

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES**  
**SEDE ECUADOR**  
**DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO**  
**CONVOCATORIA 2013-2015**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA DEL  
DESARROLLO**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS: EL CASO DE LOJA**

**ADRIÁN FELIPE ORBE NAVARRETE**

**JUNIO 2016**

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES  
SEDE ECUADOR  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO  
CONVOCATORIA 2013-2015**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAestrÍA EN ECONOMÍA DEL  
DESARROLLO**

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL  
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS: EL CASO DE LOJA**

**ADRIÁN FELIPE ORBE NAVARRETE**

**ASESOR DE TESIS: MARÍA CRISTINA VALLEJO  
LECTORES/AS: JESÚS RAMOS Y PEDRO ALARCÓN**

**JUNIO 2016**

## **DEDICATORIA**

A las dos mujercitas que cambiaron mi vida: María Paz y Luciana

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento enorme a la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, por haberme brindado la oportunidad de emprender un nuevo camino de desarrollo académico.

A mis hijas, María Paz y Luciana, por entender el sacrificio realizado durante este trayecto.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
Planteamiento del problema .....	9
Objetivos.....	11
Objetivo General.....	11
Objetivos Específicos .....	11
Pregunta de investigación.....	11
Hipótesis .....	11
CAPÍTULO I.....	12
RESIDUOS Y LA TEORÍA ECONÓMICA.....	12
La economía tradicional y la concepción sobre los residuos.....	13
El aporte de la economía ambiental a la visión tradicional .....	18
La economía ecológica y el enfoque de sustentabilidad.....	21
Sustentabilidad y las ideas de la economía ecológica .....	25
Economía circular: una visión más actual .....	26
CAPÍTULO II.....	30
ENERGÍA RENOVABLE: ANÁLISIS GLOBAL, REGIONAL Y LOCAL .....	30
La energía renovable a nivel mundial y regional .....	31
La matriz energética del Ecuador .....	33
Generalidades de Loja .....	36
Competencias para el manejo de residuos .....	36
Aspectos demográficos y económicos.....	37
Generación de residuos en Loja.....	40
Recolección y transporte de residuos .....	43
Tratamiento y disposición final .....	47
Aprovechamiento.....	48
Tratamiento.....	50
CAPÍTULO III .....	52
EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LOJA .....	52
Procesos de conversión de residuos orgánicos .....	53

Digestión anaeróbica .....	55
Producción de biogás: metodología.....	57
Tecnologías de digestión anaeróbica.....	58
Loja y su potencial energético.....	61
CAPÍTULO IV .....	66
ASPECTOS LEGALES, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS.....	66
Regulaciones de energía renovable convencional.....	67
Gestión de residuos: un compromiso participativo.....	70
Beneficios ambientales del aprovechamiento de residuos.....	72
Análisis económico: digestión anaeróbica.....	76
Inversión.....	78
Ingresos.....	80
Gastos.....	85
Ingresos netos.....	86
Viabilidad financiera.....	86
CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS.....	108
Emisiones de gases de efecto invernadero en el relleno sanitario de Loja.....	108
Residuos, energía y compost.....	109
Flujo financiero: escenarios.....	110

## RESUMEN

Alrededor del mundo, la energía juega un papel fundamental para conseguir el desarrollo de toda sociedad. Forma parte, directa o indirectamente, de toda actividad económica.

A lo largo de la historia, los seres humanos hemos aprendido a adaptar las diferentes fuentes de energía (el sol, el viento, el agua, los hidrocarburos, entre otras), provistas por la naturaleza para conseguir nuestros beneficios. Sin embargo, las desigualdades económicas existentes entre todos los países del mundo han imposibilitado el aprovechamiento de todas las fuentes energéticas en igual medida: los países de ingreso bajo se ven restringidos al acceso a tecnología de aprovechamiento energético debido a la cantidad de inversión que se requiere.

Una de las fuentes de energía que no se ha podido aprovechar, desde los países en desarrollo, a gran escala, es la generación de energía eléctrica y térmica, mediante el uso de residuos que los seres humanos producimos a través de las actividades económicas. Sin embargo, países desarrollados como Alemania, o incluso Brasil en la región sudamericana, han conseguido este aprovechamiento energético.

Algunos países, como Noruega, Alemania y Suecia, que han desarrollado más esta tecnología, importan residuos de otros países para obtener energía eléctrica. En algunas economías en desarrollo el aprovechamiento de energía de los residuos ni siquiera forma parte de las agendas de gobierno.

En el caso de Ecuador, los esfuerzos asociados al aprovechamiento energético de los residuos aún son efímeros. Al 2015, la potencia efectiva instalada para generación eléctrica con residuos (bagazo de caña) ascendió a 136 MW, lo que representa apenas el 2,5% de la participación en el total de la potencia instalada nacional<sup>1</sup> (MICSE, 2015).

A pesar de contar con una experiencia en la generación de electricidad con residuos agrícolas, no se le ha dado una importancia considerable a los beneficios asociados al aprovechamiento energético (calor y electricidad) de los residuos sólidos urbanos.

---

<sup>1</sup> No incluye la potencia de interconexión con Perú y Colombia.

En este sentido, el objetivo de la presente tesis es evidenciar los beneficios asociados, de diversa índole, al aprovechamiento energético de los residuos que son generados por el Municipio de Loja.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se analizará el estado del arte, de diferentes escuelas económicas con el fin de fundamentar, con sus enfoques, el manejo y aprovechamiento de residuos. Posteriormente, se evaluará la gestión que realiza actualmente el Municipio de Loja respecto a los residuos que son generados: se inicia con la generación de residuos, donde existe un esfuerzo considerable de los ciudadanos respecto a la separación en la fuente de los residuos orgánicos e inorgánicos.

Se evidencia el proceso de recolección de los residuos, lo que es competencia, por legislación ecuatoriana, de los gobiernos seccionales, para luego continuar con el transporte de los mismos hacia el centro de disposición final. En este último, se aborda el avance de la política del municipio respecto al reciclaje de residuos y al proceso de compostaje, mediante lombricultura, que actualmente se tiene en Loja.

El siguiente punto que se aborda se relaciona al cálculo del potencial energético que tendría Loja, si destinará sus residuos orgánicos a un sistema de aprovechamiento energético en lugar de destinarlos al relleno sanitario. Aquí se analiza las diferentes formas de obtener energía mediante los residuos, así como la tecnología más adecuada a implementarse en el municipio. Esta definición será realizada en función de varios parámetros como: cantidad de energía obtenida, emisión de gases de efecto invernadero, costos de operación, entre otros.

Finalmente, se abordará algunos ejes transversales a la implementación de un sistema de aprovechamiento de energía de los residuos orgánicos como: i) la regulación legal emitida desde la institución pública respectiva; ii) el entorno entre Estado y sociedad para que un proyecto como estos logre realizarse; iii) los beneficios ambientales asociados al aprovechamiento energético de residuos orgánicos y; iv) un análisis económico de la viabilidad del proyecto bajo diversas consideraciones.

## INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema**

La actual política de gobierno promueve una transición, de la forma de producir<sup>2</sup> energía, a través de la implementación de varios proyectos energéticos. De esta manera, el objetivo que se ha propuesto por el gobierno, para realizar cambios sustanciales en su matriz energética, se encuentra ejecutándose y materializándose a través de la construcción de mega proyectos energéticos que aprovechan diferentes recursos naturales con los que el Ecuador cuenta.

En el sector de hidrocarburos, la escasa capacidad de refinación y los problemas operativos de las refinerías existentes, centraron la política de gobierno en la creación de una nueva refinería (Refinería del Pacífico – RDP-), que permita al Ecuador reducir las importaciones de derivados de petróleo y aumentar las exportaciones de productos de alto valor agregado, los cuales sustituirán a las exportaciones tradicionales de petróleo crudo.

Las importaciones de hidrocarburos, que en su totalidad son subvencionadas por el Estado, crean una carga fiscal para las finanzas internas del país y desplazan recursos que podrían destinarse hacia otros proyectos que el Ecuador requiere para su desarrollo. La industrialización del petróleo generará beneficios asociados, como una mayor cantidad de divisas para el país, y conseguirá encadenamientos productivos con otras industrias como la petroquímica.

En el sector eléctrico, la construcción de nueve proyectos emblemáticos (ocho hidroeléctricos y uno eólico), generarán la electricidad necesaria para garantizar el suministro interno del país. De esta manera se genera una política que garantiza la seguridad eléctrica del país promoviendo el desarrollo eléctrico con fuentes renovables. Estos proyectos desplazarán el uso de combustibles fósiles que se utilizan para generar electricidad en centrales térmicas.

---

<sup>2</sup> La Primera Ley de la Termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma. Sin embargo, se utilizará el término “producción” para referirse a toda la energía que se obtiene de la naturaleza (petróleo, gas natural, biomasa, etc.) o se transforma en algo centro de transformación (central eléctrica, refinadora, etc.). Este término es usado en la elaboración de Balances de Energía, lo cual se puede evidenciar en las metodologías realizadas por la OLADE (2004).

Hasta el momento ya han entrado en operación el proyecto eólico Villonaco que cuenta con una capacidad instalada de 16,5 MW (inaugurado en 2013), la central hidroeléctrica Manduriacu con una capacidad instalada de 65 MW (inaugurada en 2015), y algunas fases de generación de las centrales hidroeléctricas de Mazar-Dudas y de Coca Codo Sinclair.

Estos proyectos emblemáticos se enmarcan en lo que establece el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017, dentro del objetivo 11 “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica”;

El literal a) de este objetivo establece: “Aprovechar el potencial energético basado en fuentes renovables, principalmente de la hidroenergía, en el marco del derecho constitucional al acceso al agua y de la conservación del caudal ecológico” (Senplades, 2013).

Existe el literal h) del mismo objetivo, al cual el Estado no le ha prestado la prioridad debida. Este considera la cuantificación del potencial de recursos de energía renovables para generación eléctrica.

Respecto a este literal, se han hecho esfuerzos, por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER, 2012) con la publicación del “Mapa eólico del Ecuador”; y sus entidades adscritas, como el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2008), actualmente Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), que publicó el “Atlas solar de Ecuador”.

La cuantificación del potencial de otras fuentes de energía renovable ha sido escasa: una de estas la proveniente de residuos. En el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) que el Ministerio del Ambiente (MAE) se encuentra diseñando, establece como uno de sus objetivos específicos el aprovechamiento energético de los residuos (MAE, 2016). Asimismo establece, dentro del proceso de agregación de valor, la creación de plantas *waste to energy* (W2E) (aprovechamiento energético de residuos) para obtener energía eléctrica mediante la combustión del biogás.

Aunque ya se ha diseñado el programa por parte del MAE, hasta el momento no se evidencia algún esfuerzo por cuantificar el potencial energético de los residuos en el Ecuador. Respecto a esta fuente de energía renovable no convencional, la presente

investigación busca evaluar el potencial de energía que alcanzaría Loja si gestionara sus residuos orgánicos hacia un sistema de aprovechamiento energético.

## **Objetivos**

### *Objetivo General*

Cuantificar el potencial energético de los residuos sólidos orgánicos del Municipio de Loja y analizar la viabilidad de implementación de una planta de generación energética con residuos.

### *Objetivos Específicos*

- Comparar los diferentes enfoques de la teoría económica respecto a la concepción, de cada uno de estos, sobre los residuos.
- Seleccionar, en base a la viabilidad, el método y tecnología adecuada para la conversión de los residuos orgánicos en energía.
- Analizar las barreras normativas existentes que han imposibilitado el desarrollo de un sistema de aprovechamiento de energía mediante residuos orgánicos.
- Calcular los beneficios ambientales por concepto de aprovechamiento energético de los residuos en Loja.

## **Pregunta de investigación**

¿En el Municipio de Loja, el aprovechamiento energético de los residuos sólidos orgánicos es viable desde el punto de vista legal, social, ambiental y económico?

## **Hipótesis**

- El proceso de regulación en el país es la principal razón por la cual el Ecuador no ha logrado impulsar un mercado de tecnologías renovables no convencionales como la de aprovechamiento energético de residuos.
- Los beneficios ambientales de un sistema aprovechamiento energético de residuos representan un factor atractivo para la construcción de una planta W2E en Loja.
- El nivel de inversión para el proyecto de Loja no representa un obstáculo para conseguir el desarrollo del aprovechamiento energético de residuos dados sus réditos en el corto plazo.

## **CAPÍTULO I RESIDUOS Y LA TEORÍA ECONÓMICA**

El objetivo del presente capítulo es la discusión teórica de diferentes escuelas económicas sobre la concepción de los residuos. Se presenta, en primera instancia, la postura de la visión tradicional (clásica y neoclásica), concebida desde la teoría del flujo circular cerrado del ingreso, la cual describe la interrelación de bienes y dinero entre familias y empresas. Se considera al espacio biofísico únicamente como fuente que suministra materia prima (Field, 1996), aunque esta condición en los modelos económicos no se refleja. Los aportes a la teoría del flujo circular del ingreso los aborda Alfred Marshall (1890) en su libro “Principios de Economía” y Joseph Schumpeter (1994) en el primer capítulo de la teoría del desenvolvimiento económico.

Por otra parte, la visión de la economía ambiental, la cual sigue la misma línea de la economía ortodoxa, valora en términos monetarios los residuos y su impacto en el entorno natural. Por ende, su necesidad de incorporar estos costos dentro de los procesos productivos con el fin de minimizar los efectos generados por su contaminación. Uno de los aportes de la economía ambiental es la valoración costo-beneficio. Se evidencia los análisis de Kolstad (2000) y Pearce (1976).

Posteriormente, dentro de la corriente de la economía ecológica, surge el debate respecto al flujo circular del ingreso planteado por la economía tradicional. El principal aporte de esta escuela es considerar al flujo dentro de un sistema abierto, donde la biósfera suministra insumos (bienes o servicios) a los procesos económicos y a su vez se encarga de los procesos de absorción de gran parte de los residuos generados por estos procesos. La economía ecológica se enfoca en los procesos biofísicos de los residuos y la necesidad de reducir la acumulación de residuos para conseguir un desarrollo sostenible. Georgescu-Roegen (1971 y 1975), Herman Daly (1991, 1996 y 1997) y Joan Martínez-Alier (1996, 1999, 2007) son los principales ideólogos que abordan temas de economía ecológica.

Inmerso en la economía ecológica se encuentra el concepto de sustentabilidad, el cual se enfoca en los impactos sobre el entorno natural como consecuencia de los procesos económicos dentro de un enfoque intergeneracional. Este tema es una de las principales preocupaciones de Joan Martínez-Alier. Asimismo, se evidencia el concepto

de sostenibilidad fuerte, el cual sostiene que el capital natural no puede ser reemplazado por capital económico (Daly, 1996 y Gudynas, 2011).

### **La economía tradicional y la concepción sobre los residuos**

Una forma de entender el funcionamiento del sistema económico desde la visión económica tradicional es a partir del análisis del flujo circular del ingreso o gasto.

El flujo circular del ingreso, desde la ideología clásica, muestra el intercambio de bienes y servicios entre hogares y empresas a cambio de un valor monetario; es decir, fundamenta su análisis desde una visión crematística donde cada bien tiene un precio de mercado. Este modelo será posteriormente desarrollado con mayor especificidad.

En este marco, uno de los primeros esfuerzos por entender los flujos económicos fue realizado, dentro de la escuela fisiócrata, por François Quesnay (1760) quien desarrolló la *Tableau Économique* (tabla económica). El objetivo principal de la tabla económica fue entender los flujos monetarios de un sector a otro.

Aunque la escuela fisiócrata reconoce la importancia del medio ambiente, específicamente del sector agrícola, como fuente que suministra los insumos a la actividad económica y sobre la cual se sustenta la riqueza de una nación, en el modelo de Quesnay, el aspecto ambiental se encuentra aislado en sus desarrollos económicos.

El modelo de Quesnay establece tres sectores: la clase productiva, la clase de los propietarios y una tercera clase a la que se la denominó “estéril” (Brewer, 2005). Este último término no contiene una definición de inutilidad; sino, se refiere a que la escuela fisiócrata consideraba al sector agrícola como productivo y el resto de sectores era encajonado bajo un término improductivo.

Lo que muestra Quesnay, a través de la tabla económica, son los flujos de bienes y servicios entre las tres clases que él definió. El esquema que Quesnay utilizó fue en forma de “zig-zag”, que establece prácticamente un diagrama de flujo circular (Rincon y Torres, 2014) donde se muestra el proceso de producción y de consumo (ver Gráfico 1).

Gráfico 1. Tabla económica de Quesnay

**TABLEAU ÉCONOMIQUE.**

*OBJETS à considérer : 1°. trois sortes de dépenses ; 2°. leur source, 3°. leurs avances, 4°. leur distribution ; 5°. leurs effets, 6°. leur reproduction ; 7°. leurs rapports entr'elles, 8°. leurs rapports avec la population, 9°. avec l'Agriculture, 10°. avec l'Industrie, 11°. avec le commerce, 12°. avec la masse des richesses d'une Nation.*

DEPENSES PRODUCTIVES relatives à l'Agriculture, &c.	DEPENSES DU REVENU, l'impôt prélevé, le partage aux dépenses productives & aux dépenses stériles.	DEPENSES STÉRILES relatives à l'Industrie, &c.
AVANCES ANNUELLES pour produire un revenu de 600 liv. tout 600 liv.	REVENU annuel de 600 <sup>l</sup>	AVANCES ANNUELLES pour les Ouvrages des dépenses stériles tout, 100 <sup>l</sup>
PRODUCTIONS.		OUVRAGES, &c.
100 <sup>l</sup> reproduisent net.....100 <sup>l</sup>		100 <sup>l</sup>
150 <sup>l</sup> reproduisent net.....150 <sup>l</sup>		150 <sup>l</sup>
75 <sup>l</sup> reproduisent net.....75 <sup>l</sup>		75 <sup>l</sup>
17. 10 <sup>l</sup> reproduisent net.....17. 10 <sup>l</sup>		17. 10 <sup>l</sup>
18. 15 <sup>l</sup> reproduisent net.....18. 15 <sup>l</sup>		18. 15 <sup>l</sup>
9. 7. 6 <sup>l</sup> reproduisent net.....9. 7. 6 <sup>l</sup>		9. 7. 6 <sup>l</sup>
4. 13. 9 <sup>l</sup> reproduisent net.....4. 13. 9 <sup>l</sup>		4. 13. 9 <sup>l</sup>
1. 6. 10 <sup>l</sup> reproduisent net.....1. 6. 10 <sup>l</sup>		1. 6. 10 <sup>l</sup>
1. 3. 7 <sup>l</sup> reproduisent net.....1. 3. 7 <sup>l</sup>		1. 3. 7 <sup>l</sup>
0. 11. 8 <sup>l</sup> reproduisent net.....0. 11. 8 <sup>l</sup>		0. 11. 8 <sup>l</sup>
0. 5. 10 <sup>l</sup> reproduisent net.....0. 5. 10 <sup>l</sup>		0. 5. 10 <sup>l</sup>
0. 2. 11 <sup>l</sup> reproduisent net.....0. 2. 11 <sup>l</sup>		0. 2. 11 <sup>l</sup>
0. 1. 12 <sup>l</sup> reproduisent net.....0. 1. 12 <sup>l</sup>		0. 1. 12 <sup>l</sup>
0. 1. 12 <sup>l</sup> reproduisent net.....0. 1. 12 <sup>l</sup>		0. 1. 12 <sup>l</sup>
<b>REPRODUIT TOTAL . . . . . 600. liv. de revenu. De plus les frais annuels de 600. liv. &amp; les intérêts des avances annuelles &amp; des avances primitives du Laboureur, de 345 liv. que la terre restitue. Ainsi la reproduction est de 1345 liv. compris le revenu de 600. livres, qui est la base du calcul, abstraction faite de l'impôt de 300. liv. de la dixme de 150. liv. des avances &amp; des intérêts de ces avances, &amp; des avances primitives qu'exige la reproduction annuelle, &amp;c. Toutes ces parties réunies formeroient ensemble une reproduction totale de 2705 liv. ce qui est en bonne culture, la moitié du produit de l'emploi d'une charue, comme il sera expliqué ci-après.</b>		

Fuente: Monroe (2006)

Como se podrá notar, el esquema planteado por Quesnay no hacía explícito el sistema ambiental en su modelo. Reconocía que el sector agrícola era quien proveía de insumos al sistema económico, pero nunca mostró la interrelación con el medio ambiente dentro de su propuesta

El aporte de Quesnay fue complementado posteriormente por Wassily Leontief (Leontief, 1986) para la creación de las matrices insumo-producto (oferta-utilización) que actualmente se utilizan en todas las economías del mundo como parte de su contabilidad nacional.

