y sobre la salud humana que puede presentar, si no se llevan a cabo los controles y tratamientos oportunos. Aunque la tecnología ha avanzado mucho, como se ha comentado, es necesario informar adecuadamente a la población para lograr una menor resistencia a la misma.

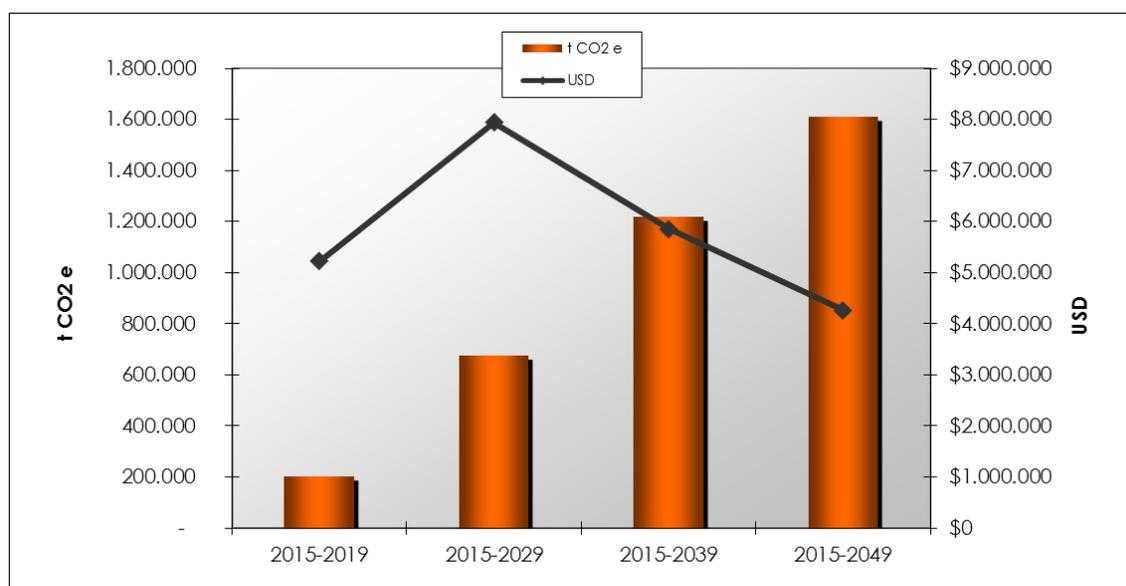


Figura 23. Eficiencia y costo del Escenario 2+5. Educación y reciclaje más co-incineración. Fuente: Autores

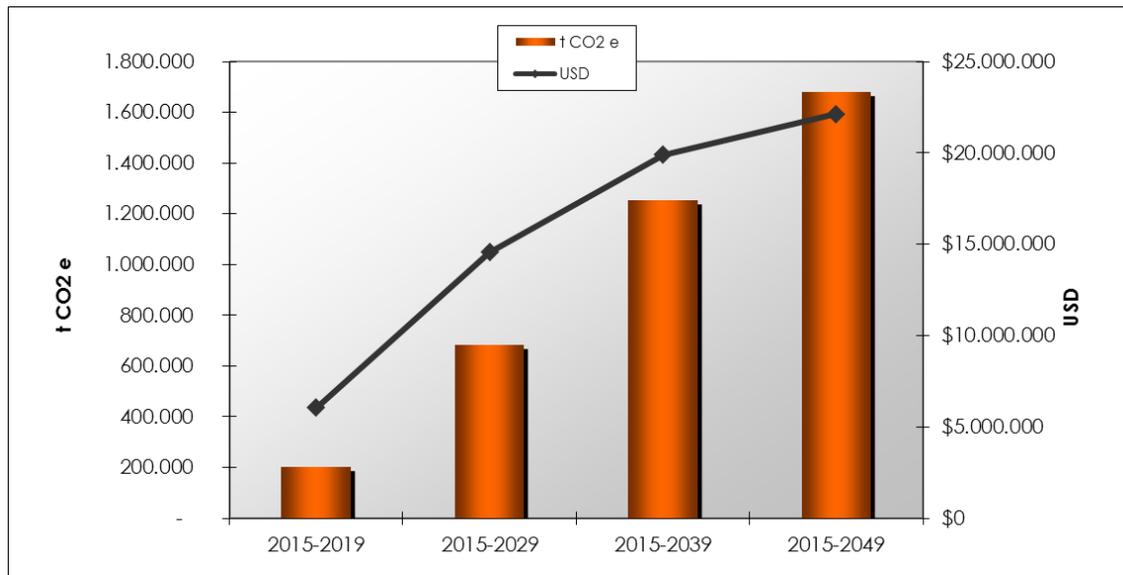


Figura 24. Eficiencia y costo del Escenario 3+5. Compostaje más co-incineración Fuente: Autores

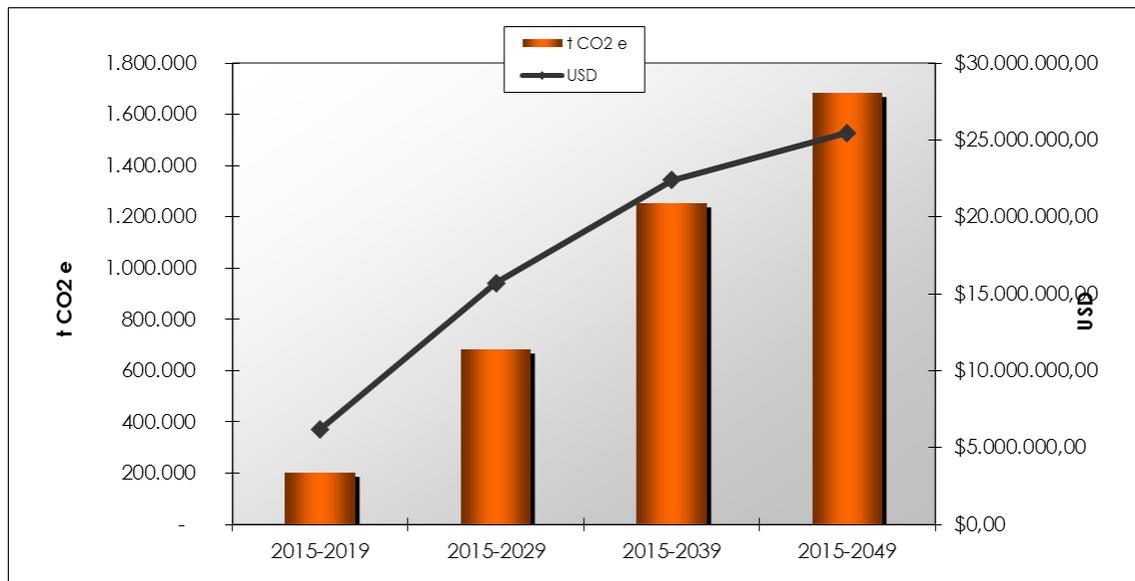


Figura 25. Eficiencia y costo del Escenario 4+5. Biometanización más co-incineración Fuente: Autores

Por lo tanto, el potencial de reducción de GEI parece más importante en la co-incineración que en el relleno sanitario, pero en términos económicos supondría una mayor inversión, cuya rentabilidad podría depender del precio al que se venda la electricidad.

En base a lo anteriormente mencionado, una posible configuración del ciclo del tratamiento de los RSU en el Cantón de San José para los próximos años podría ser el que se muestra en la siguiente figura, combinando el reciclaje, el compostaje y la disposición final en relleno sanitario.

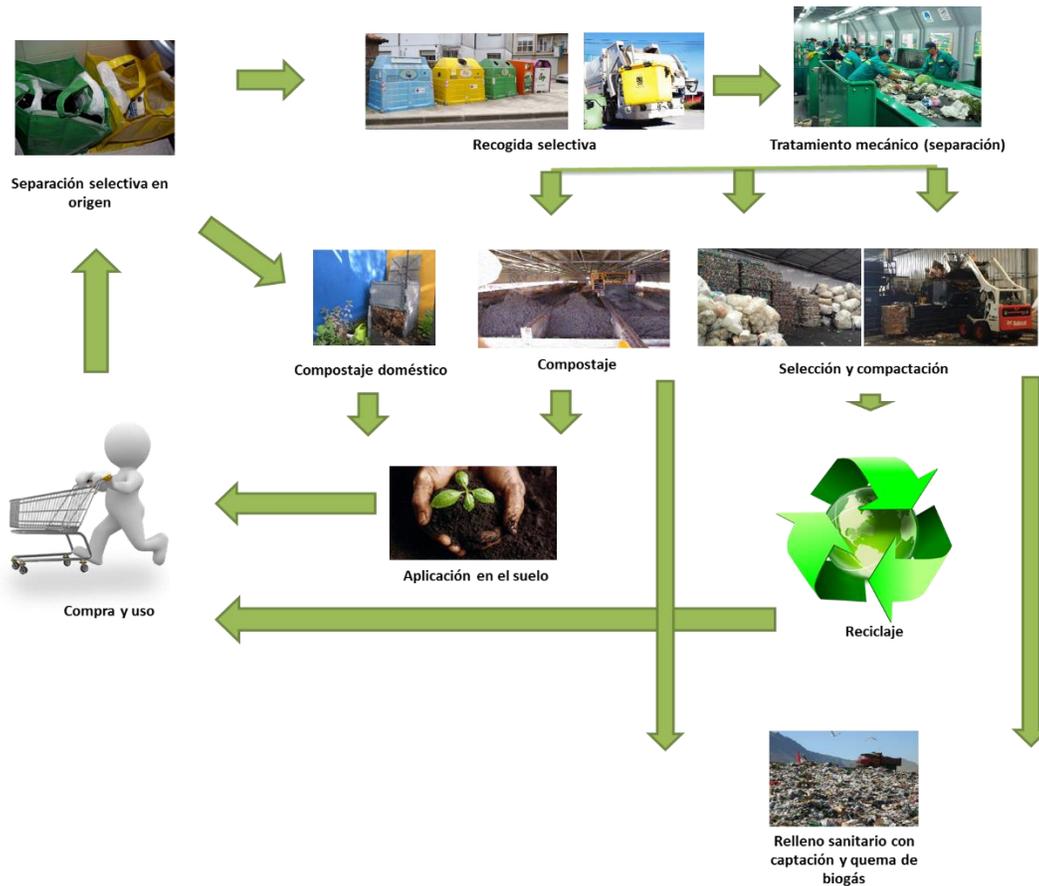


Figura 26. Diagrama del ciclo de tratamiento de los RSU propuesto para el Cantón de San José. Fuente: Autores.

En este sentido, es necesario recalcar que la disposición final en rellenos sanitarios implica una ocupación del suelo. Es necesario, por lo tanto, tener los estudios necesarios para localizarlos geográficamente, en el supuesto de necesidad de construcción de nuevos rellenos en el futuro. En el alcance de este estudio, se ha asumido que el relleno sanitario de El Huazo tiene capacidad suficiente para el periodo analizado, de acuerdo con las fuentes consultadas¹⁰.

Por otra parte, para impulsar este modelo de gestión de RSU, sería adecuado fortalecer algunos aspectos de la capacidad institucional de la Municipalidad. A continuación se exponen las principales recomendaciones en este sentido.

RECOMENDACIONES.

¹⁰ Por lo tanto, el caso de ser necesario extender las conclusiones de este estudio a otros municipios o al ámbito nacional, sería necesario tener en cuenta la vida útil de los rellenos actuales y las posibilidades de espacio para nuevos rellenos, en caso necesario.

NIVEL MACRO O NACIONAL:

Para apoyar la optimización de la gestión de los RSU, que recae en las dependencias municipales, puede ser interesante también reforzar algunos aspectos a un nivel supra-municipal. En este sentido, se identifican dos principales, que apoyarían tanto la disminución de la generación como la mejora de la gestión de los RSU.

- ❖ **Consensuar y fijar una voluntad política nacional en relación con la de los RSU,** con objetivos claros de obligado cumplimiento, que sea implantada por todas las administraciones con competencias en la gestión de residuos.

En este sentido, aunque los principales lineamientos están establecidos y se han desarrollado planificaciones y normativa específicas, sería necesario ir un paso más allá y fijar objetivos de reducción de la disposición final de residuos a nivel nacional, que fomenten las diferentes vías de tratamiento previo.

- ❖ **Apoyar la profesionalización del sector de gestión de residuos**, a través del desarrollo de capacidades en cursos y maestrías especializadas, así como prácticas en centros y plantas ligados a la gestión de los residuos. Existe una oportunidad de crear empleo ligado a la gestión de los residuos, principalmente asociado a la recogida selectiva, separación y posterior reciclaje de los mismos.

NIVEL MICRO O LOCAL:

En el nivel de acción de la MSJ, se han estructurado las recomendaciones en cuatro categorías:

- ✓ **CONOCIMIENTO.** Para agrupar a aquellas que persiguen la generación y actualización de información sobre la generación y gestión de los RSU, clave para la toma de decisiones al respecto.
- ✓ **GOBERNANZA.** Que incluye las recomendaciones dirigidas a mejorar la eficacia, calidad y buena orientación de la política pública en la materia.
- ✓ **GESTIÓN.** Donde se consideran las recomendaciones para mejorar la gestión directa de los RSU.
- ✓ **INFORMACIÓN.** Que agrupa las recomendaciones para asegurar la corresponsabilidad ciudadana en la materia.

A continuación se presentan las recomendaciones en este sentido:

- ❖ **CONOCIMIENTO. Mejorar y actualizar la información:**
 - **Sobre las características de la totalidad de los RSU generados y los tipos de tratamientos aplicados** en el Cantón y no únicamente los que gestiona la MSJ, con el objetivo de tener una visión más global que permita tomar decisiones futuras para su optimización.
 - **Sobre las opciones de mercado para los productos reciclables**, así como de las oportunidades que ofrece la financiación climática para la puesta en marcha de nuevos planteamientos de GIR.
- ❖ **GOBERNANZA. Adecuar la tasa de gestión de residuos**, de forma que permita acercar el valor en función de la mayor o menor generación de cada familia, ello redundaría en la tasa de generación por habitante, reduciéndola.
Tal como se encuentra definido el sistema actual, el municipio no es capaz de discriminar los diferentes volúmenes de producción de desechos generados en los distintos estratos sociales, para poder aplicar tarifas diferenciadas en base a la generación.

La tarifa debería ser suficiente para cubrir los costos asociados a una buena gestión de los residuos. Lo ideal sería fijar esta tasa a nivel nacional y, en su caso, decidir el % de subsidio que se aplicará al costo total del tratamiento de los RSU. De esta forma, se evitarían asimetrías entre los diferentes municipios. Como alternativa, o adicionalmente, se puede aplicar una prohibición de vertido de residuos reciclables.

- ❖ **GOBERNANZA. Mejorar la normativa interna de la MSJ en relación con los RSU**, a través de por ejemplo una ordenanza que regule las competencias en todo el ciclo de gestión de los residuos.
- ❖ **GOBERNANZA. Analizar la posibilidad de llevar a cabo una gestión de los RSU mancomunada con otros municipios adyacentes**, de forma que se puedan optimizar los servicios y disminuir los costos por unidad tratada.
- ❖ **GOBERNANZA. Identificar fuentes de financiación adicional a la local**, para aumentar la capacidad de acceder a las mejores tecnologías disponibles en el mercado.
- ❖ **GESTIÓN. Fomentar en la Municipalidad las asociaciones público-privadas en relación con la GIR**, que apoyen las inversiones a realizar y ayuden en la profesionalización del sector.
- ❖ **GESTIÓN.** En base a la información disponible, **considerar las opciones de tratamiento de los RSU previas a la disposición final como prioritarias**, siguiendo también los lineamientos nacionales en la materia.
- ❖ **INFORMACIÓN. Impulsar la corresponsabilidad ciudadana a través de:**
 - **Mayor información, a través del aumento de la presencia en los medios de comunicación de los actores del sector**, con el objetivo de hacer más transparente y comprensible el proceso de gestión de los residuos sólidos urbanos por la sociedad.
 - **Establecer y mantener en el tiempo campañas de información, sensibilización y educación ambiental**, así como establecer convenios con los centros educativos para la juventud en el proceso.
 - Ligado a lo anterior, **fomento de la participación ciudadana**, para mejorar el éxito de las campañas de reducción de la generación, separación y recogida selectiva y reciclaje.

- **Información sobre indicadores de gestión de residuos**, para reforzar el cambio de hábitos es importante comunicar a la población cómo se

van cumpliendo las metas fijadas en cuanto a generación y tratamiento final de los residuos.

Referencias

Programa CYMA. (3 de Noviembre de 2009). Bruchure Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). San José, Costa Rica: http://ley8839.go.cr/blog/wp-content/uploads/2009/11/brochure_cyma.03.11.2009.pdf.

AIDIS & IDRC. (Noviembre de 2006). Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos solidos urbanos en América Latina y el Caribe. Sao Paulo: /Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) y Centro Internacional de INvestigaciones para el desarrollo (IDRC) http://www.aidis.org.br/PDF/libro_residuos_solidos.pdf.

Araya, G., Salas, M., Campos, I., & Mendez, H. (Agosto de 2014). Proyecto FIRM. Estrategia de Desarrollo de Bajo Impacto GAM - Costa Rica. *Estudio de beneficio/costo de mitigación por estrategias priorizadas en el Gran Área Metropolitana, versión 1.0*. San José, Costa Rica: Manuel Antonio Salas Pereira.

Arikan, Y., Desai, R., Bhatia, P., & Kean Fong, W. (May de 2012). *Global Protocol for Community-scale greenhouse gas emissions (GPC)*. Obtenido de C40 Cities Climate Leadership Group and ICLEI Local Governments for Sustainability in collaboration with: World Resources Institute, World Bank, UNEP, and UN-HABITAT: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/GPC_PilotVersion_1.0_May2012_20120514.pdf

Asamblea legislativa de la República de Costa Rica. (2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839. San José, Costa Rica.

Banco Interamericano de Desarrollo. (julio de 2014). Guía metodológica. Iniciativa Ciudades Emergentes. Segunda edición julio de 2014. 153. ICES. https://drive.google.com/file/d/0B93Bl6qR3zQ_N2RTcjFTdIZFalk/edit. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0B93Bl6qR3zQ_N2RTcjFTdIZFalk/edit

BELECTRIC UK. (2015). Lakeside Energy from Waste. Colnbrook. Buckinghamshire,, Reino Unido: www.belectric.co.uk.

BID. (2013). *Gestión de Residuos Sólidos en Costa Rica. Nota política*.

Brinton, W. F. (2000). Compost Quality Standards & Guidelines. EE. UU.: Woods End Research Laboratory. <http://compost.css.cornell.edu/Brinton.pdf>.

CE. (30 de abril de 2004). Libro Verde sobre la colaboración público-privada y el Derecho comunitario en materia de

contratación pública y concesiones. *COM(2004) 327 final*. Bruselas, Unión Europea, Bélgica: Comisión Europea.

CE. (2 de julio de 2014). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. *Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa*. Bruselas, Bélgica: Comisión Europea (CE). [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com\(2014\)0398_/com_com\(2014\)0398_es.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com(2014)0398_/com_com(2014)0398_es.pdf).

Central Pollution Control Board Bhopal. (2011). Report on co-incineration of hazardous waste in cement kilns in central zone. Bhopal, India: Central Pollution Control Board Bhopal.

Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano. (julio de 2014). Estudio de Caso: Gestión Integral de los Residuos Sólidos. El modelo de ciudad saludable en Perú. Lima, Perú: ETSI Agrónomos de la UPM.

COCETA. (2007). Guía para la creación de cooperativas de trabajo. Madrid, España: Confederación Española de Cooperativas de Trabajo Asociado. Gobierno de España. Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Comisión Europea. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea. *Serie Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC)*. Madrid, Madrid, España: Magrama.

Consejo Nacional de Planificación Urbana (CNPU) y Comité Consultivo del Proyecto PRUGAM. (10 de diciembre de 2008). *Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Tomo I: Diagnóstico Pla PRUGAM (2008-2030)*. San José, Costa Rica: MIVAH. <http://201.194.102.38/PRUGAM/Documentos/Diagnostico.pdf>.

CYMA. (Junio de 2007). Diagnóstico y áreas prioritarias. *Plan de Residuos Sólidos de Costa Rica (PRESOL)*. San José, Costa Rica: <http://ley8839.go.cr/blog/productos/publicaciones/diagnostico-areas-prioritarias/>.

CYMA. (Mayo de 2008). *Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL). Plan de Acción*. San José, Costa Rica: Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). <http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/5ca16311-f442-4a1e-8de0-7f03a792aaae/978-9977-62-055-8.pdf>.

CYMA. (2012). Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios. San José, Costa Rica.

Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.* Hayama, Japón: IGES. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Obtenido de Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.

Environment Canada. (2013). Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing. Gatineau: Minister of the Environment.

FAO. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile, Chile: FAO. <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>.

FEMP. (2014). Guía técnica sobre la gestión de residuos municipales. Madrid, Madrid, España: Federación Española de Municipios y Provincias y Fundación Conde dle Valle de Salazar. ETSJ de Montes. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Fundación AVINA. (2014). Gestión de residuos con contratación de recicladores. Argentina: Asociación Civil por la Igualdad y la Justicia.

Fundación IPADE. (mayo de 2011). Cómo constituir empresas municipales mancomunadas de aseo integral (EMMAI). Cuenca, Azuay, Ecuador: Otto Zambrano. <http://www.fundacion-ipade.org/upload/pdf/EMMAI.pdf>.

FuturENVIRO. (Mayo de 2015). Newsletter Nº 20. Mayo. Madrid, España: www.futurenviro.es.

Grech, H. (mayo de 2010). Waste-to-Energy in Austria. White book. Viena, Austria: Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management.

Hoornweg, D. (Diciembre de 2010). Urban Development Series Knowledge Papers. No. 10. *Cities and Climate Change: An Urgent Agenda.* Washington, USA: The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. <http://go.worldbank.org/FMZQ8HVQJ0>.

IBRD & World Bank. (1999). Technical guidance report. Municipal solid waste incineration. Washington, D. C., Washington, U.S.A.

ICLEI - Local Governments for Sustainability. (Octubre de 2009). *International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP) Version 1.0.* <http://www.iclei.org>.

MINAET. (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático.* San José, Costa Rica: Calderón y Alvarado S. A.

MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. (2011). Proyecto CHI/00/G32. Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Manual de biogás. Santiago de Chile, Chile: FAO.

Ministerio de Salud. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2010-2021. San José, Costa Rica: El Ministerio. http://www.bvs.sa.cr/ambiente/politica_salud_2011.pdf.

Moratorio, D., Rocco, I., & Castelli, M. (agosto de 2012). Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, núm. 10.* Uruguay: Universidad de Montevideo.

MSJ. (Diciembre de 2011). Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. San José, Costa Rica: Municipalidad de San José.

MSJ. (2014). Estudio de caracterización de residuos sólidos y definición de rutas de recolección para el cantón de San José. San José, Costa Rica: Municipalidad de San José.

MSJ. (2014). Sistemas de Información del Departamento de Servicios Ambientales. San José: Municipalidad de San José.

Observatorio Municipal. Dirección de Planificación y Evaluación. (1 de Agosto de 2011). Diagnóstico cantonal. San José, Costa Rica. Obtenido de Módulo 3 - Huella Urbana Histórica y Escenarios Futuros. Capítulos 1 y 2 (Borrador).

OPS. (2005). Capítulo 3: Análisis de la situación del manejo de residuos sólidos municipales. *Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.* Washington, D. C.: Organización Panamericana de la Salud. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Marta A. Bittner. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_mrsm/e/fulltext/informe.pdf.

República, C. G. (2009). *Informe sobre la problemática de la disposición final de residuos sólidos y su impacto en las finanzas públicas.* San José: DFOE-SM-IF-20-2009.

RETEMA. (Marzo-Abril de 2014). Newsletter. *REPORTAJE I Planta de Biometanización de Cogersa (Asturias).*

Saaty, T. (1980). The Analytical Hierarchy Process. Nueva York: John Wiley.

Siebert, S., Veeken, A., Waida, C., Leifert, I., Christian-Bickelhaupt, R., & Auweele, W. (2015). Potential and Value of Recycled Phosphate from Organic Waste. Alemania: European Compost Network (ECN).
http://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/2015/03/150217_posterA0_ESPC2015_ECN_final.pdf.

USAID. (marzo de 2013). Experiencias Internacionales en el Composteo de Residuos Sólidos Orgánicos. México: Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED),.

Anexo 1. Marco de planificación

Los sectores económicos y sociales de la ciudad tienen una gran influencia sobre la emisión de GEI en el entorno urbano. El sector residuos es también responsable de emisiones al nivel municipal. Los residuos sólidos se generan en los hogares, comercios y servicios, instituciones públicas, instalaciones industriales, obras, o las actividades agrícolas. Con ello, la dependencia en la emisión de GEI está sujeta, por un lado, a la generación y composición de los residuos y, por otro, al tipo de gestión realizada, como los factores determinantes de la cantidad de emisiones enviada a la atmósfera.

Debido a esto, las regulaciones, planificaciones y estrategias diseñadas e implementadas desde la esfera pública podrán tener un importante reflejo, en cualquier sentido, ya sea con signo positivo o negativo, en la generación de emisiones de GEI del sector residuos. Las políticas de minimización, reciclado y reutilización, así como las prácticas de gestión alternativas, pueden reducir, por tanto, la factura ambiental de los residuos.

Es por ello que, para entender los resultados que arroja un inventario de emisiones de GEI (ya sea en un sector como el de los residuos, o de manera global), se debe conocer el estado de la planificación para la mitigación del cambio climático. Además, puede ser interesante incluir un análisis de otras planificaciones que a pesar de que no persigan la reducción de emisiones de GEI, al incidir en los sectores económicos y sociales fuentes de emisión, su implementación tenga un efecto transversal sobre la mitigación.

En este sentido, se analiza la acción institucional histórica que marca el lugar de partida de las políticas de mitigación desde este punto de vista, considerando: (1) la **planificación específica** de cambio climático, (2) la **planificación sectorial** que actúa sobre el sector residuos tratado de forma particular y; (3) la **planificación transversal**, que desde un enfoque integrador y multidisciplinario crea condiciones de partida favorables/desfavorables para la mitigación. Del mismo modo, dichas planificaciones definen las acciones a impulsar en la hoja de ruta de GEI de manera que ésta sea del todo coherente con la planificación.

La acción se observa, además, tanto desde la **escala nacional**, como desde las **escalas regional y local**, que afectan al propio Cantón de San José.

1.1. Nivel nacional

PLANIFICACIÓN ESPECÍFICA DE CAMBIO CLIMÁTICO

El proceso de acción específica frente al cambio climático empieza en Costa Rica con la creación del **Programa Nacional de Cambio Climático** en 1994 y su ratificación como país, ese mismo año, de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En dicho marco de adhesión, Costa Rica presentó su Primera **Comunicación Nacional** (2000) a la Convención sobre sus circunstancias nacionales y su compromiso con la mitigación de emisiones de GEI y para la adaptación a los efectos del cambio climático. Con posterioridad, una Segunda Comunicación Nacional fue presentada en 2009 y, por último, una Tercera Comunicación Nacional a finales de 2014. El organismo rector designado para la gerencia del Programa Nacional es el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) junto con el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

Del mismo modo, el país se comprometió a realizar inventarios periódicos de GEI en la escala nacional, siendo el primero correspondiente al año 1996 y encontrándose en la actualidad el IMN realizando el que corresponde con su cuarta edición.

Por otro lado, un hito clave en la política nacional de cambio climático fue la iniciativa de lograr la **carbono neutralidad** de Costa Rica como país en el año 2021, que fue un compromiso presidencial establecido en el año 2007. Los avances hasta la consecución de este objetivo se coordinan desde la *Agenda Café* del MINAE, que promueve la gestión ambiental a todos los ámbitos económicos y sociales del país, con una visión hacia el desarrollo sostenible.

El siguiente gran paso institucional lo constituyó el planteamiento de la **Estrategia Nacional de Cambio Climático** (ENCC), de manera que se definieron prioridades, áreas de acción y un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) de las emisiones a escala nacional, para alcanzar la meta de neutralidad en carbono en el año 2021 y preparar al país para adaptarse a los efectos futuros del cambio climático.

La misma está constituida por dos agendas, una en la escala nacional y otra con carácter internacional. La agenda nacional cuenta, además de con los componentes específicos de mitigación y adaptación, con estrategias para métrica, implantación de capacidades y tecnologías, sensibilización y educación, y financiamiento, como componentes transversales.

La ENCC define los sectores clave de actuación, tanto para mitigación como para adaptación. En el ramo de la mitigación estos sectores son: energía, transportes, agropecuario, industrial, residuos sólidos, turismo, hídrico y cambio de uso del suelo, además, el enfoque de la estrategia no es únicamente nacional, sino que busca la implementación de acciones en los niveles regional y comunal.