Lo que muestran las matrices insumo-producto, son las interrelaciones entre las fuerzas de mercado (oferta y demanda) de los diferentes sectores que existen en una

economía. Considera que la producción (bienes y servicios) de un sector servirá de insumo para la producción (bienes y servicios) de otros sectores; y también para el consumo final.

Asimismo, Leontief mantuvo una concepción monetaria que hasta el momento se utiliza en las cuentas nacionales de los países. En el caso de Ecuador, varios autores han desarrollado esta metodología (León y Marconi, 1999).

Pese a que los modelos de Quesnay y de Leontief no consideraron cálculos en términos físicos, sirvieron de insumo dentro de la teoría de economía ecológica, específicamente en sustentabilidad fuerte para la creación de indicadores que permitan ver los flujos biofísicos de una actividad económica.

El desarrollo posterior en la construcción del modelo de flujo circular, para entender la dinámica de la economía, fue concebido por Alfred Marshall, uno de los principales representantes de la escuela neoclásica (Marshall, 1890), quien recoge los aportes de los economistas clásicos (A. Smith, D. Ricardo y T. Malthus), que evaluaron la teoría de la empresa; y por otro lado los aportes de economistas utilitaristas (J. Bentham, W. Jevons, C. Menger, L. Walras, V. Pareto y Edgeworth) en la construcción de la teoría del consumidor (Case, 1997:75).

La idea central del modelo de flujo circular planteada por Marshall fue evidenciar como se distribuye la renta social en una economía (Escartín, 2006); es decir, la forma de repartición entre aquellos factores que participaban en el proceso de producción. Marshall reconoce que los factores de producción son cuatro: tierra, trabajo, capital y organización empresarial (Escartín, 2006:7). Para Marshall, esta distribución dependía de las eficiencias marginales de cada uno de estos factores en la producción total de bienes y servicios. Bajo estas consideraciones, el modelo establece el flujo de monetario y flujo real (medidas físicas) en el sistema económico.

De igual manera, Joseph Schumpeter diseña un modelo de flujo circular dentro de su obra “Teoría del desenvolvimiento económico” (Schumpeter, 1944), para entender el funcionamiento del sistema económico (Vargas, 2006).

A diferencia de la propuesta de Quesnay, el cual establecía un modelo intertemporal, Schumpeter construye su modelo de corriente circular bajo un esquema estático, en el cual no existe el factor tiempo. Schumpeter reconoce que existen tres factores en la economía: el producto, el cual genera la riqueza; el trabajo, del cual se

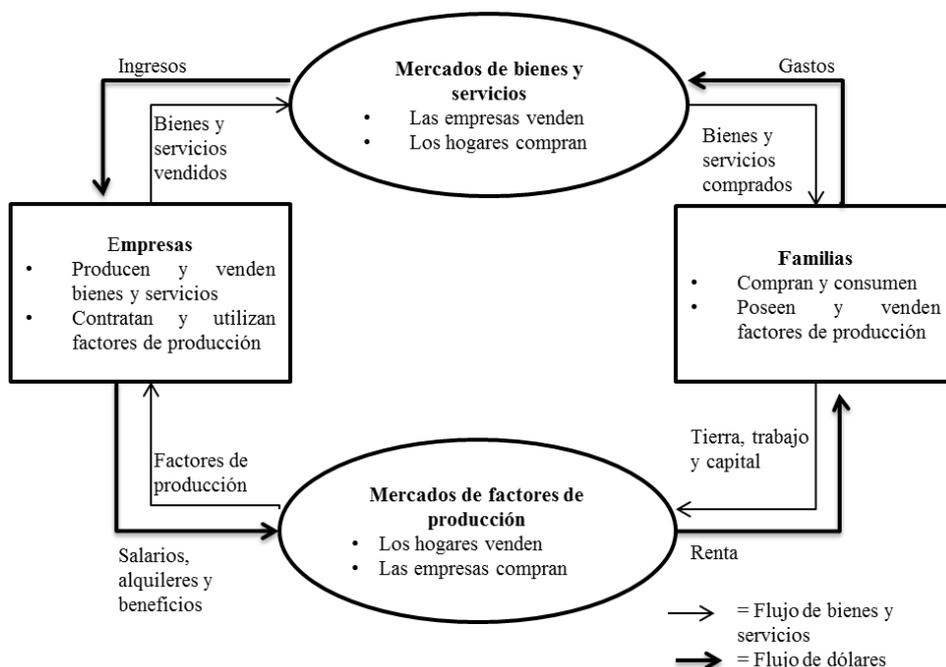
generan los salarios; y los propietarios, del cual se obtiene un ingreso como concepto de arrendamiento (Schumpeter, 1944: 34).

Asimismo, y al igual que Marshall, Schumpeter considera como factores de producción a la organización empresarial y al grado de innovación tecnológica que los empresarios realicen.

Posteriormente, se fueron haciendo adaptaciones al modelo de flujo circular para interpretar el sistema económico. La visión neoclásica estableció el flujo circular cerrado, el cual no tiene ninguna interacción con el ecosistema. Los desarrollos desde la economía ecológica determinaron que un sistema económico no existe sin una interoperabilidad con el ecosistema. Algunos autores han estudiado estos flujos Case (1997), Martínez-Alier (2000), Samuleson y Nordhaus (1988), Vargas (2006) y Mankiw (2002).

En el Gráfico 2, se muestra el flujo circular cerrado para entender el funcionamiento de una economía bajo la concepción tradicional. Lo que muestra el flujo circular es la conexión entre “los mercados de insumos y productos en un sistema interdependiente al que se le llama equilibrio general” (Samuelson y Nordhaus, 1988: 276).

**Gráfico 2. Flujo circular cerrado**



**Fuente:** Mankiw (2002)

De acuerdo al modelo del flujo circular, la dinámica económica de la visión tradicional describe el intercambio de bienes y servicios y los flujos monetarios por el pago de esos bienes y servicios. En este análisis, las familias ofertan tierra, trabajo y capital al mercado factores de producción: insumos que las empresas demandan. A cambio, las familias reciben un pago monetario (sueldos, salarios, beneficios, otros) por el uso de su factor de producción.

En una siguiente etapa, las empresas producen bienes y servicios, con los factores de producción utilizados, los cuales se venden a las familias. Finalmente, las familias destinan sus ingresos a la compra de los bienes y servicios que las empresas ofrecen en el mercado.

Como se evidencia, este esquema de flujo circular reconoce la existencia de flujos físicos, que son los bienes que las empresas producen y que a un precio dado son vendidos a las familias.

Estos desarrollos del flujo circular del ingreso, posteriores a los de Marshall y Schumpeter, siguen manteniendo aislado el medio ambiente basándose en los lineamientos de la escuela convencional que establecía que los recursos eran ilimitados y debían estar a disposición del ser humano.

Como se ha podido evidenciar, en los análisis de Quesnay (tabla económica), Leontief (con la matriz insumo-producto), Marshall y Schumpeter (flujo circular), el rol que cumple el medio ambiente se basa únicamente en proveedor de insumos. El medio ambiente es omitido dentro de los modelos teóricos realizados por estos autores.

Se considera apenas a la tierra como factor de producción, el cual es un objeto de intercambio a un precio determinado, pero sus funciones ecológicas son ignoradas. De esta manera, la asimilación de residuos que hace el medio ambiente no se cuenta.

Por su parte, la matriz insumo-producto, reconoce la existencia del sector primario como proveedor de bienes que genera la el medio ambiente: productos agrícolas, marinos, minerales, hidrocarburos, entre otros. Sin embargo, la disposición final de los residuos que son generados de la actividad económica no se considera.

No obstante, la teoría convencional, dentro de toda su ideología, no descarta el aspecto ambiental, simplemente no es un factor relevante dentro de sus modelaciones teóricas. En este sentido, ¿cómo la teoría ortodoxa reconoce la importancia del medio ambiente y sus funciones para el análisis económico? La respuesta se sustenta en los

planteamientos de la economía ambiental, la cual integra la dimensión ambiental al análisis económico.

### *El aporte de la economía ambiental a la visión tradicional*

La economía ambiental surge dentro del esquema de la economía convencional, enfocada en la aplicación de “conceptos de la economía neoclásica para incorporar consideraciones ambientales” (CEPAL, 1994). La economía neoclásica, sin embargo, de acuerdo a lo que establece Soderbaum (1992), no fue concebida para tratar la temática ambiental.

Sus fundamentos fueron diseñados bajo una concepción crematística, que es propia del *mainstream* (línea principal); donde la naturaleza debía estar a entera disposición de los individuos.

El enfoque de la economía ambiental y su aporte a la economía convencional, sostiene cuatro funciones del medio ambiente de acuerdo a Pearce (1976), Londoño (2006) y Jacobs (1995): i) el medio ambiente, a través del suministro de insumos, es parte del sistema de producción, el cual, en su ausencia no pudiese existir; ii) así como suministra de bienes a los procesos productivos, el medio ambiente, se encarga de recibir los desechos o residuos de estos procesos; iii) provee de otros *bienes naturales* los cuales son utilizados por los seres humanos sin necesidad de tener un proceso productivo (parques nacionales, entre otros) y; iv) forma parte de los medios necesarios para la preservación de la vida.

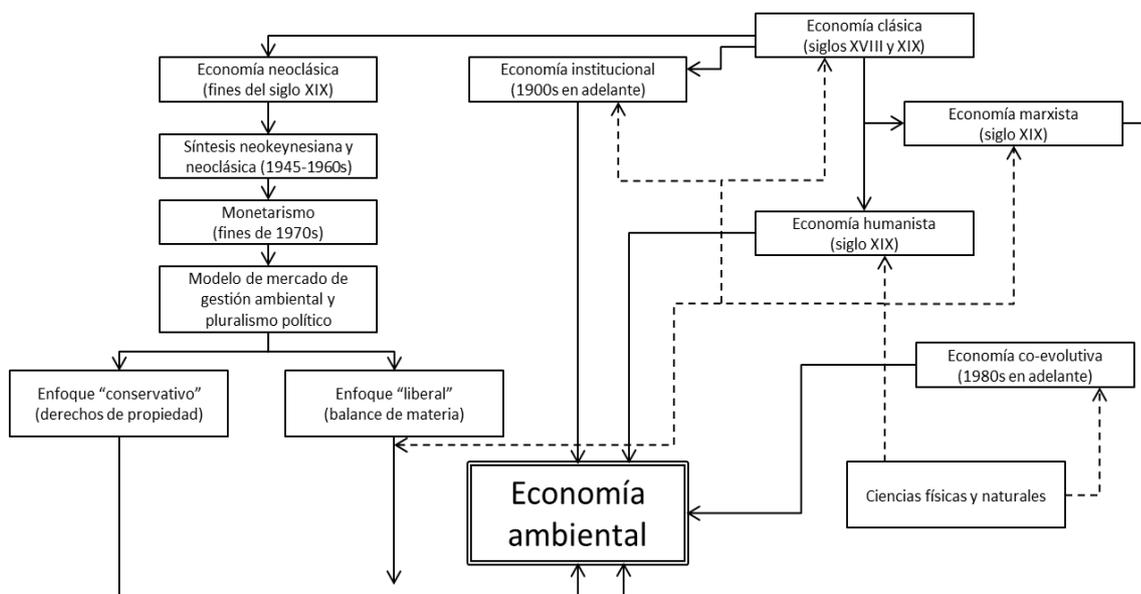
Con las funciones descritas anteriormente, la economía ambiental ya empieza a percibir la generación de residuos de los sistemas económicos, pero los mira desde un enfoque de contaminación, los cuales se convierten en externalidades negativas dentro de los procesos económicos.

Al estudiar el flujo de los residuos y su impacto al ecosistema, lo que busca la economía ambiental es valorar la degradación ambiental e internalizar los costos como consecuencia de la actividad económica. Se sigue manteniendo la visión de un esquema cerrado con énfasis en un enfoque monetarista.

Pearce y Turner (1990) describen el surgimiento de la economía ambiental a partir de la evolución de las diferentes escuelas económicas (ver Gráfico 3). De la economía clásica recoge los aportes de Malthus, Ricardo y Mill, respecto a los límites

medioambientales (Reed, 1994, Pearce y Turner, 1990; Turner, Pearce y Bateman, 1993, Yu chang, 2005).

**Gráfico 3. Paradigmas económicos y medio ambiente**



**Fuente:** Cepal, 1994; Pearce y Turner, 1990

Malthus (1798) se preocupó por los límites absolutos y por el crecimiento de la población de manera exponencial en un entorno donde la oferta de la tierra la consideró finita, la cual, sumando a la teoría de rendimientos decrecientes de Ricardo (1817) llevarían a una disminución de la oferta per cápita de alimentos.

Ricardo definió que los límites estaban en función del aumento de costos, donde los recursos de alta calidad, una vez que son explotados y tienden al agotamiento, deben ser sustituidos por recursos de más baja calidad (Turner, Pearce y Bateman, 1993).

De Mill (1848), la economía ambiental, recoge los planteamientos iniciales sobre las externalidades. Mill establece que debería existir un cambio en el componente tecnológico para evitar los rendimientos decrecientes de la tierra.

Asimismo, la economía ambiental basa sus ideas en otras escuelas:

- La concepción de la naturaleza de Marx (1986), la cual debía ser puesta a beneficio de los seres humanos a través de la ciencia.

- La no incorporación de los costes ambientales en la determinación de los precios de bienes y servicios de parte de la escuela neoclásica. Específicamente se recogen los aportes Pigou (1920) para internalizar estos costes.
- Los derechos de propiedad en los cuales Coase (1960) establecía el costo para solventar los daños ambientales desde un enfoque liberal.
- Cambio en la concepción de los recursos naturales de infinitos a escasos (Pierri, 2005).

Uno de los dos ejes principales de estudio de la economía ambiental se refiere a los problemas generados por externalidades. El otro eje hace referencia a la “asignación intergeneracional óptima de los recursos agotables” (Aguilera y Alcántara, 1994:11).

Del primer eje, se desprende la preocupación por incorporar los costos ambientales generados en las actividades desarrolladas por los seres humanos. Esta valoración da origen a la economía ambiental (Pearce, 1996 y Borrayo, 2002). Yun Chang (2005) sostiene que la economía ambiental fundamenta su análisis en la internalización de externalidades. Los mecanismos de internalización más conocidos corresponden a la negociación *coasena* (Coase, 1960), y los impuestos *pigouvianos* (Pigou, 1920).

Coase establece un proceso de consenso entre la partes afectadas por las externalidades, con el objetivo de que estas se internalicen y el proceso económico sea más eficiente. Por su parte, Pigou diseñó un impuesto para corregir la externalidad negativa, donde la empresa que incida en daños ambientales, deberá pagar el impuesto por los perjuicios que se ocasionen.

Sobre el segundo eje, se busca establecer “precios óptimos que indiquen la senda óptima a seguir hasta que se extraiga la última unidad del recurso en cuestión” (Aguilera y Alcántara, 1994:13). Uno de los principales aportes, al respecto, fue desarrollado por Hotelling (1931).

Lo que establece Hotelling es que no se puede realizar una “asignación óptima de un recurso natural si no se tiene conocimiento sobre la evolución mundial futura del recurso en cuestión” (Aguilera y Alcántara, 1994:13). De igual manera, Hotelling considera que los recursos son agotables y por tanto, la visión de infinitud de recursos deja ser abordada en desarrollos teóricos posteriores.

Por otra parte, Kolstad (2000) analiza la economía ambiental, refiriéndose a los efectos generados por la actividad humana en el entorno ambiental y la constante preocupación sobre si el planeta es capaz de absorber todo lo que se le arroja y si podrá limpiarse de manera automática. Lo que intenta la economía ambiental es valorar monetariamente los efectos ambientales de uso de la naturaleza para fines económicos (García, 2003).

Este concepto de valoración monetaria de la naturaleza o de los impactos ocasionados sobre ésta, se hace operativo a partir de la definición de sustentabilidad débil, de acuerdo a la cual, una economía será sustentable siempre que se mantenga en el tiempo un acervo total de capital, que se sumará en sus diversas formas: capital económico, capital humano, capital social y capital natural. Esto supone la viabilidad de sustituir, por ejemplo, el capital natural por el capital físico. Esta concepción, sin embargo, ha sido objeto de una amplia crítica desarrollada desde la economía ecológica (Martínez-Alier, 2001:383).

En resumen, el aporte de la economía ambiental a la economía convencional, fue dejar de mirar a la economía como un sistema cerrado, el cual no tiene interrelación con el espacio ambiental, tal como se lo establece en el modelo del flujo circular cerrado.

Si bien la economía ambiental introduce la dimensión de ambiente al sistema económico, su evaluación sobre el impacto de los residuos en el ecosistema, es desarrollado desde una valoración monetaria de sus daños.

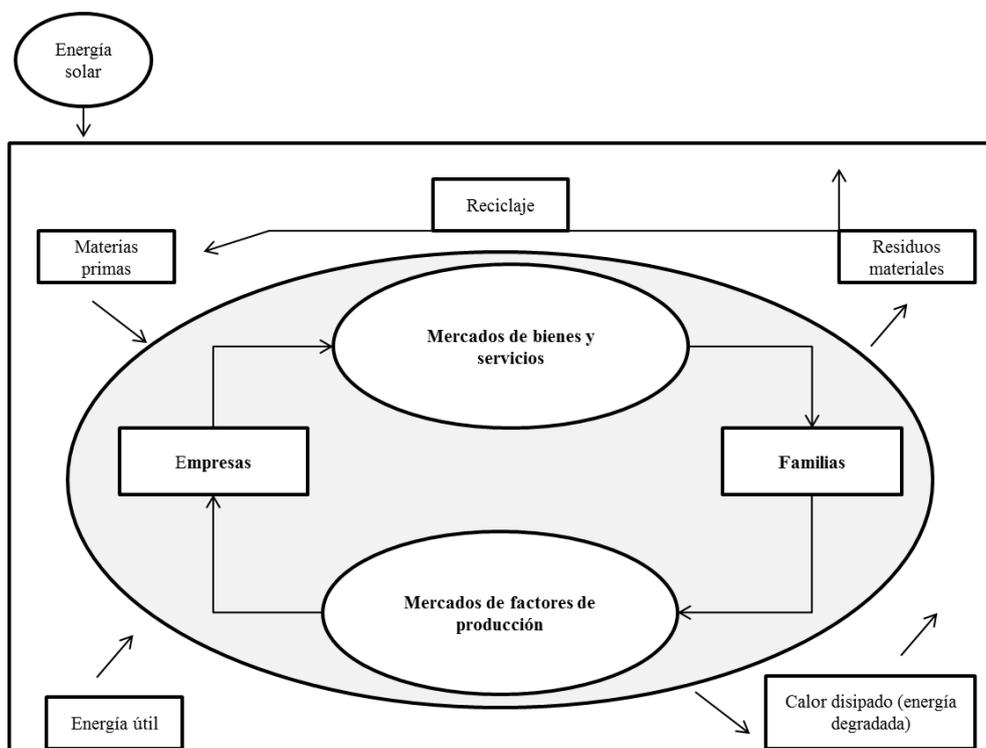
### **La economía ecológica y el enfoque de sustentabilidad**

Uno de los aportes principales de la economía ecológica fue considerar a la economía funcionando dentro de un sistema abierto que se interrelaciona con el espacio biofísico (Daly, 1993; Foladori, 2005; Costanza, 1999), para evidenciar de mejor manera la dimensión ambiental (CEPAL, 1994).

En el Gráfico 4, se muestra la concepción del sistema económico visto desde la economía ecológica. A diferencia del enfoque convencional, el cual considera un sistema cerrado, sin interrelación con el medio ambiente, la economía ecológica diseña su teoría desde una visión del sistema económico abierto (Costanza, 2004). Bajo este esquema, el medio ambiente proporciona energía y materias primas al sistema

económico el cual, posterior a su actividad económica, genera residuos y energía degradada.

**Gráfico 4. La economía como sistema abierto**



**Fuente:** Martínez-Alier (2000)

El principal precursor de la economía ecológica, en realizar las primeras aportaciones en términos energéticos a las actividades económicas, fue Podolinsky (1880). La iniciativa de Podolinsky fue el realizar un inventario de las formas de energías y que estas “fuentes de energía son transformaciones de la energía solar” (Rodríguez de Austria, 2014: 37).

Lo que propone la economía ecológica, respecto al uso de la energía, es el “conteo de calorías, de clasificar fuentes de energía según su contribución al consumo endosomático y exosomático de energía en los humanos” (Aguilera Klink, 1994: 218)

La economía ecológica desarrolla el concepto de metabolismo socio-económico, el cual aborda los “insumos materiales, el procesamiento y los desechos de las sociedades, y la correspondiente producción de energía” (Fischer-Kowalski y Haberl, 2000: 21).

El concepto de metabolismo socio-económico es un aporte que se realiza desde la ecología industrial. Uno de los principales ideólogos de la ecología industrial, Ayres (1989), estudia el metabolismo industrial. Otros autores como Fischer-Kowalski (1998) y Haberl (2001), escriben sobre el metabolismo social

Lo que estudia la ecología industrial son los “flujos de materiales y energía” (Martinez-Alier, 2003: 18) en los procesos industriales planteándolos dentro de circuitos cerrados, donde los residuos generados por un sistema sirven de insumo para otros sistemas. Dentro de esta visión resaltan los análisis y metodologías desarrolladas sobre el ciclo de vida de los productos en las industrias.

Asimismo, la economía ecológica, reconoce que los procesos económicos disipan calor y generan residuos de materiales los cuales deberá absorberlos, en una determinada proporción, el medio ambiente. Uno de los aportes esenciales de la economía ecológica fue considerar a los residuos dentro de un proceso, que mediante el reciclaje, puede reintegrarse al sistema económico, disminuyendo el impacto ambiental en el que se incurre al destinarlos al medio ambiente para que este último trate de absorberlos.

No obstante, el ecosistema no puede considerarse como un receptor total de los residuos de las actividades del planeta. Bajo este enfoque se ha desarrollado el concepto de capacidad de carga, que establece que el medio ambiente provee de recursos a toda actividad económica, pero que estos recursos son finitos (Arrow, et al., 1995). En este sentido, el medio ambiente puede verse alterado de forma irreversible si se viese afectada su capacidad de generar nuevos recursos. Por tanto, el medio ambiente tiene una capacidad máxima de carga que puede soportar de la actividad humana.

Lo que se desarrolla desde la economía ecológica es la “imposibilidad de generar más residuos de los que puede tolerar la capacidad de asimilación de los ecosistemas” (Aguilera Klink, 1994: 19) y “la imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de lo que se puede considerar como su rendimiento sostenible y renovable” (Aguilera Klink, 1994: 19)

Reconoce que el medio ambiente no puede absorber totalmente los desperdicios de la economía debido a un ritmo de uso de los recursos naturales no recuperable (Foladori, 2005). Plantea que deben existir actividades complementarias realizadas por los seres humanos para intentar reciclar una parte de estos residuos.

El diagrama realizado por Martínez-Alier muestra que el sistema económico no se puede desenvolver aislado del ecosistema. Ya no interactúan únicamente las fuerzas de mercado (oferta y demanda) de los factores de producción convencionales (trabajo, tierra, capital, tecnología); sino que es necesario del ecosistema como proveedor de bienes y servicios y como receptor de residuos.

Para desarrollar la teoría del flujo circular abierto, la economía ecológica basa sus nociones en definiciones de la termodinámica (García, 2003; Georgescu-Roegen, 1975; Martínez - Alier, 2000).

La primera ley de la termodinámica (o ley de la conservación) establece que, la materia y energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma (Aguilera Klink, 1994). Este concepto fue acuñado por la economía ecológica bajo la noción de que en un sistema económico, la generación de desperdicios o residuos es algo que acompaña inherentemente a los procesos de producción (García, 2003).

La segunda ley de la termodinámica es la ley de la entropía. Georgescu-Roegen (1971, 1975) define a la entropía, como “la energía no disponible en un sistema termodinámico”. De acuerdo a esta ley, el ser humano, de toda la cantidad de energía disponible solo aprovecha una determinada parte para generar trabajo útil, y el resto simplemente no la puede aprovechar. De esta manera, tanto “materia y energía se degradan, continua e irreversiblemente, desde una forma disponible a una no disponible” (García, 2003:4).

Lo que intenta la economía ecológica es proporcionar un enfoque alternativo a la economía convencional. De acuerdo a Georgescu-Roegen (1975), la mayor parte de la ideología económica se alinea a las ideas del *mainstream* cuya episteme es mecanicista y se basa en los postulados de la escuela neoclásica.

El enfoque de la economía ecológica comprende la valoración física de los impactos ambientales que se producen como consecuencia de la actividad humana (Martínez-Alier, 1999). Por lo tanto, centra sus esfuerzos en la contabilización de los “flujos de energía y ciclos de materiales del sistema económico” (Landázury, 2007: 237).

En general, la economía ecológica establece dos principios que garantizan la sustentabilidad de los sistemas, en los que se acentúa la necesidad de establecer límites biofísicos a las actividades de los seres humanos: i) no se puede producir más residuos

de los que pueden absorber los ecosistemas y; ii) que no se puede extraer de los ecosistemas mayor cantidad de recursos que incidan en sus niveles de sostenibilidad y renovabilidad. Estos principios son la base de un enfoque fuerte de sustentabilidad que asume la economía ecológica. En la siguiente sección se revisan las distintas visiones sobre este concepto.

### *Sustentabilidad y las ideas de la economía ecológica*

Uno de los aportes más influyentes sobre el discurso liberal del concepto de sustentabilidad fue expuesto en 1987 en el informe realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. Esta fue una iniciativa de la Organización de Naciones Unidas (ONU) “para abordar el eje ambiental” (también conocida como Informe Brundtland) (Gudynas, 2009).

El informe de Brundtland define el concepto de desarrollo sustentable como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Naciones Unidas, 2015 y Gómez, 2007).

Pese, a que las ideas de sustentabilidad o desarrollo sustentable nacieron de la fundamentación teórica de la economía ecológica (Common y Stagl, 2008), existen ideas, dentro del informe de Brundtland, que son criticadas desde la economía ecológica.

Martínez-Alier (1996), desarrolla una crítica al informe de Brundtland en su libro “De la economía ecológica al ecologismo popular”. De acuerdo a Martínez-Alier, tras el informe de Brundtland, una de las variables que fueron consideradas como causales de efectos ambientales era la “pobreza”. En este sentido, la tesis, que se sostiene tras el informe de Brundtland, fue que para solucionar la degradación ambiental era necesario el crecimiento económico. Por tanto, desarrollo sostenible se consideró como sinónimo de crecimiento económico.

Por su parte, Herman Daly hace la distinción entre crecimiento económico y desarrollo. Crecimiento económico implica únicamente variación incremental del producto interno bruto (PIB). Desarrollo se entiende como “el cambio de la estructura de la economía sin aumento del PIB” (Martínez-Alier, 1996:90).

Costanza y Daly (1992) sostienen que el concepto de sostenibilidad no implica únicamente el aspecto ambiental, sino que supone un esfuerzo más amplio. Es así que, para que exista un desarrollo sostenible se debe prevenir el agotamiento del stock de capital (natural, manufacturado y humano).

Entonces, el desarrollo sustentable puede interpretarse desde dos puntos de vista: la sustentabilidad débil y la fuerte. El debate principal al respecto de estas dos posiciones era sobre la posibilidad de que el capital natural se pueda sustituir por capital manufacturado (económico) (Ayres, 2001).

La sustentabilidad débil, fundamentada teóricamente en la economía ambiental, considera que es posible la sustitución entre capital natural y capital económico. Al tener una posición tecnocéntrica, sostiene que la tecnología podrá solucionar los problemas ambientales y que el objetivo final es mantener el capital total: independiente de su forma.

La sustentabilidad fuerte, basa su criterio en que de ninguna manera la sustitución entre capital natural y capital económico es posible (Rees, 1998). Al asumir que la sostenibilidad fuerte establece la dificultad de sustitución entre los diferentes capitales, es necesario que se protejan un nivel de capital crítico que permita asegurar la sostenibilidad (Costanza y Daly, 1992).

Reconoce que debe existir un stock de capital, en todas sus formas, que se mantenga intacto en su forma original (Serangeldin, 1996). Es así que para tener una calidad ambiental aceptable es necesario definir límites mínimos de cada tipo de capital.

### **Economía circular: una visión más actual**

La economía circular es un concepto económico que se desarrolla dentro de la teoría de desarrollo sostenible. Entre los principales ideólogos de esta corriente se encuentra Ezio Manzini (2000). El concepto de Manzini se basa en un diseño de carácter social, que inter-opera con “factores ambientales, culturales, productivos, materiales, sus usos y aspectos posteriores” (Balboa y Domínguez, 2014).

Los principales ideólogos de la economía circular sostienen que esta no debería ser esquematizada bajo las ideologías del “movimiento ecológico, sino como una forma de pensar distinta” (Balboa y Domínguez, 2014:83).

A diferencia de la economía ecológica, lo que intenta la economía circular es reducir al máximo la generación de residuos en lugar de cuantificar los impactos físicos de aquellos residuos en el medio ambiente.

Lo que se propuso desde la economía circular fue el cambio de un sistema económico lineal (insumir recursos naturales –R-, producir –P-, consumir –C-) (ver Gráfico 5), el cual reconoce, como una función del medio ambiente, el proveer de recursos a la economía; por uno circular y regenerativo.

**Gráfico 5. Sistema lineal de economía**

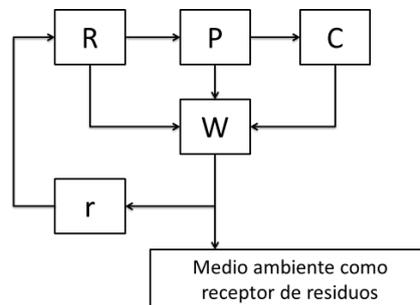


**Fuente:** Pearce y Turner (1990)

La aplicación principal de la economía circular fue el diseño de productos que no generen desechos: desde la óptica que se puedan reutilizar fácilmente. De acuerdo al modelo de la economía circular, en cada etapa, de lo que se establecía en el sistema lineal, se genera residuos.

Los residuos generados por el sistema se destinan a dos procesos: uno es el reciclaje, por el cual los residuos ingresan nuevamente al sistema económico; y el otro, la parte de residuos que no pudieron ser reciclados van al medio ambiente, el cual se encargará de absorberlos (ver Gráfico 6).

**Gráfico 6. Economía circular**



**Fuente:** Pearce y Turner (1990)

Los principios en los que se sustenta la economía circular son los siguientes:

- Eliminación del concepto de residuo. Cuando dejan de ser útiles, los productos se desmantelan y vuelven a formar parte de un ciclo natural.
- Concepción de relaciones no lineales entre sistemas. Al sistema lineal se complementa con procesos de reciclaje y de absorción de residuos por parte del medio ambiente.
- Fomento a la generación de energía a través de fuentes renovables.
- Definición de precios en función del costo real de producción.

Los modelos en los cuales se fundamenta la economía circular son diversos. Por una parte, se encuentra el modelo *cradle to cradle* (de la cuna a la cuna), desarrollado por McDonough y Braungart (2005). El objetivo principal del modelo es evaluar cada uno de los materiales que se involucran en los procesos industriales.

Con la definición del tipo de materiales, la idea principal es “diseñar bienes de forma que sus componentes sean regenerados y devueltos a la naturaleza” una vez que se consumen (Balboa y Domínguez, 2014: 83; y McDonough y Braungart, 2007). Bajo este enfoque, el diseñar productos con alta durabilidad no es óptimo, dado que difícilmente podrán ser recuperados por reciclaje.

Otro modelo en el cual se basa la economía circular es el diseño regenerativo (*regenerative design*) planteado por Lyle (1994). Lyle plantea que cualquier sistema, que parta de la agricultura, “se puede organizar de forma regenerativa, donde los productos se crean e interaccionan sin producir residuos” (Balboa y Domínguez, 2014: 83; y Lyle, 1994).

El objetivo principal del modelo de diseño regenerativo es diseñar productos que no tengan que ser eliminados, bajo procesos que se renueven y provean de insumos en una etapa posterior. El modelo considera los límites de los recursos renovables que deben ser establecidos para no degradar al medio ambiente

Por otra parte, se encuentra la *performance economy* (economía del rendimiento), materializada por Stahel (2010), también modelo en el que se basa la economía circular. La idea central de este modelo es alargar la durabilidad de los productos con el objetivo de que los residuos tiendan a reducirse. Se trabajó desde la noción de que es mejor para una economía proveer servicios que productos.

El concepto de ecología industrial propuesto por Ayres (1989), también es utilizado por la economía circular. Este enfoque se basa en las conexiones que tienen las diversas industrias para conseguir sistemas sostenibles.

Algo más actual, son los modelos planteados por Pauli (2012) y Benyus (2002). Pauli, a través de la *blue economy* (economía azul) criticó fuertemente a la economía verde, debido a que ésta última consideraba productos ecológicamente diseñados, pero que eran accesibles para una clase social alta “una élite”, en lugar de diseñarlos en función de un “entorno local y de sus características físicas y ecológicas” (Balboa y Domínguez, 2014: 84). Gracias a las propuestas de la economía azul se logró disminuir los costos por concepto de eliminación de residuos.

Por su parte, Benyus, propuso el modelo *biomimicry* (biomímesis). La biomímesis se basó en adaptaciones de soluciones que la naturaleza brinda, aplicadas a problemas humanos.

Todos los enfoques teóricos abordados en el presente capítulo sirven de guía para entender cómo ha ido evolucionando la concepción sobre el tratamiento que se le ha dado a los residuos.

Lo que se intenta mostrar es que actualmente la economía si considera a los residuos como parte de los sistemas económicos, a los cuales se les puede dar tratamientos para que vuelvan a formar parte de los procesos productivos.

Aquellos residuos que no se los puede reingresar al ciclo productivo se los puede destinar al sistema ambiental para que éste pueda absorberlos, pero considerando un proceso sostenible que establezca los límites mínimos de los recursos para evitar la degradación ambiental.

Bajo este contexto teórico, se ha determinado que los residuos generados en Loja si pueden ser aprovechados para formar parte de un nuevo proceso económico: en este caso particular, para generar energía.

El capítulo siguiente, realiza un diagnóstico de la generación, transporte y disposición final de los residuos en Loja con miras a evaluar los beneficios asociados a su utilización.

## **CAPÍTULO II**

### **ENERGÍA RENOVABLE: ANÁLISIS GLOBAL, REGIONAL Y LOCAL**

El capítulo de a continuación realiza un diagnóstico de la energía renovable a nivel global, regional y local para contextualizar el aprovechamiento energético con fuentes renovables en el Ecuador.

En la primera sección se analiza la participación de las fuentes renovables en la matriz energética mundial. Este desarrollo permitirá evidenciar el peso que forma los residuos, entendiéndose estos como biomasa, en el balance de energía mundial. Asimismo, se cuantifica la energía renovable en América Latina para poder comparar el desarrollo de países cercanos al Ecuador en materia de aprovechamiento energético de fuentes renovables, en especial aquella que proviene de residuos.

La tercera sección se centra en el análisis energético del Ecuador para cuantificar la energía renovable que ha sido aprovechada y que cantidad de esta se refiere a energía obtenida de residuos. Se evidencia los casos de generación de electricidad mediante la incineración de bagazo de caña en la industria azucarera nacional y algunos casos de implementación de generación eléctrica con residuos sólidos urbanos.

Posteriormente, el desarrollo del presente capítulo se centra en el análisis del programa de “Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos –GIRSU-” que lleva a cabo el Municipio de Loja, lo cual es el objetivo de la presente investigación. Se muestra el estado actual del proceso de gestión de los residuos en Loja: la cantidad de residuos generados y su composición, la recolección y transporte de los mismos, y su disposición final.

En esta última sección, la cual se centra en el Municipio de Loja, se visualiza algunas generalidades de Loja: la normativa ecuatoriana con la cual las municipalidades son las responsables de la gestión de residuos en el territorio de su jurisdicción; y aspectos referentes a su población y producto interno bruto, lo cual incide en la cantidad de residuos producidos.

Referente a la generación de residuos se muestra la cantidad actual que Loja produce, así como las características de estos residuos. A partir de estos datos se puede cuantificar el potencial para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos.

Respecto al proceso de recolección, se evidencia el compromiso que tiene la ciudadanía hacia el municipio, al separar en cada hogar los residuos orgánicos de los

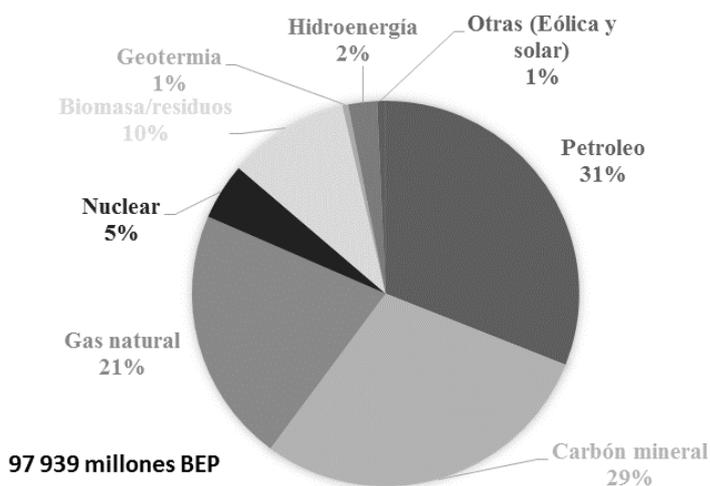
inorgánicos. Esta etapa de separación de residuos es muy importante, debido a que una clasificación por parte del municipio o de un tercer actor implica una mayor cantidad de recursos, humanos y económicos, pudiendo afectar la factibilidad técnica del proyecto.

En el tema de disposición final, se analiza el actual proceso de reciclaje de residuos inorgánicos; así como el tratamiento de residuos orgánicos mediante lombricultura. Este último no ha llegado a procesar la totalidad de los residuos orgánicos, por lo cual se plantea un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos que contempla a toda la producción orgánica de la ciudad.

### La energía renovable a nivel mundial y regional

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA), en el 2013, el mundo produjo alrededor de 98 mil millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP<sup>3</sup>) (IEA, 2016). De este valor, el 86% representa a energía de fuentes no renovables como el petróleo, el carbón mineral, el gas natural y la energía nuclear. El 14% restante corresponde a producción de energía de fuentes renovables (Biomasa o residuos, geotermia, hidroenergía y otras como la energía eólica y solar) (ver Gráfico 7).

**Gráfico 7. Producción mundial de energía primaria**



Fuente: IEA (2016)

<sup>3</sup> “El barril equivalente de petróleo (BEP) es una unidad de energía equivalente, aproximadamente, a la energía liberada durante la quema de un barril (42 galones estadounidenses) de petróleo crudo”. (Carvajal y Orbe, 2014:2)

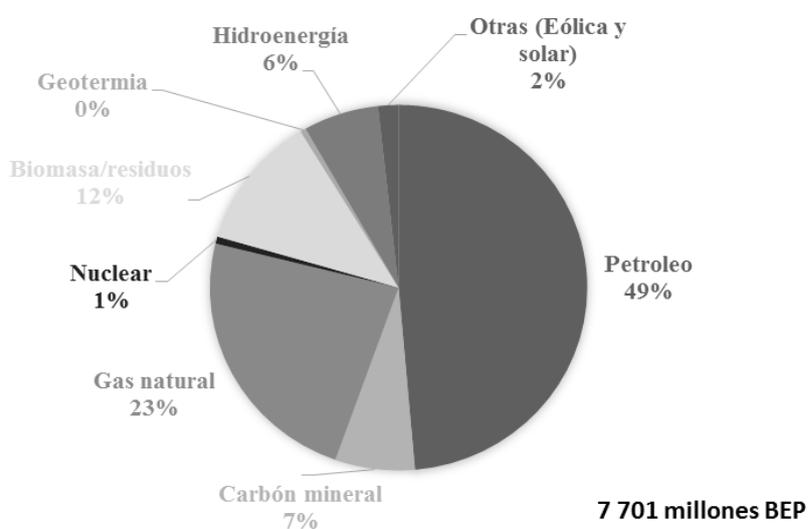
En lo que respecta a energía obtenida de biomasa o residuos, esta apenas representa el 10% (9,9 mil millones BEP) del total de energía primaria producida a nivel mundial. Bajo este contexto, se evidencia la dependencia que mantiene el ser humano en la energía de fuentes no renovables, en especial aquella que es de origen fósil.

De la energía aprovechada, de biomasa y residuos, gran parte se concentra en países desarrollados: China, Alemania y Suecia suman el 19% (1,8 mil millones BEP) del total de aprovechamiento energético de biomasa y residuos. Una de las razones que ha impulsado este desarrollo es la prioridad de estas energías dentro de las políticas de Estado.

En China por ejemplo, 26,5 millones de plantas de biogás en hogares fueron construidas hasta el 2007 (Deng *et al.*, 2015). Estas plantas aprovechan la energía proveniente de los residuos de cada hogar. En Alemania, cerca de cuatro mil plantas de producción de biogás provenientes de residuos agrícolas fueron instaladas hasta finales del 2008 (Mao *et al.*, 2015).

En América Latina y el Caribe (ALyC), Brasil es el país que mayor aprovechamiento energético de residuos posee: el 9% (12 341 MW) de la capacidad instalada de generación eléctrica de Brasil está representada por biomasa (Empresa de Pesquisa Energética, 2015).