(MINAET, 2009)

El **Plan de Acción de la ENCC** (2014-2018-2021), coordinado desde la Dirección de Cambio Climático (DCC), establece acciones específicas en el corto, mediano y largo plazo en los diferentes ejes de acción definidos en la Estrategia. Aquí se definen metas a alcanzar en 2014, 2018 y 2021 y los resultados y productos esperados para cada eje de estrategia.

Por otro lado, el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático de 2013 (Exp. Nº 18.860) y su texto reformulado Ley de Adecuación Institucional para el Cambio Climático, aún pendiente de aprobación por la Asamblea Legislativa, tienen por objeto establecer el marco operativo que permita el buen desarrollo de las políticas de cambio climático en el territorio nacional. El texto reformulado tiene la voluntad de crear dos nuevos órganos con competencias específicas en materia de cambio climático, la Comisión (Conclima) y el Consejo Nacionales de Cambio Climático. La primera, adscrita al MINAE, tendrá las funciones sobre la elaboración y ejecución del Plan de Cambio Climático, así como programas y proyectos de educación y capacitación. El segundo con funciones de consulta, debate y formulación de propuestas y seguimiento del cumplimiento de la ley.

Adicionalmente, en 2009, se aprobó el Decreto Ejecutivo 35.091-MAG-MINAET, orden con la que se requiere a las municipalidades y resto de instituciones públicas de la nación a elaborar programas de gestión ambiental institucional en tres vertientes: eficiencia energética, cambio climático y calidad ambiental. Para mostrar el nivel de implementación y cumplimiento de las 260 instituciones públicas involucradas se creó un sistema de semaforización. Para evaluar y ubicar el grado de desempeño en colores verde, amarillo o rojo, de acuerdo a 18 criterios relacionados con el consumo de agua, la energía, residuos, compras verdes y capacitación, entre otros. El

resultado en 2015 marca que 30 instituciones consiguieron la buena calificación verde, 85 la calificación intermedia amarilla, 13 una calificación mala roja y el resto no presentaron su PGAI o éste no fue evaluado. La municipalidad de San José obtuvo la calificación de naranja.

PLANIFICACIÓN TRANSVERSAL

En el año 2006, nació la iniciativa presidencial “**Paz con la Naturaleza**” (IPN) con la misión de lograr que los temas de gestión del cambio climático sean vistos desde un punto de vista transversal a todos los Ministerios del Gobierno, así como con vocación de colaboración entre las esferas pública y privada, con visión global y el objetivo último de convertir a Costa Rica en el primer país carbono neutral. Bajo este marco, se trabajó en fortalecer las capacidades institucionales y se elaboró un Plan de Acción específico para las áreas de cambio climático, consolidación del **Sistema Nacional de Áreas de Conservación** (SINAC), financiamiento, recursos, calidad ambiental, ordenación territorial, política exterior y educación. Además, con la misión de coordinar, gestionar y formular la política pública de cambio climático, promoviendo la integración de una agenda interministerial, se creó en 2010 la **Dirección de Cambio Climático**, ente adscrito al MINAE, que busca convertir a Costa Rica en un referente mundial de acción frente al cambio climático y, también a nivel nacional, lograr que la agenda de cambio climático sea adoptada de manera transversal, consolidando un modelo de eco desarrollo competitivo y bajo en emisiones y en cumplimiento de la ENCC.

Por otro lado, el principal instrumento transversal a nivel de país, al que se supeditan el resto de planificaciones, es el **Plan Nacional de Desarrollo (PND)**. Se encuentra en su tercer¹¹ periodo de implementación (2015-2018), el mismo es la planificación de referencia institucional para la construcción de las diferentes agendas ministeriales y los entes descentralizados, la asignación de recursos y los programas de inversión pública para el desarrollo del país de forma coordinada, identificando los desafíos y metas a alcanzar para el desarrollo humano. El Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), como ente rector, se encarga de otorgar recursos para la transversalización del cambio climático en dicho PND.

La siguiente figura muestra la línea del tiempo de la planificación del cambio climático a nivel nacional desde el momento en que se ratificó la CMNUCC.

¹¹ La implementación del primer Plan Nacional de Desarrollo correspondió al periodo 2007-2010, el segundo al periodo 2011-2014.

La planificación del cambio climático y transversal a escala nacional en Costa Rica



Figura 27. Línea de tiempo de la planificación nacional de cambio climático en Costa Rica. Elaboración propia.

PLANIFICACIÓN SECTORIAL DE RESIDUOS

El primer acercamiento para implantar una política-país en torno a la Gestión Integral de Residuos (GIR) lo constituyeron las acciones del Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). CYMA fue impulsado desde el Ministerio de Salud, con la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) y la plataforma interinstitucional compuesta por el MINAE, el MIDEPLAN, el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM) y la Cámara de Industria de Costa Rica (CICR). En funcionamiento desde el año 2006 hasta 2009, en su primera fase, y hasta 2012 en la segunda, se puso en marcha para atender el problema del manejo inadecuado de los residuos sólidos en Costa Rica, así como la ausencia de regulación y el constante aumento en la generación de los mismos.

El programa CYMA definió la GIR como:

“El conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final”.

Programa CYMA, ¿Qué es GIR? (2009)

Entre otros aspectos, mediante este programa se impulsaron mecanismos permanentes de diálogo, se fortalecieron capacidades, se fomentó la valorización de residuos y se apoyó el desarrollo de Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS).

Adicionalmente, contribuyó a la formulación de la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Ley No. 8839), que entró en vigor en junio de 2010 y otorgó el marco regulatorio para la GIR y el uso eficiente de recursos en el país. Entre los aspectos más

relevantes introducidos por la ley, se encuentra la definición y promoción de la ejecución jerarquizada de la GIR, de modo que:

- ❖ En primera instancia, se debe **evitar** (minimizar) la generación de residuos en los medios de producción, antes de que los productos se distribuyan y comercialicen.
- ❖ Después, se debe **reducir** la generación de residuos en el origen doméstico, industrial, comercial, e institucional.
- ❖ En siguiente orden de prioridad, se encuentra el **reutilizar** en la medida de lo posible los residuos generados, para volver a ponerlos en circulación en las cadenas de producción.
- ❖ Consecutivamente, **valorizar** mediante la recuperación material de los mismos, permitiendo transformar los desechos en materias primas de producción. Seguido de la valorización mediante recuperación energética y el co-procesamiento.
- ❖ Además, se deben **tratar** los residuos que no hayan podido ser evitados, reducidos, reutilizados ni valorizados, con las tecnologías más adecuadas, antes de su disposición final.
- ❖ Por último, **disponer** de forma ambiental y socialmente adecuada el menor volumen final de los mismos.

Estos principios son los que se muestran en la siguiente figura:

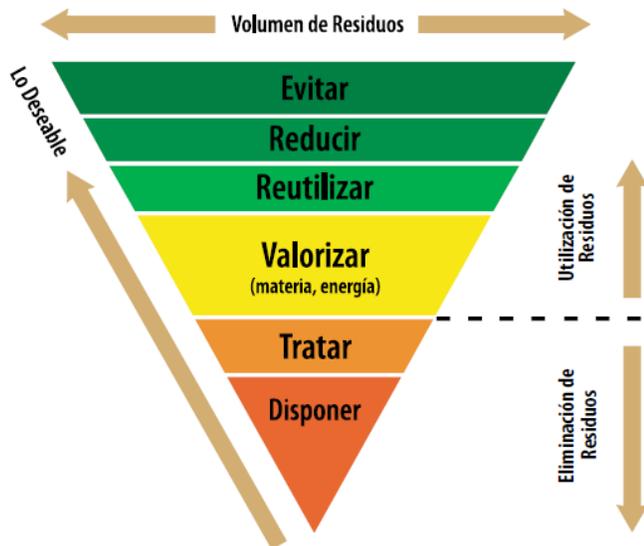


Figura 28. La jerarquía en la GIRS (Programa CYMA, 2009).

Además de introducir los principios anteriores, la ley eliminó la duplicidad de competencias, otorgando al Ministerio de Salud la rectoría en la materia de residuos, es decir: la dirección, monitoreo, evaluación y control del cumplimiento de la ley. Por otro lado, es MINAE, a través de la Dirección de Gestión de la Calidad Ambiental (DIGECA), quien debe velar por el cumplimiento de las primeras etapas, o utilización, en la jerarquía de gestión de residuos: evitar, reducir, reutilizar y valorizar.

Asimismo, la ley dicta que **las municipalidades son responsables de la gestión integral de aquellos residuos que son generados en los límites de su cantón**, incluido su tratamiento y disposición final. Por tanto, deben aprobar PMGIRS, dictar los reglamentos municipales, garantizar la recogida selectiva, capacitar y sensibilizar; así como promover alianzas público-privadas y con las comunidades, entre otras funciones; siguiendo los lineamientos marcados en la política nacional.

Por añadidura, se establecen obligaciones específicas para los generadores, así como para las actividades, obras o proyectos relacionados con la gestión¹² de residuos, que deberán elaborar un estudio de impacto ambiental y contar con la conformidad institucional favorable a su viabilidad ambiental. Por último, todas las personas físicas o jurídicas que deseen dedicarse a la gestión de residuos deberán registrarse ante el Ministerio de Salud.

¹² las actividades, las obras o los proyectos que procesen, almacenen, recuperen, traten, eliminen y dispongan residuos ordinarios y peligrosos.

Seguidamente, en 2010 se aprobó la **Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos (2010-2021)**, cuyo propósito es el de que *el Estado garantice y respete el acceso y ejercicio al derecho de un medio ambiente sano y el derecho de la sociedad a estar informada corresponsablemente en materia de la gestión integral de residuos* y con ámbitos de actuación tales como: la educación, la formación, la capacitación y comunicación social; el fortalecimiento institucional y organizacional; o la investigación y el desarrollo tecnológico. Para cada ámbito se desarrollan políticas de actuación con responsables institucionales para su implementación (Ministerio de Salud, 2010).

Por otro lado, el **Plan de Residuos Sólidos de Costa Rica (PRESOL)**, como una de las estrategias del programa CYMA, persigue acomodar la acción gubernamental en la gestión de residuos de forma adecuada a las condiciones del país. El proceso para la formulación del Plan comenzó con la realización de un diagnóstico nacional de la situación de partida de la gestión de residuos. Entre las problemáticas desveladas por el estudio destacan:

- ❖ El incremento paulatino de la generación de residuos y el elevado contenido en materia orgánica de los mismos (55%) (CYMA, 2007).
- ❖ La importante ausencia de información sobre los servicios existentes de recolección y transporte, siendo que además el sistema no está optimizado, por lo que falta eficiencia.
- ❖ El índice de reciclaje en el país, que se sitúa inferior al 8%, habiendo pocas iniciativas de compostaje, mientras que el potencial para el mismo es elevado.
- ❖ A los lugares de disposición final de residuos llegan residuos sin tratar y sin separación previa. La vida útil de varios de los rellenos sanitarios del país está llegando a su fin, sin que se haya identificado alternativas.
- ❖ El hecho de que la legislación no hace el debido hincapié en promover la separación en fuente o la prevención, otros aspectos de la jerarquía del manejo de residuos como introduce la ley tampoco se cumplen.
- ❖ A nivel institucional existe una falta de coordinación entre las dos principales instituciones con competencias en la materia de residuos: Ministerio de Salud y MINAE.
- ❖ Las municipalidades carecen de las capacidades técnicas y financieras y no cuentan con los recursos técnicos y de personal para mejorar la gestión de residuos a nivel cantonal para dotar de un buen servicio a los ciudadanos.

- ❖ El sector informal juega un papel muy importante en la gestión, pero se encuentra fuera del control institucional.
- ❖ Existe una creciente necesidad de participación ciudadanía y de educar a la ciudadanía en materia de gestión de residuos, así como la profesionalización de técnicos.
- ❖ Las tarifas que se aplican a la gestión de residuos en diversos municipios son relativamente bajas al coste del servicio, la gestión del cobro no es eficiente y existe poca viabilidad económica para efectuar sistemas de reciclaje.

Con este análisis se crearon áreas prioritarias de actuación conducidas a subsanar las problemáticas detectadas. El desarrollo de una legislación clara, completa y coordinada, su implementación y seguimiento; así como el refuerzo de la sensibilización y educación, se desvelaron como los focos más relevantes sobre los que enfocar la acción.

Por tanto, el PRESOL, principal instrumento operativo integral de la GIRS, contó con 31 acciones estratégicas para lograr transformar la cultura que se centra en la eliminación de los desechos producidos, a la reducción de la generación de residuos, la recuperación y el aprovechamiento energético, mediante prácticas de consumo y producción más sostenible (CYMA, 2007).

Por último, el **Reglamento sobre Condiciones de Operación y Control de Emisiones de Instalaciones para Co-incineración¹³ de Residuos Sólidos Ordinarios (borrador)** dicta los requisitos de operación de las instalaciones de incineración, de manera que no supongan riesgo para la salud ni para el medio ambiente. Adicionalmente, dictamina que el proceso de incineración debe ser la opción última de gestión para la fracción no aprovechable, dando previamente los pasos adecuados en la jerarquía de la GIRS. De esta forma, los residuos con valor para el reciclaje o reutilización no deben entrar en la corriente de incineración.

En este sentido, es necesario comentar que a nivel nacional existe una preocupación sobre la disposición final de los residuos sólidos, ante la posible próxima colmatación de los rellenos sanitarios existentes (República, 2009). Dentro de las problemáticas asociadas a la gestión de los residuos, algunos informes apuntan a que puede existir una falta de capacidades

¹³ En este reglamento se define la co-incineración como: “tratamiento térmico de residuos con recuperación del calor producido por la combustión, incluida la incineración por oxidación de residuos, así como la pirólisis, la gasificación u otros procesos de tratamiento térmico, por ejemplo el proceso de plasma, en la medida en que las sustancias resultantes del tratamiento se incineren posteriormente”.

municipales para ello. Por una parte, los ingresos recaudados por las municipalidades pueden no ser suficientes para garantizar un buen servicio de gestión, ya que no permiten las inversiones económicas necesarias. A ello, se le suma la situación deficitaria debida a la morosidad de los contribuyentes o a que las tasas para dichos servicios están desactualizadas (BID, 2013).

1.2. Nivel de la municipalidad de San José

De forma paralela pero coordinada con la acción nacional, las diversas instituciones públicas regionales deben adoptar planes de acción frente al cambio climático, tal como apunta la ENCC, así como planes para la mejora de la calidad ambiental. El IFAM debe velar por que estos organismos queden capacitados a tal efecto, asuman sus responsabilidades y emprendan planes de gestión ambiental que incluyan la variable de cambio climático.

PLANIFICACIÓN TRANSVERSAL

De forma que incide en todos los sectores, el principal instrumento al alcance regional del GAM es el **Plan Nacional de Desarrollo Urbano para la Gran Área Metropolitana (Plan GAM)¹⁴** (2013-2030). El mismo tiene un enfoque de guía estratégica para la planificación urbana en cada cantón, en seis dimensiones:

- ❖ Ambiental.
- ❖ Competitividad.
- ❖ Infraestructuras y redes.
- ❖ Movilidad.
- ❖ Urbano regional.
- ❖ Vivienda y equipamiento social.

La adaptación al cambio climático y la neutralidad en carbono se constituyen como ejes transversales integrados a lo largo de todos los temas que aborda el Plan. Por otro lado, la gestión de residuos se trata de forma específica en la dimensión ambiental del mismo.

¹⁴ Ver en http://www.mivah.go.cr/Biblioteca_PlanGAM.shtml

El **Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana** de Costa Rica (PRUGAM) (2008-2030) define el programa de desarrollo y el nuevo modelo urbano de las 31 municipalidades de la GAM y las cuatro federaciones de municipios, que serán ordenadas con la visión de ser *ambientalmente sostenibles, socialmente integradas, económicamente competitivas, funcionalmente estructuradas y arquitectónicamente mejor diseñadas*.

El documento resultante del proyecto PRUGAM cuenta con seis tomos: (I) diagnóstico, (II) propuesta, (III) reglamento, (IV) atlas cartográfico, (V) participación ciudadana y (VI) resumen ejecutivo, que abordan todos los temas desde tres niveles de acción, regional, metropolitano y local.

(Consejo Nacional de Planificación Urbana (CNPU) y Comité Consultivo del Proyecto PRUGAM, 2008)

El área metropolitana de San José cuenta, a su vez, con un Proyecto de Mejoramiento Ambiental (2007-2025), liderado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y dirigido al mejoramiento de la red de alcantarillado sanitario y a la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Más específicamente en el Cantón central de San José, el **Plan de Desarrollo Municipal** (2012-2016) aborda el desarrollo sostenible en tres ejes de acción: (1) calidad de vida, (2) ciudad funcional y (3) desarrollo institucional. El mismo tiene un programa de gestión de la calidad ambiental cantonal con acciones concretas en ejecución hasta 2016.

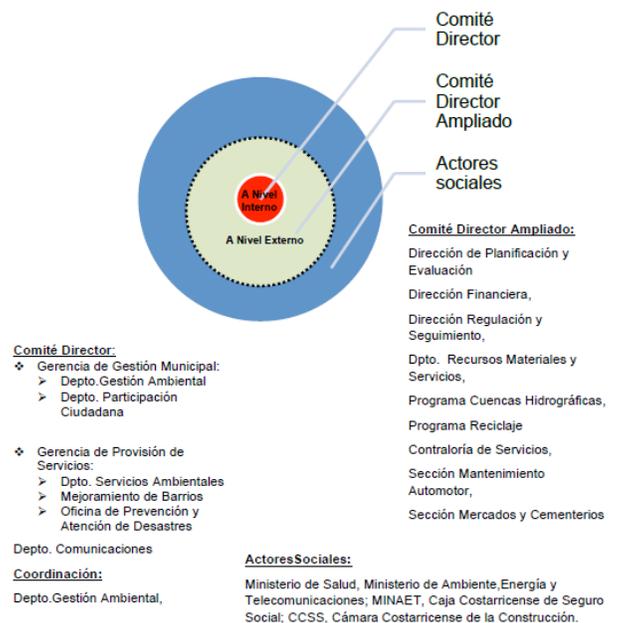
En el eje *Calidad de Vida*, dentro del programa *Hacia la C-Neutralidad*, con prioridad 1 se encuentra el proyecto para la gestión integral de residuos sólidos, cuyo objetivo es contribuir con la protección de la salud pública y con el cuidado del ambiente. La educación y sensibilización ambiental en materia de residuos también tiene un espacio reservado en el programa, así como la gestión ambiental a nivel de las instituciones públicas del cantón.

PLANIFICACIÓN SECTORIAL DE RESIDUOS

Por otro lado, en el sector residuos se han logrado importantes avances en la mejora de la gestión gracias al marco que ofrece el Programa CYMA nacional y el acatamiento de la Ley GIRS. En este sentido, el Cantón central de San José ya cuenta con su **Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2012-2016**. El mismo es la herramienta para la planificación estratégica de

los residuos en el cantón, sobre la base del diagnóstico de residuos sólidos realizado en su marco.

Para su diseño, se contó con un Comité Director, formado por la Gerencia de Gestión Municipal (Dept. de Gestión Ambiental – coordinador- y Dept. de Participación Ciudadana), la Gerencia de Provisión de Servicios (Dept. de Servicios Ambientales, Mejoramiento de Barrios y Oficina de Prevención y atención de desastres) y otros servicios involucrados en acciones concretas, como la Dirección de Planificación y Evaluación, además de actores no municipales como el Ministerio de Salud y MINAE. Por otro lado, en un proceso de participación ciudadana se contó con representantes de las comunidades.



Apoyo Técnico: Grupo Unsat Consultores Asociados.

Figura 29. Equipo responsable del diseño del PMGIRS de San José.

El Plan puede resumirse en los siguientes elementos:

Visión: “El Cantón de San José será líder activo en la gestión integral de los residuos sólidos, promoviendo una mejor calidad de vida que nos posicione como una ciudad limpia, armoniosa y saludable”.

Misión: “La Municipalidad de San José mediante la gestión integral de los residuos sólidos con la participación activa de los actores del cantón, contribuye en la sostenibilidad ambiental para mejorar la calidad de vida de la población”.

Líneas estratégicas:

- Fortalecimiento de capacidad municipal.
- Participación activa de los actores sociales.
- Manejo integral de residuos sólidos.
- Información, comunicación y educación en el manejo integral de los residuos sólidos.

- ❖ Control, regulación y aplicación de la norma. (MSJ, 2011).

El Plan de Acción para su implementación tiene un horizonte de ejecución en el corto (2012), mediano (2013-2014) y largo plazo (2015-2016). Algunas de las acciones encaminadas en el Plan son el análisis de las tasas y recursos municipales para su adecuación, la adquisición de nuevas tecnologías, la capacitación y entrenamiento, la mejora de las infraestructuras, el logro de la participación activa de los actores sociales y para la creación de alianzas público-privadas. Adicionalmente, se están realizando estudios sobre las rutas de recolección, además de la generación y composición de los residuos del cantón. Como proyectos destacables de la GIRS se encuentran:

- ❖ Redes colaborativas en la recolección de residuos valorizables (rutas segregada) a nivel comunitario, ONG y privado.
- ❖ Sistema municipal de recolección y transporte de residuos sólidos valorizables (segregados).
- ❖ Centros comunales de recuperación de materiales valorizables.
- ❖ Estaciones de transferencia.

Para evaluar el cumplimiento de los proyectos y actividades del PMGIRS se puso en marcha un Plan de monitoreo, evaluación y sistematización, que cuenta con indicadores específicos para evaluar el estado de avance de las acciones planificadas.

En la siguiente figura se resumen las planificaciones desarrolladas en el tema de los residuos, tanto a nivel nacional como las propias del Cantón de San José.

La Planificación para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos



Figura 30. Línea de tiempo de la Planificación para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para el Cantón central de San José. Autores.

1.3. Capacidades institucionales

Como se ha visto, en el nivel nacional, la preparación institucional en materia de gestión integral de residuos tiene una historia reciente. En el nivel municipal, sólo desde la aprobación de la Ley de Residuos en 2010 se adjudicó la competencia de la gestión de los residuos generados en los cantones a las propias municipalidades, siendo que hasta entonces las competencias no estaban claramente definidas. De

acuerdo a la ley, las principales responsabilidades de la Municipalidad en materia de GIR son:

- ❖ Aprobar e implementar el PMGIRS.
- ❖ Dictar los reglamentos municipales.
- ❖ Contar con una Unidad de Gestión Ambiental (UGA).
- ❖ Contar con un sistema de recolección selectiva, de cobertura adecuada y con centros municipales de recuperación de materiales.
- ❖ Prevenir y eliminar los vertederos ilegales.
- ❖ Fijar las tasas adecuadas a las necesidades del servicio.
- ❖ Realizar campañas educativas entre los actores sociales y crear capacidades.
- ❖ Establecer alianzas con el sector privado, con cooperativas y organizaciones sociales.

En este sentido, para evaluar el avance de la Municipalidad en el acatamiento de la ley y las capacidades institucionales insaturadas se analizan los siguientes aspectos:

Actores institucionales municipales en la GIR.

Dados los requerimientos de la ley, la capacidad institucional comenzó a desarrollarse para atender los mandatos municipales. La responsabilidad sobre la gestión de las alrededor de 140.000t. anuales de residuos del cantón tratadas (MSJ, 2014) recayó sobre la designada Unidad de Gestión Ambiental municipal: el Departamento de Gestión Ambiental (DGA) –con funciones de planificación-, con el apoyo del Departamento de Servicios Ambientales (DSA) –con funciones de operación- de la Municipalidad de San José. Adicionalmente, la Gerencia Administrativa Financiera juega las funciones de regulación, presupuestos y adquisición de recursos, materiales o servicios. El Programa de Reciclaje de San José y el Departamento de Participación Ciudadana participan también en el impulso de una gestión adecuada de los residuos.

Este hecho destaca que el organigrama municipal en la gestión de los residuos tiene dos componentes, una de gestión y desarrollo de la planificación aprobada, dirigida por el DGA y otro, a nivel de prestación de servicios, operativo, liderada por el DSA.

En este aspecto, con el apoyo del Programa CYMA, el DGA desarrolló el PMGIRS al tiempo que se realizó un estudio de caracterización de los RSU que se generan en el cantón. Este hecho permitió ser el punto de partida para mejorar las capacidades institucionales de la municipalidad en el ámbito de la gestión integral de residuos.

En la situación de partida actual, como se ha comentado anteriormente, la Municipalidad es la prestataria del servicio de recolección y transporte de residuos de forma casi íntegra en el cantón. Ésta cuenta con camiones recolectores en propiedad aunque, adicionalmente, requiere alquilar otros camiones a una empresa de servicios, por hora, para reforzar de forma permanente la recogida. En todo caso, el personal de recolección es totalmente propio de la municipalidad.

Por otro lado, determinados entes privados (grandes productores de desechos, industrias y mercados) tienen prestados sus servicios a través de convenios con empresas privadas, como WPP Continental, sin que exista intervención de la Municipalidad. Salvo por los mercados municipales, que sí cuentan con recogida municipal.

Además, el tratamiento y la disposición final de residuos se realizan mediante convenio con la empresa privada EBI. Por tanto, actualmente los residuos municipales son tratados y dispuestos en los rellenos sanitarios de El Huazo (Parque de Tecnología Ambiental Aczarri, Aserri) y de La Carpio (Parque de Tecnología Ambiental Uruka, Pavas).

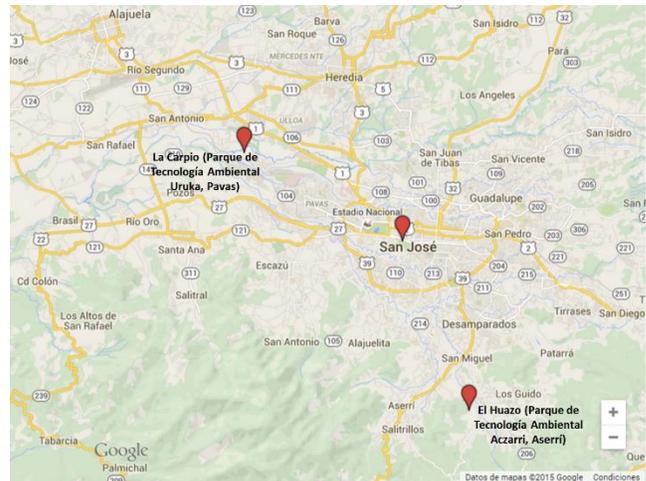


Figura 31. Localización de los rellenos sanitarios. Fuente: Google Maps.

La provisión de los servicios ambientales se desarrolla de acuerdo al siguiente organigrama:



Figura 32. Organigrama de organización del Departamento de Servicios Ambientales. Fuente: Web MSJ.

Recursos humanos.

En el Departamento de Servicios Ambientales, la Sección de Limpieza Urbana encargada del barrido de vías públicas, la recolección de bolsas generadas por barrido, los escombros y basura no tradicional, así como la chapea de vías públicas cuenta

con aproximadamente 488 empleados (5 choferes, 482 trabajadores manuales y un supervisor).

Por otro lado, la Sección de Recolección de Basura, cuenta con 150 empleados públicos (104 son trabajadores manuales, 22 choferes y un supervisor). Mientras que la Sección de Parques dispone de 450.

Tanto el Departamento de Servicios Ambientales como el Departamento de Gestión Ambiental cuentan con funcionarios específicos para realizar la labor de gestión de la planificación y los servicios.

Adicionalmente, el Departamento de Servicios Ambientales no cuenta con una Secretaría ni Recepción, a pesar del elevado volumen de trabajo del departamento.

Recursos técnicos.

Las oficinas municipales para la gestión y el servicio ambiental se encuentran situadas en el edificio “Plantel Municipal”. Dicho edificio cuenta, además, con un espacio para el parqueo de los vehículos asociados al servicio.

En este sentido y como se ha dicho, se cuenta con camiones recolectores propios de la municipalidad. Adicionalmente, se hace uso de recolectores alquilados para atender la recogida en los diferentes distritos (Hatillo, Pavas, San Francisco, distritos centrales, etc.).

Se cuenta con varias motocicletas para la inspección de barrida en los distritos, ya que las distancias que deben salvar los vehículos diariamente son elevadas.

Por otro lado, el servicio dispone de maquinaria pesada, como excavadores para realizar campañas de recogida especial y apoyar en los trabajos de recogida de basura no tradicional (voluminosa) y raspas.

Al mismo tiempo, se cuenta con varias vagonetas de carga entre 4 y 12t para la recogida de desechos en la vía. Por último, la limpieza de vías públicas se realiza mediante carritos y carritos.

La comunicación para coordinar las labores del servicio ambiental es apoyada mediante equipos de radio (walkie-talkies), éstos son escasos y sería necesaria una mejora en sus condiciones de mantenimiento.

Por otro lado, se cuenta con el centro municipal de recuperación de residuos valorizables “El Hatillo”, para el almacenamiento

temporal, clasificación, separación y compactación de los materiales recuperables y su posterior envío a gestores autorizados. El centro tiene la capacidad de gestionar aproximadamente el 1% del total de RSU recolectados por la Municipalidad, ya que cuenta con poca capacidad de almacenaje y se encuentra poco mecanizado.

Recursos económicos.

Las capacidades institucionales se ven limitadas por la disponibilidad de recursos técnicos y económicos, la falta de personal y la necesidad de reforzar su cualificación profesional.

Los ingresos anuales por la renta de recolección y el aseo de vías son los siguientes:

Servicio	2011 Miles de ¢	2012 Miles de ¢	2013 Miles de ¢	2014 ¹⁵ Miles de ¢
Servicio de recolección de basura	3.444.646	3.900.860	4.660.713	2.843.877
Servicio de aseo de vías y sitios públicos	2.953.735	3.300.054	3.728.668	2.147.279

Figura 33. Ingresos anuales municipales por el servicio de recolección de basuras y aseo de vías. Fuente: Estados Financieros y Presupuestarios de la MSJ.

Tasas de recolección.

La ley de residuos establece en su Art. 74 que: “... en el caso específico de residuos ordinarios, se autoriza a las municipalidades a establecer el modelo tarifario que mejor se ajuste a la realidad de su cantón, siempre que éste incluya los costos, así como las inversiones futuras necesarias para lograr una gestión integral de residuos en el municipio y cumplir las obligaciones establecidas en la Ley para la gestión integral de residuos, más un diez por ciento (10%) de utilidad para su desarrollo...” (Asamblea legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

La MSJ actualmente aplica una de las tasas más elevadas por recogida de residuos del país. De acuerdo al modelo tarifario municipal desarrollado, se calcula el importe a abonar a partir de los metros lineales de fachada ocupados por la vivienda o local.

¹⁵ Dato a julio de 2014.

En este sentido, la municipalidad aplica las siguientes tarifas:

Tasas y tarifas trimestrales por servicios	
Servicio de recolección de residuos	
Residencial, público y religioso	₡ 1.052,65
Comercial periférica	₡ 2.631,63
Comercial casco central	₡ 5.263,27
Aseo de vías y sitios públicos	
Periférica	₡ 1.160,30
Comercial casco central	₡ 2.901,65
Mantenimiento de la red lluvia	
Mantenimiento de la red pública	₡ 361,00
Parques y zonas verdes	
Tarifa única por distrito	₡ 640,86

Tabla 35. Tasas y tarifas por servicios ambientales municipales. Fuente: elaboración propia a partir de Diario Oficial La Gaceta N. 233 (2013), N° 18 (2014) y N° 120 (2012).

Desarrollo normativo de residuos.

El único reglamento municipal de desarrollo por parte de la Municipalidad es el Reglamento para la Gestión Ambiental, Gestión de Riesgo, Atención de Emergencias y Desastres; que data de 2005. En materia de residuos no se ha aprobado ninguna ordenanza municipal específica para definir el ejercicio de las competencias municipales en la GIR, como pueden ser las actividades de limpieza de la vía pública, inspección, control, y vigilancia del cumplimiento de las normas; entre otros.

Participación ciudadana.

Tanto el Departamento de Participación Ciudadana como en el de Gestión Ambiental han puesto en marcha diversas iniciativas con la ciudadanía.

Entre ellas destaca el Programa de Reciclaje del Cantón Central de San José, impulsado con el apoyo del Centro Municipal de Recuperación de Materiales Reciclables. El mismo se implantó para lograr del reciclaje una iniciativa a gran escala en el municipio, sin embargo, se encuentra infradimensionado. El Programa cuenta con componentes de divulgación, información y educación; realizando talleres, charlas en escuelas, atendiendo a las comunidades, etc.

Adicionalmente, se creó el Aula Ambiental. Un Centro Urbano Ambiental permanente, donde se promueven y desarrollan acciones de educación y capacitación a los diversos actores sociales. Además, promueve la formación de pequeñas empresas *eco-amigables*.

El Programa Superhéroes Ambientales iniciado en 1997, que duró más de siete años y en el que participaron más de 35.000 jóvenes, fue dirigido a la educación ambiental de los jóvenes josefinos para aumentar su conciencia en relación a la contaminación de suelos, atmósfera y aguas, entre otros aspectos; el tema del reciclaje y los residuos tuvo un espacio específico en el mismo.

Con la conformación de los 11 Concejos de Distrito, se crearon instancias de diálogo entre la Municipalidad y las comunidades, para favorecer el desarrollo local y la creación y fortalecimiento de las organizaciones comunitarias.

Por último, la Municipalidad desarrolla diversas publicaciones dirigidas a las familias para sensibilizar sobre la fauna y flora del entorno, aunque ninguna enfocada hacia la gestión de residuos.

Anexo 2. Proceso de definición de escenarios de gestión de RSU

2.1. Recogida de información

2.1.1. Entrevistas

La técnica de trabajo propuesta por ICES plantea cinco fases metodológicas, junto con una fase previa de preparación y una última fase de inversión, que se corresponde con la ejecución de la planificación diseñada.

Durante la semana del 13 de abril de 2015, tuvo lugar la misión de arranque del C1. Durante la misma, el equipo consultor de Factor CO₂ se entrevistó con diferentes agentes, públicos y privados, ligados a la prevención y gestión de los RSU del Cantón de San José. Entre ellos se encontraban responsables de la gestión de los residuos sólidos dentro de la MSJ, responsables de plantas de acopio y reciclaje de materiales valorizables, tanto públicos como privados, responsables de operación de rellenos sanitarios o responsables de las políticas nacionales asociadas a los residuos sólidos, entre otros.

Además de la información facilitada por la MSJ, relativa a la caracterización de los RSU y sistemas actuales de recogida y tratamiento, se ha obtenido información adicional de otras fuentes. En la siguiente tabla se realiza una síntesis de las entrevistas realizadas y los aspectos abordados en las mismas.

ORGANIZACIÓN	Fecha de entrevista	Asistentes	Aspectos abordados
MSJ	13/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> • M^a José Callejas, MSJ. • Delia Guevara, MSJ. • Luis Fernando Fonseca, MSJ. • Jonathan Arias, MSJ. • Itxaso Gómez, Factor CO₂. • Alba Genovés, Factor CO₂. 	Durante la entrevista se realizó un repaso del nuevo alcance del C1, así como de la agenda de entrevistas. También se trasladó a modo de introducción, la situación actual y problemática existente en el Cantón de San José en relación con la gestión de los RSU.
MSJ	13/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> • M^a José Callejas, MSJ. • Jonathan Arias, MSJ. • Emperatriz Ordeñana, MSJ. • Vanessa Costa, MSJ. • Itxaso Gómez, Factor CO₂. • Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se profundizó en la situación existente y los retos asociados a la recogida de los RSU en el Cantón de San José, ligado a los niveles de reciclaje actuales de los residuos valorizables. Asimismo, se introducen los estudios que la MSJ está liderando en la materia, como paso previo a la toma de decisión.
MSJ	13/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> • Ligia Quesada, MSJ. • Vladimir Klotchkov, MSJ. • M^a José Callejas, MSJ. • Delia Guevara, MSJ. • Luis Fernando Fonseca, MSJ. • Jonathan Arias, MSJ. • Itxaso Gómez, Factor CO₂. • Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se profundizó en la planificación ambiental de la MSJ y su relación con la gestión de los RSU. Asimismo, se comentó el alcance del estudio y los resultados esperados por la MSJ.

ORGANIZACIÓN	Fecha de entrevista	Asistentes	Aspectos abordados
Municipalidad de San José	13/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Ligia Quesada, MSJ. •Vladimir Klotchkov, MSJ. •M^a José Callejas, MSJ. •Delia Guevara, MSJ. •Luis Fernando Fonseca, MSJ. •Jonathan Arias, MSJ. •Marita Beguerí, MSJ. •Werner Obando, MSJ. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se comentaron los alcances de los otros componentes del proyecto y su relación con el estudio que se va a realizar en el C1, con el objetivo de tener identificadas las sinergias entre los diferentes componentes.
Rellenos sanitarios La Carpio, El Huazo	14/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Osvaldo Quesada, Ingeniero relleno sanitario El Caspio. •Vanessa Acosta, MSJ. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se visitaron ambos rellenos sanitarios. El Caspio se prevé que se clausure en 5 años y el del Huazo se está preparando para que tenga una vida útil de 30 años. En ambos casos, se capta el biogás generado pero no se valoriza energéticamente, por la poca rentabilidad de la inversión.
Centro municipal de recuperación de residuos valorizables	14/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Álvaro Valerín, responsable del Centro. •Jonathan Arias, MSJ. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se explicó el funcionamiento del centro, los materiales que se recogen y las principales oportunidades y barreras existentes para su optimización y ampliación. Se visitó asimismo el centro.
Centro de acopio y procesamiento privado WCW	15/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Juan Carlos Araya, West Coast Waste Industries S.A. •Mario Ramirez, West Coast Waste Industries S.A. •Jonathan Arias, MSJ. •Gabriela Rodríguez, MSJ. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se explicó el funcionamiento del centro (en este caso de gestión privada), los materiales que se recogen y las principales oportunidades ligadas al mercado del reciclaje a nivel nacional. Se visitó asimismo el centro.
Fundación ALIARSE	15/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Fiorella Salas, Fundación ALIARSE. •Gabriela Rodríguez, Municipalidad de San José. •Jonathan Arias, Municipalidad de San José. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se comentó el objeto de la Fundación, así como las actividades de sus principales socios. Asimismo, se comentaron las principales actividades que impulsa la Fundación en materia de gestión de RSU, especificando que son independientes de las que sus socios llevan a cabo en relación con el reciclaje de residuos valorizables en sus procesos productivos.
Federación Metropolitana de Municipalidades (FEMETROM)	15/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •Juan Antonio Vargas, FEMETROM. •Delia Guevara, MSJ. •Gabriela Rodríguez, MSJ. •Jonathan Arias, MSJ. •M^a José Callejas, MSJ. •Greyty Thompson, consultora BID. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Durante la entrevista se presentó primero la Federación y su trabajo. Posteriormente, se presentaron los avances y propuestas realizadas desde FEMETROM en relación con la gestión de los RSU, principalmente encaminadas a su valorización energética. En relación con ello, se repasaron los hitos que ha vivido el país hasta desembocar en el desarrollo de un reglamento específico para la regulación de la valorización energética de los RSU a nivel nacional.
MSJ	16/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> •David Montero Pizarro, MSJ. •Trino Calderón López, MSJ. •Alejandra Solano, MSJ. •Vanessa Acosta, MSJ. •Jonathan Arias, MSJ. •Itxaso Gómez, Factor CO₂. •Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se explicó el funcionamiento del sistema de recogida de voluminosos en el Cantón de San José, las mejoras que ello ha supuesto, así como las oportunidades y barreras ligadas a su optimización y ampliación. Por otra parte, se presentaron también las campañas de sensibilización y educación ambiental que se han impulsado en el pasado y el enfoque actual que se le está dando a este aspecto.

ORGANIZACIÓN	Fecha de entrevista	Asistentes	Aspectos abordados
DIGECA (MINAE)	16/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> • Shirley Soto, DIGECA. • Marco Chinchilla, DIGECA. • Delia Guevara, MSJ. • Itxaso Gómez, Factor CO₂. • Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se presentaron las iniciativas y programas que se están impulsando a nivel nacional dirigidas a la reducción en la generación de los RSU (ámbito principal donde actúa el MINAE en relación con los RSU), así como la dinámica de trabajo continuo que se desarrolla entre el Ministerio de Salud y el MINAE en la materia. Se comentaron también los resultados de otros estudios, impulsados a nivel nacional, y relacionados con el estudio a desarrollar y, ligado a ello, se comentó la problemática existente a nivel nacional con la gestión de los RSU.
Ministerio de Salud	16/04/2015	<ul style="list-style-type: none"> • Eugenio Androvetto, Ministerio de Salud • Delia Guevara, MSJ. • Itxaso Gómez, Factor CO₂. • Alba Genovés, Factor CO₂. 	Se comentó la situación actual del reglamento de incineración, a punto de ser aprobado. Asimismo, se comentaron algunas experiencias exitosas en la recogida selectiva y reciclaje a nivel municipal. También se abordó el estado actual de las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA, por sus siglas en inglés) de residuos existentes a nivel nacional.

Tabla 36. Entrevistas durante el proceso de recogida de información. Elaboración propia.

2.1.2. Conclusiones

En este apartado se muestran las primeras conclusiones extraídas tras las entrevistas realizadas, que sirvieron de base para el planteamiento de los posibles escenarios futuros de gestión integral de los RSU en el Cantón de San José.

Costa Rica cuenta desde 2008 con un Plan de Residuos Sólidos – PRESOL – que establece los lineamientos para la gestión integral de los residuos en el país. Dentro de sus objetivos estratégicos se contempla garantizar el manejo integral de todos los residuos generados, con criterios ambientales, sociales y económicos, así como aumentar la valorización de los mismos, entre otros. Asimismo, dentro de sus áreas prioritarias se identifica la separación en la fuente y en los centros de acopio de residuos y su posterior reciclaje, valorización, así como la disposición final de los mismos.

En 2010 se aprobó la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Nº 8839) que regula la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y la ejecución de acciones. Entre sus objetivos se encuentra el promover la gestión integral de residuos en el ámbito municipal y local, fomentando soluciones regionales, así como favorecer la recogida separada en origen y la reutilización y reciclaje de los residuos, fomentando la creación de mercados de subproductos y materiales valorizables y mejorando las infraestructuras necesarias para ello.

Esta ley es apoyada por reglamentos, como el Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (Nº 36093-S) con el objetivo de proteger la salud pública y ambiental, por medio de la gestión integral de los residuos sólidos.

Por su parte, la MSJ aprobó en 2011 su PMGIRS, como acatamiento de la normativa arriba referida y buscando dar respuesta a la ciudadanía del Cantón de San José. Este Plan tiene entre sus líneas estratégicas el manejo integral de los residuos sólidos.

Las principales conclusiones extraídas de la misión apuntaron a que Costa Rica tiene un marco normativo bien fundado en materia de gestión de residuos, que otorga las competencias de su gestión a las municipalidades. Pero la legislación en materia de residuos es del año 2010 (Ley Nº 8839 y sus reglamentos) y aún hoy en día se siguen desarrollando reglamentos para regular las nuevas formas de gestión que se están planteando a nivel nacional. Por lo tanto, las municipalidades han tenido tan solo cuatro años y medio, hasta la actualidad, para ir desarrollando y adecuando este servicio a la nueva norma nacional.

Por otro lado, a nivel nacional, existen en la actualidad retos asociados a la gestión de los RSU derivados de distintos aspectos que cubren toda la cadena de generación y gestión de los mismos. De forma resumida, se han detectado los siguientes:

- ✓ **La poca penetración en la ciudadanía de las políticas de prevención de la generación de residuos y de su separación en origen.**

- ✓ **La falta de dimensionamiento de los sistemas de recogida selectiva y reciclaje, que derivan en que sólo una pequeña fracción de los residuos sólidos urbanos tenga este tratamiento.**
- ✓ **La falta de engranaje o trabajo articulado a lo largo de toda la cadena de valor de la gestión de los residuos.**
- ✓ **La falta de profesionalización de las personas que recuperan materiales al inicio de la cadena.**
- ✓ **La casi ausencia de tratamientos específicos para las diferentes fracciones de residuos (como, por ejemplo, el compostaje de la materia orgánica).**
- ✓ **El riesgo de colmatación de los rellenos sanitarios en operación.**
- ✓ **La falta de cooperación intermunicipal, para la optimización del servicio de recogida y posible establecimiento de centros comunes de almacenaje y separación.**

Por último, a nivel nacional se están ofreciendo otras alternativas a la gestión final de los residuos urbanos que también es necesario considerar, ya que la decisión de la MSJ en este sentido puede incidir en la decisión de otras municipalidades, al ser una de las que mayor número de residuos gestiona. En este sentido, se está consolidando el marco normativo que permita la valorización energética de los residuos en el país, a través de la próxima aprobación del reglamento que lo regule.

En este contexto nacional, el resultado de las entrevistas de la misión, más focalizadas en el Cantón de San José, permitieron conocer los sistemas de gestión y su situación actual. Así, la MSJ dispone de un sistema de recogida de RSU a través de camiones propios y alquilados, operados con personal propio. Asimismo, dispone de un centro de recogida selectiva y reciclaje que da cobertura a aproximadamente el 1% de los residuos que son recogidos por la Municipalidad en el Cantón. De forma general, el destino final de los residuos recogidos (excluyendo los recogidos por el centro de acopio y reciclaje municipal) son dos rellenos sanitarios, La Carpio y El Huazo, operados por una empresa privada. Dichos rellenos cuentan con sistemas de captación activa de biogás y posterior quema, por lo que no se aprovecha el poder calorífico de dicho biogás debido a la poca rentabilidad de la inversión necesaria.

De forma paralela, existe una actividad privada asociada a la recogida selectiva de los residuos. Los niveles superiores de esta actividad están organizados, existiendo empresas privadas que se encargan de convertir los residuos valorizables en materias

primas que se venden tanto a empresas nacionales, como en el mercado internacional. Principalmente, entran en este ciclo los residuos de las fracciones del papel y cartón, envases y plásticos y metales. Estas empresas compran los residuos (en general con niveles elevados de separación) a una red de intermediarios menos organizados que recuperan estos residuos de la calle.

En este sentido, se están haciendo esfuerzos desde el Ministerio Salud, a través de lo recogido en la Ley Residuos y el Reglamento de Residuos, para formalizar la recogida y la gestión intermedia mediante el registro de los denominados “gestores autorizados”. Sin embargo, el nuevo sistema excluye de alguna forma a los gestores más pequeños, que quedarían como actividades fuera del marco normativo.

Por lo tanto, esta actividad (aunque tiene el mismo fin) opera de forma diferente al servicio de recogida selectiva y reciclaje de la Municipalidad, que hace una recogida puerta a puerta de los residuos (en general sin una separación completa en el origen) y una posterior separación manual en planta, antes de su empaque y venta final.

La MSJ se encuentra desde hace unos años reforzando el servicio de recogida y gestión de RSU. Tras la aprobación en 2011 del PMGIRS, se ha impulsado el desarrollo de estudios que permitan la toma de decisión justificada para el tratamiento y disposición final de los residuos. Así, durante 2014 se realizó un estudio de caracterización de los mismos, que es la base sobre la que se analicen las diferentes alternativas existentes a su gestión. De forma paralela, se está también estudiando la optimización de las rutas de recogida de residuos que existen en la actualidad y se han recibido diversos estudios más particulares sobre distintas tecnologías de gestión ofertadas por empresas especializadas a nivel internacional.

Por último, aunque los sistemas de recogida de información de la MSJ en lo relativo a los RSU han mejorado en los últimos años, se ha notado que están centrados en los residuos que gestiona la propia MSJ, por lo que las corrientes de residuos que no llegan a su recogida no se contabilizan. Por ello, es posible que los ratios de reciclaje del cantón sean superiores al 1% señalado anteriormente, ya que la cantidad de residuos que son recogidos y valorizados por las empresas privadas y gestores informales no se contabilizan.

Aunque el debate a nivel nacional se encuentra centrado en las dos principales posibilidades de tratamiento final de los residuos (relleno sanitario vs valorización energética), es necesario no olvidar las premisas previas que marca la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Nº 8839): favorecer la recogida separada

en origen y la reutilización y reciclaje de los residuos, fomentando la creación de mercados de subproductos y materiales valorizables y mejorando las infraestructuras necesarias para ello.

En este contexto, y aunque es necesario el análisis detallado de los estudios e informes que se están desarrollando, las principales alternativas que se han detectado para la mejora de la gestión de los RSU en el Cantón de San José, son las siguientes:

- ✓ **Refuerzo de los sistemas de prevención de la generación de RSU y su separación en origen**, a través de una mayor dotación y mantenimiento en el tiempo de las campañas de educación y sensibilización a la ciudadanía. La experiencia en otros países y ámbitos revela que el cambio de hábitos en la ciudadanía es una cuestión complicada, que se logra en periodos de tiempo largos y a base de insistencia.

La MSJ ha tenido y tiene diversas experiencias en este sentido, pero que se identifican como escasas para alcanzar una penetración suficiente en el global de la ciudadanía del Cantón.

- ✓ **Refuerzo del sistema de recogida selectiva de las diferentes fracciones de residuos y su posterior reciclaje**. El sistema actual tiene deficiencias de automatización y dimensionamiento para que suponga una alternativa real a la disposición final de los residuos. Se puede considerar, por lo tanto, como un proyecto piloto en operación.

El futuro para reforzar este tratamiento en algunas de las fracciones (principalmente papel y cartón, envases y metales, por ser las que mayor salida parecen tener en el mercado) puede estar orientado hacia la organización de una red de recogida selectiva y reciclaje a nivel de comunidad, donde la función de la municipalidad esté orientada en la planificación, orientación y control del proceso. Este enfoque puede concebirse también con una planificación mancomunada, donde la coordinación entre las comunidades se lleve a cabo a través de diferentes municipios adyacentes, de forma que se optimice todo el proceso.

Otra vía sería el otorgamiento de este tipo de servicio a una empresa privada que se encargue de la recogida selectiva y posterior reciclaje de las fracciones valorizables. Aunque la percepción del sector privado especializado en este aspecto es que existe margen para un mayor desarrollo del reciclaje, sería necesario profundizar a través de estudios de mercado que consoliden esta percepción.

- ✓ **Desarrollo de sistemas de tratamiento de la fracción orgánica de los RSU**. La materia orgánica de los residuos es la principal responsable de la generación de metano (CH₄), gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento superior al CO₂. En la actualidad, se están impulsando algunos proyectos piloto en la MSJ para fomentar el compostaje doméstico de la materia orgánica mediante la técnica Takakura, pero no es un tratamiento generalizado. Otra alternativa para esta fracción es la biometanización, aunque su coste es mayor.

Tras reforzar estos tres puntos, seguirá existiendo una cantidad de RSU (denominados habitualmente como “rechazo”), que será necesario gestionar a través de rellenos sanitarios y/o valorización energética.

Otros aspectos a mejorar, que redundarían también en una mejora del sistema de recogida, serían:

- ✓ Una **optimización del sistema de información**, incluyendo también las cantidades de residuos que quedan fuera de la gestión de la MSJ, a través de la colaboración con las empresas privadas que intervienen.
- ✓ Un **ajuste de la tasa de gestión de residuos que abona la ciudadanía**, derivando hacia un modelo en el que las familias que mayor generación presenten, tengan una mayor tasa. Ello se podría ajustar a partir del estudio de caracterización realizado y sus actualizaciones futuras. Este aspecto podría incidir también en la reducción de la morosidad (situada en torno al 40%, de acuerdo con fuentes de la MSJ).

Con este punto de partida, a continuación se presentan los escenarios para la gestión de los RSU en el Cantón de San José, que se analizan en detalle en el capítulo 4.

2.2. Escenarios posibles para el tratamiento de los RSU

Los escenarios de gestión de residuos propuestos para analizar las alternativas existentes para el Cantón de San José son los siguientes:

ESCENARIO	Hipótesis del escenario	Principal utilidad del escenario
Escenario 1. Tendencial	La situación actual se mantiene en el tiempo, con niveles de recogida selectiva y reciclaje similares y con el relleno sanitario como opción para la disposición final de los RSU.	El primer escenario ofrece una visión a 30 años de la situación, en caso de no emprenderse ninguna política adicional a las ya planteadas. Se analiza la evolución de las emisiones de GEI, los costes económicos y las implicaciones sociales que tiene la actual gestión de los RSU.
Escenario 2. Educación y reciclaje	Sobre el primer escenario tendencial, se realiza un mayor esfuerzo por la educación para la prevención, la separación en origen y posterior recogida selectiva y el reciclaje de los materiales valorizables. Como resultado, la generación de RSU disminuye y la cantidad que llega al tratamiento final se ve reducida. En este sentido, se mantiene como tratamiento final el relleno sanitario. Respecto a la mayor tasa de reciclaje de este escenario, se apuesta tanto por una profesionalización de los primeros actores de la cadena, como por una mejora del sistema actual municipal.	El segundo escenario introduce resultados derivados de un mayor esfuerzo en el origen de la cadena de gestión de los RSU: la generación y la recogida. Este paso es fundamental, ya que cada tonelada de RSU que se evite, es una tonelada que no es necesario gestionar. Asimismo, se profundizará en los beneficios ambientales, sociales y económicos de la educación y el reciclaje con un horizonte a 30 años.
Escenario 3. Compostaje	Sobre el escenario 2 se incluye una apuesta por el compostaje de la materia orgánica contenida en los RSU, ligado a una mayor recogida selectiva de la misma. La introducción de este tratamiento se plantea con un índice de penetración elevado, con plantas industriales, y no únicamente a nivel piloto de determinadas comunidades.	En el tercer escenario se ahonda en las ventajas del tratamiento de la materia orgánica de los RSU, analizando las implicaciones ambientales, económicas y sociales, tanto si el compost generado tiene una salida en el mercado, como si finalmente una cantidad del mismo quede como un residuo inerte.
Escenario 4. Biometanización	El escenario 4 es un escenario similar al escenario 3, pero con otra tecnología de tratamiento de la materia orgánica de los RSU.	Los resultados de este escenario revelan las diferencias entre tecnologías de tratamiento de materia orgánica, para facilitar la toma de decisión por una u otra.
Escenario 5. Co-incineración	El último escenario plantea la valorización energética de los RSU como alternativa a la disposición final de los mismos. Este escenario se valora sobre los escenarios anteriores, tanto un tendencial donde los RSU acaban en una planta de co-incineración, en vez de en un relleno sanitario, como sobre un escenario donde existen sistemas de recogida selectiva, reciclaje y tratamiento de la materia orgánica.	El último escenario revela las implicaciones ambientales, económicas y sociales de la valorización energética de los residuos bajo varios supuestos de cantidades de RSU que llegarían al tratamiento final, en función de la penetración de tratamientos anteriores alternativos (reciclaje y tratamiento de materia orgánica por compostaje y/o biometanización).

Tabla 37. Escenarios de gestión de RSU. Elaboración propia.

El análisis de los diferentes escenarios presentados, teniendo en cuenta las variables ambientales, económicas y sociales, así como las barreras institucionales, políticas, técnicas, presupuestarias y administrativas a su implementación, facilita la toma de decisiones. En este sentido, el análisis de las diferentes opciones, tomando no sólo criterios económicos, sino también ambientales y sociales, que son más difícilmente monetizables pero que es necesario tener presente desde la administración pública, aporta una visión completa para la toma de decisión.

Es necesario indicar que no se ha tenido en cuenta un posible escenario de mejora de los rellenos sanitarios actuales, que podría derivar en una menor emisión de GEI. Ello ha sido debido, por un lado a que la capacidad de actuación de la municipalidad en este sentido es limitada. Los rellenos sanitarios son operados por empresas privadas, que cobran un canon de vertido al municipio. Por otra parte, los rellenos actuales cuentan ya con sistemas de captación activa del biogás generado y sistemas modernos de quema del mismo, ante la inviabilidad económica de valorizarlo energéticamente.

Anexo 3. Aspectos metodológicos del análisis de escenarios

3.1. Aspectos ambientales.

En el caso del análisis ambiental, se ha considerado por un lado la contribución de cada escenario a la mitigación del cambio climático de forma cuantitativa y, se ha completado el análisis, con las consideraciones cualitativas asociadas sobre la contaminación del aire, agua y suelo.

En lo relativo a la estimación de mitigación del cambio climático de cada escenario, se han homogeneizado los resultados, expresándolos en términos de t CO₂e. Para ello, se han utilizado los potenciales globales de calentamiento (GWP, por sus siglas en inglés) a 100 años indicados por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	310

Tabla 38. Potenciales de calentamiento global de los principales gases de efecto invernadero. Fuente: (Eggleston, Buendia, Miwa, Ngara, & Tanabe, 2006).

Así mismo, para el cálculo de las emisiones se aplican los estándares técnicos especificados por el mismo organismo en sus Directrices Metodológicas de 2006 para los inventarios nacionales de GEI, utilizando el método de descomposición de primer orden. Este método de cálculo parte de la base de que el carbono orgánico degradable que contienen los residuos orgánicos, se descompone lentamente en el tiempo (en un periodo que ronda los 30 años). Esta descomposición se realiza en ausencia de oxígeno, por el efecto de los residuos que son depositados periódicamente, lo que provoca que durante el proceso se genere gas metano (CH₄). La tasa de descomposición

varía principalmente en función de la cantidad de carbono orgánico contenido en los residuos y de las condiciones ambientales. Los valores aplicados son los recomendados por el IPCC para países tropicales con estación húmeda y seca.