**Gráfico 8. Producción de energía primaria de ALyC**



**Fuente:** OLADE (2016)

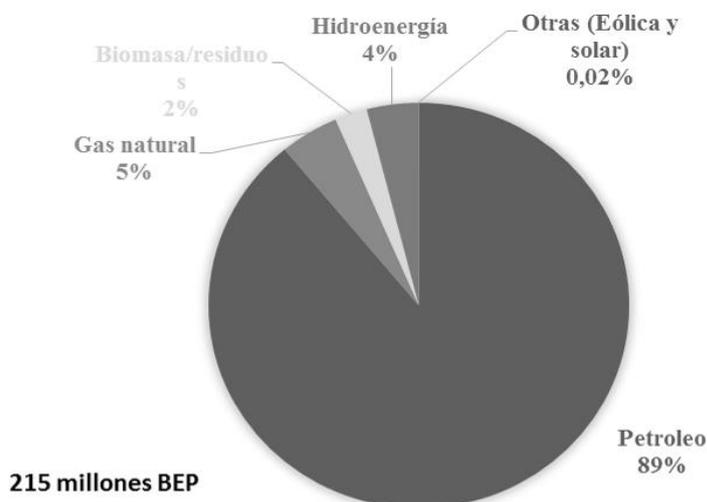
Respecto a toda la región de ALyC, la producción de energía primaria fue de 7,7 mil millones de BEP (8% de la producción mundial) (OLADE, 2016). De esta cantidad el 12% (908 millones de BEP) corresponden a energía obtenida de biomasa y residuos (ver Gráfico 8). La participación de la producción de biomasa y residuos de Brasil, en el total regional, equivale al 59% (533 millones BEP).

### La matriz energética del Ecuador

De acuerdo a las cifras del Balance Nacional de Energía, al 2013, el Ecuador produjo 215 millones de BEP (MICSE, 2015). Esta cantidad representa el 3% del total de energía primaria producida por la región, y apenas el 0,2% en relación a la energía producida a nivel mundial.

La energía renovable producida en el 2013 fue de 14 millones de BEP: 61% corresponde a hidroenergía, 38% a biomasa y residuos, y el 1% restante a otras fuentes como eólica y solar (ver Gráfico 9).

**Gráfico 9. Producción de energía primaria en Ecuador**

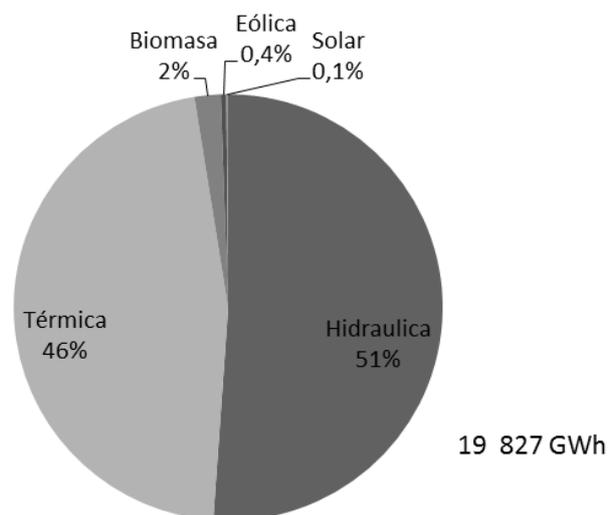


Fuente: MICSE (2015)

Al hablar de la matriz eléctrica del Ecuador, en el 2015, la generación total de electricidad ascendió a 19 827 GWh (ARCONEL, 2016a): 51% corresponde a generación de electricidad con energía hidráulica, el 46% con energía térmica, el 2%

(392 GWh) con energía obtenida de biomasa y el 0,5% restante lo comparte la generación con energía eólica y solar (ver Gráfico 10).

**Gráfico 10. Generación de electricidad en Ecuador**



**Fuente:** ARCONEL (2016a)

Del valor correspondiente a la generación eléctrica con biomasa, este se refiere a los proyectos que llevan a cabo varios ingenios azucareros del país a través de la incineración de bagazo de caña. Estos proyectos aparte de generar electricidad también generan calor a través de un proceso de cogeneración.

Proyectos de aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos no pudieron desarrollarse hasta el año 2015. En el 2016, el Ecuador ya cuenta con generación eléctrica de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos que se encuentra ubicada en el relleno sanitario del Inga en la ciudad de Quito. La empresa Gasgreen implementó una central eléctrica de biogás con una potencia instalada de 5MW, y produjo, en febrero del 2016, los primeros 2,1 GWh (ARCONEL, 2016b).

A este proyecto se sumará próximamente el proyecto de biogás de Pichacay en la ciudad de Cuenca, el mismo que aprovecha el gas del relleno sanitario de Pichacay y que contempla una potencia instalada de 2MW. Al momento el proyecto se encuentra en inspección técnica y etapa de pruebas (ARCONEL, 2016c).

Otro proyecto como el del relleno sanitario de Zámiza en Quito, el cual fue cerrado en el año 2002, no ha podido desarrollarse. En el documento del proyecto que

fue remitido a la *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC, 2006) se establecieron las siguientes barreras: i) el proyecto contemplaba como único ingreso la venta de certificados de reducción de emisiones (CER); y ii) la inexistente regulación ecuatoriana sobre el trato preferencial a la generación con fuentes renovables no convencionales. Respecto al mercado de carbono, este se explicará en un próximo capítulo.

En el documento presentado a la UNFCCC se concluye que sin la implementación de un sistema de tarifas preferenciales, a la energía renovable, los proyectos son insostenibles (UNFCCC, 2006).

Pese a las dificultades presentadas en el proyecto de Zábiza, en el 2006, se inició el proceso de recuperación de biogás del relleno, el mismo que es “simplemente quemado en una antorcha” (MAE, 2013: 25).

A diferencia de los proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios como El Inga, Pichacay y Zábiza, el proyecto de Loja se plantea en el sentido de recuperar biogás de los residuos orgánicos disponiéndolos en un biodigestor en lugar de un relleno sanitario.

De acuerdo a lo que menciona Fehrenbach *et al.* (2008), la recuperación de biogás de los residuos sólidos urbanos en un sistema de digestión anaeróbica presenta mayores ventajas que otras sistemas de producción de biogás. Uno de los limitantes de esta tecnología es que requiere mayor inversión en comparación que la generación de electricidad con biogás de un relleno sanitario (IRENA, 2012)

En este sentido, el objetivo principal de la digestión anaeróbica es evitar que los residuos orgánicos se sigan destinando hacia rellenos sanitarios: disminuyendo de esta manera la generación de metano que pueden liberarse de los rellenos y contribuir al calentamiento global debido a la emisión de gases de efecto invernadero (EPA, 2015).

A pesar que la tecnología de digestión anaeróbica requiere mucha más inversión en comparación que la generación de electricidad con biogás de un relleno sanitario (IRENA, 2012), esta posee mayores beneficios en relación a un proyecto de relleno sanitario.

Por otra parte, si bien Ecuador ya cuenta con proyectos de generación eléctrica con bagazo de caña, el tratamiento que se le debe dar a todos los residuos orgánicos municipales es diferente. Una de las características que posee los residuos sólidos

urbanos es que estos son húmedos (IRENA, 2012) para lo cual un biodigestor es más eficiente que un proceso de incineración que se lo realiza con el bagazo de caña.

En este sentido, lo que se presenta a continuación es un análisis de la gestión de residuos en Loja para poder cuantificar, posteriormente, el potencial energético de los mismos.

## **Generalidades de Loja**

### *Competencias para el manejo de residuos*

El Código de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) en su artículo 55, establece la competencia de un Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal:

Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados, 2011: 58)

Conforme lo dicta la legislación ecuatoriana, el Municipio de Loja es el encargado del manejo de residuos sólidos urbanos en su área de competencia. En este sentido, el Municipio de Loja considera una administración de los residuos, dentro de su programa GIRSU, bajo un enfoque de desarrollo sostenible, el cual se basa en la trilogía: economía, sociedad y ambiente (GAD Loja, 2013).

La trilogía (economía, sociedad y ambiente) fue planteada por la Asamblea General de la ONU dentro de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Informe de Brundtland) donde una de las ideas principales fue: “el bienestar del medio ambiente, y el bienestar de las economías y de las personas están ligados de manera intrincada” (Strange y Bayley, 2012: 32).

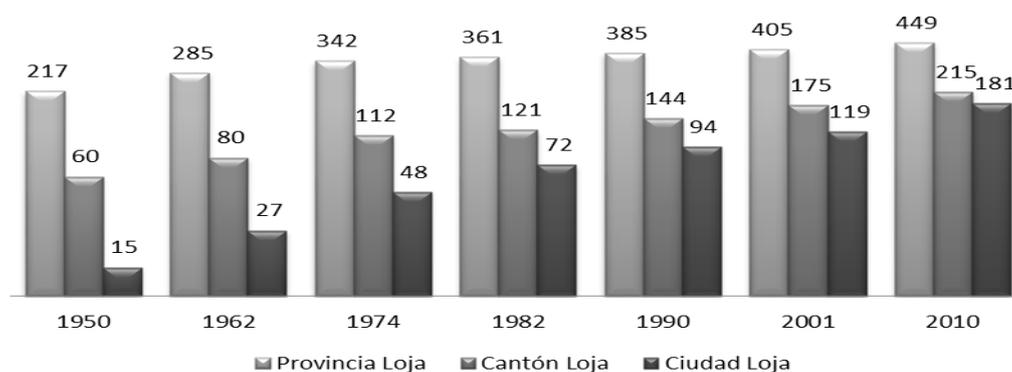
Bajo este contexto, el Municipio de Loja determinó su cadena logística para la gestión integral de residuos sólidos urbanos partiendo desde un esquema de clasificación de residuos en la fuente (hogares), para continuar con los procesos de recolección, transporte, recuperación o reciclaje y, finalmente la disposición final.

### *Aspectos demográficos y económicos*

La cantidad de residuos generados en un país, ciudad o espacio geográfico, está relacionada directamente con aspectos económicos y demográficos: especialmente con la densidad poblacional y el nivel de renta de una economía.

De acuerdo al censo de población y vivienda 2010, realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), se contabilizó una población 215 mil habitantes en el cantón Loja. Su tendencia ha sido creciente, como lo muestra el Gráfico 11, aumentando a una tasa promedio anual acumulada del 2,3% en el periodo comprendido entre 2001 y 2010.

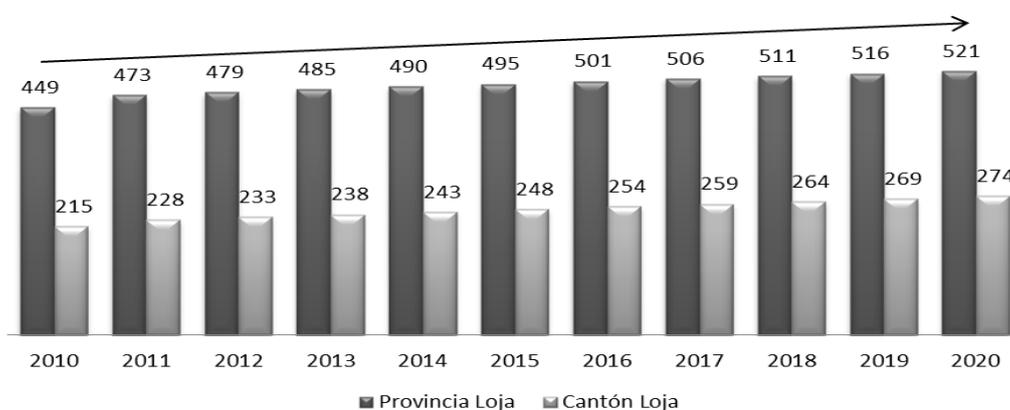
**Gráfico 11. Población de Loja (miles de habitantes)**



**Fuente:** INEC / Censos de población y vivienda

Este aumento del número de habitantes incide directamente con la generación de residuos debido a que está vinculado a un incremento del nivel de consumo. Cuanto más es el aumento del consumo en una economía, y si no se tiene políticas de sostenibilidad, el aumento de residuos guarda relación directa con el incremento del consumo. Esta tasa de crecimiento poblacional seguirá aumentando, de acuerdo a las proyecciones del INEC (ver Gráfico 12), en 1,5% promedio acumulado anual a nivel provincial y en 2,5% promedio acumulado anual a nivel cantonal hasta el 2020.

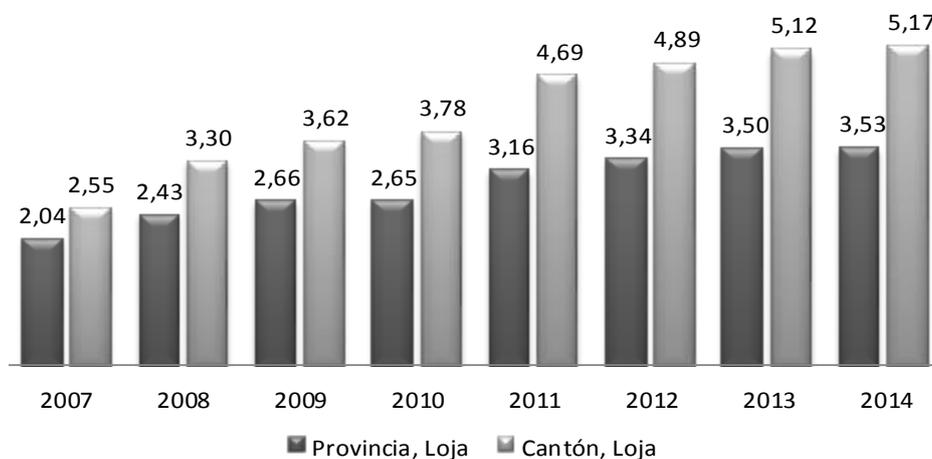
**Gráfico 12. Proyección población de Loja (miles de habitantes)**



**Fuente:** INEC (2015)

Por su parte, el crecimiento económico medido a través del producto interno bruto (PIB) o valor agregado bruto (VAB), tanto de la provincia de Loja como del cantón Loja, ha experimentado una tendencia al alza (ver Gráfico 13).

**Gráfico 13. PIB per cápita (USD miles corrientes<sup>4</sup>)**



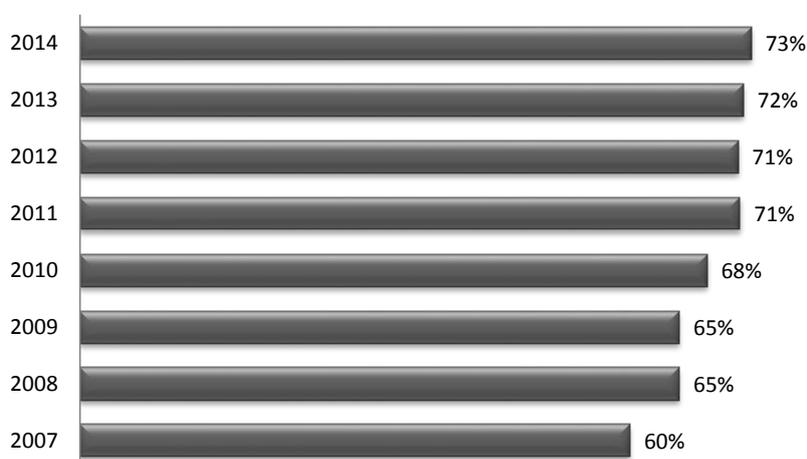
**Fuente:** BCE (2016) / Cuentas regionales

<sup>4</sup> A nivel provincial y cantonal el Banco Central del Ecuador (BCE) solo dispone de los valores del PIB a precios corrientes. Se conversó con funcionarios del BCE sobre la posibilidad de aplicar el deflactor del PIB nacional en las cuentas provinciales y cantonales. Ante el planteamiento manifestaron que metodológicamente no se pueden pronunciar en vista que no conocen los resultados para poder comparar con la propia metodología de cuentas nacionales. En diciembre del año en curso se publicará el PIB real a nivel provincial y en función de esos resultados se podría llegar a una conjetura en relación a la aplicación de un deflactor nacional.

El PIB per cápita (corriente) provincial fue de USD 3,5 mil en el año 2014. Esto significa que aumentó a una tasa promedio anual acumulada de 8% a partir del 2007, donde el PIB per cápita fue de USD 2 mil.

Respecto al PIB per cápita cantonal, este creció a una tasa promedio anual acumulada de 11%, pasando de USD 2,6 mil en el 2007 a USD 5,2 mil en el 2014. El cantón de Loja, es el principal motor del crecimiento económico de la provincia. En promedio, la participación del PIB del cantón, respecto al PIB de la provincia, es de 68% (ver Gráfico 14)

**Gráfico 14. PIB cantonal respecto al PIB provincial**

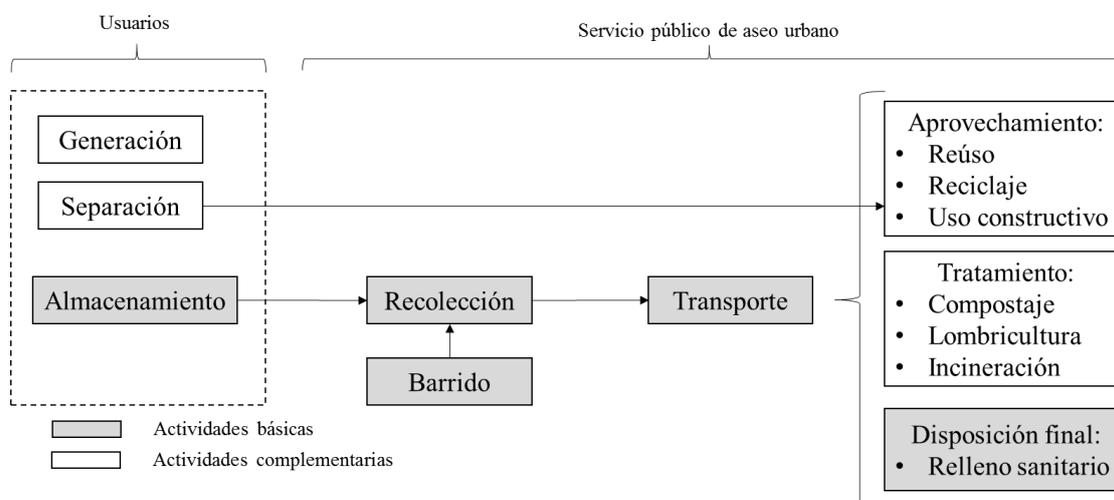


**Fuente:** BCE (2016) / Cuentas regionales

Todo lo mencionado con anterioridad, junto con otros aspectos, inciden en el nivel de generación de residuos de una ciudad. Para hacer frente al desafío de manejo de los residuos, la entidad competente debe establecer una planificación integral. El Gráfico 15 muestra un esquema básico para la gestión de residuos, el cual Loja lo tiene implementado parcialmente.

De acuerdo a Jaramillo (2002), la gestión de residuos considera actividades básicas y complementarias que involucran a la ciudadanía y a la administración pública. En el escenario óptimo se aspira que existan todas estas actividades; sin embargo, la aplicación de las actividades complementarias depende de las decisiones e iniciativas que tengan los municipios para mejorar su gestión integral de residuos. Las actividades básicas, son las que legalmente les competen a las municipalidades.

**Gráfico 15. Gestión de residuos**



**Fuente:** Jaramillo (2002)

Algunas de estas actividades complementarias, como el compostaje y la lombricultura, son realizadas actualmente por Loja. No obstante, estas no consideran toda la producción de residuos orgánicos.

Cada uno de los procesos de la gestión de residuos se los analiza de forma detallada a continuación.

### **Generación de residuos en Loja**

Loja cuenta con uno de los programas pioneros en el país respecto al cuidado del ambiente, el cual sirve de ejemplo incluso a escala latinoamericana (PNUMA, 2007 y PNUMA, 2012). Su programa GIRSU contempla políticas que son inclusivas y proporciona a la ciudadanía una responsabilidad compartida respecto a los efectos ambientales provocados por las actividades socio-económicas de los seres humanos.

De esta manera, el municipio, con el afán de manejar de manera eficiente los residuos ha diseñado un sistema de clasificación directamente en la fuente donde se producen; es decir, en los hogares. En el caso del resto de residuos sólidos urbanos, generados por mercados, instituciones educativas, etc., el programa del Municipio de Loja no contempla la separación en la fuente. Para su consecución, fue necesario el desarrollo de programas que incidan de manera positiva en la cultura de la ciudadanía para generar conciencia sobre los efectos que pueden incidir en la población tales como: problemas de salud, de contaminación ambiental, de ornato municipal, entre otros.

El tema logístico de la clasificación parte de separar los residuos en dos tipos diferentes de recipientes (verde y negro), los cuales son proporcionados por el municipio a los hogares. El valor que cobra el municipio por cada contenedor es de USD 15,12 y tienen una capacidad 12 galones.