Para la estimación de las reducciones de GEI, se aplica un enfoque de proyecto propio del mecanismo de desarrollo limpio (CDM, por sus siglas en inglés), donde el efecto de cada escenario es el resultado neto de:

- Un escenario de referencia o línea de base - LB (*baseline*), es decir, las emisiones que se producen en ausencia de la medida o proyecto.
- Un escenario de proyecto - LP (*project emissions*), es decir, las emisiones que se producen como consecuencia directa de la implantación de la medida o proyecto.

En el cálculo de la reducción de las emisiones de GEI no se ha tenido en cuenta únicamente la reducción de emisiones en el año en que se dejan de depositar los residuos en el relleno sanitario, sino las emisiones de GEI que se evitarían durante todo el periodo que duraría su descomposición, de haberse destinado a un relleno sanitario. Ello es relevante, ya que, como se ha comentado, los residuos que emiten GEI durante su descomposición tardan una media de 30 años en completar el proceso, periodo durante el cual están liberando CH₄.

En todos los escenarios se ha asumido una composición de los RSU constante, en base a la información derivada del estudio de caracterización desarrollado por la MSJ en 2014.

3.2. Aspectos económicos.

Por su parte, para el análisis económico de los diferentes escenarios también se han homogeneizado una serie de

cuestiones. Los elementos incluidos dentro del mismo son los siguientes:

- ❖ **Costos o gastos efectivos** del escenario, incluyendo tanto las inversiones iniciales como los costos de operación y mantenimiento.
- ❖ **Beneficios**, entendidos como los ingresos monetarios efectivos del escenario.
- ❖ **Ahorros** del escenario, es decir, costos evitados sobre la situación o escenario planteado en la línea de base.
- ❖ **Costos de oportunidad**, entendidos como los ingresos monetarios que se dejan de percibir por las hipótesis asumidas en el escenario analizado.

Las fuentes consultadas para la estimación de costos han sido variadas, desde bibliografía especializada, hasta consultas informales a proveedores, así como propuestas y licitaciones públicas. En general, se ha optado por asumir costes medios a partir de varias fuentes, para sistemas y tecnologías estándar que podrían ser aplicadas en Costa Rica y, más especialmente, en el Cantón de San José. Es necesario comentar, sin embargo, que el balance económico final de la opción seleccionada puede variar cuando se vaya a implementar, ya que es necesario considerar aspectos locales que no han podido ser tenidos en cuenta en un estudio de las características del presente informe (por ejemplo, la adecuación final de la opción seleccionada a las condiciones y necesidades locales, el diseño exacto del equipamiento, las necesidades administrativas y burocráticas que será necesario asumir, la actualización de la tipología y volumen del residuo a tratar, etc.).

La tasa de descuento utilizada para calcular el valor actual de los valores futuros ha sido del 7,15%, de acuerdo con la última venta de bonos del Estado de Costa Rica a 30 años, realizada el 5 de marzo de 2015.

Con los resultados en términos de eficiencia o reducción de GEI y en términos económicos, se agrega un indicador más al análisis, la relación costo-eficiencia de los diferentes escenarios, es decir, el costo económico de reducir cada tonelada de GEI, en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Costo - Eficiencia} = \frac{\text{VAN}}{\sum_t t \text{CO}_2 e_t}$$

Ecuación 1. Costo-eficiencia de una acción.

Donde,

VAN: Valor actual neto

t CO₂e: Efecto en términos de reducción de emisiones de GEI

t: Años durante los que se realiza el análisis

$$\text{VAN} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{Costos}_t - \text{Ingresos}_t - \text{Ahorros}_t + \text{C.Oportunidad}_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 2. Valor actual neto de una inversión.

Donde,

VAN: Valor actual neto

Costos: Costos efectivos asociados al escenario

Ingresos: Ingresos efectivos asociados al escenario

Ahorros: Ahorros económicos asociados al escenario

C.Oportunidad: Costos de oportunidad asociados al escenario

r: Tasa de descuento

t: Años durante los que se realiza el análisis

No debe perderse de vista que el costo-eficiencia es una metodología extremadamente sensible a pequeños cambios en las hipótesis o en los periodos de cálculo. Cuestiones como los tipos de interés o la estructuración en el tiempo de las medidas cambian de forma sustancial los resultados. La bibliografía especializada es compleja y, en todo caso, es conveniente realizar un plan de inversión detallado en cada medida con carácter previo a su puesta en marcha.

3.3. Aspectos sociales.

En el análisis de los aspectos sociales, se ha considerado tanto la percepción de la ciudadanía sobre las diferentes tecnologías de tratamiento de RSU incluidas en cada escenario, como su posible repercusión sobre la salud humana y el empleo.

El análisis realizado ha sido cualitativo, en base a la información disponible en bibliografía relacionada y las conclusiones extraídas de las entrevistas mantenidas y comentadas en el capítulo anterior.

Anexo 4. Información sobre los escenarios

4.1. Escenario 1.

Tendencial

El análisis de las tendencias en otros países respecto a la disposición final en rellenos sanitarios, sin tratamiento previo, apunta a una reducción en el tiempo, debido al efecto de la

combinación de políticas para la reducción de la generación, así como la inclusión de tecnologías para el tratamiento de las diferentes fracciones.

La Unión Europea en su conjunto ha disminuido su vertido en más de un 50%, aunque en Estados Unidos la evolución se ha mantenido constante en el tiempo. Países, como Alemania, han dejado de verter residuos en rellenos sanitarios.

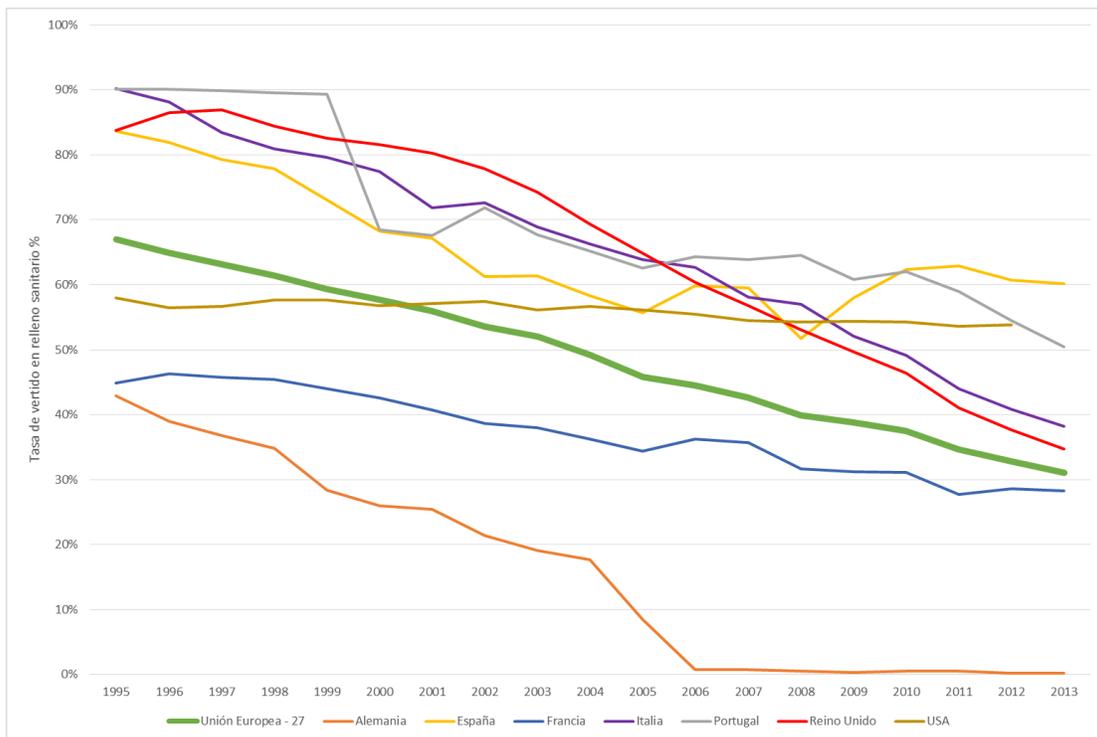


Figura 34. Evolución de la tasa de vertido en relleno sanitario en países europeos y en USA. Fuente: EUROSTAT y OECD.

Desde el punto de vista ambiental, para el análisis de las emisiones de GEI asociadas a este escenario, las hipótesis técnicas asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Crecimiento promedio anual del ratio de generación	%	1,49	MSJ e INEC
Gestión de RSU			
Reciclaje	%	1,0	MSJ
Compostaje	%	0,0	
Biometanización	%	0,0	

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Vertedero incontrolado	%	0,0	
Relleno sanitario sin recuperación de biogás	%	0,0	
Relleno sanitario con recuperación de biogás	%	99,0	
Incineración	%	0,0	
Recuperación de biogás en relleno sanitario	%	39,0 ¹⁶	EBI

Tabla 39. Hipótesis asumidas en el análisis ambiental del escenario tendencial. Fuente: Autores

¹⁶ La tasa de recuperación de biogás en vertedero se ha estimado a partir del cálculo de las emisiones de generadas en vertedero y el dato de biogás recuperado en el relleno sanitario de La Carpio (Parque de Tecnología Ambiental Uruka), proporcionado por la gerencia del mismo.

Para la proyección de la generación de residuos, se ha estimado la tasa de variación anual de generación por habitante como el promedio de la tasa de variación de los últimos diez años (2005-2014), proporcionado por el Departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad. Una vez estimado el ratio de generación de RSU por habitante, se ha aplicado sobre la

población para el Catón de San José, tomada de las proyecciones del INEC hasta el año 2026, año a partir del cual se mantiene la tendencia de crecimiento para completar la proyección hasta 2045. Los datos históricos de población se han tomado igualmente del INEC, que proporciona información para la serie histórica 2000-2013.

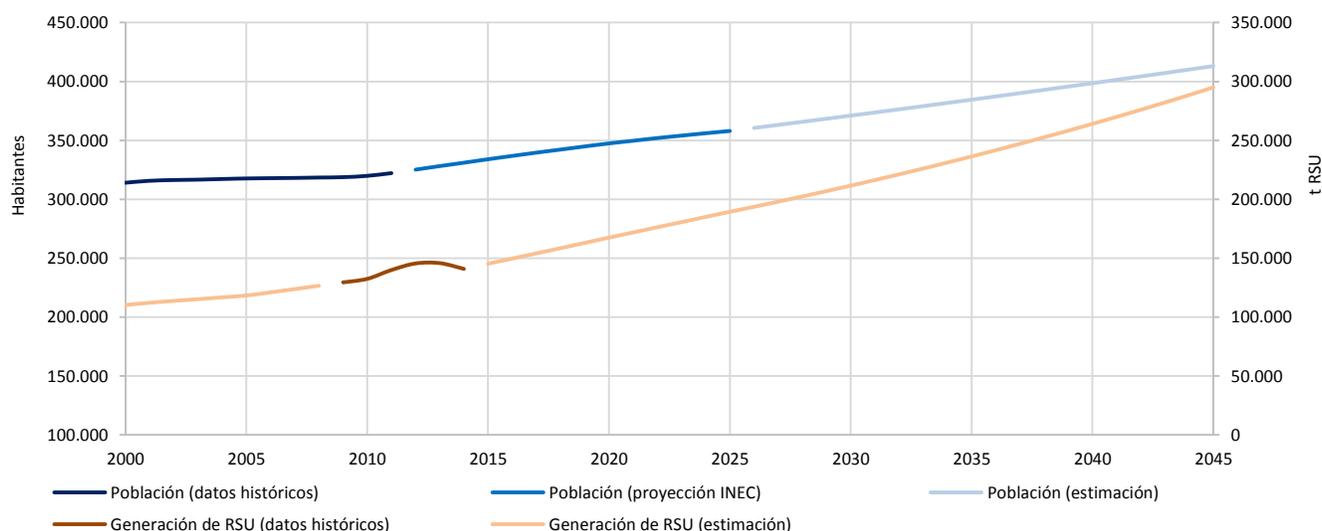


Figura 35. Evolución de la población y la tasa de generación de residuos. Fuente: Autores.

Los sistemas de gestión de residuos corresponden a los proporcionados por parte de la MSJ para el año 2014. Por definición, en el escenario tendencial, se mantienen las mismas tasas de cada tipo de sistema de tratamiento a lo largo de todo

el periodo. Hay que destacar que las tasas presentadas en la tabla hacen referencia a los sistemas de tratamiento municipales, no considerándose sistemas como la recolección y reciclaje que realizan otros agentes.

4.2. Escenario 2. Educación y reciclaje

La experiencia de otros países revela que es posible conseguir una disminución en la tasa de generación de residuos por

habitante, como por ejemplo, ha ocurrido en países de la Unión Europea como Alemania, Reino Unido o España. Sin embargo, la experiencia en otros países también apunta a la dificultad de mantener una reducción continua en el tiempo, tal y como se puede observar en la siguiente gráfica.

En el caso de España, por ejemplo, se puede observar un punto de inflexión en el año 2000, a partir del cual la generación por habitante disminuye anualmente.

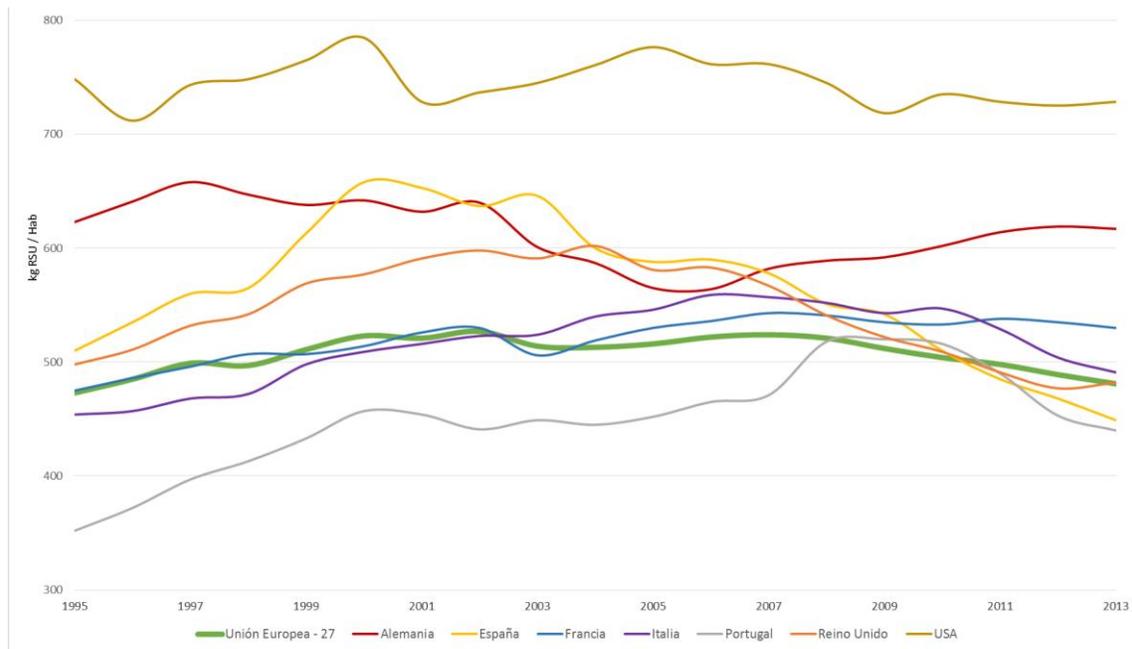


Figura 36. Evolución de la tasa de generación de residuos por habitante en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, EPA.

Para impulsar actuaciones de información, sensibilización y educación ambiental, dirigidas tanto a la reducción de la generación de residuos, como a la separación en origen, el primer paso es su definición estructurada y con objetivos concretos en el tiempo. Estas actuaciones podrían estar ligadas a la planificación en materia de educación ambiental, que está desarrollando la Municipalidad en la actualidad (Programa de Educación y Sensibilización Ambiental Municipalidad de San José).

La organización de este tipo de actuaciones debe programarse en el tiempo y en el espacio, comenzando por aquellos distritos que puedan tener un mayor interés y, posteriormente, extendiéndose a la totalidad del Cantón. Es importante designar a una o varias personas que sean las responsables de las actuaciones a desarrollar desde la Municipalidad, pero también dentro de los diferentes distritos, a través de la involucración de asociaciones vecinales con interés.

En este sentido, es necesario combinar tanto educación en todos los sectores de la sociedad, como las campañas de información continua. Ello puede incluir tanto anuncios en medios de comunicación, como materiales (guías, folletos y trípticos), que puedan ser repartidos entre los diferentes distritos del Cantón. De forma paralela, es importante llevar a cabo cursos de educación en colegios y asociaciones. Las acciones en este sentido deben enfocarse en tres direcciones: reducción, reutilización y separación en origen.

Por un lado, la educación en hábitos de consumo más responsables -reducción-, que conlleven una disminución de la cantidad de residuos generados. Por ejemplo, la promoción del consumo de productos biodegradables, la reutilización de envases (bolsas de plástico, envases de vidrio, plásticos) que alarguen la vida útil del producto -reutilización-, la sustitución de envases plásticos por otros que empleen otros materiales más fácilmente biodegradables como el cartón de empaquetado o la tela.

CASO DE ÉXITO. Buenos Aires. Reducción de la generación.

La ciudad de Buenos Aires está logrando importantes avances en materia de manejo integral de residuos, asumiendo como objetivo el concepto de Basura Cero. Según la Ordenanza aprobada por la ciudad para la GIRS en 2005, se busca la reducción progresiva de la disposición final de los RSU por medio de la reducción de la generación, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado.

La municipalidad aplicó un programa de actuación para lograr una disminución de los residuos aprovechables depositados en rellenos sanitarios de un 50% en 2012, un 83% en 2017 y un 100% en 2020. Para ello, la ciudad plantea desarrollar nuevas infraestructuras, ampliar los sistemas de tratamiento y procesamiento de residuos e implantar sistemas de procesamiento mecánico-biológico (MBT), creando empleo y fomentado la participación y transparencia entre los actores de la cadena de gestión de residuos. El mismo fue premiado en

2014 por el concurso internacional “City Climate Leadership Awards” organizado por el Grupo de Liderazgo Climático (C40). La iniciativa ha sido acompañada mediante campañas de separación en origen y reciclado, contenedores soterrados, reglamentos específicos para el reciclaje en empresas y el fomento de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia del servicio y ahorren costos.

Desde 2008 se implantó un sistema SMART para el control inteligente de los residuos mediante sistemas de información, monitoreo y control. Mediante un sistema GPRS se monitorean las rutas de recolección de residuos y el consumo de combustible. Adicionalmente, se está implantando un sistema de sensores tags para el control operatorio de los contenedores.

En 2014, se ha logrado reducir el 44% de la basura llevada a los rellenos, de las más de 6.000 toneladas al día que genera la ciudad. Hasta la fecha, se han creado 4.500 nuevos puestos de trabajo.

(FuturENVIRO, 2015)

Por otro lado, una vez que el residuo se ha generado, es importante conocer cómo debe ser depositado y el motivo de esa separación, es decir, el futuro reciclaje de los residuos.

TIPOLOGÍA DE ACCIONES A LLEVAR A CABO PARA FOMENTAR LA REDUCCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS

Producción y venta eco-responsable, principalmente dirigido al pequeño comercio. Por ejemplo, a través de la introducción de planes de prevención y eco-diseño de productos en comercios y pequeñas empresas. Fomentar las mejores técnicas disponibles y de los sistemas de gestión medioambiental acreditables. Regular la producción de publicidad, revistas y prensa. Gestión y donación de excedentes alimentarios, a través de la revisión periódica de los stocks, según demanda y fechas de caducidad.

Compra responsable, principalmente dirigido a la ciudadanía en general y a las administraciones públicas. Por ejemplo, a través de la promoción del consumo de productos duraderos y reutilizables, a granel o en envases reutilizables. Fomentar los productos con algún tipo de distintivo que garantice su producción local y con criterios sostenibles. Incluir la compra pública verde en la administración local, de forma transversal a todas las dependencias.

En los distritos con mayor poder adquisitivo, que generan una mayor cantidad de residuos, fomento de la racionalización de la compra de alimentos, de manera que no adquieran mayor cantidad de la que pueden consumir antes de que se echen a perder (utilizar lista de la compra, revisar fechas de caducidad, conservación adecuada, usar el congelador para la conservación, etc.).

Uso responsable de los productos, dirigido a todo el público. Fomento de la utilización de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC), uso responsable del papel, compra y consumo de envases reutilizables. Fomento de la creación de centros y/o mercados de segunda mano. Impulso al compostaje doméstico.

A continuación se muestran algunos ejemplos de campañas de comunicación y educación ciudadana impulsadas en otros países.





Figura 37. Ejemplo de campañas de comunicación y educación ciudadana impulsadas en otros países. Fuente: Recuperado, portal web ECOEMBES.

Para lograr una mayor efectividad, sobre todo en lo que a separación en origen se refiere, puede ser aconsejable dotar a las campañas que se realicen con recipientes gratuitos que ayuden a la ciudadanía a efectuar dicha separación selectiva en los hogares. Es habitual identificar un color con cada tipo de corriente de residuo urbano:

- ❖ Amarillo para envases.
- ❖ Verde para vidrio.
- ❖ Azul para papel y cartón.
- ❖ Marrón para la fracción resto.

Las siguientes imágenes son algunos ejemplos de materiales que se han repartido de forma gratuita entre la población para promocionar la separación en origen de los residuos domésticos.



Figura 38. Ejemplos de materiales repartidos a la ciudadanía para promocionar la separación en origen. Fuente: Varias.

CASO DE ÉXITO. Alemania. Un sistema de depósito, devolución y retorno de envases (SDDR).

En este país europeo se realizan dos sistemas diferentes para la recolección de residuos reciclables. En primer lugar, se cuenta con recogida selectiva mediante contenedores, donde se separa del resto las siguientes fracciones: orgánico, cristal, plásticos y envases, y papel y cartón. Adicionalmente, se cuenta con el SDDR, para así alcanzar altas tasas de reciclado de materiales. Este sistema atribuye al envase una cantidad económica (0,08-0,15 € a envases reutilizables y 0,25 € a reciclables desechables) que se añade al precio final del producto envasado y se refleja de forma separada en la factura. Una vez utilizado el envase, los usuarios pueden acudir al punto de venta y devolver el mismo en el comercio. La cantidad económica asignada al envase es entonces abonada (reintegrada) al consumidor. El sistema se aplica principalmente a bebidas, por tanto, el consumidor solo paga por el líquido contenido y un depósito o fianza sobre el envase, que le será retornada en cualquier punto de venta tras su devolución.

Este sistema demuestra una gran eficiencia, logrando tasas de reciclaje en torno al 100%. Adicionalmente, presenta varias ventajas económicas. Por un lado, las embotelladoras rentabilizan los procesos de reciclado, por otro, los consumidores están más incentivados en reciclar ya que recuperan el dinero invertido. Por último, los comerciantes aseguran la vuelta de clientes a sus locales. Adicionalmente, se observa una mayor limpieza en las calles y un ahorro de las Municipalidades y contribuyentes en el sistema de limpieza, separación y gestión de residuos.

A su vez, se crean puestos de trabajo de permanencia para la circulación y separación de envases y se disminuyen los costos asumidos por los gestores, ya que hay menos necesidad de limpieza, transporte y clasificación.

(FuturENVIRO, 2015)

La recogida selectiva y posterior reciclaje podría impulsarse también a través de asociaciones vecinales en los diferentes distritos del Cantón de San José. De esta forma se consigue involucrar a la ciudadanía en el proceso, a la vez que se ofrece una alternativa profesional a algunos colectivos más desfavorecidos. Ello requeriría de un liderazgo por parte de la MSJ para organización y coordinación de estos grupos.

Por otra parte, para apoyar el éxito de las actuaciones de sensibilización, información y educación ambiental, puede ser aconsejable mejorar la transparencia en la información relacionada. En este sentido, se considera una buena práctica el publicar de forma periódica cómo evoluciona en el tiempo la tasa de generación de residuos sólidos urbanos por habitante, así como la tasa de recogida selectiva y reciclaje.

Por otro lado, para lograr una correcta separación es fundamental también la elección del proceso de recolección de los residuos. El método a escoger ha de ser el que mejor se adecúe a la situación y necesidades del Cantón. Básicamente, existen dos modelos de recolección: en masa y familiar o puerta a puerta.

MODELOS DE RECOGIDA DE RESIDUOS

En el modelo de recolección en masa, ésta se realiza mediante la disposición en la calle. En este sentido, se puede dotar de contenedores, uno para cada fracción, donde la población deposite sus residuos.

En el modelo de recolección familiar o puerta a puerta, el domicilio dispone de un contenedor particular identificado en el exterior de la vivienda, y en el que se recogen de manera selectiva las diferentes fracciones según los días de la semana. Con este modelo, se puede adecuar la tasa municipal a la generación de cada unidad familiar. Todo el proceso requiere de un elevado compromiso por parte de la población.

En paralelo a la elaboración del presente estudio, se está llevando a cabo otro por parte de la Diputación de Barcelona, que tiene como objeto la optimización de las rutas de recogida de residuos en el Cantón de San José. Para este escenario concreto, se plantea la solución la recogida de residuos a través de contenedores, uno para cada fracción, donde la población deposite sus residuos. Esto se puede realizar en distintas fases, comenzando por las fracciones que pueden ser más fácilmente asimilables por la población, como son el vidrio y el papel y cartón. En una segunda etapa se puede incorporar el contenedor para los envases y, en una última etapa, el contenedor para la materia orgánica.

Una vez que la separación en origen es efectuada, ello facilita el proceso en la planta de acopio o clasificación y posteriormente en la planta de reciclaje. En cualquier caso, las plantas de clasificación están equipadas para terminar la separación selectiva de las diferentes corrientes de residuos y dejarlas preparadas para el tratamiento que a cada una le corresponda, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

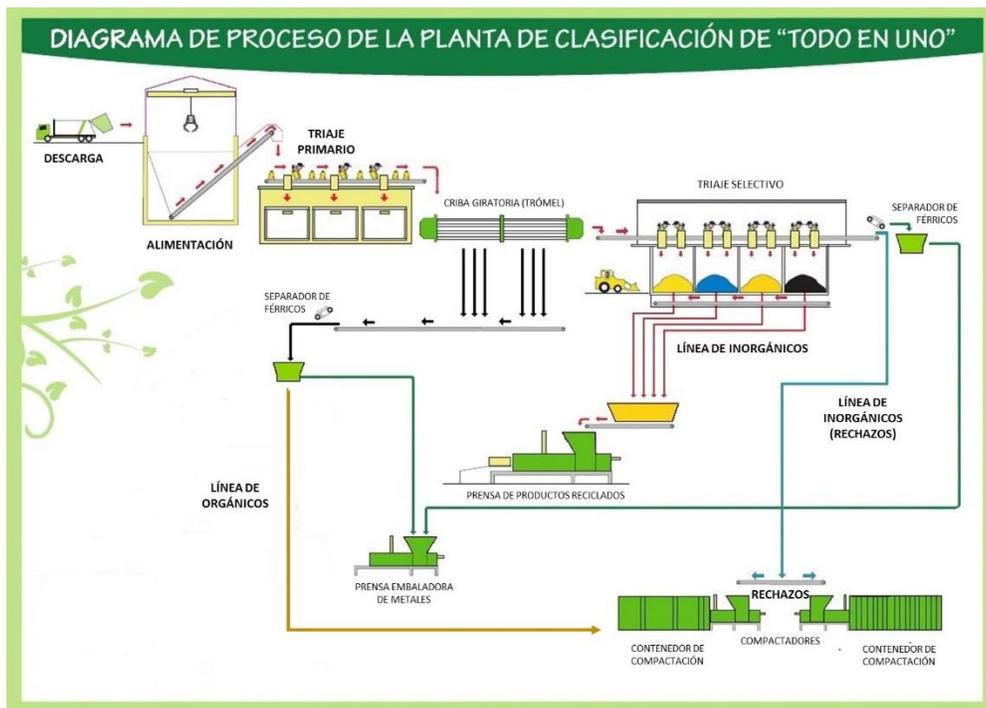


Figura 39. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: Modificado de ECOEMBES (www.ecoembes.com)

Adicionalmente al modelo anterior, algunas municipalidades optan por el tratamiento de todas las corrientes de residuos en un mismo emplazamiento, mediante la implantación de un parque ambiental, espacios de tratamiento integral de residuos que, además, tienen una función de educación ambiental.



Figura 40. Parque ambiental y tecnológico del Caribe (Colombia). Fuente: TECNIAMSA.

LA CREACIÓN DE UN PARQUE AMBIENTAL

Los parques ambientales son centros de tratamiento integral de residuos. Engloban todos los procesos de tratamiento que se le pueden dar a la corriente de residuos, desde la clasificación, recuperación, el compostaje, el tratamiento mecánico-biológico y la valorización energética. En ocasiones, incluso la disposición final de los mismos se localiza en este mismo espacio. Presentan la ventaja que reducen las necesidades de separación en origen, así como las necesidades de desplazamiento de los residuos.

El análisis del éxito de las políticas de promoción del reciclaje en otros países revela que las tasas de reciclaje no dejan de aumentar con el tiempo. Países, como Alemania rondan ya tasas de reciclaje cercanas al 50% de los residuos gestionados y Suecia supera el 70%. En otros, como Francia, España o Italia, está en torno al 20% de los residuos tratados, pero que han tenido un aumento en las últimas décadas, ya que sus niveles de reciclaje iniciales no llegaban al 10% tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

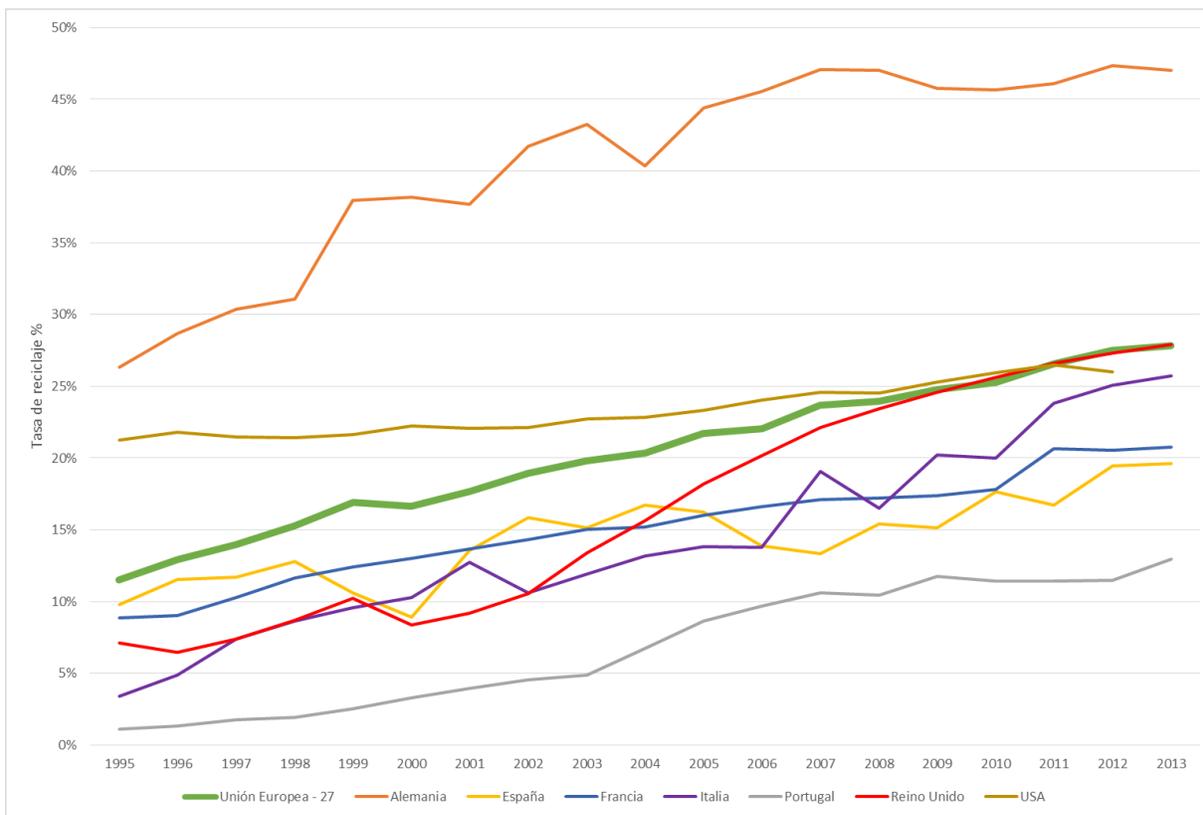


Figura 41. Evolución de la tasa de reciclaje en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

La tasa de crecimiento en la generación de RSU aplicada en este escenario se ha calculado como promedio del crecimiento interanual del ratio de generación de países como España, Grecia, Italia y Portugal para la serie histórica 1995-2013, a

partir de los datos proporcionados por Eurostat. Se han tomado estos países europeos del ámbito regional mediterráneo, en los que a lo largo de las últimas décadas se han desarrollado distintas iniciativas y campañas para la reducción de la generación de residuos y el reciclaje, por la mayor similitud con los hábitos de consumo, y consecuentemente, caracterización de residuos, con la población del Cantón de San José.

VARIABLE	UNIDAD	VALOR					FUENTE
Crecimiento anual del ratio de generación	%	1,31					Autores
Gestión de RSU	Año	2015	2020	2030	2040	2045	
Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7	Autores
Compostaje	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Biometanización	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Relleno sanitario sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Relleno sanitario con recuperación de biogás	%	98,5	96,7	88,6	86,1	83,3	Autores
Incineración	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Recuperación de biogás en Relleno sanitario	%	39,0					Autores, en base a datos de EBI

Tabla 40. Variables consideradas en la definición del escenario 2. Fuente: Autores y EBI.

Además, en este escenario se ha considerado un incremento del porcentaje de reciclaje de los residuos, gracias a la implantación de sistemas de recogida selectiva comunitaria y profesionalizada y plantas de acopio y clasificación. La tendencia de crecimiento en la tasa de residuos urbanos gestionados por medio del reciclaje en el periodo 2015-2030 está basada en la progresión

que han experimentado países como Portugal en la serie histórica 1995-2010, ya que presentan una tasa de reciclaje y de renta per cápita en 1995 similares a las actuales en el Cantón de San José. La progresión se ha completado para el periodo 2031-2045, en base a la tendencia de los años anteriores.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Desde el punto de vista económico, las hipótesis asumidas en el Escenario 2 son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
COSTOS			
Asesoría a la Municipalidad en reciclaje comunitario	USD	20.000,00	Autores en base a proveedores
Campañas de información y sensibilización	USD/t RSU reducida	1,10	Autores en base a proveedores
Sistema de recolección y selección de residuos	USD/ t RSU reciclable	183,93	Autores en base a proveedores
INGRESOS			
Precio ponderado de venta de material reciclable	USD/ t RSU reciclable	227,52	Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos en Costa Rica (2015)
AHORROS			
Recogida y gestión de residuos en relleno sanitario	USD/ t RSU	69,45	Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos en Costa Rica (2015)

Tabla 41. Hipótesis económicas del escenario 2. Fuente: Autores.

Las hipótesis económicas se dividen en costos, en los que se incurren en los sistemas de tratamiento correspondientes al escenario; ingresos directos, derivados del sistema de gestión; y ahorros, es decir, costos evitados en comparación con la línea base (escenario 1, tendencial).

Entre los costos, se ha considerado una asesoría especializada a la Municipalidad, que le permita impulsar el desarrollo de un sistema de recogida selectiva por distritos que mejore los resultados del sistema de recolección y selección de residuos que también se considera en este escenario.

El costo de las campañas, orientadas a la reducción de la generación de residuos y a su correcta separación en origen, se ha determinado usando como base la información derivada de campañas similares en otros países, que han analizado el éxito de las mismas, estimando la inversión necesaria para lograr un cambio de hábitos en la ciudadanía.

El sistema de recolección y selección de residuos incluye el costo para la implementación de un sistema de recogida separada a través de contenedores y posterior selección de materiales reciclables en un centro de acopio, calculado en base a los

costos de sistemas similares en distintos países europeos y ponderados en base a la caracterización de residuos reciclables del Cantón de San José.

El ingreso medio por venta de material reciclable se ha estimado en base al estudio realizado para el Cantón de San José incluido en el borrador del *Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos en Costa Rica* (Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2015) y en base a los datos del centro de recuperación y reciclaje Hatillo. Los datos han sido ponderados, en base a la caracterización de residuos reciclables contenidos en los residuos del Cantón, según el *Estudio de caracterización de residuos sólidos y definición de rutas de recolección para el cantón de San José* (Diputación de Barcelona, 2014). El ingreso se aplica sobre el volumen de residuos que finalmente son reciclados, de acuerdo con las hipótesis técnicas indicadas anteriormente.

El ahorro en este escenario está ligado a la menor disposición de residuos en el relleno sanitario, calculado a partir de la recaudación del Cantón de San José para el servicio global de gestión de residuos (recogida y vertido en relleno sanitario) y el total de residuos gestionados (promedio años 2011, 2012,

2013), datos obtenidos del *Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos en Costa Rica (2015)*. El ahorro se aplica a la cantidad de residuos que son tratados de forma separada y reciclados de

4.3. Escenario 3. Compostaje

El proceso de compostaje es un proceso biológico que se realiza en condiciones de aerobiosis (presencia de oxígeno), mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica degradable. El resultado es un producto, denominado compost, que puede ser utilizado como abono o fertilizante orgánico para el suelo. En la actualidad, se están investigando nuevos usos del compost como material en la restauración de suelos o como parte de barreras permeables para el tratamiento de aguas contaminadas. Aproximadamente, de cada 100 kg de residuo orgánico tratado, se obtienen alrededor de 23 kg de compost (Siebert, y otros, 2015).

Para el desarrollo del proceso de compostaje en un volumen suficiente como para constituir una alternativa a la gestión de la materia orgánica en el Cantón de San José, es necesario tener presente la importancia de obtener un residuo orgánico de partida de alta calidad. La incidencia del material de partida es tan importante, que cualquier política destinada a mejorarlo ha de ser prioritaria. De lo contrario, el compost que se obtenga puede estar contaminado, perjudicando la percepción social del proceso. Por ello, es importante que los residuos orgánicos que vayan a ser compostados, previamente hayan sido seleccionados. En este sentido, puede apoyar el desarrollo de normativa específica que fije los criterios de calidad que debe cumplir el compost para poder ser utilizado como abono.

En función de la tipología de residuo orgánico recogido, puede ser necesario realizar algún tipo de tratamiento previo. Por ejemplo, los residuos vegetales es necesario enviarlos previamente a un desfibrado mecánico con una trituradora. Para lograr un compost de calidad, es necesario también realizar una correcta mezcla de diferentes tipos de residuos orgánicos.

TIPOLOGÍAS DE COMPOSTAJE

Los principales sistemas de compostaje son las pilas, túneles de compostaje, tambores de compostaje, compostaje en nave cerrada con volteo automático o estabilización en trincheras.

este escenario, de acuerdo con lo indicado en las hipótesis técnicas.

También se utiliza el biosecado para el tratamiento de los residuos orgánicos, a través de la evaporación de parte de la humedad contenida en los mismos y en su estabilización¹⁷. Este sistema se puede utilizar con fracciones mezcladas sin tratamiento de selección previo y para conseguir cierta estabilización de los rechazos con contenido orgánico y de la materia orgánica no recogida separadamente. La reducción del grado de humedad por debajo del 20% del peso, genera un material de alto poder calorífico inferior (PCI) que podría llegar a ser valorizado como combustible¹⁸.

A través de una pala cargadora, la materia orgánica se lleva al interior de la nave de fermentación primaria, configurada en pilas que deben ser identificadas por posición y fecha de generación. Durante la fermentación primaria es preciso realizar volteos periódicos con una volteadora mecánica, de forma que se asegure una correcta aireación y homogeneización de la mezcla de residuos. De acuerdo con los proveedores de este tipo de tratamientos, dichos volteos se suelen realizar aproximadamente cada tres o cuatro días y durante un periodo de dos meses aproximadamente.

Ello se debe acompañar de controles analíticos en las diferentes pilas, para conocer la evolución del proceso de compostaje en términos de humedad, oxígeno y temperatura. Durante este proceso se produce un líquido, que debe ser recogido mediante una red de drenaje, y puede utilizarse para el riego de las pilas. De esta forma se contribuye a mantener la humedad necesaria para el proceso de compostaje.

Una vez finalizada la fase de fermentación, el producto generalmente se traslada a una nave cubierta, donde se lleva a cabo una maduración del compost durante aproximadamente otros dos meses. En esta fase se deben también efectuar volteos y controles analíticos de las pilas, que ayuden a controlar el proceso.

¹⁷ El proceso incluye la circulación de una corriente de aire forzada, a través de las pilas formadas con los residuos triturados. El aire aplicado y el calor producido en las reacciones de degradación aeróbica de la materia orgánica favorecen la evaporación del agua contenida en el residuo, de manera que se elimina una parte importante de la humedad y de los patógenos, así como una parte de la materia orgánica contenida en los residuos.

¹⁸ <http://www.compostnetwork.info/>

Finalmente, para obtener un producto que pueda ser comercializado como abono, se debe realizar un afino y controles analíticos del mismo. En este proceso se pueden originar materiales de rechazo (como pequeños trozos de plástico, cuerdas, piedras, etc.) que se eliminarían en el relleno sanitario. También puede suceder que exista un porcentaje del producto que requiera de mayor tiempo para su degradación, por lo que se recircularía al inicio del proceso¹⁹. Un ejemplo de iniciativas en este sentido es la Estrategia Europea hacia una economía circular (CE, 2014).

Además del uso del compost como abono en agricultura, una posible alternativa puede ser su aplicación en parques y jardines, así como en los propios hogares, que tienen menos requerimientos en relación a la calidad de la enmienda orgánica, con el consiguiente ahorro de fertilizante inorgánico. Como se ha comentado, para mejorar la calidad del producto resultante, es de especial importancia que antes del proceso de compostaje se someta la fracción a un proceso de triaje de materiales, de manera que se puedan recuperar las fracciones valorizables distintas de la orgánica y que se retiren los impropios de la masa en la medida de lo posible, antes de proceder con la estabilización de la materia orgánica.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del proceso de compostaje de una planta en operación.

¹⁹ Compostadores (<http://compostadores.com>), Cogersa (<http://www.cogersa.es>); Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela, 2012. "Avances en la investigación sobre compost, materias primas, procesos, calidad y usos"; O.Huerta, M. López, M. Soliva y M. Zaloña, 2008, "Compostaje de residuos municipales. Control del proceso, rendimiento y calidad del producto".



Figura 42. Procesos en una planta de compostaje industrial. Fuente: Cogersa.

CASO DE ÉXITO: México. La planta de composta de Cuautitlán Izcalli.

Esta planta municipal de compostaje industrial realiza el tratamiento aeróbico de la materia orgánica. La misma tiene un área de 6.400 m2 y opera desde 1998.

La planta municipal se ideó con el objetivo de reducir la cantidad de residuos eliminados en el vertedero y, así, aumentar la vida útil del mismo. Da servicio a una población en torno al medio millón de habitantes, con una tasa de crecimiento anual del 2%. Con este sistema se recogen de manera separada el 5% de los RSU del municipio (de los cuales un 26% son de origen orgánico).

La Dirección de Ecología de la Municipalidad, encarga de la gestión del programa, recoge los residuos de poda y pasto de las áreas verdes y las industrias alimentarias de la zona llevan a la

planta sus residuos animales y vegetales. Adicionalmente, se realiza una recolección doméstica en tres de las comunidades del área urbana mediante camiones municipales.

14 empleados trabajan de forma fija para operar la planta, que reciben capacitación continua durante el año. La planta es, a su vez, visitable al público con fines de concienciación y se encuentra mecanizada gracias a la inversión municipal.

En la actualidad, la composta producida es utilizada para mejorar los suelos de las áreas verdes del municipio. Además, es regalada o vendida (en especie) a la ciudadanía si éstos lo desean.

(USAID, 2013)

El proceso industrial descrito hasta el momento puede ser complementado con campañas de compostaje doméstico, como las que ya se están impulsando en algunos distritos del Cantón de San José.

La ampliación y éxito de este tipo de iniciativas redundará en una reducción del volumen de residuos urbanos que tenga que ser tratado por la Municipalidad, a la vez que modificará la composición media de los residuos, disminuyendo la proporción de la fracción orgánica. Además, la generación de compost y su uso en la agricultura y la jardinería podría disminuir la utilización

de fitosanitarios químicos y, por tanto, los aspectos ambientales nocivos asociados a los mismos.

Hay que tener presente también las experiencias de producción de composta en otros países, como México, donde no han sido muy exitosas salvo en determinados casos como el ya comentado. Inicialmente los gobiernos municipales y estatales aportaron gran cantidad de recursos para poner en operación las plantas y sólo una parte de ellas continúan hoy día en operación. Entre los factores de fracaso se encuentran la falta de veracidad de los datos de viabilidad técnica y económica que presentan los promotores privados de este tipo de proyectos, la

corrupción y las limitaciones legales a la comercialización de la composta (portal web INECC, 2015).

Es necesario que este tipo de actuaciones estén reforzadas con normativa que persiga la menor disposición final sin tratamiento previo.

Por lo tanto, considerando que la recogida selectiva y reciclaje presentados en el escenario 2 están ya implantados, se incluiría el compostaje como tratamiento para la fracción orgánica. El diagrama de este escenario sería el siguiente.

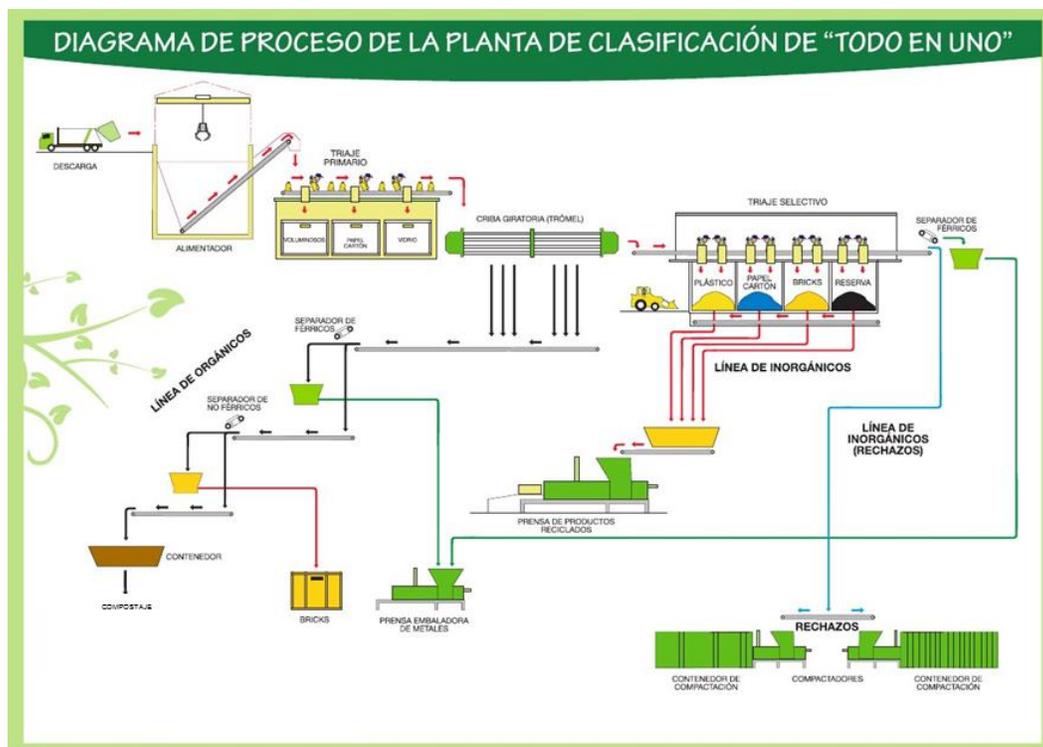


Figura 43. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: Modificado de ECOEMBES.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Contribución al cambio climático

Desde el punto de vista ambiental, para el análisis de las emisiones de GEI asociadas a este escenario, las hipótesis técnicas asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR					FUENTE
Crecimiento anual del ratio de generación	%	1,31					Autores
Gestión de RSU	Año	2015	2020	2030	2040	2045	
Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7	
Compostaje	%	0,5	2,3	8,2	14,1	17,0	Autores
Biometanización	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

VARIABLE	UNIDAD	VALOR					FUENTE
Relleno sanitario sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Relleno sanitario con recuperación de biogás	%	98,0	94,6	80,4	72,0	66,3	
Incineración	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Recuperación de biogás en relleno sanitario	%	39,0					EBI
Planta de compostaje							
Capacidad	t RSU/año	30.000					Autores
Vida útil	años	20					
Rechazo de RSU a entrada de compostador	%	20					Autores en base a proveedores
Rendimiento compostador	%	23					
Ratio de compost rechazado a vertedero	%	11					

Tabla 42. Variables consideradas en la definición del escenario 3. Fuente: Autores y EBI.

En este escenario se mantiene la misma tasa de generación de residuos y de reciclaje que en el Escenario 2. Adicionalmente, se ha establecido una tasa de compostaje de residuos orgánicos, que aumentaría de forma gradual durante el periodo de estudio, hasta alcanzar el 17% del total, tasa que coincide con los valores máximos de compostaje y biometanización alcanzados actualmente en países de la Unión Europea.

Se consideran plantas de compostaje con tratamiento en biorreactor y con una capacidad de tratamiento media de 30.000 toneladas anuales de residuo orgánico. Para valores de rechazo y rendimiento del compostador se han tomado los

valores generales aportados en diferentes estudios (*Compostaje de Residuos Municipales, Control del proceso, rendimiento y calidad* de Huerta et al., 2008; *Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos*, USAID, 2013). Así, se ha asumido un rechazo del 20% de los residuos a la entrada del compostador, por no reunir las condiciones adecuadas para el proceso, y un rendimiento en la producción de compost de 230 kg por cada tonelada de residuo orgánico húmedo y, por último, un rechazo final del 11% del compost generado por no cumplir las condiciones mínimas de calidad.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Desde el punto de vista económico, las hipótesis asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
COSTOS			
Planta de compostaje	USD	5.969.654,40	Autores en base a proveedores
Operación y mantenimiento	USD/año	708.896,46	
Ratio de compostaje	USD/ t RSU	33,58	
INGRESOS			
Precio de venta del compost	USD/ t compost	-	Autor
AHORROS			
Vertido en relleno sanitario	USD/ t RSU	16,66	FEMETROM

Tabla 43. Hipótesis económicas del escenario 3. Fuente: Autores.

Para el cálculo de la partida de costos se han utilizado diferentes fuentes de proveedores de este tipo de plantas, así como estudios específicos, como el elaborado para el Comité de Cambio Climático de Reino Unido *Development of Marginal Abatement Cost Curves for the Waste Sector*.

Para el supuesto de una planta de compostaje con biorreactor, con capacidad de tratamiento de 30.000 toneladas de RSU anuales y 20 años de vida útil, se obtiene un costo inicial de USD 5.969.654 y un costo de mantenimiento y operación de USD 708.896 anuales.

El ahorro supuesto es el que se obtiene al prevenir el vertido de la fracción compostada en el relleno sanitario. Su valor se ha obtenido a partir de la tasa de vertido facilitada por FEMETROM, siendo de USD 16,66 por tonelada vertida. Para el cálculo de ahorro neto, sólo se ha tenido en cuenta el residuo que se transforma en compost válido, es decir, descontando el rechazo a la entrada del compostador y el rechazo de compost de calidad insuficiente.

En relación con el ingreso por la venta del compost, existe una gran variabilidad del precio en función de la calidad del compost, existiendo muchas experiencias poco exitosas, en las que finalmente no se ha obtenido ningún beneficio. Por ello, y aunque a nivel internacional el compost se comercializa como un abono orgánico, en general, este tipo de compost se produce con residuos orgánicos muy específicos y con una alta separación (principalmente residuos ganaderos como gallinaza, residuos vegetales, lodos de depuradora de aguas residuales, etc.)²⁰, se ha adoptado una posición conservadora. Para el análisis económico del escenario de compostaje, no se ha incluido el posible beneficio económico por la venta del compost. La razón principal, como se ha apuntado, es que las experiencias en otros países latinoamericanos, como México, demuestran que la salida comercial del compost producido a partir de residuos urbanos no siempre es satisfactoria (INECC, 2015²¹).

²⁰ Algunas referencias de precio obtenidas de comercializadores disponen alrededor de los USD 25/t (Cogersa, 2015).

²¹

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del proceso de biometanización de una planta en operación.

4.4. Escenario 4.

Biometanización

La biometanización es un proceso biológico de digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno), cuyo objetivo es transformar la fracción orgánica previamente seleccionada en plantas de separación en dos productos, el biogás y un sólido, denominado digestato. Por un lado, el biogás puede ser valorizado energéticamente para producir electricidad y el digestato puede ser compostado para obtener abono (compost).

Al igual que en el caso del compostaje, en la biometanización es importante que el residuo orgánico que se incorpore en el proceso tenga unos niveles de separación selectiva elevados. Algunas plantas de biometanización incluyen al comienzo del proceso, un proceso adicional de pretratamiento mecánico que separa la fracción orgánica de los impropios, donde se genera una fracción rechazo que se destina a relleno sanitario. La eliminación de los contaminantes antes del tratamiento biológico reduce la posible contaminación cruzada del digestato con metales pesados, vidrio o plásticos, entre otros. Algunas plantas someten el residuo orgánico a un pretratamiento hidromecánico²², que además tiene un efecto de lavado que mejora la calidad del digestato y maximiza la producción de biogás.

La materia orgánica separada se mezcla con agua y se agita para conseguir la máxima rotura de los tejidos orgánicos blandos y permite la suspensión de otros materiales como huesos, plásticos o textiles, que podrían encontrarse entre la materia orgánica. Las impurezas extraídas durante el proceso son rechazo que es llevado a relleno sanitario.

Posteriormente se lleva a cabo el proceso anaerobio en el interior del digestor, que tiene una duración aproximada de 20-25 días. El biogás que se produce se extrae y se valoriza energéticamente en una turbina. El digestato se deshidrata en centrifugas y se podría destinar a una planta de compostaje. El líquido es necesario tratarlo en una planta de tratamiento de lixiviados, ya que posee una concentración elevada de nitrógeno y fósforo.

²² Adición de agua en el pretratamiento mecánico, lo que permite conseguir una solución que mediante agitación separa la fracción orgánica de las inertes y los impropios ligeros.

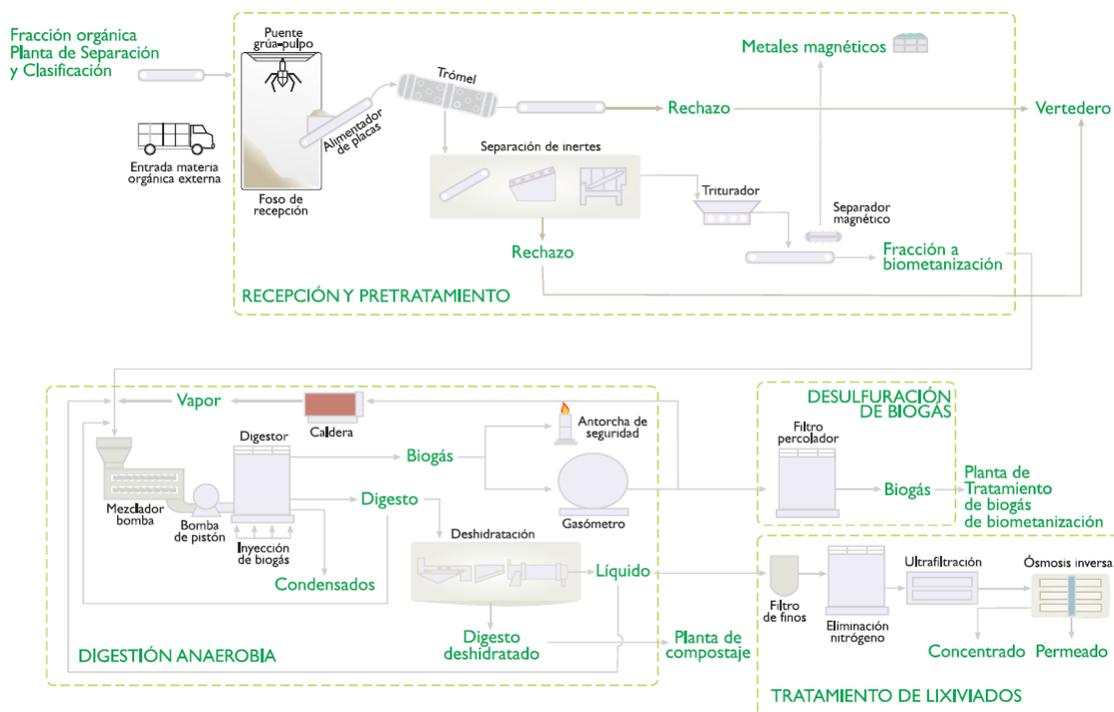


Figura 44. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de biometanización. Fuente: Planta de biometanización de Las Dehesas, España.

Se ha comprobado que en la mayoría de casos, cuando la materia orgánica que se trata en la planta de biometanización combina tanto la fracción orgánica de los RSU, como los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, se produce una mayor cantidad y calidad de biogás (con mayor riqueza de metano). El proceso con este tipo de sustrato mezclado se conoce como codigestión.