Los residuos orgánicos-biodegradables son colocados en los recipientes verdes, los cuales son recolectados los días lunes, miércoles y viernes. Los residuos inorgánicos – no biodegradables se ubican en los envases negros y son recolectados los días martes, jueves y sábado.

En vista que la clasificación es un tema de constante educación a la ciudadanía, el municipio ha asignado personal de supervisión que controla el proceso de clasificación de residuos en la fuente. No obstante, de las once rutas de recolección que ha determinado el municipio, ocho no poseen un control diario, en virtud de que el GAD solo cuenta con cuatro inspectores. Esta falta de control puede afectar el proceso de separación. Los hogares que incumplen con el proceso reciben multas de acuerdo a lo establecido en las ordenanzas municipales.

Bajo este esquema, Loja ha venido administrando la generación de sus residuos de su territorio desde el año 1998. Hasta el momento se han realizado varios estudios sobre el manejo de residuos en Loja, principalmente elaborados por el Municipio en acompañamiento de Naciones Unidas a través de su programa PNUMA. El último esfuerzo de levantamiento de información lo realizó el Ministerio del Ambiente a través del PNGIDS. Las cifras sobre la evolución de generación de residuos y sus características se desarrollan en los párrafos siguientes.

Para el año 2005, Loja produjo en promedio 0,59 kilogramos por habitante al día, (kg/hab/día), aumentando su producción a una tasa promedio anual de 3% entre 2001 y 2005 (PNUMA, 2007); es una tasa mayor que la tasa de crecimiento poblacional que se ubicó en 2,3%. En el 2014, este valor creció a 0,65 kg/hab/día, lo cual significa una producción anual de 57 842 toneladas (MAE, 2015). Como se muestra más adelante, existe una relación directa entre la población y la cantidad de residuos producidos por un cantón: a medida que aumenta la población los residuos incrementan, aunque no en la misma proporción.

La Tabla 1 muestra la evolución de la generación diaria de residuos en Loja. En el año 2001, se produjeron 100,5 toneladas de residuos al día. Para el 2014, este valor

aumentó a 158,5 toneladas diarias. Asimismo, la Tabla 1 muestra la desagregación por zona, donde se genera mayor cantidad de residuos. El área urbana concentra el 79% de la producción de residuos en el Municipio de Loja. Esto se debe esencialmente a la concentración de la población en esta zona, así como también al mayor dinamismo económico que por lo general se desarrolla en las urbes.

En la zona rural, se genera alrededor del 5% del total de residuos; mientras que en lugares con alta concentración de actividad económica, como los mercados, el porcentaje de generación de residuos corresponde al 16% del total generado por la ciudad. Estos residuos también incluyen los residuos de recolección masiva como en colegios, universidades, hospitales, fábricas, etc., donde existe una producción significativa de basura.

**Tabla 1. Generación de residuos en Loja (toneladas día)**

Año	Urbana	Rural	Mercados	Total
2001	77,69	6,88	15,95	100,52
2002	80,02	6,92	16,43	103,37
2003	82,42	6,96	16,92	106,30
2005	87,44	7,04	17,95	112,43
2006	90,06	7,08	18,49	115,63
2007	92,76	7,13	19,05	118,94
2008	95,55	7,17	19,62	122,34
2009	98,41	7,21	20,20	125,82
2010	101,37	7,26	20,81	129,44
2011	104,41	7,30	21,44	133,15
2012	107,54	7,34	22,08	136,96
2014	124,43	8,49	25,55	158,47

Fuente: PNUMA (2007 y 2012) y MAE (2015)

No basta con conocer la cantidad de residuos generados. Para un mayor análisis del municipio es necesario ver la composición de estos desechos; es decir, contemplar las características y cantidad de sus componentes.

De acuerdo al MAE (2015), se determinó que el 63% (100 toneladas día), del total de residuos generados por Loja, corresponde a desechos orgánicos, mientras que el 37% restante representan los desechos inorgánicos, esencialmente papel, plástico y cartón, los cuales representan el 19% de los residuos generados por los hogares (ver Tabla 2). Este valor de residuos orgánicos será el que se utilice más adelante para la valoración del potencial energético de los residuos de Loja.

De la recolección masiva en mercados, los residuos orgánicos son la mayor parte (86%). El 14% restante corresponde a material inorgánico, principalmente papel y plástico.

Por su parte, en los residuos obtenidos del barrido, la materia inorgánica es la predominante, en especial la materia inerte (62%). La materia orgánica, en este proceso de recolección de residuos, representa el 26%. Otros componentes inorgánicos presentes son el papel (4,5%), el plástico (2,8%) y el cartón (1,6%).

**Tabla 2. Composición de los desechos sólidos en Loja (%)**

Material	Desechos de barrido	Desechos de domicilios	desechos de mercado	Total de residuos
Material orgánico	26,11	63,40	85,88	63,40
Papel	4,54	9,66	2,55	4,84
Plástico	2,82	9,66	1,59	9,56
Cartón	1,63	3,62		4,84
Madera	0,95	0,86	0,38	
Vidrio	0,82	1,99	0,18	1,99
Textiles	0,75	2,55	0,62	
Metales	0,67	1,28	0,22	1,27
Hueso	0,18	0,29	1,75	
Cuero	0,1	0,52	0,15	
Materia inerte	61,52	3,61	4,53	
Materia inclasificable <3 mm	-	4,71	1,43	
Otros				14,10
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>	<b>100,00</b>

Fuente: PNUMA (2007) y MAE (2015)

### **Recolección y transporte de residuos**

El proceso de recolección de residuos, Loja lo ha determinado de acuerdo al tipo de residuos que se generan; es decir, si son orgánicos o inorgánicos. En el caso de los residuos orgánicos, el Municipio de Loja ha provisto a los hogares recipientes verdes para su disposición. En el caso de los residuos inorgánicos se disponen en contenedores negros.

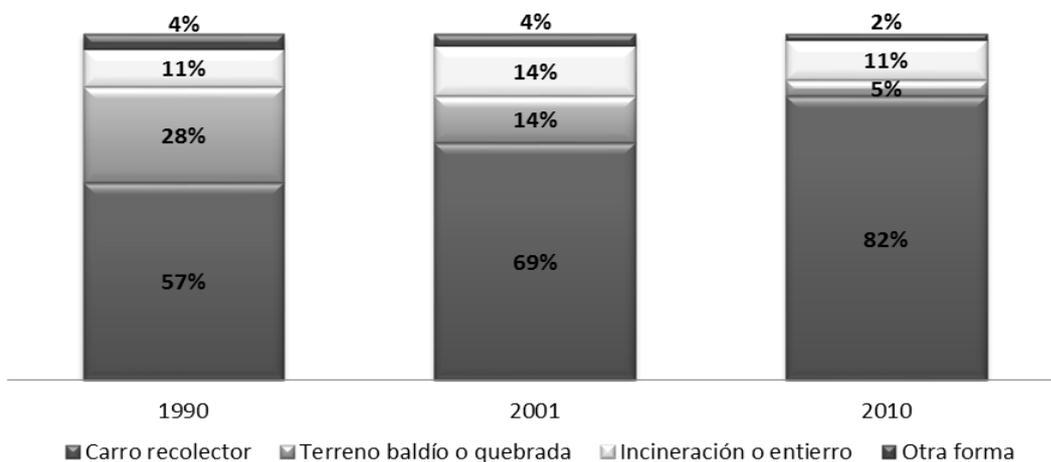
Esta política ha incluido a la ciudadanía en el proceso de gestión de residuos mediante un proceso de separación en la fuente. Esto facilita algunas de las acciones que son llevadas a cabo por el Municipio como el reciclaje y el compostaje.

La recolección y transporte se contempla desde la fuente de generación hasta el lugar donde se hace la disposición final. Para este sistema se ha establecido once rutas de recolección que ha permitido al municipio incrementar la cobertura de recolección de residuos: tres en horario nocturno y ocho en horario diurno.

Sin embargo, no todos los hogares tienen cobertura de recolección de residuos por parte del municipio. El Gráfico 16 muestra la evolución de la forma en que los hogares de Loja eliminan los residuos. La principal manera por la cual se eliminan los residuos es mediante el uso de carros recolectores. La tasa de cobertura con carros recolectores aumentó del 57% en 1990 a 82% en el 2010. Este incremento se debe a la gestión del municipio a través de su programa GIRSU y a la colaboración de la ciudadanía.

No obstante, aún se necesita el fortalecimiento del programa de Loja en virtud que existe un 18%, al 2010, de hogares que no realizan una disposición adecuada de sus residuos: 11% de los hogares incineran o entierran sus residuos, 5% arrojan a terrenos baldíos o quebradas y un 2% los realizan de otras maneras (arrojan a ríos, acequias o canales).

**Gráfico 16. Eliminación de residuos en Loja**

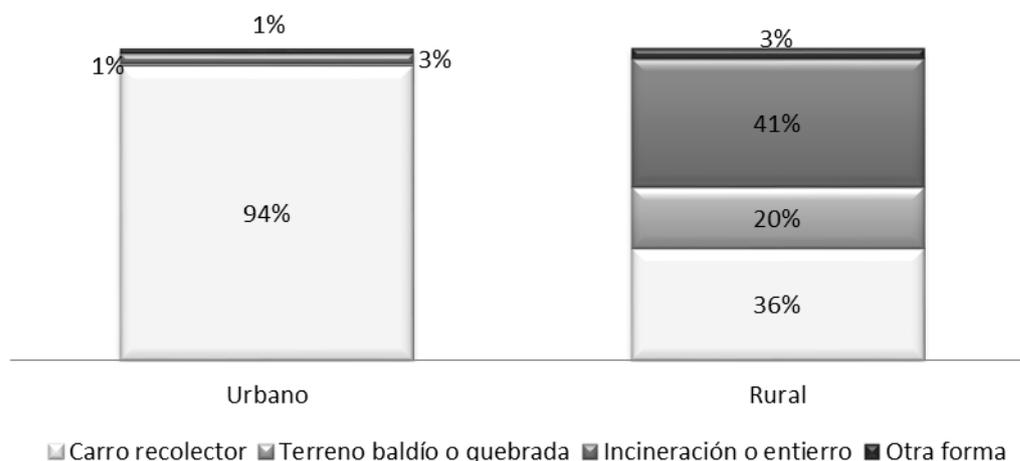


**Fuente:** INEC (1990, 2001 y 2010) / Censos de población y vivienda

Si se analiza la estadística con desagregación de área, urbano – rural, se observan los efectos demográficos que afectan el nivel de generación de residuos y por consiguiente los esfuerzos de la municipalidad para realizar la recolección en zonas menos pobladas,

debido a los altos costes que esto significa, aunque debe quedar claro que los servicios públicos no deben ser excluyentes independientemente del presupuesto disponible para su gestión (ver Gráfico 17).

**Gráfico 17. Eliminación de residuos por área geográfica**



**Fuente:** INEC (2010) / Censo de población y vivienda

En la zona urbana de Loja, el 94% de los hogares cuentan con recolección de residuos mediante carro municipal, el 3% incineran, 1% arrojan a terrenos o quebradas y el 1% restante tiene otros destinos.

En zonas rurales la realidad es diferente. Apenas un tercio de los hogares tienen cobertura de eliminación de residuos mediante el carro recolector municipal. El 41% de los hogares incineran o entierran sus residuos, 20% arrojan a terrenos o quebradas y el 3% lo destina a ríos, acequias o canales.

Respecto al punto anterior, y de acuerdo al censo de población y vivienda del 2010, la municipalidad de Loja debe realizar un mayor esfuerzo en virtud que un quinto de los hogares viven en la zona rural.

Se visualiza que es necesario expandir la cobertura de recolección de residuos. Al momento, el GAD de Loja cuenta con un total de once carros recolectores que cubren diferentes distancias, desde su sector asignado hasta la ubicación del lugar donde se realiza la disposición final.

La Tabla 3 muestra la distancia recorrida en cada una de las once rutas de recolección. En total, los once vehículos, en su conjunto, recorren 650 km al día y transportan un total anual de 24.715 toneladas de residuos.

**Tabla 3. Distancias de recolección por ruta**

Sectores	Recorrido diario (km)	Residuos recolectados año (ton)	Residuos recolectados al día (ton)
Sector uno	37	1.390	3,8
Sector dos	69	1.673	4,6
Sector tres	42	1.799	4,9
Sector cuatro	64	1.905	5,2
Sector cinco	46	2.075	5,7
Sector seis	65	2.222	6,1
Sector siete	30	2.284	6,3
Sector ocho	56	2.409	6,6
Sector nueve	32	2.752	7,5
Sector diez	58	3.040	8,3
Sector once	51	3.165	8,7
Vías	100	-	
Total	650	24.715	67,7

Fuente: GAD Loja, 2013

Por otra parte, el sistema de recolección no solo cubre los hogares; está contemplado también la recolección masiva de los residuos generados por actividades grandes: mercados, barrios, comercios, hospitales, entre otros. Para este tipo de recolección, se cuenta con cuatro vehículos adicionales y 104 contenedores ubicados en diferentes establecimientos (ver Gráfico 18).

**Gráfico 18. Contenedores de recolección masiva**



Fuente: GAD Loja, 2013

Aunque existe la recolección masiva, los hogares son los mayores generadores de residuos. Al 2014, el sector residencial generó 24,7 mil toneladas de residuos, mientras que la recolección masiva produjo 17,2 mil toneladas; es decir, los hogares generan 1,4 veces más que los sectores masivos.

### **Tratamiento y disposición final**

De acuerdo al PNGIDS, en el 2010, la mayor parte de los municipios del país hacían la disposición de sus residuos en “botaderos a cielo abierto” (MAE, 2015). Esta forma de tratar los residuos genera externalidades negativas como: contaminación de recursos naturales, afectaciones a la salud de los seres vivos, conflictos sociales, entre otras.

Por lo general, la disposición final de los residuos es un problema que demanda constante atención por parte de los administradores de las ciudades (municipios) debido al crecimiento en la generación de residuos y a la inadecuada gestión de los mismos.

A diferencia de un botadero, el cual consiste en la disposición residuos en lugares no habilitados y sin tratamiento alguno, el relleno sanitario se basa en:

Una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen (Jaramillo, 2002: 58).

Bajo este esquema, Loja ha venido realizando la disposición final de residuos en su relleno sanitario desde 1997 (PNUMA, 2007).

La “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales” de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) reconoce la existencia de efectos que causan los rellenos sanitarios debido a su propia operación (Jaramillo, 2002). La descomposición de los residuos orgánicos genera gases tóxicos, los cuales al mezclarse con líquidos (principalmente lluvia), que por lo general ingresan mediante fisuras provocadas por el movimiento y compactación de residuos, producen lixiviados.

Los lixiviados son los líquidos que se filtran por los residuos y por la capas de la tierra. Estos pueden generar efectos contaminantes debido a la materia orgánica que estos pueden acarrear, así como otro tipo de compuestos químicos.

Dado los efectos negativos que puede generar un relleno sanitario se debe establecer una gestión eficiente de aprovechamiento de residuos para minimizar la cantidad que se destina a los mismos. La OPS establece actividades de aprovechamiento y tratamiento de residuos, los cuales Loja los ha implementado en determinado grado.

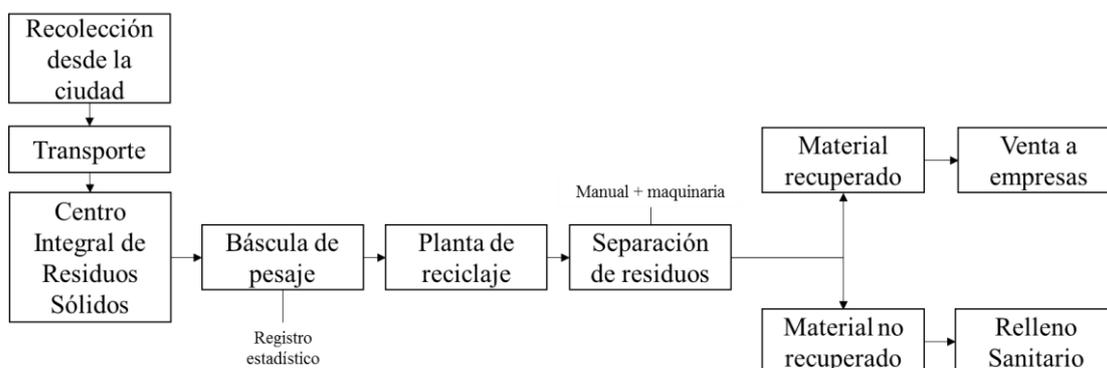
### *Aprovechamiento*

La idea de que un residuo ya no tiene un valor adicional de uso está totalmente equívoco. La necesidad de darle utilidad nuevamente a los residuos radica en aspectos económicos y ambientales. En este sentido, las principales acciones de aprovechamiento y que se fundamentan dentro de la visión ecológica, son: i) reutilización, ii) reciclaje, y iii) recuperación.

Esencialmente, la política del Municipio de Loja se centra en el reciclaje de residuos inorgánicos, los cuales son los recolectados en los recipientes negros. Para este objetivo el Centro Integral de Residuos cuenta con una planta de reciclaje que recupera distintos materiales de los residuos, que a su vez son vendidos a distintas empresas.

El proceso de reciclaje parte desde que los residuos ingresan al centro. Los camiones se ubican en una báscula para pesar los residuos que han sido recolectados y posteriormente se envían a la planta de reciclaje para su separación. La planta cuenta con 49 personas que se encargan de la separación de los residuos. Los residuos que no logran reciclarse se los destina a la disposición final en el relleno sanitario. El Gráfico 19 detalla el proceso por el que atraviesan los residuos inorgánicos.

**Gráfico 19. Proceso de reciclaje**



**Fuente:** GAD Loja, 2013

La Tabla 4 muestra los materiales que se recuperan en la planta; así como los precios de venta y las principales empresas a las que se les suministra de estos insumos. La planta no procesa el material recuperado y tampoco lo convierte en un producto de mayor valor agregado. En promedio, mensualmente la planta recupera 40 toneladas de material de las 1.680 que ingresan a la planta; es decir, apenas se está reciclando el 2,3% del total.

Esta escasa capacidad de reciclaje se debe a que la cantidad de inversión que se requiere, tanto en infraestructura (máquinas) como en personal, es elevada; y por lo tanto el municipio no lo considera prioritario en relación a otros proyectos a los cuales se los debe asignar recursos.

Una planta de reciclaje resulta ser sostenible siempre y cuando su proceso contemple la generación de valor agregado del material. Actualmente, Loja vende el material reciclado a terceras empresas que le dan el valor agregado a los residuos, debido a que ya tienen un conocimiento previo de la industria y por lo tanto su proceso productivo resulta competitivo y beneficioso.

**Tabla 4 Materiales recuperados**

Material	Destino	Precio (USD/kg)
Cartón	Cartopel Cuenca	0.11
Plegadiza (papel y cartón)		0.13
Papel kraft		0.12
Papel periódico		0.12
Vidrio transparente reciclado	Goexpro-Loja	0.06
Tapas plásticas	Proceplast (Guayaquil)	0.20
Polietileno (PET)	Proceplast y Petisoni (Guayaquil)	0.20
Línea blanca	Proceplast y Recynter (Guayaquil)	0.22
Polietileno prensado		0.34
Plástico picado y lavado.		0.40
Plástico sucio		0.22
Papel bond impreso	Cartopel (Cuenca)	0.32
Papel bond blanco		0.31
Papel mixto		0.11
Caucho de bota	Proceplast (Guayaquil)	0.28
Lona de zapato		0.13
Material ferroso y no ferroso	Local	0.20
Aluminio		0.60

Fuente: GAD Loja, 2013

### *Tratamiento*

A diferencia del aprovechamiento, el proceso de tratamiento se centra únicamente en los residuos biodegradables generados por una ciudad. El objetivo es reducir la magnitud de los residuos y por consiguiente disminuir los gases tóxicos emanados por los mismos, así como los lixiviados y todo el efecto de contaminación que estos conllevan.

En esta fase de tratamiento por lo general se trabaja en dos frentes: compostaje, y lombricultura. El Municipio de Loja ya cuenta con experiencia que unifica el compostaje y la lombricultura, prácticamente es un sistema de tratamiento de residuos gracias a la ayuda de lombrices.

El proceso de compostaje consiste en la reducción de la materia orgánica de los residuos, por medio de un proceso bacteriológico de microorganismos, para la obtención de humus o compost (Jaramillo, 2002).

El compost es utilizado como abono para la tierra. Para el Municipio de Loja, el compostaje se ha convertido en una actividad complementaria que le genera ingresos. Existen otros beneficios asociados al compostaje como son: i) extensión de la vida útil de un relleno sanitario; ii) reducción de gases contaminantes y lixiviados; iii) desplazamiento de fertilizantes químicos; entre otros asociados a la generación de ingresos por concepto de la venta del compost.