CASO DE ÉXITO. España. Planta de Biometanización de la FORM y lodos de EDAR de COGERSA en Asturias.

Se trata de una planta de propiedad del gobierno regional y las municipalidades en mancomunidad inaugurada en 2013 para la digestión anaerobia de biorresiduos y lodos de depuradora de origen urbano. La capacidad de la instalación es de 30.000 toneladas al año y está prevista duplicar la misma en los próximos años.

En los municipios colindantes a esta planta de 40.000m2 se realiza la recogida separada de la materia orgánica (restos de alimentos crudos de los mercados, restos de comedores escolares, de restaurantes y otros grandes productores), que se llevan a la planta situada en un complejo de tratamiento integral de residuos. A la fracción orgánica sólida se le suman los lodos provenientes de la depuración de aguas residuales.

Los procesos se realizan en tanques cerrados, que son aireados, y los lixiviados producidos son tratados en una estación de depuración. La planta cuenta con un área de recepción y descarga del material, tanto para la materia orgánica como para los lodos. A continuación, los materiales son llevados a una zona de pre-tratamiento mecánico para la separación de impropios y recuperación de envases reciclables. El material seleccionado es entonces llevado al digestor para su fermentación. Dado el pre-tratamiento y las propias fases de la digestión y mezclado (pre-tratamiento húmedo- digestión anaerobia – sistema de mezcla – sistema de calentamiento – higienización – deshidratación del residuo digerido – acondicionamiento y estabilización aeróbica – desodorización), la planta puede reforzar la seguridad de la operación e incrementar la calidad del producto, al tiempo que se produce biogás.

(RETEMA, 2014).

La digestión anaerobia es una tecnología adecuada para el tratamiento de la materia orgánica de los residuos sólidos con un alto grado de humedad. Por otra parte, requiere un equilibrio de nutrientes menos estricto que el compostaje y produce biogás, que puede ser valorizado energéticamente. En contraposición, el proceso de biometanización es más complejo que el de compostaje, ya que requiere de un número mayor de etapas, lo que implica en una mayor inversión inicial y mayores

gastos de operación y mantenimiento, como se verá más adelante

compostaje del 7% de los residuos tratados, al 15% en 20 años. En el mismo periodo, países como Italia han pasado de realizar un tratamiento específico de la materia orgánica del 1% de los residuos tratados al 15%, tal y como se muestra en la siguiente gráfica.

Las estadísticas apuntan a que, por ejemplo, la Unión Europea ha pasado de realizar un tratamiento de digestión anaerobia y

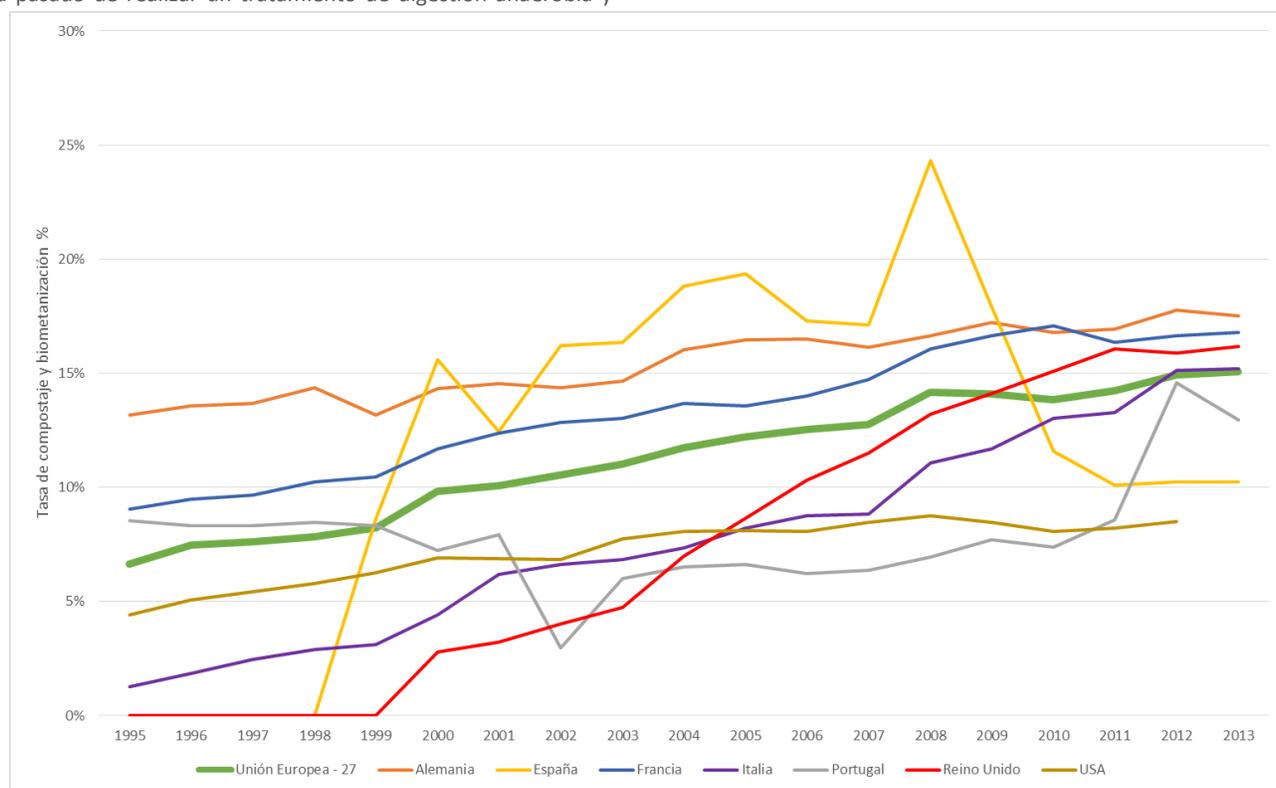


Figura 45. Evolución de la tasa de compostaje y biometanización en países europeos (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.

De esta forma, considerando que la recogida selectiva y reciclaje presentados en el escenario 2 están ya implantados, se incluiría

la biometanización como tratamiento para la fracción orgánica. El diagrama de este escenario es el siguiente.

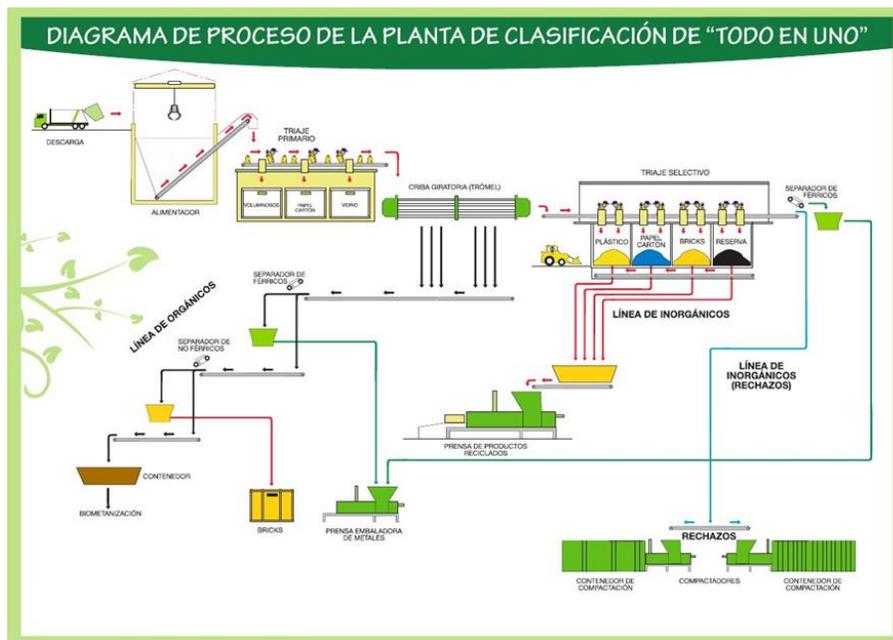


Figura 46. Ejemplo de diagrama de proceso de una planta de clasificación. Fuente: ECOEMBES.

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Desde el punto de vista ambiental, para el análisis de las emisiones de GEI asociadas a este escenario, las hipótesis técnicas asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR					FUENTE
Crecimiento anual del ratio de generación	%	1,31					Autores
Gestión de RSU	Año	2015	2020	2030	2040	2045	
Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7	
Compostaje	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Biometanización	%	0,5	2,3	8,2	14,1	17,0	Autores
Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Relleno sanitario sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Relleno sanitario con recuperación de biogás	%	98,0	94,6	80,4	72,0	66,3	
Incineración	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Recuperación de biogás en Relleno sanitario	%	39,0					EBI
Planta de biometanización							
Capacidad	t RSU/año	30.000					
Vida útil	años	20					Autores en base a proveedores
Potencia eléctrica	MW	2					
Ratio de producción eléctrica del biogás	kWh/ t RSU	16,32					
Factor emisión de electricidad (mix eléctrico)	kg CO ₂ e/kWh	0,075					IMN

Tabla 44. Variables consideradas en la definición del escenario 4. Fuente: Autores y otros.

En este escenario, como se ha comentado anteriormente, se considera el tratamiento por biometanización, como alternativa al compostaje. Por ello, las tasas de biometanización

corresponden a las que en el escenario anterior pertenecían a compostaje, alcanzando el mismo nivel del 17% en 2045.

Los valores medios para la biometanización se han obtenido de varias fuentes, asumiendo una capacidad media para tratar 30.000 toneladas de residuos orgánicos anuales y generando biogás que es quemado en dos motores de 1 MW cada uno (2MW en total), lo que permite la autosuficiencia eléctrica de la instalación y el vertido en la red de la energía excedentaria.

El mix eléctrico, para la estimación de las emisiones de GEI evitadas por la generación de electricidad renovable, se ha

calculado como promedio de los factores de emisión de Costa Rica de la serie histórica 2008-2013, proporcionados por el IMN.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Desde el punto de vista económico, las hipótesis asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
COSTOS			
Planta de biometanización	USD	11.403.380,68	Autores en base a proveedores
Operación y mantenimiento	USD/año	1.305.862,90	Autores en base a proveedores
Ratio de biometanización	USD/ t RSU	62,53	Autores en base a proveedores
INGRESOS			
Precio de venta electricidad	USD/kWh	0,07	ARESEP
AHORROS			
Vertido en relleno sanitario	USD/ t RSU	16,66	DSA

Tabla 45. Hipótesis económicas del escenario 2. Fuente: Autores.

Para la estimación de los costos de este escenario, se ha considerado un valor medio para el tipo de planta de biometanización especificado anteriormente. Los costos de operación y mantenimiento se han estimado a partir de estudios especializados, tomando un valor de USD 23,63 por tonelada tratada, excluyendo costos de recolección y selección de residuos, que estarían ya contemplados en el Escenario 2.

4.5. Escenario 5. Co-incineración

La incineración es uno de los tratamientos térmicos aplicables a los residuos. Se realiza por medio de la combustión, reacción química basada en la oxidación térmica total en exceso de oxígeno. Por ello, requiere un aporte de oxígeno suficiente para completar la oxidación, así como de temperatura de combustión, comprendida entre 900°C y 1.200°C.

La reacción química tiene como resultado gases de combustión y residuos sólidos. Los primeros son principalmente dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno, nitrógeno. La presencia de otros compuestos depende de la composición de los residuos

Los ingresos proceden de la venta de electricidad, tomando el valor de la tarifa valle que establece la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) para la venta al Instituto Costarricense de la Electricidad (ICE) Distribución y a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL).

El ahorro se ha calculado de igual manera que en el Escenario 3, considerando la reducción de RSU vertidos en relleno sanitario.

tratados: pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos (como dioxinas y furanos), que no se hayan oxidado. Los gases de combustión contienen partículas, que son arrastradas por los gases. El residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas (que son un residuo peligroso) y chatarras férricas (que pueden ser valorizables por la industria siderúrgica).

El calor que llevan los gases a la salida de la cámara de postcombustión, se puede aprovechar para calentar agua, que se utiliza como calefacción o como generador de vapor para usos industriales o para generar energía eléctrica mediante un conjunto de turbina de vapor y alternador. Son estos usos los

que definen el carácter de valorización energética de la incineración de residuos²³.

Se trata, por tanto, de una combustión clásica, en la que la cámara de combustión está adaptada al tipo de combustible utilizado. Los residuos urbanos llegan a la central transportados por camiones, que vierten su contenido en un foso de basuras, para ser enviados mediante una cinta transportadora a una planta de selección. En ella se separan los diferentes tipos de materiales que componen los residuos urbanos, seleccionando aquéllos que pueden tener utilidad como cristal, cartones, metal, plástico o baterías, extrayéndose y almacenándose.

Una vez que se ha separado aquello que se considera aprovechable, el resto se envía al depósito de rechazo situado junto al horno, donde es quemado. Existen diversas tecnologías para la incineración de residuos, distinguiéndose en función del tipo de horno. Los más extendidos en la actualidad son el sistema de horno de parrilla móvil, el horno rotatorio y el de lecho fluido.

El primero es el más adecuado para los residuos, ya que permite el procesamiento de residuos muy heterogéneos sin necesidad de pretratamiento, teniendo como contrapartida que no es idóneo para el tratamiento de partículas, líquidos ni lodos. Los residuos se transportan mediante una parrillada móvil inclinada, produciendo el volteo y avance de estos sobre la llama. En el proceso se inyecta aire en el horno para una mayor oxigenación. El tiempo necesario no suele superar la hora, y se extraen, en forma de escorias, por el extremo opuesto de la parrilla. Los finos, es decir, las cenizas, caen a través de la parrilla y son acumulados en el recolector de cenizas.

²³ La normativa europea establece que sólo se considerara valorización energética a la incineración de residuos sólidos urbano que tenga lugar en plantas con un rendimiento energético igual o superior al 65% (Directiva 2008/98/CE).

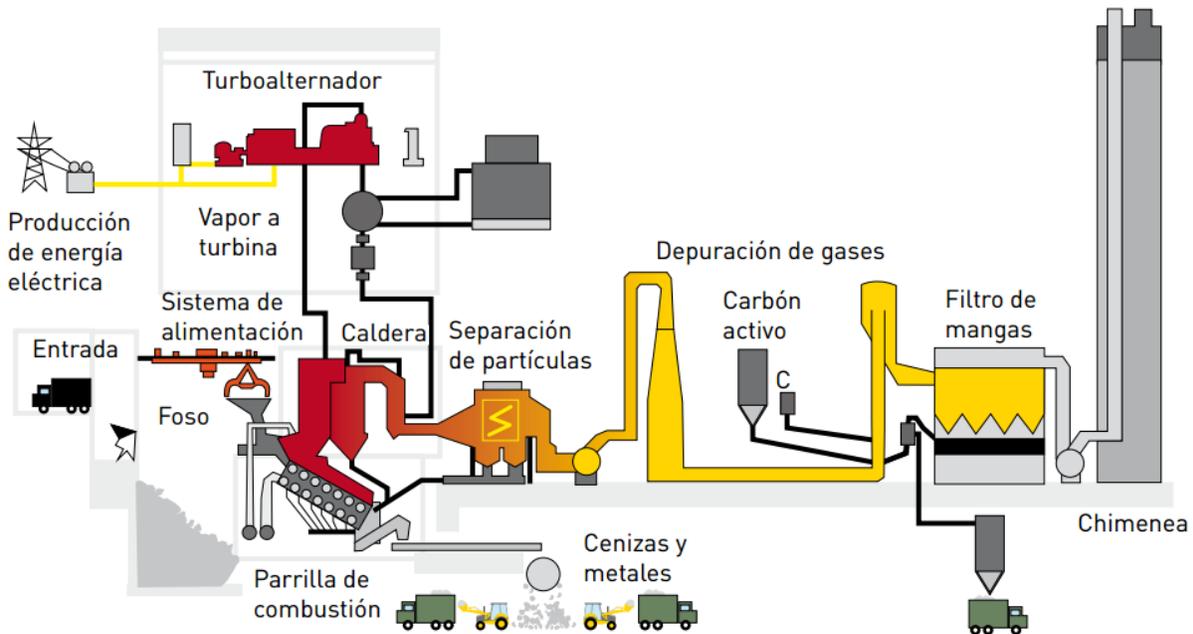


Figura 47. Esquema de incineración en horno de parrilla. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España.

Por su parte, la tecnología de horno rotativo consiste en un cuerpo cilíndrico ligeramente inclinado en su eje horizontal, rotando sobre el mismo. Puede tratar casi cualquier residuo, pero su temperatura es difícil regular sin consumir combustible auxiliar. Además, para grandes capacidades, se requieren grandes diámetros y se incurren en importantes costos de mantenimiento y en materiales especiales. Está indicado para el tratamiento de residuos peligrosos, requiriendo un pretratamiento de trituración.

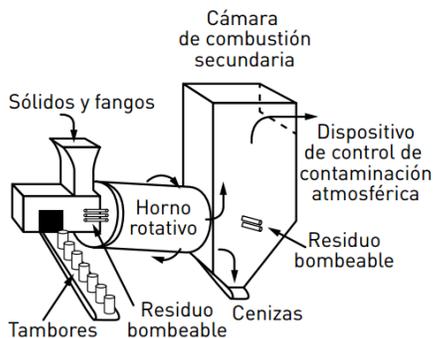


Figura 48. Esquema de incineración en horno rotatorio. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España.

Por último, la tecnología de lecho fluidizado es cámara cilíndrica y vertical, cuya parte inferior contiene el material de lecho inerte capaz de fluidizar en el momento en que se le introduzca

el gas para tal finalidad; actuando además como comburente²⁴. En el interior del lecho fluidizado, tiene lugar el secado, la volatilización, la ignición y la combustión de los residuos. Para poder usar este horno, los residuos han de ser sometidos a un proceso de selección y tratamiento que encarece de forma considerable los costos de operación.

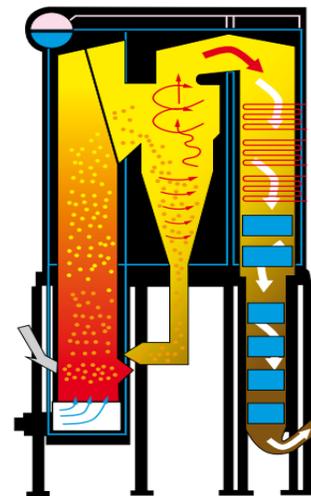


Figura 49. Esquema de incineración en horno de lecho fluidizado. Fuente: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía de España.

²⁴ Un comburente es cualquier sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando así una combustión. El más habitual es el oxígeno.

Los gases de combustión atraviesan un intercambiador térmico a la salida del horno, transmitiendo calor a un circuito de agua, que se convierte en vapor sobrecalentado, el cual atraviesa una turbina de vapor conectada a un alternador, generando electricidad. Este vapor puede ser aprovechado para usos industriales o directamente refrigerado y devuelto al intercambiador.

La gestión de RSU por medio de la incineración tiene una implantación variable a nivel mundial. En algunos países es una alternativa al relleno sanitario y en otros se combina con este otro tratamiento de disposición final. Esta variabilidad puede apreciarse en la siguiente gráfica.

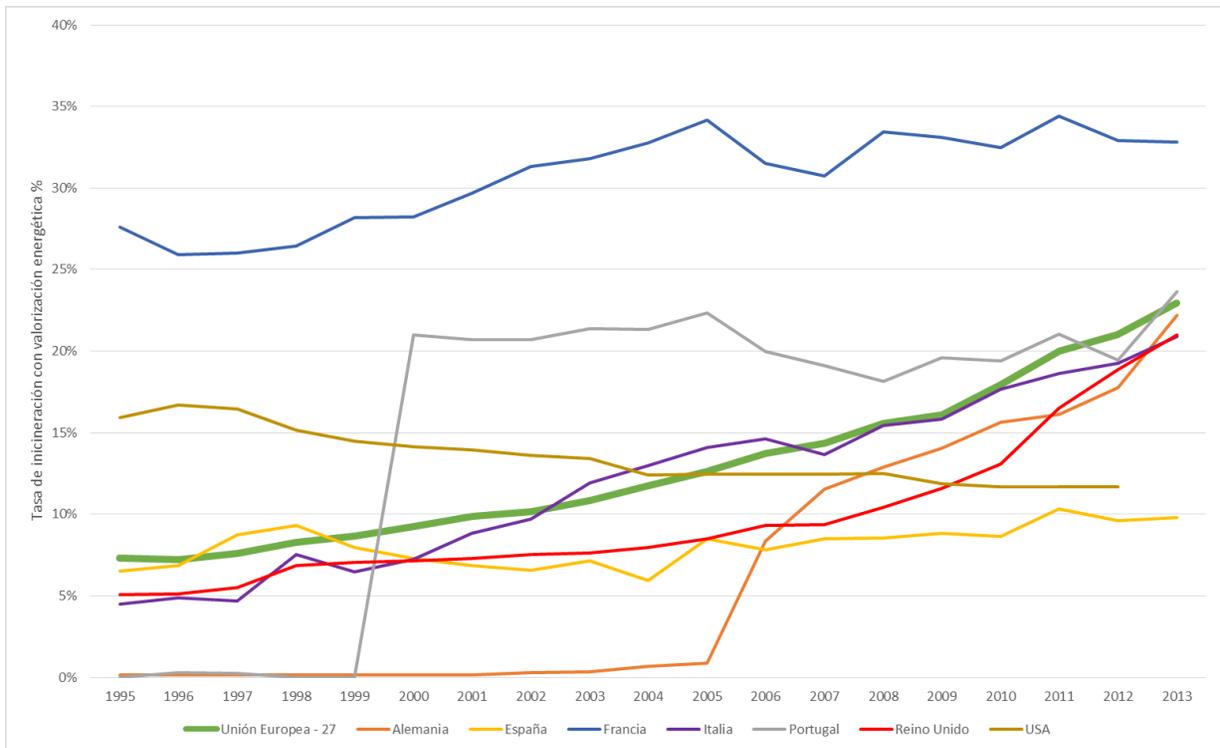


Figura 50. Evolución de la tasa de incineración en países europeos y USA (1995-2013). Fuente: EUROSTAT, OCDE.

Co-incineración en hornos industriales

Las altas temperaturas de trabajo de los hornos de ciertas industrias los hacen aptos para el uso de residuos como combustibles complementarios. Las características de los residuos incinerados han de ser las adecuadas para el horno (poder calorífico, composición química, estabilidad, etc.), la incineración debe cumplir los requisitos del proceso industrial en cuestión (temperatura, tiempos de residencia, contenido de oxígeno, etc.) y se debe cumplir con los parámetro de emisiones atmosféricas y tratamiento de residuos establecidos.

Debido al continuo cambio de la composición de los residuos y las grandes fluctuaciones en los contenidos de sustancias tóxicas, los hornos de co-incineración han de cumplir estándares más estrictos que los de centrales térmicas u hornos industriales que emplean combustibles específicos convencionales. Sin embargo, ciertos residuos pueden convertirse en combustibles

con relativa seguridad a través de una adecuada clasificación, separación y procesado (Grech, 2010).

RESIDUO	PROCESO	ALIMENTACIÓN
Plásticos procesados	Horno de clínker	Quemador principal, precalcinador
Aceites usados, disolventes no halogenados	Horno de clínker	Sólo en quemador principal
Neumáticos triturados	Horno de clínker	Sólo en entrada del horno
Envases ligeros	Alto horno	Pelletizado a través de tobera
Serrín y restos de madera impregnados de químicos orgánicos	Horno de clínker	Sólo quemador principal

Figura 51. Ejemplos de residuos para co-incineración industria. (Grech, 2010).

La industria cementera tiene un alto consumo de la energía, con un esquema típico que sitúa el coste energético en un 30-40%

de los costes de producción. Por esto tradicionalmente los combustibles utilizados tienden a ser los de menor coste: coque de petróleo, carbón, y algunos tipos de residuos. Como criterio general, los residuos líquidos no requieren normalmente acondicionamiento, mientras que los sólidos suelen exigir una costosa preparación (trituración, molienda y secado) (Grech, 2010).

Por esto, y atendiendo a una mayor eficiencia y seguridad, normalmente el arranque y puesta en régimen del horno de clínker se realiza con un combustible convencional, como el fuel. Con todo, las grandes dimensiones del horno hacen difícil el control de las condiciones físico-químicas de la clinkerización (Central Pollution Control Board Bhopal, 2011). Después de alcanzado el equilibrio en el funcionamiento, es necesario que la temperatura de carga se mantenga estable y los valores de oxígeno en los rangos más bajos posibles. La introducción de materiales combustibles húmedos o heterogéneos o las dosificaciones inadecuadas, así como alta presencia de oxígeno, pueden alterar significativamente el necesario equilibrio del horno. Estos condicionantes en el funcionamiento limitan la flexibilidad de operación y hace necesario que ante cualquier eventualidad pueda cortarse el suministro de residuos y funcionar el horno exclusivamente con fuel (Central Pollution Control Board Bhopal, 2011).

RESIDUOS APTOS	RESIDUOS NO APTOS
Neumáticos usados	Residuos radiactivos
Harinas cárnicas y grasas animales	Residuos con contenidos de asbesto
Plásticos	Residuos con metales pesados (mercurio, plomo, cadmio)
Embalajes	Restos electrónicos
Serrín y restos de madera impregnados de químicos orgánicos	Explosivos
Papel y cartón	Madera tratada con cobre, cromo o arsénico
Lejías negras y lodos	Ácidos minerales y residuos sanitarios
Agrícolas y orgánicos	Armas químicas y biológicas destinadas a su destrucción
Esquisto y esquisto bituminoso	Baterías completas
Fango de carbón y residuos de destilación	Residuos desconocidos y no especificados
Ánodos de coque de petróleo	
Aceites residuales	
Disolventes usados	

Tabla 46. Residuos susceptibles de ser usados para la combustión en la industria cementera (Central Pollution Control Board Bhopal, 2011).

El impacto del uso de residuos en la circulación de elementos volátiles, como cloro, sulfuro y álcalis, debe de ser evaluado cuidadosamente, ya que puede ocasionar problemas

operacionales en el horno. Se han de determinar los criterios de aceptación de estos compuestos en base a las características específicas de la instalación y el proceso. Además, los contenidos minerales y metales de los residuos pueden alterar las características del clínker obtenido, por lo que la composición y dosificación de las materias primas ha de ajustarse para conseguir las propiedades químicas deseadas del producto.

El uso de residuos como combustible requiere la medición y el control de los niveles de concentración de las siguientes sustancias en las emisiones del horno de clínker (Central Pollution Control Board Bhopal, 2011):

- Metales: mercurio (Hg), cadmio (Cd), talio (Tl), arsénico (As), antimonio (Sb), plomo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni) y vanadio (V); y compuestos derivados.
- Ácido clorhídrico (HCl).
- Ácido fluorhídrico (HF).
- Amoníaco (NH₃).
- Dioxinas (PCDDs, PCDFs).
- Benceno, tolueno y xileno (BTX).
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).
- Otros contaminantes orgánicos (clorobenceno, PCBs, DRE).

Caso de éxito. Reino Unido. Lakeside Energy from Waste.

Se trata de una planta de conversión de residuos en energía situada cerca del aeropuerto de Heathrow, que recibe los residuos no reciclables de la ciudad de Londres. La planta, con una potencia de 250 kWp es capaz de producir 37MW de electricidad al año. La planta lleva cinco años en operación, logrando un ahorro económico de 40.000 libras anuales, con una producción energética de 230.500 kWh al año y evitando anualmente la emisión de 137.380 kgCO₂e.

Adicionalmente, la empresa que opera la planta de valorización, instaló en los techos de las instalaciones un equipo de paneles solares capaces de producir toda la energía que requiere la planta para su operación.

(BELECTRIC UK, 2015)

ANÁLISIS AMBIENTAL.

Desde el punto de vista ambiental, para el análisis de las emisiones de GEI asociadas a este escenario, las hipótesis técnicas asumidas son las siguientes:

VARIABLE

UNIDAD

VALOR

FUENTE

Crecimiento anual del ratio de generación		%	1,31				Autores
Gestión de RSU		Año	2015	2020	2030	2040	2045
Escenario 2+5	Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7
	Compostaje	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Biometanización	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno sanitario sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno sanitario con recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Incineración	%	98,5	96,7	88,6	86,1	83,3
Escenario 3+5	Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7
	Compostaje	%	0,5	2,3	8,2	14,1	17,0
	Biometanización	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno s. sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno s. con recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Incineración	%	98,0	94,6	80,4	72,0	66,3
Escenario 4+5	Reciclaje	%	1,5	3,3	11,4	13,9	16,7
	Compostaje	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Biometanización	%	0,5	2,3	8,2	14,1	17,0
	Vertedero incontrolado	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno s. sin recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Relleno s. con recuperación de biogás	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Incineración	%	98,0	94,6	80,4	72,0	66,3
Recuperación de biogás en relleno sanitario		%	39,0				EBI
Planta de incineración							
Capacidad	t RSU/año	410.000					
Vida útil	años	25					
Potencia eléctrica	MW	37				EfW Lakeside (Reino Unido)	
Eficiencia	%	65					
Ratio de producción eléctrica	kWh/ t RSU	610					
Factor de emisión de la incineración de RSU	kg CO ₂ e/ t RSU	428				Autores	
Factor emisión de electricidad	kg CO ₂ e/kWh	0,075				IMN	

Tabla 47. Variables consideradas en la definición del escenario 5. Fuente: Autores y otros.