En el Ecuador existen varias experiencias de empresas privadas y municipios que aplican compostaje a sus residuos (Roben, 2002). Riobamba por ejemplo, tiene un proyecto de lombricultura desde el año 1995. En Quito, la empresa Compostec obtiene compost a partir de los desechos del camal, específicamente de estiércol y de desechos biodegradables.

Uno de los factores clave para la aplicación de compostaje es la separación de residuos en la fuente. Es un punto importante debido a que los costos de implementación son elevados y contar con una separación adecuada implica menos personal de clasificación.

Respecto a la lombricultura, este es un proceso que apoya al compostaje. La técnica de lombricultura consiste en alimentar con materia orgánica descompuesta a lombrices (lombriz roja –*Eisenia foétida*), donde los desperdicios que eliminan las lombrices es llamado “*humus*”. Se asume que casi un 60% de lo ingerido por las lombrices se transforma en humus (Roben, 2002). Jaramillo (2002), sostiene que el

proceso de lombricultura es una acción complementaria al proceso de la gestión integral de residuos y que no se la puede utilizar en su totalidad para absorber el 100% de los residuos orgánicos generados por una localidad.

Existen dos formas en las cuales las lombrices ayudan el proceso de tratamiento del compostaje: en la primera, la lombriz sirve de ayuda para la remoción los residuos orgánicos, lo cual permite airear toda la compactación de los residuos (compostaje con lombrices); en la segunda, la lombriz se alimenta en su totalidad del compost (lombricultura intensiva).

La forma en que actualmente el Centro Integral de Residuos Sólidos de Loja, ha implementado su diseño de compostaje con ayuda de lombrices es mediante la construcción de lechos que consisten en zanjas realizadas en la tierra. Al momento, el centro cuenta con cien lechos e incluye un galpón para el secado de humus resultante. Los lechos han sido diseñados de forma que la descomposición sea en un proceso aeróbico.

Para el trabajo de lombricultura, el municipio cuenta con 11 personas, que apoyan todo el proceso, logrando tener una producción mensual de 10 500 kilogramos (kg) de humus, los cuales se almacenan en sacos de 35 kg; es decir se producen 300 sacos de humus al mes.

El último frente, la incineración, Loja la trabaja esencialmente para el manejo de residuos peligrosos, de manera especial la que es generada por los hospitales, y que se realiza de acuerdo a lo que establecen las guías prácticas de organismos internacionales.

Como se ha mostrado, Loja cuenta con experiencia en el aprovechamiento y tratamiento de residuos. Respecto a los residuos orgánicos, el único tratamiento es el compostaje con lombrices, con lo cual queda gran parte sin tratarse.

En el capítulo siguiente se da una alternativa al tratamiento total de los residuos orgánicos, mediante el aprovechamiento energético de los mismos. Mencionar que este es un proceso que aumenta la producción de compost en relación a lo que se obtiene mediante la aplicación de lombrices.

### **CAPÍTULO III**

## **EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LOJA**

El objetivo de este capítulo es determinar el potencial de generación energética, calor y electricidad, a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos de la ciudad de Loja.

El presente capítulo se ha dividido en cinco secciones. La primera comprende un análisis de los procesos existentes para convertir los residuos sólidos orgánicos en energía: calor, electricidad y combustibles. Se abordan dos procesos básicos de conversión: el primero se refiere a la conversión bioquímica, en donde los residuos orgánicos se descomponen gracias a la existencia de microorganismos; el segundo es la conversión mediante procesos térmicos donde se someten a los residuos a diferentes condiciones de temperatura y aire.

Pese a la existencia de estos dos procesos, la presente investigación se centra específicamente en la conversión bioquímica, la cual se alinea con la política del Ministerio del Ambiente, que ha dictado directrices para aprovechar el potencial energético de los residuos orgánicos mediante este proceso

En este sentido, la segunda sección explica el procedimiento de digestión anaeróbica, que es el único mecanismo, dentro de los procesos bioquímicos, para aprovechamiento energético.

La tercera sección explica la metodología de cálculo del potencial energético de los residuos orgánicos que se generan en Loja. Aquí se abordan los conceptos fundamentales del proceso de conversión y las características que tienen los residuos para poder ingresar a un sistema de digestión anaeróbica.

En la cuarta sección se determina qué tecnología es la más adecuada para implementar en la ciudad de Loja. Entre los aspectos que se consideran están: cantidad de energía que se produce, gases de efecto invernadero emitidos, la recuperación de materiales y los costos de operación.

Finalmente, en la quinta sección se obtiene el valor energético de los residuos orgánicos de Loja una vez que se ha aplicado la metodología de cálculo y se ha definido la tecnología adecuada. Se evidencia la cantidad de generación eléctrica que se podría alcanzar bajo determinadas condiciones, así como la cantidad de calor que se obtiene para otros fines.

## **Procesos de conversión de residuos orgánicos**

Existen dos formas de conversión para obtener energía a partir de la basura: la primera es mediante procesos biológicos y la segunda mediante procedimientos térmicos (Arvizu, 2010, Moratorio, Rocco y Castelli, 2012 y Saidur, 2011).

El primer proceso de conversión hace referencia a la digestión anaeróbica donde, la parte orgánica de la basura se descompone, en ausencia de aire (oxígeno), gracias a un efecto microbiano (Lorenzo y Obaya, 2005). El resultado de este proceso de fermentación es el biogás, que es un gas compuesto de metano y dióxido de carbono principalmente. Para obtener calor y electricidad, el biogás es inyectado a turbinas mecánicas, donde mediante la combustión del mismo se obtienen estos tipos de energías.

El segundo proceso de conversión, que comprende procesos térmicos, engloba varias tecnologías: incineración, gasificación y pirolisis. Estos procedimientos se basan en la conversión de carbono, que está contenido en los residuos, bajo diferentes temperaturas y condiciones de aire (Arvizu, 2010: 38).

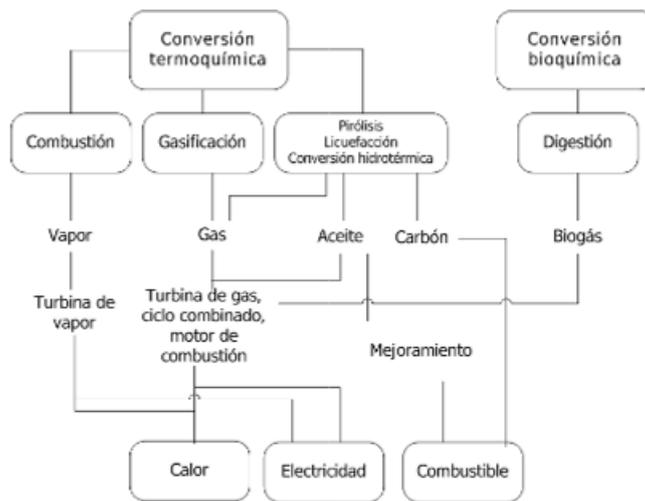
Dentro del proceso de incineración, se busca que el carbono contenido en los residuos, una vez que se ha sometido a elevados grados de temperatura, se transforme en dióxido de carbono; lo cual liberaría energía en forma de calor (vapor). Este vapor se inyecta a una turbina de vapor para generar energía. El procedimiento para generación de energía es similar al proceso de una máquina de vapor, donde la presión genera movimiento de alguna determinada máquina.

A diferencia de la incineración, la pirolisis trabaja en ausencia de oxígeno. La pirolisis hace que el carbono contenido en la basura se transforme en combustibles en diferentes estados (sólidos, líquidos y gaseosos). Los principales productos, resultado de la pirolisis, son el carbón vegetal, el alquitrán y gases como el metano y el monóxido de carbono (Arvizu, 2010: 38).

Respecto a la gasificación, el procedimiento consiste en que los residuos se sometan a altas temperaturas y mediante el aire o el gas ionizado, que se aplica a los residuos, se obtenga gases como el hidrógeno, el metano y monóxido de carbono. Por lo general, estos gases se utilizan en motores de combustión interna (MCI) o turbinas de ciclo combinado para generar energía.

En el Gráfico 20, se encuentran los dos procesos de conversión mencionados anteriormente. Se muestra las cadenas de conversión de los residuos en cada uno de los procesos, desde la etapa en la que estos forman parte de los insumos, pasan por un proceso de transformación donde se convierten en una fuente de energía secundaria, hasta que finalmente mediante medios mecánicos (turbinas y motores) se transforman en energía final como calor, electricidad e incluso combustible para otros fines.

**Gráfico 20. Procesos de conversión de residuos en energía**



**Fuente:** Moratorio, 2012 y Saydur, 2011

Al ser extenso el análisis de cada uno de estos procesos de conversión, debido a la diversa cantidad de tecnologías que existen actualmente, es necesario enfocar la presente investigación en un solo de estos procesos y así calcular el potencial energético de los residuos en Loja.

En este contexto, se analizará el proceso de conversión bioquímica mediante digestión anaeróbica debido a que es una política de gobierno que tiene varias ventajas en relación a las otras, una de ellas los costos de operación de la tecnología y un nivel de impacto ambiental menor.

## **Digestión anaeróbica**

El Ministerio del Ambiente, a través del programa PNGIDS, estableció lineamientos de la gestión integral de residuos, para que se aproveche el potencial energético de los desechos mediante plantas *waste to energy* (W2E).

Uno de los lineamiento que sustenta la adopción de un proceso de digestión anaeróbica en el Ecuador, es que se aproveche el potencial calorífico de los residuos orgánicos generados por las ciudades mediante un proceso de “metanización”, con el cual, gracias al uso de metano se obtenga electricidad y calor (MAE, 2015).

El principal producto de la digestión anaeróbica es el biogás, el cual está compuesto esencialmente por metano (50 a 70% del biogás) (Nagao, 2012); por lo tanto, este proceso se alinea completamente con las políticas del Estado y por ende se ha decidido analizar esta tecnología.

De acuerdo al manual de biogás desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD-, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO-, el *Global Environment Facility* –GEF- y el Ministerio de Energía de Chile, se establece que el proceso de digestión anaeróbica consiste en:

Un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (PNUD, FAO, GEF, 2011:14).

Del proceso de digestión anaeróbica, se obtienen dos productos: el biogás y el bioabono o compost. El biogás es una mezcla de gases formada esencialmente de metano, dióxido de carbono y otros componentes en menor cantidad: prácticamente es el resultado de la vaporización de la materia orgánica que fue disuelta previamente en agua.

Se debe considerar que en el sistema de digestión anaeróbica se necesita la inyección de agua con el objetivo de disolver los residuos orgánicos, así como mejorar las condiciones de la máquina donde ingresan los residuos (digestor) para que estos puedan circular y cumplir con su objetivo de oxidación.

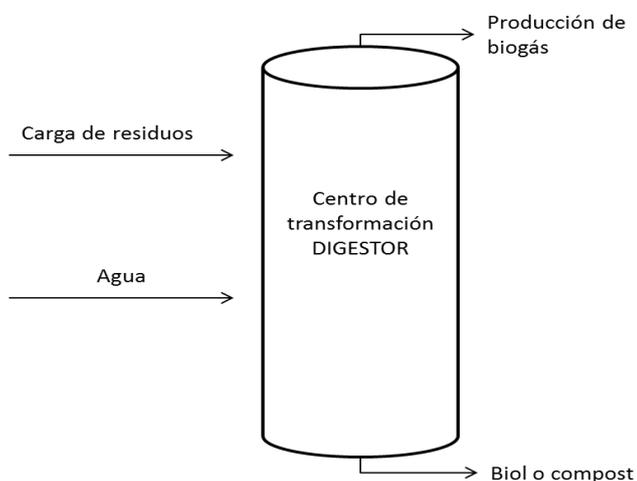
El compost, consiste en el sobrante del proceso de biodigestión, la parte de la mezcla de residuos y agua, la cual no se llegó a transformar en gas. Prácticamente es un abono orgánico resultante de un digestor.

Este segundo producto, actualmente Loja ya lo tiene debido a su proceso de compostaje mediante lombricultura, lo cual fue mencionado en el capítulo anterior. A diferencia de la digestión anaeróbica, Loja genera compost mediante un procedimiento aeróbico; es decir al aire libre. Esto difiere del proceso que se analiza en este capítulo debido a que en la digestión anaeróbica se emplea maquinaria, que esencialmente se traduce en un digestor.

Al tener Loja un proceso de compostaje al aire libre, se generan malos olores debido a la fermentación de los residuos orgánicos. Eso puede causar la generación de bacterias que afectan la salud humana. El beneficio de la digestión anaeróbica es la eliminación de los olores debido a la hermetización del proceso y a la mayor cantidad de compost que se puede obtener.

Existen mecanismos para contrarrestar los malos olores y la generación de bacterias en el proceso aeróbico de compostaje: el control de humedad mediante la remoción de residuos elimina la producción de bacterias, así como un proceso de ventilado puede reducir los malos olores.

**Gráfico 21. Digestión anaeróbica**



**Fuente:** Tiwary, Williams, Pant y Kishore, 2014

En el gráfico anterior se muestra un esquema del proceso de biodigestión. Como primera etapa, los residuos orgánicos son introducidos al biodigestor junto con agua para que estos se disuelvan y se genere un ambiente donde los residuos puedan circular

dentro del tanque de digestión. En el digestor, empieza la descomposición de la materia orgánica gracias a un proceso bacteriano y a la ausencia de oxígeno.

En el lapso de dos semanas, el resultado de esta fermentación es el biogás, el cual es capturado por la parte superior del digestor y enviado mediante tuberías a un contenedor de gas. La parte que no logró volatilizarse (transformarse a gas), y que está en estado sólido, se lo conoce como compost y se lo recolecta de la parte inferior del tanque; este será usado posteriormente como abono orgánico.

Para la generación de energía, el biogás almacenado es inyectado a un sistema de cogeneración, donde con procesos mecánicos se obtiene dos tipos de energía: calor y electricidad.

### **Producción de biogás: metodología**

Para poder determinar la producción de biogás es necesario conocer varias características de los residuos orgánicos: el porcentaje de sólidos totales y sólidos volátiles.

Toda residuo sólido orgánico está compuesto por una fracción de agua y una fracción sólida (PNUD, 2011). El porcentaje de sólidos totales (ST) representa la fracción sólida de toda materia orgánica (PNUD, 2011); es decir, el peso del residuo una vez que se encuentra seco (Martí, 2008).

Los sólidos volátiles (SV) se refieren a la proporción de los sólidos totales que se llega a volatilizar cuando se somete a una temperatura de 600 grados centígrados durante un periodo de dos horas (PNUD, 2011). En otros términos, a los SV se los define como aquella parte de los residuos que llegan a transformarse a un estado gaseoso, debido a que estos contienen los componentes orgánicos que llegan a convertirse en metano (PNUD, 2011: 38).

Lo mencionado con anterioridad, se transforma en un sistema de ecuaciones que se detallan a continuación:

$$ST = \mu \cdot \beta \quad (1)$$

$$SV = ST \cdot \lambda \quad (2)$$

$$PB = \sigma \cdot SV = \mu \cdot \beta \cdot \lambda \cdot \sigma \quad (3)$$

Donde:

ST = Cantidad de sólidos totales

$\mu$  = cantidad de residuos que ingresan al biodigestor

$\beta$  = porcentaje de sólidos totales

SV = Cantidad de sólidos volátiles

$\lambda$  = Porcentaje de sólidos volátiles

PB = producción de biogás

$\sigma$  = factor de producción de residuos

La ecuación (3) cuantifica la producción de biogás, la cual depende de la cantidad de residuos que ingresan al biodigestor, del porcentaje de sólidos totales y volátiles de estos residuos y de un factor de producción que se determina en función del tipo de residuo y de la tecnología.

### **Tecnologías de digestión anaeróbica**

Hay diversas tecnologías que se ofertan en el mercado para la obtención de energía mediante digestión anaeróbica. Cada una de las tecnologías existentes tiene diferentes formas de tratamiento.

De acuerdo a Giannopoulos (2005), existen dos grandes clasificaciones para procesos de digestión anaeróbica: la primera de estas clasificaciones depende del modo en el cual los residuos alimentan al sistema anaeróbico; es decir si la carga es por etapas diferenciadas o es un proceso de carga continuo. La segunda de estas clasificaciones depende de la geometría del contenedor donde se realizará la carga de los residuos: si es un proceso con digestor vertical u horizontal.

Entre las principales tecnologías que se han comercializado con aprovechamiento de residuos orgánicos son: Waasa, Valorga, Dranco, Kompogas y BTA.

La tecnología Waasa está formada por un digestor vertical en el cual la carga de residuos debe contener un porcentaje de sólidos volátiles entre 10 y 15%. La producción de biogás de este sistema es entre aproximadamente 100 a 150 m<sup>3</sup> por cada tonelada (ton) de residuos que entra al biodigestor (Williams, 2002).

Al igual que Waasa, la tecnología Valorga funciona con un digestor en sistema vertical, pero acepta mayor cantidad de sólidos volátiles en la carga (entre 25 a 32% de SV). La producción de biogás oscila entre 80 a 160 m<sup>3</sup>/ton. Una de las ventajas de este

sistema es que evolucionó hasta poder aceptar pequeñas cantidades de residuos inorgánicos (Verma, 2002).

La tecnología Dranco se caracteriza por permitir gran cantidad de sólidos totales en su proceso de digestión anaeróbica, para lo cual utiliza un digestor en posición vertical. El porcentaje de sólidos volátiles que acepta esta tecnología bordea los 15 a 40%; y la producción de biogás que se obtiene de esta tecnología se encuentra entre los 100 a 200 m<sup>3</sup>/ton de residuo que ingresa al digestor (Verma, 2002).

En la tecnología Kompogas, el digestor se encuentra ubicado de manera horizontal. Este sistema requiere tener una alta proporción de sólidos volátiles en sus residuos. El biogás que se obtiene de este sistema bordea los 100 m<sup>3</sup>/ton de residuo (Wellinger, 1993). Finalmente, la tecnología BTA puede aceptar una mezcla de residuos municipales, incluyendo desechos inorgánicos.

Respecto a la decisión de que tecnología elegir, Karaginnidis y Perkoulidis (2008) realizan un análisis multicriterio en el cual se analiza cuatro variables: i) emisiones de gases de efecto invernadero (GHG); ii) energía generada; iii) material recuperado (compost); y iv) costos de operación de la planta.

En el estudio mencionado se consolidan los resultados de diez escenarios en los cuales aplican diferentes ponderaciones a cada una de las variables analizadas. Los pesos de las variables en cada escenario tienen dos criterios: le asignan 100% a una de las cuatro variables o distribuyen en 50% el peso a dos variables.

En este sentido, la mejor opción del estudio de Karaginnidis y Perkoulidis (2008), muestra que la tecnología Dranco es la que sobresale en relación al resto. Este resultado es el agregado de los diez escenarios mencionados. Existen escenarios en los cuales resulta mejor opción otra tecnología (por ser menos contaminante o por producir mayor compost); sin embargo el método multi-criterio permite agregar los resultados de todas las simulaciones planteadas y elegir la mejor opción.

A pesar que todas las tecnologías resultan generar GEI, se mostrará más adelante que existen mecanismos para contrarrestar estas emisiones, independiente de la tecnología elegida; y que incluso, en términos netos, se puede lograr mitigar emisiones. Estos procedimientos implican la mitigación de GEI por dejar de disponer los residuos orgánicos en rellenos sanitarios y por el desplazamiento de combustibles fósiles (que son altamente contaminantes), los cuales son utilizados por las industrias.

Considerando que el objetivo central de la presente investigación, es la maximización de la generación eléctrica, se respalda los resultados obtenidos por Karaginnidis y Perkoulidis (2008), en vista que Dranco tiene ventaja sobre las otras por dos razones: la energía generada (760 kWh/ton) es la mayor en relación a las otras tecnologías; y debido a que los costos de operar la planta son los más bajos (USD 70 por tonelada) (ver Tabla 5).

De esta manera, aunque Dranco es la segunda tecnología que más emisiones de gases de efecto invernadero registra (226 kg de dióxido de carbono equivalentes por cada tonelada de residuo) (ver Tabla 5), habrá que cuantificar el valor neto de las emisiones en comparación con lo que se emitiría si no se hiciera ningún sistema de recuperación de los residuos, así como las emisiones no desplazadas del sistema nacional interconectado (SNI) donde la participación de la energía térmica bordea el 50% (MICSE,2015). De igual manera se puede estimar las emisiones mitigadas por concepto de desplazamiento de combustible fósil (gas licuado de petróleo) en industrias intensivas en calor.

Asimismo, el tema de producción de compost no es el mejor: 260 kg/ton de residuo (ver Tabla 5). Esto representa solo 10 kg/ton más que la tecnología kompogas. No obstante, la desventaja en la recuperación de materiales es compensada con mayor cantidad de energía obtenida. Pese a que la venta de compost puede aportar al negocio que actualmente posee el Municipio de Loja, se deberá planificar a mediano y largo plazo.

En el caso que el Municipio de Loja no logre vender toda la producción de compost obtenido, esto puede llegar a convertirse en un problema para la administración pública, debido a que gestionar su disposición final implica costos adicionales.

Por otra parte, se forma un escenario donde se vuelve necesario la elaboración de convenios con el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), para que el compost obtenido de la digestión anaeróbica pueda sustituir un porcentaje de fertilizantes importados, los cuales representan una carga fiscal para el país. De esta forma se podría crear las posibilidades de venta total del compost gracias a la intervención del MAGAP.

**Tabla 5 Análisis de tecnología**

Tecnología	Criterios			
	GEI emitidos (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton.)	Energía recuperada (kWh/ton.)	Recuperación de materiales (kg/ton.)	Costos operativos (USD/ton.)
Waasa	216	730	300	102
Valorga	228	700	320	77
Dranco	226	760	260	70
Kompogas	208	585	250	71
BTA	212	700	280	107

Fuente: Karagiannidis y Perkoulidis, 2008

### Loja y su potencial energético

Una vez que se ha definido la tecnología Dranco, resultado del análisis multi-criterio, como aquella que presenta los mejores resultados para generación de energía (calor y electricidad), y menores costos de operación, se reemplazarán las variables en la ecuación de producción de biogás para posteriormente obtener electricidad.

Respecto al porcentaje de sólidos totales, *Organic Waste System* (OWS), que es la empresa constructora de la tecnología, establece un nivel de ST de 40% aunque pueden existir otras maquinarias que aceptan entre 20 y 35% de ST (OWS, 2015a).

En relación al porcentaje de sólidos volátiles, OWS ha definido un rango entre 50 y 60% (OWS, 2015a). El factor de producción de biogás ha sido determinado basándose en la planta de digestión anaeróbica de Bélgica (65%), la cual tiene una capacidad de carga anual similar a lo que se espera procesar en la ciudad de Loja (entre 40 y 50 mil toneladas al año) (OWS, 2015b).

Bajo estos criterios se mostrará el cálculo de tres escenarios: uno que definida el punto intermedio (o único valor) de los rangos establecidos para cada variable y los otros dos que muestran los límites superior e inferior de las mismas variables<sup>5</sup>. Definidas todas las variables, a continuación se presenta el cálculo de la producción de biogás:

---

<sup>5</sup> Los análisis serán realizados en relación al escenario intermedio, aunque se muestran los resultados de los límites superior e inferior.

**Tabla 6. Producción de biogás en Loja**

Escenario	Ecuación	Producción biogás (ton./día)
Máximo	$100 \text{ ton/día} \times 0,65 \times 0,40 \times 0,60$	15,6
Medio	$100 \text{ ton/día} \times 0,65 \times 0,40 \times 0,55$	14,3
Mínimo	$100 \text{ ton/día} \times 0,65 \times 0,40 \times 0,50$	13,0

Fuente: Adrián Orbe

El resultado anterior evidencia que actualmente el Municipio de Loja tiene una capacidad de producir 14,3 toneladas de biogás al día. Ahora bien, para transformar el biogás a energía (electricidad y calor) es necesario considerar dos variables adicionales: la densidad del biogás ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ), que muestra el volumen contenido por kilogramo de biogás y; el contenido energético ( $6,5 \text{ kWh/m}^3$ ) que muestra la energía que se puede obtener con un metro cúbico de biogás (Deublein y Steinhauser, 2008).

De esta forma, el potencial de energía que se puede obtener de los residuos orgánicos de Loja es el siguiente:

**Tabla 7. Generación de energía en Loja**

Escenario	Ecuación	Energía contenida (kWh/día)
Máximo	$15,6 \text{ ton/día} \times 1\,000 \text{ kg/ton} \div 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,5 \text{ kWh/m}^3$	84 500
Medio	$14,3 \text{ ton/día} \times 1\,000 \text{ kg/ton} \div 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,5 \text{ kWh/m}^3$	77 458
Mínimo	$13,0 \text{ ton/día} \times 1\,000 \text{ kg/ton} \div 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 6,5 \text{ kWh/m}^3$	70 417

Fuente: Adrián Orbe

Esta energía obtenida anteriormente (77 458 kWh/día) se distribuye de tres maneras dentro de un sistema de cogeneración (obtención de calor y electricidad): una parte que se convierte en energía térmica (50%), otra en energía eléctrica (30%) y una tercera parte en pérdidas energéticas (20%) por el proceso de transformación (Moratorio, Rocco y Castelli, 2012).

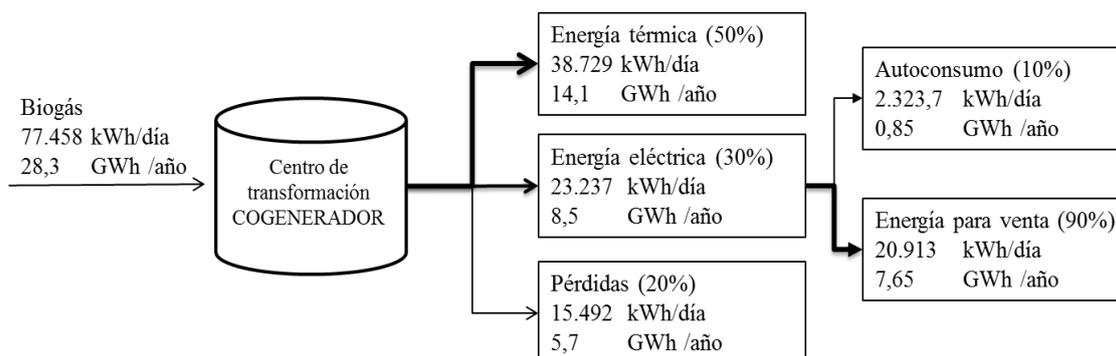
De acuerdo al segundo principio de la termodinámica, “todo rendimiento de conversión energética es necesariamente inferior a la unidad” (Carvajal y Orbe, 2013: 14); es decir, que el momento que ingresa el biogás a un sistema de transformación, la energía obtenida (calor, electricidad y pérdidas) no puede ser mayor ni menor a la

energía contenida en el biogás antes del proceso de conversión. De esta manera, la existencia de pérdidas de energías solo podrá reducirse el momento que la tecnología logre desarrollarse a través de un proceso de innovación tecnológica.

Adicionalmente, se debe considerar que el propio centro de transformación necesita de electricidad para su operación (10% de la producción total de electricidad de acuerdo a OWS); por lo tanto se debe cuantificar la “electricidad neta”, la misma que descuenta el valor de autoconsumo, y que representa a la electricidad que el municipio podría vender al sistema nacional interconectado (SNI).

El Gráfico 22, muestra el proceso de cogeneración desde que ingresa el biogás (28,3 GWh/año) al transformador, hasta obtener los valores correspondientes a energía térmica (14,1 GWh/año), eléctrica (7,65 GWh/año para venta al SNI y 0,85 GWh/año de autoconsumo) y pérdidas (5,7 GWh/año).

**Gráfico 22. Sistema de cogeneración**



**Fuente:** Moratorio, Rocco y Castelli, 2012

Con la electricidad disponible para venta se alcanzaría a abastecer el consumo anual de hasta 4,9 mil hogares; esto considerando un consumo anual por hogar de 1 546 kWh. Este número de hogares que se abastecería con electricidad representa el 9% del total de hogares del cantón Loja (56,5 mil hogares de acuerdo al censo de población del año 2010).

El consumo promedio anual por hogar ha sido determinado usando la estadística del ARCONEL (2015), la cual establece un consumo del sector residencial de 6 346 GWh y alrededor de 4,1 mil clientes del mismo sector en el año 2014.

Asimismo, si se comparase la cantidad de electricidad producida por la planta de aprovechamiento de residuos orgánicos (7,65 GWh/año disponible para venta) en relación a la electricidad producida por todos los paneles fotovoltaicos del país en el año 2014 (16,48 GWh/año) (ARCONEL, 2015), esta energía representaría el 46%.

Por otra parte, la energía térmica generada del sistema de cogeneración puede abastecer los procesos térmicos de los sectores agrícolas e industriales, los cuales, actualmente utilizan gas licuado de petróleo (GLP) para satisfacer sus necesidades.

De acuerdo al Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015), los sectores agrícola e industrial de Loja consumieron 1,4 millones de kilogramos de GLP en el año 2014; de este valor, el 35% (0,49 millones kg) corresponde a la demanda del sector agrícola, mientras que el 65% restante (0,92 millones kg) representa a la demanda del sector industrial.

La Tabla 8, muestra la energía contenida de la demanda de GLP de Loja, la cual equivale a 17,9 GWh/año; es decir, que con la energía térmica obtenida mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos (14,1 GWh/año) se puede garantizar el 79% de las necesidades térmicas del sector agrícola e industrial.

**Tabla 8. Energía contenida GLP Loja**

<b>Consumo GLP</b>	<b>Poder Calórico GLP</b>	<b>Factor conversión unidades</b>	<b>Energía contenida</b>
<b>(kg)</b>	<b>(MJ/kg)</b>	<b>(GJ/MWh)</b>	<b>(GWh)</b>
(a)	(b)	(c)	$(a*b/c)/(10^6)$
1.415.607	45,67	3,6	17,96

**Fuente:** ARCONEL, 2014

Hay que acotar que para que exista realmente venta de termo energía debe existir determinadas condiciones: el sector industrial debe encontrarse cerca de la planta de cogeneración para evitar el gasto excesivo en la construcción de infraestructura y para disminuir las pérdidas energéticas en el proceso de transporte de calor.

En Ecuador, los proyectos de cogeneración en los ingenios azucareros muestran esta característica: las plantas se encuentran ubicadas en las mismas instalaciones de la industria evitando la construcción de infraestructura de larga distancia.

El despliegue de infraestructura conlleva costos adicionales por lo que se deberá estudiar con mayor profundidad este tema. No obstante, se ha planteado la posibilidad como ventaja del proyecto.

Aunque se ha planteado una central de generación, se podría estudiar, en otras instancias, la construcción de plantas de menor capacidad de procesamiento de residuos orgánicos que se encuentren ubicadas en las industrias que mayor cantidad de energía térmica requieran. Sin embargo, esta alternativa conduce a temas adicionales de investigación como el porcentaje de eficiencia, por la propia teoría de economías de escalas, en términos energéticos y económicos, en relación a una sola.

Los resultados presentados hasta el momento, de energía térmica y eléctrica, muestra los beneficios que se podrían obtener con la implementación de una planta de generación de energía mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos

A pesar de obtener resultados energéticos alentadores, es necesario que el proyecto se enmarque en otras dimensiones como la legal, la social, la ambiental y el económico, los cuales serán analizados en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO IV**

### **ASPECTOS LEGALES, SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS**

En este último capítulo se analizan factores normativos, sociales, ambientales y económicos, que se enmarcan en el proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos para la generación de energía. El objetivo es evaluar las normativas de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) respecto al biogás, analizar el compromiso social que debe existir para tener una eficiente gestión de residuos, y cuantificar los beneficios ambientales y económicos.

Como primera instancia, se analizará si las normativas emitidas por la institución pública, que regula el sector eléctrico (ARCONEL), forman un entorno adecuado para que se puedan desarrollar iniciativas de tecnologías para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos en el país. Se toma como referencia el sistema tarifario como incentivo o barrera para el desarrollo de energía renovable no convencional.

Posteriormente, se realizará un breve análisis dentro de los ámbitos socio-cultural, institucional–organizacional y político-legales, para una eficiente gestión integral de los residuos. Se aborda el proceso de concienciación en la ciudadanía para el cambio de hábitos y respeto al impacto en el medio ambiente, y el cambio de paradigma de la institución pública para tomar iniciativas de esta índole.

Para el eje ambiental, se cuantifica la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se lograría obtener mediante el aprovechamiento de residuos en lugar de destinarlos al relleno sanitario como opción de disposición final.

El último punto aborda el eje económico, donde se evaluará la factibilidad financiera del proyecto. Este eje comprende el cálculo de ingresos, gastos y nivel de inversión del proyecto. Para los ingresos se considera los recursos provenientes de la venta de electricidad, de energía térmica y de compost. Para los gastos se considera los costos de operación de la planta de digestión anaeróbica; y para el nivel de inversión se considera la maquinaria básica necesaria para el desarrollo del proyecto.

Para la factibilidad financiera se modelan varios escenarios con el objetivo de que el lector diferencie los diversos supuestos en cada modelo planteado y se permita comparar los resultados obtenidos en cada uno de estos.

## **Regulaciones de energía renovable convencional**

De acuerdo a lo que establece la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, en el capítulo III – Art. 15, una de las atribuciones y deberes de la ARCONEL es:

“Regular aspectos técnico-económicos y operativos de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general” (Registro Oficial Suplemento 418, 2015).

En este contexto, la ARCONEL ha establecido dos regulaciones que establecen lineamientos para el desarrollo de energía renovable no convencional. La primera fue la Regulación No. CONELEC -004/11, publicada en noviembre de 2012, que se denominó “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales”.

En esta regulación se delimita a la energía renovable no convencional como aquellas generadas mediante el aprovechamiento de fuentes “eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 mega vatios (MW) de capacidad instalada” (ARCONEL, 2012:2).

Concerniente a la línea de investigación del presente documento, la mencionada regulación definió dos conceptos que interesan dentro del marco de la generación de energía con residuos: central eléctrica a biomasa y central eléctrica a biogás. Respecto a las centrales de biomasa, esta definición estableció aquellos combustibles (residuos) con los que este tipo de centrales puede operar (forestales, agrícolas, residuos urbanos, agroindustriales, entre otros). La definición de central de biogás estableció al “biogás obtenido de un digestor como producto de la degradación anaeróbica de residuos orgánicos” (ARCONEL, 2012:3).

Asimismo, y con el objetivo de incentivar el desarrollo de este tipo de tecnologías, el organismo de control formuló una serie de condiciones preferentes para aquellas empresas que quieran promocionar y construir estas centrales dentro de la mencionada regulación. La primera se refiere al precio preferente de venta de energía eléctrica, donde las tarifas de venta se encuentran por encima del promedio del mercado. La segunda condición estableció el despacho preferente, que consiste en la

venta privilegiada de la electricidad generada con estas tecnologías. La tercera y última establece un periodo de vigencia, de quince años, de las dos primeras condiciones.

De esta forma, se establecieron los precios como se muestra en la Tabla 9. Las tecnologías desarrolladas con residuos, junto con la eólica, son las que menos incentivos, por tarifas, tuvieron. Las centrales de biomasa y biogás tenían un precio preferente de 11,05 ctvs/kWh y de 9,06 ctvs/kWh (dentro de territorio continental) si su capacidad instalada era menor de 5 MW y mayor a 5 MW respectivamente.

**Tabla 9. Precios preferentes 004/11 (cUSD/kWh)**

Central	Territorio Continental	Territorio insular
Biomasa y biogás < 5MW	11,05	12,16
Biomasa y biogás > 5MW	9,06	10,56
Eólica	9,13	10,04
Fotovoltaica	40,03	44,03
Solar termoeléctrica	31,02	34,12
Corrientes marinas	44,77	49,25
Geotermia	13,21	14,53

Fuente: ARCONEL, 2012

En comparación con otras tecnologías, como la fotovoltaica, en la cual se estableció una tarifa preferencial de 40,03 ctvs/kWh, las centrales de biomasa y biogás no podían competir dado que sus rendimientos económicos no eran tan llamativos. Los costos de los sistemas fotovoltaicos son inferiores a los de biomasa y biogás (World Energy Council, 2013).

En este sentido, se evidencia que la política de la ARCONEL era la de estimular el incremento de la capacidad instalada de energía fotovoltaica, pero esta resultó en una barrera para el desarrollo de otras tecnologías como la de biomasa y biogás. Esto condujo a la reforma de regulación de precios preferentes: lo que se analiza más adelante.

Un breve análisis de la tecnología solar fotovoltaica, de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA por sus siglas en inglés), el costo promedio (incluyendo inversión inicial, tasa de descuento y costos de mantenimiento – LCOE-) de generar electricidad bordea los 11 a 12 ctvs./kWh (Irena, 2015:33). Esto significa que el margen de ganancia de una empresa que opere en Ecuador con esta

tecnología es de 28 ctvs/kWh, que se traduce en una ganancia 2,3 veces mayor a su costo.

Puede ser que en la región los costos por generación sean un poco más elevados que los mencionados por IRENA (2015); sin embargo la idea de trasfondo sigue siendo la misma: mayor rentabilidad para proyectos con tecnología fotovoltaica en relación a los de biomasa.

La tecnología de biogás, que para el año 2013 tenía un costo de generación entre 20 y 25 ctvs/kWh (IRENA, 2015:33 y World Energy Council, 2013:25), hacía menos atractiva su implementación dado la mayor cantidad de inversión inicial que se requería en comparación a los paneles fotovoltaicos, y debido a que el incentivo tarifario propuesto en la regulación estaba por debajo del costo de generación.

En este sentido, esta regulación estableció un limitante para algunas tecnologías de energía renovable no convencional como las de biomasa y biogás, e inclinó la balanza del desarrollo hacia otros proyectos como los fotovoltaicos, los cuales pasaron de una capacidad instalada de 0,07 MW en el 2012 a 26,37 MW en el 2014; es decir un aumento de 338 veces de su capacidad (ARCONEL, 2015:28).

Otros proyectos, como los de corrientes marinas, que pese a tener un incentivo tarifario de 44,77 ctvs/kWh, no lograron desarrollarse, debido a que la tecnología aún no ha madurado, y por tanto no justificaba la cantidad de recursos que se requeriría para la investigación.

A todo lo mencionado, se debe agregar que la regulación emitida en el 2012, establecía un periodo de vigencia de precios preferentes de 15 años, por lo que invertir en granjas solares resultaba totalmente rentable, donde el periodo de recuperación de la inversión era en el corto plazo.

Debido a estas falencias, la ARCONEL emitió la segunda regulación (Regulación No. CONELEC -001/13) en marzo del 2014 para la “Participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables no Convencionales” (ARCONEL, 2014: 3).

Esta nueva regulación, eliminó totalmente el incentivo tarifario para que se detenga la expansión de granjas solares. Aquellos proyectos fotovoltaicos que ingresaron en operación con la anterior regulación no fueron re-categorizados y mantenían sus preferencias.

De esta manera, la regulación vigente estableció, únicamente, condiciones preferentes para las tecnologías de biomasa, biogás e hidroeléctricas con una capacidad menor a 30 MW (ver Tabla 10).

**Tabla 10. Precios preferentes 001/13 (cUSD/kWh)**

Central	Territorio Continental	Territorio insular
Biomasa	9,67	10,64
Biogás	7,32	8,05
Hidroeléctricas < 30 MW	6,58	-

Fuente: ARCONEL, 2014

Ahora bien, de acuerdo a los costos de generación estimados por IRENA, los proyectos de generación eléctrica con biomasa pueden tener costos en varios rangos, los cuales dependerán de la tecnología que se utilice y de los costos de los insumos que se piensan transformar.

Al 2015, los costos de generación de una planta de biomasa se redujeron y se estimaron que se situaban entre 5 y 15 ctvs/kWh (IRENA, 2015). En vista de este nuevo escenario, el desarrollo de proyectos de generación eléctrica de residuos se vuelve más factible.

### **Gestión de residuos: un compromiso participativo**

El Municipio de Loja ha sido reconocido por sus grandes avances en temas de gestión de residuos. La participación ciudadana, mediante la separación de residuos en la fuente (orgánica e inorgánica), ha permitido que el GAD realice proyectos de tratamiento de residuos como el reciclaje y la lombricultura.

No obstante, su esfuerzo no ha alcanzado el nivel suficiente como para poder realizar una gestión eficiente de los residuos y esto se debe discutir dentro de un contexto que involucre a la sociedad y a la institución pública.

En el caso de Loja, el lugar donde se realiza la disposición final de los residuos genera algunas externalidades negativas: i) malos olores, como efecto del propio relleno sanitario y de la planta de lombricultura, en la cual se descomponen los residuos al aire libre; ii) efectos sobre el agua de la quebrada aledaña, debido a la filtración de lixiviados que se generan en el relleno; iii) impactos sobre el propio suelo donde se encuentra toda

la disposición de residuos; iv) generación de plagas por concentración de animales (insectos y roedores), lo cual puede causar la propagación de enfermedades; entre otros.

Si bien el centro de disposición final no se encuentra en zonas de contacto directo con la ciudadanía, existen efectos, por contaminación ambiental, que se pueden generar en la población y principalmente en los trabajadores que prestan sus servicios en el centro de residuos.

Abarca, Maas y Hogland (2012) han definido lineamientos, desde el ámbito socio-cultural, institucional–organizacional y político-legal para el manejo adecuado de residuos. Uno de estos puntos radica en que la sociedad debe generar, realmente, el interés para participar en temas de gestión de residuos (Moghadam y Mokhtarani, 2009).