El Escenario 5 se basa en que los RSU no tienen como destino final el relleno sanitario, sino que son valorizados energéticamente por medio de la incineración. Este tratamiento se aplica a los escenarios 2, 3 y 4, ya comentados, de forma que las tasas de tratamiento de los demás sistemas permanecen igual.

Se han asumido unas características técnicas de la planta con tecnología de parrilla móvil, una capacidad de tratamiento de en

torno a las 400.000 t RSU al año, una potencia eléctrica de 37 MW y una vida útil de 25 años.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Desde el punto de vista económico, las hipótesis asumidas son las siguientes:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
COSTOS			

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Planta de incineración	USD	247.977.600,00	
Operación y mantenimiento	USD/año	12.747.699,50	Autores en base a proveedores
Ratio de incineración	USD/ t RSU	55,28	
INGRESOS			
Precio de venta electricidad	USD/kWh	0,07	ARESEP
AHORROS			
Vertido en relleno sanitario	USD/ t RSU	16,66	FEMETROM

Tabla 48. Hipótesis económicas del escenario 5. Fuente: Autores.

Los costos de la planta de incineración son de dos tipos, por un lado, la inversión inicial de la planta y, por otro, el costo anual de operación y mantenimiento. El primero se ha estimado en USD 247.977.600. El segundo se ha estimado a partir de diferentes consultas a proveedores y estudios especializados para una planta de parrilla móvil (excluyendo costo de recogida y selección de residuos, que estarían ya contemplados en el escenario base).

Al igual que en el caso del Escenario 4, los ingresos proceden de la venta de la electricidad generada al precio establecido por la ARESEP, y los ahorros de las toneladas de RSU que no son vertidas en el relleno sanitario, considerando el canon de vertido.

De acuerdo a un análisis bibliográfico se ha podido constatar que los cánones de proceso asociados al tratamiento de incineración se sitúan entre los 20 y 350 EUR por tonelada incinerada, como puede observarse en la siguiente tabla:

País	Cánones de proceso de incineración de residuos urbanos (EUR/t)
Alemania	100-350
Bélgica	56-130
Dinamarca	40-70
Francia	50-120
Holanda	90-180
Italia	40-80
Reino Unido	20-40
Suecia	20-50

Figura 52. Ejemplos de cánones de procesos en diversos países de Europa (Comisión Europea, 2011).

Anexo 5. Criterios técnicos mínimos de viabilidad de cada escenario

En este anexo se introducen las principales variables técnicas que deben ser consideradas para conocer la viabilidad técnica, económica, comercial y de condiciones de salud de cada uno de los escenarios analizados en el informe, de acuerdo a las características del Cantón de San José. El objetivo del presente anexo es dotar a la MSJ con los instrumentos técnicos necesarios y relevantes para la toma de decisión en cuanto a las posibles alternativas de gestión de RSU. En este aspecto, de acuerdo a variables como la composición de los residuos municipales de San José, o sus propiedades físicas o químicas, determinarán la adecuación de los escenarios propuestos.

Compostaje

En relación al escenario de compostaje, estos criterios se relacionan con las condiciones óptimas que debe tener la fracción biodegradable de los RSU para que puedan ser compostados obteniendo una enmienda inerte obtenida a través de un proceso seguro.

Estos criterios son los que se enumeran a continuación, en la lista a continuación, el criterio más relevante sería la relación entre los componentes de carbono y nitrógeno (C:N).

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Ratio C:N	C:N	25-35:1 ²⁵	(EPA, 1995)
Humedad	%	45-60 ²⁶	
Concentración de oxígeno (Aireación)	%	5-15	
pH	-	4,5-8,5	(FAO, 2013)
Temperatura	°C	55	
Tamaño de partícula	cm	<25	

Tabla 49. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad del compostaje como alternativa. Fuente: Varios autores.

²⁵ Ratios superiores a 35 ralentizan la descomposición. Ratios inferiores a 25 generan malos olores.

²⁶ Valores superiores pueden generar problemas de lixiviados, olores y anaerobiosis. Valores inferiores ralentizan la descomposición.

Además de lo anterior, para que la enmienda orgánica resultante pueda ser comercializada como abono orgánico y, por tanto, empleada como sustituto de los fertilizantes químicos,

debe cumplir con unos determinados requisitos físico-químicos. Los valores mínimos son los que se muestran a continuación:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Tamaño de partícula	cm	<1,6	(FAO, 2013)
Color	-	Negro o café	
Olor	-	Inodoro o terroso	
Humedad	%	<40	
pH	-	6-8	(UCR, 2004)
Ratio C:N	C:N	<25	
Ratio Amonio:Nitratos	NH ₄ ⁺ -N/NO ₃ ⁻ -N	0,03-18,9	
Nitrógeno	%	>1	
Fósforo	%	0,15-1,5	
Tasa de respiración	mg CO ₂ /g SV t	<8	
Contenido de piedras (>5 mm)	% sobre peso seco	<5	(Brinton, 2000)
Materiales extraños hechos por el hombre (>2 mm)	% sobre peso seco	<0,5	
Contenido de metales pesados	Cadmio		<1,0
	Cromo		<200
	Cobre		<600
	Mercurio	mg/kg seco	<10
	Níquel		<200
	Plomo		<1.000
	Zinc		<4.000

Tabla 50. Criterios mínimos para comercializar el compost. Fuente: Varios autores.

Biometanización

En el caso del escenario de biometanización, al contrario del caso anterior en el que se analiza el compostaje, para la

digestión anaerobia se definen las siguientes variables. Dichas variables representan las propiedades ideales que deben tener los residuos biodegradables en su entrada al biodigestor. Estos son los que se introducen a continuación:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Humedad	%	>80 ²⁷	(Environment Canada, 2013)
pH	-	6,0-8,0	
Potencial redox	mV	-220 a -350	
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	>100	
Ácidos grasos volátiles (AGV)	mg HAc/l	50-250	
Ratio C:N	C:N	20:1-30:1	(MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011)
Amoniaco-N	mg/l	>1.000	
Sulfuro	mg/l	<50	
Inhibidores de la biometanización	SO ₄ ⁻	ppm	<5.000
	NaCl	ppm	<40.000
	NO ₃ ⁻	mg/ml	<0,05
	Cu	mg/l	<100

²⁷ >80 (húmedo) en la tipología de digestor empleado durante la evaluación del escenario. Según el sistema de tratamiento, puede estar entre 60-80 (lodo) o <60 (apilable).

VARIABLE	UNIDAD	VALOR	FUENTE
Cr		<200	
Ni		<200-500	
CN ⁻		<25	
Na		<3.500-5.500	
K		<2.500-4.500	
Ca		<2.500-4.500	
Mg		<1.000-1.500	

Tabla 51. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad de la biometanización como alternativa. Fuente: Varios autores.

Adicionalmente a lo anterior, el biogás resultante producido debe tener al menos las siguientes características para poder hacer efectiva su comercialización como fuente energética. Estas características son las que se presentan en la siguiente tabla:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Composición	% CH ₄	55-70
	% CO ₂	30-45
	-	Trazas (otros gases)
PCI	kWh/m ³	6,0-6,5
Equivalente de combustible	l petróleo/m ³ biogás	0,60-0,65
Límite de explosión	% biogás en aire	6-12
Temperatura de ignición	°C	650-750
Presión crítica	atm	74-88
Temperatura crítica	°C	-82,5
Densidad normal	kg/ m ³	1,2
Olor	-	Huevo podrido ²⁸

Tabla 52. Criterios mínimos para comercializar el biogás (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).

Adicionalmente, para la producción de electricidad, la tecnología más comúnmente utilizada son los motores de combustión interna en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos

²⁸ El biogás desulfurado es inodoro.

sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y del vapor de agua generado (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).

Tablas comparativas en función de valores promedios de algunos de los análisis químicos realizados para los materiales orgánicos estabilizados por oxidación (compost) y por reducción biológica (bioabono).

Parámetro	Compost	Bioabono
pH (H ₂ O 1:5)	7,2	7,9
MO (W-B) 1:5	20,0	45,0
MO (Calcinac. %)	39,0	58,0
N Total (Kjeldal %)	1,0	1,8
P Total (%)	4,1	8,4
K Total (%)	0,4	0,7
Relación C/N	19,0	25,0
N mineral (mg/kg)	550,0	30,0
C.E. (dS/m)	10,1	14,4

Tabla 53. Análisis químico promedio para el compost y el digestato resultante. Fuente: (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).

Co-incineración

En el caso de la co-incineración, existen cuatro factores principales que deben ser evaluados para determinar la viabilidad técnica de esta opción. En primer lugar, el contenido en humedad de los residuos, ya que valores elevados dificultarán la combustión de los mismos. En segundo lugar, el poder calorífico, ya que determina la capacidad de auto-combustionar de los mismos sin necesidad de combustibles auxiliares. En tercer lugar, el contenido en cenizas y, por último, el flujo de entrada de los mismos en la cámara de combustión, como los más importantes. Estos aspectos son los que se muestran en la siguiente tabla:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
PCI mínimo	MJ/kg	>6
	Kcal/kg	>1433,08
PCI medio anual	MJ/kg	>7
RSU incinerables	t/año	>50.000
Variación semanal el suministro de RSU incinerable	%	<20
Contenido de humedad	%	<50

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Fracción de material combustible	%	>25
Fracción de cenizas (material no combustible)	%	<25-40

Tabla 54. Criterios técnicos mínimos necesarios para la viabilidad del compostaje como alternativa (IBRD & World Bank, 1999).

Por otro lado, el triángulo de Tanner permite evaluar la combustibilidad de los RSU. La zona sombreada representa la proporción de fracciones para las que el residuo que es incinerado sea combustible (no requiera el uso de un combustible adicional para su incineración).

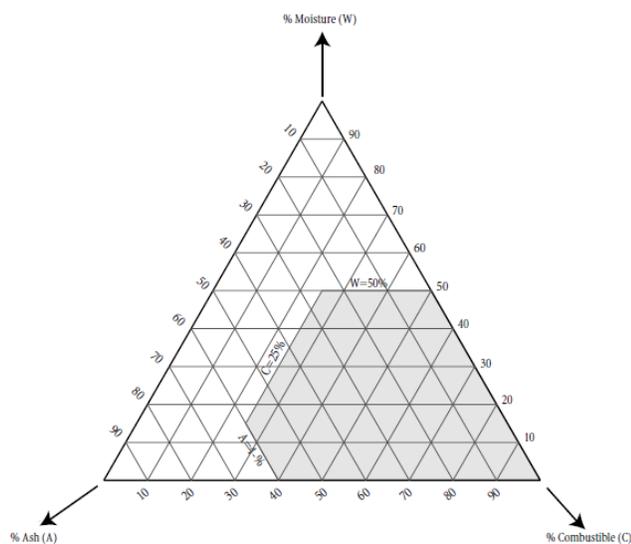


Figura 53. Método del Triángulo de Tanner para evaluar la combustibilidad de los RSU (IBRD & World Bank, 1999).

Para el caso del PCI, es importante destacar que este tiene un gran significado para el cálculo del potencial energético de los residuos. Sin embargo, el estudio de caracterización de los residuos del Cantón de San José no incluyó un análisis de este parámetro. Este aspecto puede ser analizado de acuerdo a la norma internacional ASTM E955 (Moratorio, Rocco, & Castelli, 2012). De acuerdo a esto, existen dos formas para el cálculo del PCI, o bien mediante métodos analíticos o bien mediante métodos prácticos. El método analítico no requiere de análisis en laboratorio, como sí ocurre en el análisis práctico. Sin embargo, para poder obtener un cálculo del PCI de los residuos de San José mediante el método analítico es necesario disponer de análisis de laboratorio sobre el porcentaje en peso (base seca) de los elementos C, H, N, O, S y cenizas que componen las distintas fracciones presentes en la mezcla de residuos. Además, el contenido en humedad específico de cada fracción debe ser conocido para estimar la cantidad de energía que es necesaria para la vaporización de la misma en el proceso de combustión. En este sentido, el umbral de autocombustión de los residuos se sitúa en torno a los 1.100-1.300 kcal/kg.

Anexo 6. Análisis multicriterio

6.1. Aspectos metodológicos

En la evaluación técnica durante la toma de decisión para la selección de opciones de mitigación, lo más común es la utilización de técnicas de análisis de monetización, tipo el costo-eficiencia (CEA, por sus siglas en inglés) o costo-beneficio (CBA), ya empleadas en el capítulo 4 de este documento. Adicionalmente, cuando se evalúan problemas complejos que pueden ser analizados desde distintas perspectivas, es recomendable emplear técnicas adicionales, como puede ser el análisis multicriterio (MCA). En este capítulo se emplea dicha técnica y se realiza un contraste de los escenarios presentados, evaluándolos en todas sus componentes: social, medioambiental, económica, o de capacidades, por poner algunos ejemplos. El proceso se realiza en cuatro etapas: en primer lugar, (1) se selecciona un conjunto de criterios de valoración para evaluar el mejor o peor desempeño de los escenarios sobre cada uno de ellos, (2) se valoran los diferentes escenarios otorgándoles una puntuación para cada criterio en base a ese desempeño; en tercer lugar, (3) se realiza una ponderación del peso de cada criterio, mediante la cual se valora la importancia relativa de cada uno sobre la valoración final; por último, (4) se multiplican las variables de desempeño y peso de cada criterio para cada escenario, y se suman los resultados para obtener una valoración final del escenario. En este sentido, se ha seguido el enfoque sistemático definido en el proceso analítico jerárquico (AHP) de (Saaty, 1980).

El proceso de toma de decisión se inicia, una vez que el objetivo del análisis es claro y se han identificado las diferentes opciones posibles para alcanzarlo, con:

- ❖ la selección de los criterios (y sub-criterios) de evaluación que se van a emplear para realizar el análisis comparativo de las diferentes opciones.
- ❖ el análisis de dichas opciones.
- ❖ la selección de las opciones más adecuadas en base al análisis.

6.1.1. Criterios de evaluación y desempeño de los escenarios

Los criterios²⁹ de evaluación seleccionados en este análisis son:

- ❖ Potencial de mitigación: Reducción de GEI acumulada en el periodo 2015-2045 (tCO₂e).
- ❖ Co-beneficios ambientales: el análisis cualitativo de las tablas de otros aspectos ambientales que se incluyen en el capítulo 4.
- ❖ Costo-eficiencia de la acción: Costo estimado para reducir una tonelada de CO₂ (USD/tCO₂e) en el periodo 2015-2045.
- ❖ Preparación institucional: análisis de capacidades institucionales nacionales y locales instauradas, así como la capacidad de seguimiento y control sobre la ejecución del proyecto.
- ❖ Importancia socio-económica del escenario: capacidad de generar empleo del escenario evaluado (trabajadores/100.000 Tn de RSU tratadas).
- ❖ Aceptación social del escenario: en base al análisis de las tablas de aspectos socio-económicos que se incluyen en el capítulo 4.

Matriz de desempeño

Seguidamente, cada escenario es valorado (puntuado) para cada uno de estos criterios en base a su desempeño, construyendo una matriz. Las filas de dicha matriz representan los escenarios bajo evaluación, mientras que las columnas representan el criterio de evaluación definido. En las celdas correspondientes de la matriz, se introduce la información sobre el desempeño del escenario en el criterio definido. En ocasiones, los criterios van a poder ser evaluados cuantitativamente, mientras que, en otras, corresponderán más bien con un juicio de valor experto.

Puntaje de los criterios de evaluación

A continuación, el desempeño de cada escenario respecto al criterio es transformado en una simple escala numérica de 1 a 5, siendo:

²⁹ Se optó por no emplear criterios técnicos para evaluar las opciones, ya que todos los escenarios evaluados emplean técnicas de sobra probadas, sin que existan limitaciones relevantes en este sentido.

- ❖ 1, el peor desempeño (correspondiente con el desempeño de la opción que menos puntaje ha recibido en dicha categoría),
- ❖ y 5, el mejor desempeño (correspondiente con el desempeño de la opción que mayor puntaje ha recibido en dicha categoría), en base al análisis de los resultados mostrados en la matriz de desempeño.

El resto de opciones se distribuyen en la escala de acuerdo a su preferencia relativa respecto al valor máximo y mínimo.

Los resultados de este análisis para los escenarios son los que se muestran a continuación:



Figura 54. Preferencia relativa de la opción. Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIOS	Potencial de mitigación	Co-beneficios ambientales	Aceptación social	Costo-eficiencia	Preparación institucional y factibilidad de seguimiento y control	Importancia socio-económica
	PUNTAJE (s)					
EDUCACIÓN Y RECICLAJE	1	5	5	5	5	5
COMPOSTAJE	2	4	3	2	3	4
BIOMETANIZACIÓN	2	4	2	1	2	2
CO-INCINERACIÓN	5	1	1	1	1	1

Tabla 55. Puntuación de escenarios en cada criterio de análisis. Fuente: Autores.

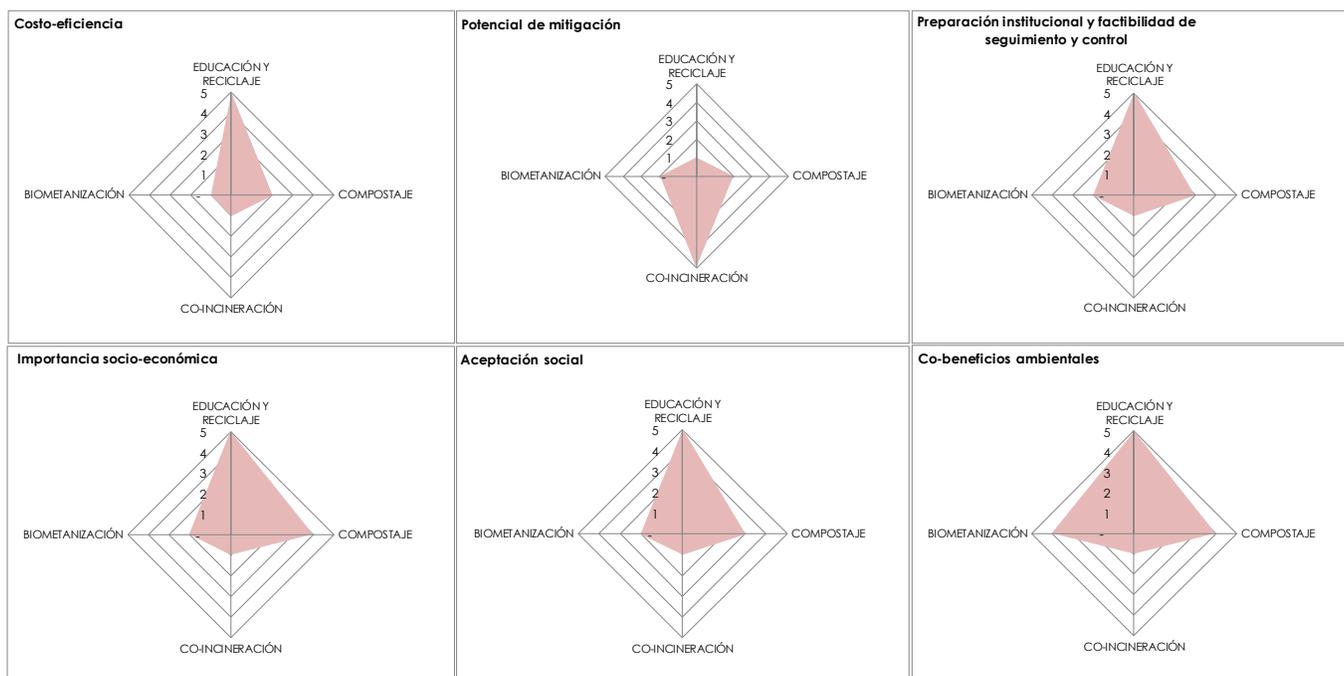


Figura 55. Gráfico de araña representando las puntuaciones de cada escenario en cada criterio de evaluación. Fuente: Autores.

Mediante este análisis se puede observar la dominancia de alguna de las opciones con respecto al resto de escenarios,

cuando su desempeño es igual de bueno en todos los criterios que la opción que haya obtenido el mejor puntaje y, además, es

la aritméticamente mejor opción en alguno de los criterios. Este aspecto es el que observa si comparamos las opciones de biometanización y compostaje, ya que en todos los casos el compostaje ha puntuado mejor o igual que la opción de biometanización. Por tanto, se puede considerar que la opción de biometanización no sería la más adecuada en este caso.

6.1.2. Ponderación de criterios

Puesto que no todos los criterios representan la misma importancia, en el análisis multicriterio se ponderan los criterios en base a su importancia relativa para contribuir al objetivo respondiendo a la pregunta *¿es el criterio A (fila) más importante que el criterio B (columna)?* Con esta pregunta, se enfrentan dos criterios en una comparación binomial y se realiza el mismo proceso con el resto de criterios, para construir una matriz de importancia como la que se observa a continuación.

Si el criterio de la fila se considera igual de importante que el criterio de la columna se le otorga un valor de 1, si es bastante más importante, 5 y si es extremadamente más importante, el valor de 9. Valores intermedios en esta escala son otorgados en el resto de casos. Entonces, el valor fraccionario recíproco (por ejemplo, 1/5 o 1/9) es adjudicado cuando se realiza la

comparación inversa de los mismos dos criterios. Tal como resume la siguiente tabla:

<i>¿Cuánto más importante es el criterio A (fila) en relación al criterio B (columna)?</i>	
Igual de importante	1
Moderadamente más importante	3
Considerablemente más importante	5
Mucho más importante	7
Extremadamente más importante	9
Moderadamente menos importante	1/3
Considerablemente menos importante	1/5
Mucho menos importante	1/7
Extremadamente menos importante	1/9
* y sus correspondientes valores intermedios.	

Tabla 56. Criterios de asignación de importancias relativas en la valoración binomial de criterios (Saaty, 1980).

A continuación, se calcula la media geométrica de cada fila en la matriz y el total para, finalmente, normalizar los resultados obteniendo la importancia global de cada criterio. Este es el índice que se le asigna a cada criterio para definir su preferencia en la valoración final.

Ponderación binomial de criterios	Potencial de mitigación	Co - beneficios ambientales	Aceptación social	Costo - eficiencia	Preparación institucional	Importancia socio - económica	MEDIA GEOMÉTRICA	Índice de importancia (w)
Potencial de mitigación	1	8	5	1/2	4	5	2.71	0.30
Co-beneficios ambientales	1/8	1	1/5	1/8	1/7	1/5	0.21	0.02
Aceptación social	1/5	5	1	1/7	1/5	1/2	0.49	0.05
Costo-eficiencia	2	8	7	1	3	6	3.55	0.39
Preparación institucional	1/4	7	5	1/3	1	3	1.44	0.16
Importancia socio-económica	1/5	5	2	1/6	1/3	1	0.69	0.08
SUMA							9.10	1.00

Tabla 57. Resultado de la ponderación binomial de criterios en el análisis MCA de las opciones de gestión de RSU. Fuente: Autores.

6.1.3. Resultados ponderados

Por último, el puntaje global (S) de cada opción se obtiene en esta etapa del análisis cruzando el puntaje de cada escenario por la importancia del criterio, sumando el resultado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S_e = \sum_{j=1}^n w_j * s_{ij}$$

Ecuación 3. Puntaje global de las opciones.

Donde:

S: puntaje global del escenario.

s: puntaje del escenario i para el criterio j.

w: peso del criterio j (índice de importancia).

6.2. Contraste de escenarios

De acuerdo a esto, los resultados del análisis multicriterio pueden resumirse en la siguiente tabla. Como se observa a continuación, el escenario más preferible sería el denominado “Educación y reciclaje”, por tanto, sería el más recomendable y prioritario para ser abordado en primer lugar.

El escenario de compostaje se sitúa en segundo lugar en la priorización, dado su elevado puntaje en el criterio de mayor importancia y su relativo buen puntaje en el resto de criterios.

El escenario de co-incineración se sitúa en tercer lugar ya que, a pesar de obtener la mejor puntuación en el criterio más importante, potencial de mitigación, presenta valoraciones más bajas en el resto de criterios valorados.

Por último se sitúa el escenario de biometanización que, aunque presenta el mismo potencial de mitigación y co-beneficios ambientales que el caso del compostaje, es económicamente y socialmente menos favorable.

CRITERIO	Potencial de mitigación	Co-beneficios ambientales	Aceptación social	Costo-eficiencia	Preparación institucional	Importancia socio-económica	PUTUACIÓN GLOBAL DEL ESCENARIO (S)
ESCENARIO	VALORACIÓN						
EDUCACIÓN Y RECICLAJE	0.30	0.12	0.27	1.95	0.79	0.38	3.81
COMPOSTAJE	0.60	0.09	0.16	0.78	0.47	0.30	2.41
CO-INCINERACIÓN	1.49	0.02	0.05	0.39	0.16	0.08	2.19
BIOMETANIZACIÓN	0.60	0.09	0.11	0.39	0.32	0.15	1.66

Tabla 58. Resultado final del análisis multicriterio. Fuente: Autores.

Por otro lado, en la siguiente figura pueden verse ordenados los diferentes escenarios analizados en relación al resultado obtenido. Aquí se observa que el escenario de “Educación y reciclaje” es el que presenta más ventajas para ser implantado

en San José, seguido por el escenario de compostaje, como los dos más prioritarios y, por tanto, sobre los que debe incidir en primer lugar la municipalidad.

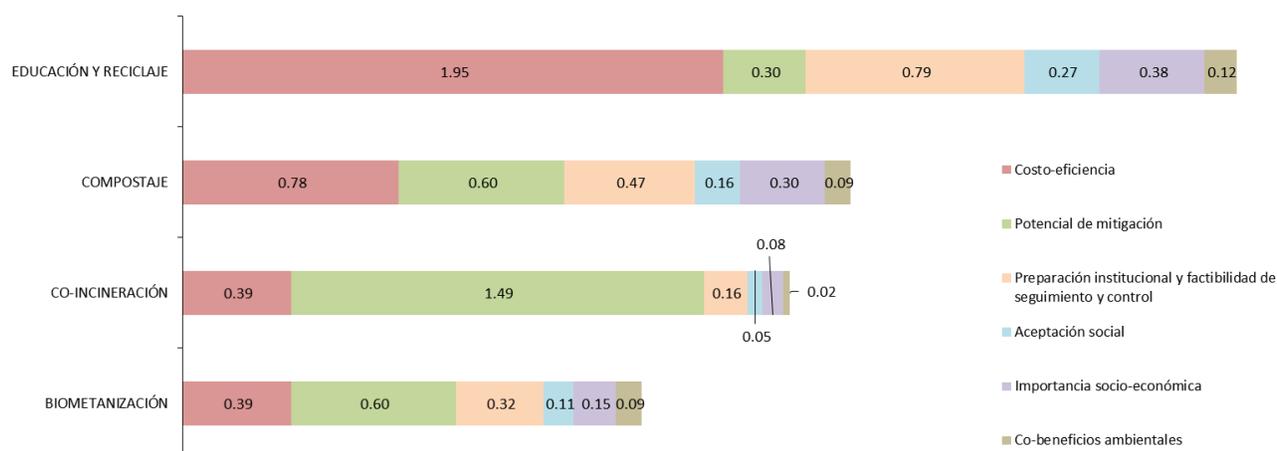


Figura 56. Puntuación acumulada ponderada de cada escenario bajo evaluación y orden de importancia en base a la misma. Fuente: Autores.

Anexo 7. Modelos de gestión de RSU y experiencias destacadas

7.1. Modelos de gestión de RSU existentes

La prestación de los servicios de gestión de residuos sólidos municipales en Latinoamérica y Caribe tradicionalmente ha sido realizada por las municipalidades (aunque en algunos países del Caribe la responsabilidad recae sobre el Gobierno Estatal). Siendo estas, en todo caso, las responsables del mismo y asumiendo responsabilidades en la administración y gestión del servicio. Sin embargo, las municipalidades pueden adoptar diferentes formas de gestión dependiendo de sus intereses y posibilidades, ya que, a excepción de las mayores ciudades, tienen menor capacidad para la administración, operación y mantenimiento de servicios de limpieza y gestión RSU y, por tanto, una alta tendencia a subcontratar los servicios a empresas del sector (OPS, 2005).

Sin embargo, algunas municipales están optando por la prestación de los servicios en cooperación intermunicipal. Así, los recursos son optimizados, se facilita el financiamiento y se

reducen los costos unitarios de operación. Este modelo es extendido en países como República Dominicana, Guatemala o México y, en especial, en municipios conurbanos (OPS, 2005).

De forma general, se puede decir que existen cuatro modalidades de gestión por las que optan las municipalidades en la separación, recolección, barrido, tratamiento y eliminación de los residuos (OPS, 2005):

- ❖ Manejo municipal directo.
- ❖ Manejo indirecto mediante delegaciones o contratos (institutos autonómicos municipales, empresas, fundaciones, asociaciones civiles, organismos descentralizados).
- ❖ Concesión del servicio por un tiempo determinado mediante licitación pública.
- ❖ Gestión mixta.

En la siguiente tabla pueden verse resumidas las principales características de los modelos de gestión disponibles.

Modelo institucional y tipo de organización del operador	Propietario de los bienes						
	Vehículos y equipo	Construcción civil	Monopolio	Responsabilidad de los clientes/control	Recolección/conjunto de ingresos	Riesgo comercial para los empresarios	Independencia de la interferencia política
(1) Administración directa del municipio a través de una sección o departamento	Propiedad del gobierno	Propiedad del gobierno	Completo	Gobierno	Gobierno	No aplicable	Dependiente
(2) Autoridad independiente de la ciudad, empresa municipal, instituto/autarquía	Propiedad del gobierno	Propiedad del gobierno	Completo	Gobierno/gobierno y junta	Gobierno	No aplicable	Dependiente
(3) Operador contratista del municipio, empresa privada	Propiedad privada	Propiedad privada/gobierno	Temporal	Privado y gubernamental / gobierno	Gobierno	Bajo	Independiente

Modelo institucional y tipo de organización del operador	Propietario de los bienes						
	Vehículos y equipo	Construcción civil	Monopolio	Responsabilidad de los clientes/control	Recolección/conjunto de ingresos	Riesgo comercial para los empresarios	Independencia de la interferencia política
(4) Concesionario privado, empresa privada	Propiedad privada	Propiedad privada	Si / No	Proveedores privados / gobierno	Privado	Moderado	Independiente
(5) Cooperativa comunal, ONG	Propiedad privada	Propiedad privada/gobierno	Si	Proveedores privado / mercado	Privado	Alto	Menos dependiente
(6) Proveedor privado independiente, empresa independiente	Privada	Privada	No	Proveedores privado / mercado	Proveedores privados	Alto	Independiente
Modelos combinados (1) o (2) combinados con (3);(4);(5)	Propiedad privada/gobierno	Propiedad privada/gobierno	Si / No	Gobierno	Gobierno	No aplicable	Dependiente

Tabla 59. Modelos de prestación de servicios de gestión de residuos sólidos y sus características asociadas (OPS, 2005).

7.1.1. Manejo directo

En el manejo directo la municipalidad emplea sus propios recursos humanos y equipos técnicos. Al existir un control directo, permite incidir en mayor medida en políticas de fomento de la reducción de la generación y el reciclaje, reúso y reutilización. En este caso, la municipalidad tiene grandes necesidades en cuanto a capacitación técnica y capacidad de gestión. Las modalidades de gestión directa se dividen en la gestión por (FEMP, 2014): (1) el propio Departamento Ambiental, por (2) un Organismo Autónomo Local, por (3) una Entidad Pública Empresarial Local, (4) Sociedad Mercantil Local (de capital social público).

Así, mediante la creación de empresas municipales autónomas las municipalidades también pueden ofrecer el servicio de gestión de forma total o parcial. Dichas empresas pueden pertenecer a un municipio o a varios y pueden operar los servicios de forma directa o subcontratar la operación a terceros, mientras permanece en la organización la fiscalización, planificación y control. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

ORGANISMO AUTÓNOMO MUNICIPAL.

Organismo enteramente público que mantiene actividades administrativas separadas. Su presupuesto depende enteramente del Ayuntamiento y corresponden a las cuentas municipales (FEMP, 2014).

ENTIDAD PÚBLICA EMPRESARIAL MUNICIPAL.

Empresa de capital público con personalidad jurídica distinta al Ayuntamiento, pero que está financiada o controlada por esta

entidad (total o parcialmente). La financiación proviene de los presupuestos municipales asignados, sin que exista ánimo lucrativo, sino una función social.

El ejemplo de LIPASAM del Ayuntamiento de Sevilla (España)

Se trata de la empresa municipal de limpieza pública que se encarga de la recogida, limpieza y tratamiento de los residuos urbanos. Emplea a más de 1.550 trabajadores y trabajadoras y cuenta con más de 700 vehículos, un Parque Central, cuatro puntos verdes, una estación de transferencia y cuatro centrales de recogida neumática. Cuenta con un presupuesto anual de alrededor de 100 millones de dólares (USD) para dar servicio cerca de 700.000 habitantes.

Mediante esta organización, se realiza la recogida selectiva de vidrio desde 1986, además de la fracción envases y papel y cartón más recientemente; en 1996 se construyó una planta de compostaje, la segunda en España en capacidad. Tiene en marcha un programa “ComuniCO₂ reciclaje” para sensibilizar a la ciudadanía sobre la correcta gestión de los RSU, el ciclo de los residuos y la huella de carbono. En lo que va de este año 2015 y, gracias a su calculadora de carbono, se ha podido calcular que con el sistema de gestión se han podido evitar más de 7.000 tCO₂e.

Ha ganado en dos ocasiones el premio Escoba de Oro y el premio Escoba de Plata de Ategrus, además de Escoba de Platino en cuatro ocasiones. Otros premios conseguidos por esta empresa municipal son “Bandera verde, ciudad sostenible” y diversos premios a la gestión empresarial.

<http://www.lipasam.es/>

EMPRESA MUNICIPAL MANCOMUNADA.

La cooperación Intramunicipal para la optimización de los recursos que se disponen es también una práctica común en países industrializados y cada vez más presente en América Latina. Ejemplos son la Asociación de Municipios de la Zona Norte del Estado de Guerrero (México), de la que forman parte ocho municipalidades, la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) en Buenos Aires, o las Compañías Municipales de Limpieza Urbana (COMLURB) en Río de Janeiro y Lima, todas las municipalidades pertenecientes a la asociación comparten una infraestructura común (Fundación IPADE, 2011).

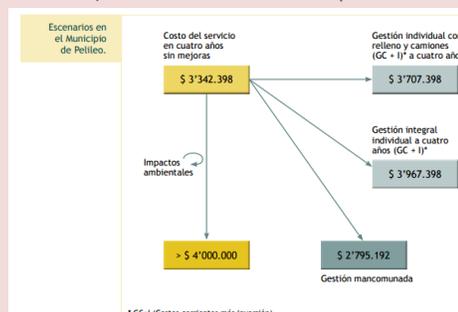
La constitución de empresas municipales mancomunadas para la limpieza, recogida y gestión de RSU permite generar economías de escala y reducir los costos municipales, que son muy evidentes en el caso de pequeños municipios. Bajo este modelo, las municipalidades comparten una sola estructura técnico-administrativa y financiera. La gestión se realiza desde una sola unidad, los costos se prorratean entre todos los municipios de acuerdo al volumen de residuos generados y la población. El valor de la tarifa a los usuarios puede verse reducido y el licenciamiento ambiental se optimiza y perdura más en el tiempo. La empresa mancomunada optimiza la capacidad instalada y la amortización de los equipos y maquinaria, ya que servirán para una mayor población, alternativamente se permite una mayor capacidad de reinversión para la mejora del servicio. Adicionalmente, las capacidades locales se fortalecen, se especializa el servicio, se tecnifica y mejora su eficacia. Por tanto, se ofrece un servicio de calidad a un bajo coste, con un enfoque social y no de rentabilidad, las condiciones laborales de sus trabajadores pueden mejorar.

La Fundación IPADE y la cooperación española AECID para el Fortalecimiento de los Municipios Indígenas Alternativos (FORMIA) y el apoyo a la creación de empresas públicas mancomunadas de gestión de RSU.

En Latinoamérica, la Fundación IPADE³⁰ apoya, desde el año 2004, la creación de empresas municipales mancomunadas para la gestión de los RSU en Ecuador. La Fundación facilita el intercambio de experiencias entre los municipios que desean conformar una mancomunidad, los municipios que ya cuentan con empresas municipales mancomunadas en funcionamiento y los modelos desarrollados en España y, por último, mediante la participación en congresos especializados.

³⁰ Actualmente *Alianza por la Solidaridad*.

En primer lugar, las autoridades firman un acuerdo de voluntades para la creación de la empresa mancomunada. En segundo lugar, se apoya la conformación de un (1) Comité de Gestión (alcaldes), (2) un Comité Técnico Intramunicipal (técnicos de cada municipio) y (3) un Comité Técnico Intermunicipal (técnicos del propio municipio). Adicionalmente, se profundiza en la caracterización de RSU, el desarrollo de diagnósticos financieros y sociales, así como el desarrollo de borradores de ordenanzas de creación de las empresas municipales mancomunadas y su aprobación. En la siguiente imagen se observa el resultado de un diagnóstico financiero realizado para el municipio de Pelileo (Tungurahua, Sierra de Ecuador) en el marco de esta cooperación:



Una vez la empresa municipal mancomunada ha sido creada, los pasos realizados en los municipios del Ecuador con apoyo de IPADE consistieron en la conformación del directorio de la organización y la constitución del grupo de trabajo y el registro y legalización de la empresa. El siguiente paso lo constituye la realización de los presupuestos anuales con los que contará la organización con las contribuciones de los municipios participantes. Seguidamente, la fuerza de trabajo y los bienes municipales son transferidos a la empresa municipal, nombrándose coordinadores zonales para cada cantón, y así empezar con las primeras tareas operativas de prestación del servicio. La prestación el servicio puede suponer la creación de nuevas rutas, horarios y frecuencias de paso en la recogida y limpieza de las vías. Se liga a procesos de información y participación pública y la promoción de la corresponsabilidad.

Tras unos primeros meses de operación, se define el organigrama y funcionamiento del sistema y se registra en un manual. La estructura de organización se basa en el director técnico, los correspondientes coordinadores zonales, a cargo de los choferes, operarios y agentes. Además de un coordinador del centro de recuperación y valorización de residuos. Este organigrama se muestran la siguiente figura:



SOCIEDAD MERCANTIL LOCAL.

Actúan como empresas privadas creadas por el organismo público para la gestión de un servicio de interés público (FEMP, 2014).

TERCERIZACIÓN DEL SERVICIO.

En momentos puntuales de mayores necesidades de servicio, por periodos cortos, situaciones extraordinarias, o como medida de apoyo; las municipalidades pueden emitir contratos de tercerización de parte de los servicios. El municipio genera facturas por el servicio prestado y en las condiciones que sean establecidos con la empresa adjudicataria (FEMP, 2014).

7.1.2. Manejo indirecto mediante participación del sector privado

En el caso de un manejo indirecto, las modalidades de gestión suelen ser las que se comentan a continuación.

CONTRATACIÓN MEDIANTE LICITACIÓN

Las municipalidades recurren a la contratación de los servicios a una empresa privada. Como la contratación se realiza mediante licitaciones, la competencia entre varias empresas para ser adjudicatarias del servicio permite lograr un mayor costo-efectividad. Sin embargo, en países donde existen pocas empresas instauradas, pueden ocurrir fenómenos de falta de competencia y oligopolios que ponen en riesgo la adjudicación de los servicios en las condiciones más favorables para la administración. Los requerimientos los debe interponer la propia municipalidad mediante la licitación, de forma que se garantice el desempeño.

CONCESIÓN DE SERVICIOS O CONTRATOS DE COLABORACIÓN

Adicionalmente a la contratación mediante licitación abierta, las alianzas o colaboración entre las empresas privadas y las administraciones públicas (CPP) es también un modelo habitual para la recogida selectiva y la valoración de RSU mediante la firma de convenios marco o de colaboración, ya sea a nivel municipal o supramunicipal. Este modelo es, por ejemplo, muy común en países como Canadá y, con alguna variante, en España o Francia. En el modelo de colaboración entre agentes públicos y privados los servicios son financiados por la administración, incluyéndose la sensibilización de la ciudadanía, ya que en ocasiones son necesarios altos costos de inversión y largos tiempos de amortización. Con este tipo de cooperación se puede financiar, construir, renovar y explotar una infraestructura o servicio (tradicionalmente en servicios de interés público como puede ser el transporte, la salud, la educación, la seguridad, los residuos, el agua o la energía) (CE, 2004) y, de esta forma, la Administración en lugar de ser operador directo del servicio es organizador, regulador y controlador.

Mediante esta modalidad, la Administración puede ofrecer los servicios urbanos con la necesaria calidad y a un menor costo a través de empresas con elevado grado de experiencia, especialización y competitividad.

En el caso del sector de los residuos, las empresas de mediano o gran tamaño cuentan con las infraestructuras e instalaciones de selección de envases, de separación, de transporte, etc., de manera que responden a las dificultades de implementación y financiación del sector público. Acceden a nuevas tecnologías y a los procesos de innovación del sector. Las características básicas de este tipo de alianzas son (CE, 2004):

- ❖ Una larga duración de la relación entre los socios. Generalmente 5-7 años en el caso de la recolección y transporte y alrededor de 20 años para la disposición final.
- ❖ Una financiación privada, que puede completarse mediante financiación pública.
- ❖ El socio público define los objetivos de calidad del servicio, precios e interés ciudadano, mientras el resto de la ejecución del proyecto se rige por las normas de mercado.
- ❖ Los socios se reparten el riesgo del servicio.

Ecoembalajes de España S. A. (ECOEMBES)

Ecoembes es una sociedad anónima española gestora de sistemas integrados de gestión, sin ánimo de lucro, que nace con la aprobación de la Ley española de Envases y Residuos de Envases 11/97 de 1997, para la recuperación, tratamiento y valoración de envases.

La misión de Ecoembes es, por un lado, el diseño y organización de sistemas de recogida de envases, la colaboración financiera con las administraciones públicas y su asesoramiento en materia de gestión de RSU y perfeccionamiento de los sistemas. De esta sociedad participan diversos socios con participación en sus acciones. Sus cifras clave son:

- ❖ Con su actividad genera más de 42.600³¹ trabajos en España. 9.000 empleos directos que suponen el 15% del sector de la gestión y tratamiento de residuos en España.
- ❖ Más de 12.000 empresas se encuentran adheridas a la red.
- ❖ 349 empresas recicladoras y 94 plantas de selección de envases ligeros con las últimas tecnologías.
- ❖ El coste se sitúa por debajo de los 10€/habitante, uno de los cinco más eficientes de Europa.
- ❖ Más de 115 acuerdos marco y convenios de colaboración y concesión de servicios con la administración pública.

ECOEMBES, 2015.

7.1.3. Pequeñas empresas, microempresas y cooperativas

Otras modalidades de participación en la gestión de residuos municipales, puede ser la colaboración con pequeñas empresas y microempresas, individuos y cooperativas. Generalmente, operan de forma complementaria a las operaciones de la municipalidad, siendo que la municipalidad facilita su funcionamiento mediante la provisión de espacios de trabajo, uniformes, modos de transporte, etc., y suelen tener basados sus beneficios en base al volumen de trabajo realizado.

En Costa Rica, la Asociación Centro Ejecutor de Proyectos y Económicos y de Salud (ACEPESA) apoya en la promoción de microempresas y pequeñas empresas en el aseo urbano. La contribución de estas modalidades en la creación de empleo es bastante significativa, aunque es necesaria una participación activa de la municipalidad para su sostenibilidad mediante la realización de alianzas estratégicas. Algunos ejemplos de estas modalidades se explican a continuación.

INICIATIVAS COMUNITARIAS DE RECICLAJE

Las **cooperativas de trabajo** son una fórmula emprendimiento que se aplica de forma colectiva y democrática, entre un grupo de participantes, con el desarrollo de la persona por encima del desarrollo de capital, logrando el desarrollo local de la comunidad. De este modo, se trata de un modelo de empresa que cuenta con, además de los objetivos económicos, otros de carácter social. Es necesario que los promotores de la misma

³¹ Directos, indirectos e inducidos.

estén cualificados para trabajar en equipo y así el crecimiento de la organización está basado en tres pilares básicos: (1) empleo estable, (2) igualdad y (3) equidad social.

Existen distintas formas jurídicas de asociación en Costa Rica según la Ley de Asociaciones Nº 218. Sea cual sea la forma jurídica de asociación, los participantes de la asociación aportarán su trabajo (ya sea a tiempo parcial o completo) realizando cualquier función en la organización para producir los servicios de la asociación. En este aspecto, las cooperativas de trabajo pueden desarrollarse en cualquier ámbito de actividad, como es el caso de la gestión de RSU. Los principios del cooperativismo son (COCETA, 2007):

- ❖ Adhesión voluntaria y abierta.
- ❖ Gestión democrática por parte de sus socios en la toma de decisión.
- ❖ Participación económica equitativa.
- ❖ Autonomía e independencia.
- ❖ Educación, formación e información transmitida a los socios.
- ❖ Cooperación entre cooperativas para fortalecer la corriente cooperativista.
- ❖ Interés por el desarrollo de la comunidad del entorno.

La Asamblea General es el órgano en el que participan, debaten y votan todos los integrantes de la cooperativa para la toma de decisiones en igualdad de condiciones. Por otro lado, el Consejo Rector se establece como el órgano permanente de gobierno, representación y gestión de la cooperativa, cuyo funcionamiento se establece en los estatutos y el reglamento de régimen interno. Además, existe un órgano encargado de la gestión fiscal y una Dirección o Gerencia con funciones de supervisión.

La forma en que las cooperativas pueden proveerse de fondos es diversa. Pueden contar con un capital social aportado de manera voluntaria u tener una cuota obligatoria acordada para todas las personas integrantes.

El sector informal ha representado de forma histórica un papel importante en la recogida de residuos en Costa Rica. La gestión no organizada de residuos y materiales aprovechables para su venta la realizan personas con limitados recursos, como un medio de subsistencia. La economía informal se presenta en varias etapas de la gestión de residuos. Recogida, tratamiento y valorización material suelen estar implicadas en el sector informal. En este sentido, los recicladores no se encuentran dentro del sistema de protección social y laboral y, en muchas ocasiones, ejercen su labor sin las adecuadas condiciones de seguridad y salud. Por ello, muchos países de América Latina y el

Caribe se encuentran trabajando a través del impulso de políticas públicas, trabajando con el sector privado y realizando inversiones de fomento del *reciclaje inclusivo*.

En este camino trabajan varias organizaciones en Latinoamérica, como la Iniciativa regional para el Reciclaje Inclusivo, la Red AVINA o la Red Latinoamericana de Recicladores (Red-LACRE), creando alianzas para convertir este trabajo informal en oficios, profesiones formalizadas que contribuyen al desarrollo sostenible de las ciudades y los medios de vida dignos.

El Proyecto AVINA en la ciudad de Buenos Aires, Argentina para la gestión de residuos con contratación de recicladores

La evolución de la recogida informal en el país pasó de ser rechazada, prohibida y penalizada en los años 1977, cuando la basura era propiedad del Estado. En este momento, existía una grave emergencia por la cuestión de la informalidad, el desempleo y la competencia con empresas de recolección y con los vecinos. 25.000 personas se dedicaban a la recuperación de valorizables en Buenos Aires y cerca de 100.000 dependían de esta actividad. Posteriormente, la crisis social y económica de principios de los 2000, potencio los primeros intentos asociativos y alianzas.

El banco CREDICOOP apoyó destinando fondos para la creación de cooperativas y apoyo su fundación. Finalmente en 2002 se despenalizó y se crearon el Registro Único obligatorio de Recuperadores de Materiales Reciclables (RUR) y el Registro Permanente de Cooperativas y Pequeñas y Medianas Empresas (REPYME), se entregaron credenciales acreditativas a los trabajadores, uniformes y apoyo sanitario. Como acción piloto, se creó el primer Programa de Recuperación Urbano (PRU).

Por otro lado, los Centros de Gestión y Participación Comunal contribuyeron al registro de los recuperadores urbanos. En el año 2004 se fomenta la creación de cooperativas y la apertura de centros verdes ante la dificultad de ejercer control sobre el registro por parte del gobierno.

Finalmente, en el año 2005 se aprueba nacionalmente la Ley Basura Cero, el trabajo de los pequeños recuperadores no podía garantizar el cumplimiento de la meta de disposición cero en el futuro. En los años más recientes de la aprobación de la Ley, se han comenzado a suceder acuerdos, licitaciones y adjudicaciones de la gestión de residuos municipales a cooperativas.

La **cooperativa BellaFlor** es un ejemplo de proyecto comunitario con más de 10 años de trayectoria en la provincia de Buenos Aires. La misma gestiona una planta de recuperación y reciclaje de RSU (bajo el modelo de planta social de trabajo) provenientes

de grandes generadores de la provincia, con más de 80 trabajadores en capacitación continua.

La ciudad de Buenos Aires, desde 2003 con su proyecto de Basura Cero incorporó a los recuperadores urbanos informales de valorizables en el sistema público de gestión de residuos, mediante contratos de concesión. La Ley Nacional de Presupuesto Mínimos Ambientales de Residuos Sólidos Domiciliarios de 2004 introduce que las municipalidades o provincias deben fomentar medidas que contemplen la integración de los circuitos informales de recolección de residuos. Mediante la articulación de los sectores público y privado, y de los actores de la cadena de gestión de RSU se promueven marcos de gestión que faciliten la formalización del sector.

En la ciudad de Buenos Aires, desde 2013, posterior a la participación de un concurso público para el servicio de recolección se firmaron acuerdos con las Cooperativas de Recuperadores Urbanos (CRU). De esta forma, se reconoció a las organizaciones de cartoneros como empresas sociales.

(Fundación AVINA, 2014)

Experiencias previas en el Cantón de San José: Educación para la acción ciudadana en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en San José

Este proyecto es un convenio de cooperación entre la Municipalidad de San José y la Fundación para la Sostenibilidad y Equidad (ALIARSE) que pretendía fortalecer la aplicación de la Ley 8839 de Gestión Integral de Residuos Sólidos, por medio de la sensibilización y la creación de capacidades sobre los alcances de la ley, en personas y organizaciones líderes de en 6 distritos del Cantón. Estos a su vez sensibilizarían a otros ciudadanos y promoverían el uso de los Ecopuntos (puntos verdes).

El proyecto tiene su germen en un programa de reciclaje iniciado en el año 2005, en el que se establecieron alianzas estratégicas con agentes que deseaban ser socios ambientales del mismo, llevándose a cabo la recogida de material valorizable ya seleccionado en su casa, empresa o escuela.

También fue precursor el programa Superhéroes ambientales, cuyo objetivo era la educación ambiental de niños y jóvenes, promoviendo entre éstos la recolección de materiales valorizables y su entrega al centro de reciclaje.

Los productos esperados del convenio de cooperación eran, entre otros, la formación de cien líderes ambientales para

promover el cumplimiento de la Ley 8839 en los 6 distritos, la elaboración de una propuesta de proyecto comunal de reciclaje por cada uno de los distritos, la creación de la Red Ambiental Comunal de San José, la creación de seis nuevos Ecopuntos, la elaboración de herramientas digitales para la educación ambiental o la presentación de seis cine foro itinerantes en los seis distritos del Cantón Central de San José.

El proyecto cumplió sus objetivos de forma parcial, en parte debido a la ausencia de una metodología clara, la adecuación de los materiales didácticos al nivel educativo de los recipientes, debilidad de convocatoria, falta de personal y otros inconvenientes.

El impacto en la capacitación de los vecinos y en la recogida de material valorizable fue difícil de valorar, dado que nos establecieron indicadores previos claros para medir el impacto. Sin embargo, sí se llegaron a capacitar 30 líderes comunales y estos a su vez a otros vecinos de su misma comunidad mediante los proyectos programados y ejecutados.

Municipalidad de San José.

7.2. Experiencias destacadas

Como se ha visto, existen varias formas en las que las municipalidades pueden abordar la gestión de los residuos y, es por eso que, en la región latinoamericana se observan prácticas muy diversas de gestión, algunas de las cuales ya se han comentado como ejemplos en el apartado anterior.

Otros ejemplos se encuentran por ejemplo en la región Metropolitana de Santiago de Chile, donde viven cerca de 6 millones de habitantes, por ejemplo, las municipalidades realizan la gestión directa, siendo que el destino final de los residuos es la disposición en relleno sanitario de titularidad pública. La gestión integrada supone un elevado coste a las municipalidades, por lo que éstas centran su atención en evitar, minimizar, tratar y disponer los residuos. De este modo, los residuos sólo son recuperados y reciclados si presentan viabilidad económica.

El caso de Porto Alegre, en Brasil, la gestión es también pública, pero en este caso se cuenta con un Programa de Recolección Selectiva (con cobertura del 100% del territorio) en sociedad con Organizaciones de Segregadores, por lo que trabaja en la inclusión social de este colectivo vulnerable. El sistema público

cuenta con un organizativo de limpieza de vías públicas, un sistema de recolección de amplia cobertura y diversificado, recogida de materia orgánica, compostaje casero y educación ambiental. Los rellenos sanitarios son, por el contrario, de concesión privada.

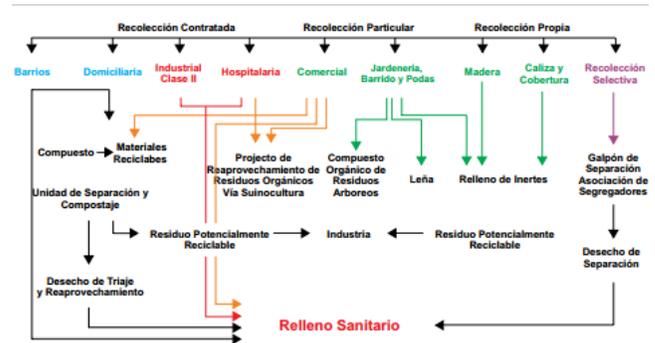


Figura 57. Corrientes y flujos de residuos y su modalidad de gestión en Porto Alegre (AIDIS & IDRC, 2006).

En la ciudad de Vitoria (Brasil), sin embargo, se optó por la privatización del servicio siempre manteniendo la gestión pública y, en Cuenca (Ecuador) se eligió la gestión pública mediante empresa municipal, incorporando a la comunidad en el manejo. La recolección selectiva se realiza mediante separación en la fuente y es la propia comunidad quien realiza acompañamiento y control sobre las operaciones del relleno.

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN PERÚ

Se presenta el caso de Perú con mayor detalle debido a que su gestión de los RSU ha presentado una problemática ambiental y social que ha sufrido una evolución en el tiempo. Tal es el interés que ha suscitado el modelo que ha recibido diversos premios y se está trabajando para su adaptación en países como Brasil, India, Chile o Rep. Dominicana.

En el año 2011 casi el 90% de los residuos generados se consideraban aprovechables, existiendo cerca de 109.000 recicladores (el 36% en Lima) en condiciones de extrema pobreza que recolectaban en la vía pública, botaderos y rellenos sanitarios (Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano, 2014).

La Ley de Residuos de 2004 incluyó una reforma tanto de la política pública, como de la participación del sector privado en las actividades públicas, permitiendo la creación de alianzas público-privadas en materia de gestión de RSU. En 2010, se promulgó una ley para la regulación de las actividades de los recicladores y su inclusión en el sistema de gestión de RSU.

Ciudad Saludable nació como una asociación sin fines de lucro fundada en 2002 para la profesionalización del sector y el desarrollo de un modelo de gestión de RSU integral en los municipios del Perú. Para ello, trabaja en tres ejes clave:

1. Capacitación y diálogo con la administración pública.
2. Inclusión de los recicladores en el sistema.
3. Concienciación ciudadana.

Para alcanzar las metas, se encuentran en marcha varios programas de trabajo diseñados de forma participativa, como el *Programa Basura Cero* para modificar las políticas y prácticas de gestión y lograr una disposición cero de residuos aprovechables y la clausura de vertederos no controlados. Por otro lado, el Programa Pro-reciclador se encarga de promover la profesionalización de recicladores y la creación del tejido productivo entorno a la recogida y valorización, incluyendo la capacitación, la creación de asociaciones, la provisión de equipos y la creación de microempresas.

Además, el Programa Ciudadanía Ambiental fomenta el compromiso ambiental de los ciudadanos en todos los ámbitos de la sociedad.

Por último, la Mesa de Reciclaje sirve como lugar de encuentro y promoción de alianzas entre los actores de la gestión de residuos (recicladores, administración y sector privado).



Figura 58. Relación de actores implicados en el modelo de Ciudad Sostenible (Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano, 2014).

La financiación de la iniciativa se realiza mediante donaciones (principalmente) y subvenciones del gobierno, fondos de cooperación internacional, administraciones locales y regionales, así como de ingresos por servicios de consultoría prestados.