Adicionalmente, Abarca Maas y Hogland (2012) sostiene que esta participación debe ser realizada en coordinación y con apoyo del municipio, logrando que la sociedad en conjunto se eduque y concientice sobre los beneficios de realizar una buena gestión de residuos y asimismo los perjuicios de tener un mal manejo de los desechos.

Por otra parte, se establece una participación activa de la sociedad, no solo en el tema de prevención, sino también como portadores de soluciones a los efectos de una inadecuada gestión, para lo cual esta debe tener participación en la toma de decisiones en conjunto con los municipios (Sharholy, 2008).

Respecto a este último tema, se genera un punto adicional de discusión: este se refiere al rol del Estado. Si bien la legislación ecuatoriana transfiere las competencias de la administración de la gestión de residuos sobre los municipios, la inversión que se requiere realizar, para tener un eficiente manejo de desechos, es considerable y debe involucrar un compromiso de aporte tanto de la sociedad civil, de las empresas privadas como del gobierno en todas sus funciones.

Podría resultar que un proyecto de estos no sea financieramente viable, pero los beneficios sociales, que no pueden ser cuantificables monetariamente, podrían exceder a las pérdidas financieras. Por ejemplo, la prevención de enfermedades como resultado del esparcimiento de microbios que se generan en los rellenos, ya sea por aire como por medio del agua, es un factor de ahorro para la ciudadanía y el Estado. La dotación de suministro eléctrico a hogares que se encuentran en zonas rurales, donde es más costoso

tender los cables de electricidad y donde por lo general se construye los rellenos, puede promover su desarrollo.

En el ámbito institucional y organizacional, Abarca (2011) menciona que deben existir varias consideraciones para tener un buen manejo de residuos. El principal punto se refiere al personal del Municipio que se encuentra a cargo de la administración de los residuos: estos deben tener los conocimientos y capacidades suficientes para administrar de manera eficiente la gestión de los residuos (Chung y Lo, 2008).

Se establece la existencia de un Plan Estratégico (Asase, 2009), que de cambios en la política de la administración pública, la cual priorice el tema del manejo de residuos e incluya el apoyo de parte del gobierno central para ejecutar obras que el municipio por sí solo no las alcanzaría a cumplir (Abarca, 2011).

Se da énfasis en la formación de capacidades de los trabajadores que se encuentran tratando directamente con residuos para generar conocimiento respecto a las buenas prácticas, a nivel mundial, sobre la gestión de los mismos; así como las tecnologías adecuadas para un mejor tratamiento.

Finalmente, y no menos relevante, se establece que la institución pública debe transparentar la situación actual del manejo de los residuos en la sociedad para que esta sienta la necesidad de participar en favor de su entorno.

Respecto al marco político y legal, Abarca (2011) se centra en tres ejes: i) la construcción de políticas adecuadas y eficientes (Mrayyan y Hamdi, 2006); ii) emisión de regulaciones más agresivas (Seng, 2010), las cuales castiguen la mala gestión de la ciudadanía y de la administración pública, y reconozcan las buenas prácticas; y iii) la existencia de un marco legislativo adecuado (Asase, 2009 y Abarca, 2011).

### **Beneficios ambientales del aprovechamiento de residuos**

Tener una buena gestión de los residuos orgánicos conlleva a mejorar la calidad del ambiente alrededor de donde estos se generan y depositan. Evitar que los residuos se destinen a los rellenos sanitarios, donde posiblemente no se realice ninguna gestión para minimizar su impacto ambiental, es un reto de los hacedores de política pública.

Implementar un centro de aprovechamiento energético de los residuos orgánicos ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), los mismos que contribuyen al calentamiento global. Aunque son diversos los gases de efecto

invernadero (dióxido de carbono –CO<sub>2</sub>-, metano –CH<sub>4</sub>-, óxido nitroso –N<sub>2</sub>O-, vapor de agua, clorofluorocarbones –CFC-)(Fenhann e Hinostrza, 2011) este análisis se enfoca esencialmente en el metano, en vista que es el principal componente del biogás (entre 50% a 70% del total).

Esta reducción de emisiones se alinea totalmente a las directrices de las Naciones Unidas en el marco de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), lo cual constituyen un estímulo hacia países en desarrollo. Estos MDL consisten en incentivos económicos para la construcción de proyectos que reduzcan la cantidad de emisiones de GEI.

Se debe mencionar que en la metodología de MDL se evalúa los GEI en términos de CO<sub>2</sub> y no de CH<sub>4</sub>. No obstante este no es un limitante debido a que el CH<sub>4</sub> puede convertirse en CO<sub>2</sub> equivalente bajo una metodología que se desarrolla más adelante.

Entre los proyectos que Naciones Unidas fomenta se encuentran los relacionados a plantas de energía con fuentes renovables (Naciones Unidas, 2016). Hasta el momento han sido varios los proyectos que se han financiado, dentro de los MDL, relacionados con el aprovechamiento energético de los residuos. En Bangladesh, Armenia, Costa Rica y Brasil se ha financiado proyectos para generación energética gracias a la captura de metano de los rellenos sanitarios (Naciones Unidas, 2016 y Eguren, 2004).

En Ecuador existen varios proyectos que han sido postulados a los MDL y que se relacionan con el aprovechamiento energético de los residuos (MAE, 2012): el proyecto de “captación y quema de biogás del vertedero de Zámbriza”, la “planta de extracción y combustión de biogas en el relleno sanitario Inga I y II”, la “central de cogeneración con bagazo de caña de ecoelectric-ingenio valdez”, entre otros.

En el caso de la presente investigación, si bien, no es captura de biogás del relleno sanitario, se busca generar energía mediante la obtención de biogás en un biodigestor en lugar de disponer los residuos en un relleno sanitario; y por tanto el proyecto se alinea a las directrices de los MDL de Naciones Unidas.

Bajo este contexto, la reducción de GEI será cuantificada como la diferencia entre la emisiones que se generan por disponer los residuos en el relleno sanitario respecto a las emisiones que se generan al disponer los residuos en el sistema de aprovechamiento energético. Aunque en el sistema de tratamiento de residuos también

se produce gases contaminantes, en términos netos, el valor final será muy inferior a lo que se emitiría en el relleno sanitario. Esto se evaluará más adelante.

Adicionalmente, se considera la mitigación de GEI por concepto de sustitución de generación eléctrica con biogás en lugar de otro combustible (por lo general de origen fósil). La cantidad de GEI que se lograría evitar por sustitución eléctrica asciende a 2 621 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, considerando el factor de emisión (0,3426 ton.CO<sub>2</sub>/MWh al año) del Sistema Nacional Interconectado ecuatoriano (Parra, 2015) y una generación eléctrica para venta de 7,65 GWh/año del proyecto en Loja.

Otro mecanismo para aumentar la mitigación de gases, y que se expuso en el anterior capítulo, es la sustitución de gas licuado de petróleo por la termoenergía obtenida de la planta de cogeneración. Este análisis no se desarrollará debido a que no es el objetivo de la presente investigación, pero hay que mencionarlo en vista que se debe exponer todas las ventajas de una planta de aprovechamiento energético mediante residuos.

El cálculo de mitigación de gases se centra en el flujo de residuos que se generan diariamente en Loja; y por lo tanto se deberá realizar un estudio adicional para la gestión de los residuos que actualmente ya se encuentran en el relleno sanitario.

De esta manera, la metodología para el cálculo de la emisión de GEI consiste en utilizar una medida estandar que agrupe los diferentes gases: esta unidad es el dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq). Para expresar la emisión de CH<sub>4</sub> en términos de CO<sub>2</sub> eq., se debe multiplicar la producción de metano por el potencial de calentamiento global (*global warming potential* –GWP-), el cual mide la cantidad de calor que puede atrapar un GEI en relación con el dióxido de carbono. En el caso del CH<sub>4</sub>, este factor es de 21 (Fenhann y Hinostroza, 2011).

Respecto a la emisión de GEI, en la digestión anaeróbica con la tecnología DRANCO, Karagiannidis (2008) determinó una emisión de 226 kg de CO<sub>2</sub> eq., por cada tonelada de residuo orgánico, lo cual equivale a una emisión de 10,76 kg de CH<sub>4</sub> por cada tonelada de residuo (kg CH<sub>4</sub>/ton).

Si estos residuos orgánicos se destinasen directamente al relleno sanitario, implicaría una mayor emisión de GEI en relación al aprovechamiento con biodigestión (Matthews y Themelis, 2007). La Agencia de Protección Medioambiental (EPA por sus

siglas en inglés), ha diseñado varias metodologías para el cálculo de producción de metano en un relleno sanitario (EPA, 1996).

Otras organizaciones internacionales como el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) han construido metodologías más robustas y que se suelen aplicar en gran cantidad de países alrededor del mundo. Respecto a esta última organización, en 1996 se publicó las “directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero”, la cual, en su módulo seis aborda todo el tema de “desperdicios”.

El IPCC ha facilitado la metodología para que los países puedan calcular la emisión del los GEI. Respecto al procedimiento de cálculo de emisiones de metano generado en rellenos sanitarios se ha establecido la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ (Gg/año)} = (\text{RSU} * \text{RSU}_F * \text{FCM} * \text{COD} * \text{COD}_F * F * 16/12 - R) * (1 - \text{OX})$$

Donde:

$\text{RSU}_T$  = total de residuos sólidos urbanos (RSU) generados

$\text{RSU}_F$  = fracción de los RSU eliminados en los vertedros de residuos sólidos

FCM = factor de corrección para el metano (fracción)

COD = carbono orgánico degradable (fracción)

$\text{COD}_F$  = fracción de carbono orgánico degradable asimilado

F = fracción de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero (el valor por defecto es 0,5)

R = CH<sub>4</sub> recuperado

OX = factor de oxidación (el valor por defecto es 0)

Asimismo, el IPCC ha definido una hoja de excel (en su página web) que automatiza la metodología de cálculo y la adapta a la realidad de cada país. En el anexo 1 se puede evidenciar los calculos obtenidos para el Municipio de Loja.

El modelo del IPCC, aplicado a Loja, muestra una producción de 55 kg CH<sub>4</sub>/ton que se dispone en el relleno sanitario. En la Tabla 11, se muestra la reducción de emisiones de GEI como resultado de la implementación de una planta de aprovechamiento de energía mediante el sistema de digestion anaeróbica.

**Tabla 11. Reducción de GEI Loja (kg)**

Variable	Disposición final	1 toneleda residuo		100 toneledas residuo día		36.500 toneledas residuo año	
		CH4	CO2 eq	CH4	CO2 eq	CH4	CO2 eq
Emisiones GEI	Relleno sanitario (a)	55	1 155	5 500	115 500	2 007 500	42 157 500
	Aprovechamiento energético <sup>6</sup> (b)	10,76	226	1 076	22 600	392 810	8 249 000
<b>Reducción de emisiones CH4 (a-b)</b>		<b>44,24</b>	<b>929</b>	<b>4 424</b>	<b>92 900</b>	<b>1 614 690</b>	<b>33 908 500</b>

Elaboración: Adrián Orbe

Se estima que al día, la planta de Loja pueda reducir la emisión en alrededor de 93 mil kg CO2 eq.; y que al año este valor ascendería a 34 millones de kg CO2 eq. Sumando esta cantidad de GEI más las mitigadas por concepto de desplazamiento de generación eléctrica del SNI, en un año se lograrían evitar la emisión de 36,5 mil toneladas de CO2 eq. Esta disminución de GEI equivale a lo que emitirían más de 7,7 mil vehículos en un año, considerando una emisión anual de 4,7 ton CO2/año para un vehículo estándar de acuerdo a la EPA (2014).

Esta cantidad estimada de vehículos representa el 50% del total de vehículos livianos (14 414) que circularon en la provincia de Loja en el 2014 (INEC, 2016). De esta manera, los beneficios ambientales, por el aprovechamiento energético de residuos, resultan significativos en relación a la actual gestión de Loja, donde gran parte de los residuos orgánicos se disponen sin tratamiento en el relleno sanitario.

#### **Análisis económico: digestión anaeróbica**

Como se ha demostrado, la implementación de una planta de generación de energía mediante el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos conlleva algunos beneficios para el Municipio de Loja: energía eléctrica y térmica para vender al mercado, reducción de emisiones de GEI, producción de compost para vender al sector agrícola, entre otros.

Sin embargo, un proyecto debe ser autosostenible, desde el punto de vista financiero, para que los hacedores de política pública puedan emprender este tipo de propuestas, ya sea mediante inversión privada o pública. Lo importante es demostrar

<sup>6</sup> 226 kg de CO2eq por tonelada de residuo que ingresa al digestor (Karagiannidis y Perkoulidis, 2008)

que un proyecto puede ser desarrollado tomando en consideración que este no resulte ser una carga financiera adicional para el municipio.

En este sentido, es necesario evaluar la viabilidad financiera del proyecto, para lo cual se deben cuantificar el monto de inversión y los flujos de ingresos y gastos a lo largo del proyecto. Al final, los indicadores financieros que mostrarán la viabilidad del proyecto son: el valor actual neto (VAN), que implica los flujos netos (ingresos menos gastos) traídos a valor presente; la tasa interna de retorno (TIR), la cual se refiere a la tasa de retorno que se conseguiría por invertir en el proyecto o, en términos técnicos, la tasa con la cual el VAN es cero; y el periodo de recuperación de la inversión (*payback*).

Si el VAN es mayor a cero, el proyecto es financieramente aceptable. En caso de ser igual a cero, el proyecto no genera ninguna ganancia; y si es menor a cero el proyecto debe rechazarse en vista que solo genera egresos, los cuales no pueden ser recuperados.

En el caso de la TIR, si esta es mayor que la tasa de interés de mercado el proyecto es aceptado, mientras que si es menor que la tasa de interés el proyecto no es viable. Para el desarrollo de flujo financiero se utiliza la tasa de interés activa referencial del Banco Central del Ecuador, que a diciembre del 2015 fue de 9,12% (BCE, 2015).

En lo que respecta al tercer indicador financiero, este muestra el tiempo en años, en los cuales un inversionista podrá recuperar los recursos implementados en un determinado proyecto. El objetivo es que el tiempo sea el más corto posible para que un inversionista se sienta incentivado en el desarrollo de un proyecto.

Bajo esta perspectiva es necesario evaluar cada uno de los componentes que alimentarán el modelo financiero del proyecto de generación de energía mediante residuos sólidos urbanos.

En vista que la elaboración del análisis financiero implica varias suposiciones: existencia del mercado de energía térmica, dificultad en el cálculo del valor real de la inversión en el Ecuador, y escasa información sobre el mercado de compost a nivel nacional; más adelante se elaboran varios escenarios que muestran resultados en diversos contextos.

### Inversión

De acuerdo a *Organic Waste System* (OWS) el nivel de inversión para una planta de digestión anaeróbica depende de la capacidad de toneladas al año que se fuese a procesar. Para el caso de Loja, se ha definido una planta con una capacidad de 50 mil toneladas de residuos orgánicos al año, la cual representa una inversión de USD 9,5 millones (ver Tabla 12). A pesar de que la producción actual de residuos orgánicos es de 36,5 mil toneladas al año, es necesario considerar el crecimiento poblacional del cantón, lo cual incide directamente en la producción de residuos y por ende se deberá implementar un planta con mayor capacidad.

**Tabla 12. Inversión por capacidad de procesamiento**

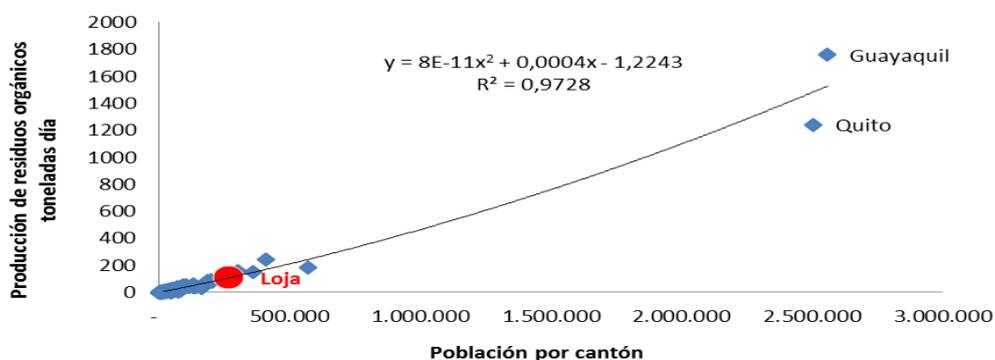
Capacidad toneladas procesadas año -tpa-	Costo de Inversión	
	Millones Euros	Millones dólares
20.000	6,6	7,5
30.000	7,3	8,2
40.000	7,8	8,8
50.000	8,4	9,5
75.000	13,4	15,1

Nota: Considera 1 Euro equivalente a USD 1,13

Fuente: OWS (2015)

El Gráfico 23 muestra la relación directa entre la cantidad de habitantes y la producción de residuos orgánicos de los 221 cantones del Ecuador. La línea de tendencia indica la ecuación polinómica de segundo orden con su coeficiente de determinación, el cual muestra un alto grado de relación entre las variables.

**Gráfico 23. Residuos y población**

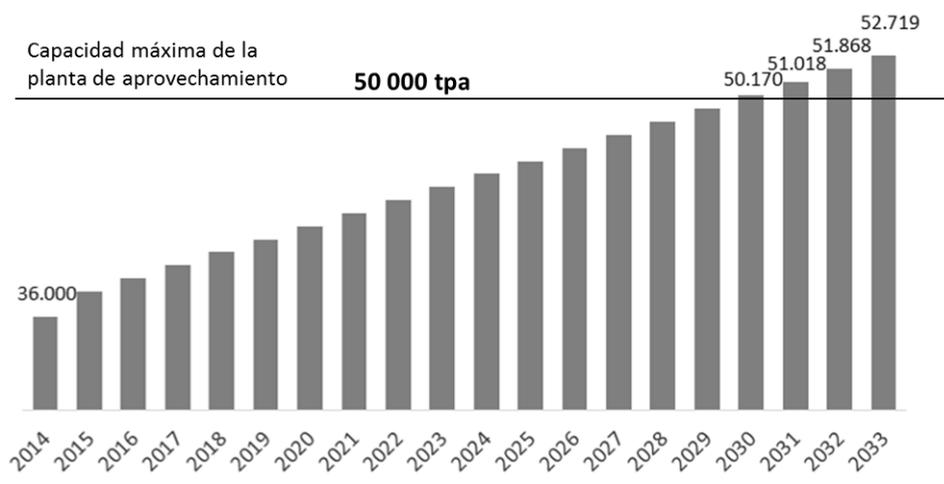


Fuente: PNGIDS

Bajo estas consideraciones, y usando la proyecciones poblacionales del INEC para el cantón Loja, se estimó la producción de los residuos orgánicos durante los próximos veinte años, que corresponde a la vida útil de la planta.

La producción de residuos orgánicos de Loja incrementará de 36 500 a 52 719 toneladas durante el periodo de análisis (ver Gráfico 24). En este sentido, se sostiene la propuesta de implementación de una planta de 50 mil toneladas de capacidad al año con una inversión de USD 9,5 millones. El diferencial existente en los últimos cuatro años, donde la producción anual de residuos orgánicos supera la capacidad de la planta, será considerado como residuos que serán dispuestos al relleno sanitario.

**Gráfico 24. Prospectiva de producción de residuos (toneladas)**



Los montos de inversión mostrados con anterioridad son los estimados para un proyecto que se vaya a desarrollar en Europa. En este sentido, y al desconocer la inversión requerida en Ecuador (que incluye transporte de Europa a América, poliza de seguro, entre otros) se planteará más adelante un escenario donde se modele el monto máximo al que puede ascender la inversión inicial para que el proyecto sea viable.

Pese a desconocer el valor adicional por seguro, transporte y otros, se ha revisado las cifras del Banco Central del Ecuador sobre la importación de generadores eléctricos procedentes de Alemania<sup>7</sup>, de donde es la tecnología. Al 2015, el diferencial entre el valor del seguro y flete CIF (*cost, insurance and freight*) y el valor libre a bordo

<sup>7</sup> Partida NANDINA 8501313: generadores de corriente continua.

FOB (*free on board*) es de siete por ciento (BCE 2016): lo que significa que en este proyecto el valor de la inversión, incluido seguro y flete, podría llegar hasta USD 10,2 millones.

Asimismo, algunos valores adicionales como el despliegue de infraestructura para transferencia térmica no se ha podido determinar. Por lo que este punto se abordará también en el escenario donde se visualiza el monto máximo de inversión que puede soportar el proyecto y que será desarrollado más adelante.

Se debe acotar, que aunque algunos rubros son desconocidos, existe la factibilidad de que determinados componentes sean comprados a la industria nacional, como es el caso de tanques “biodigestor” y tuberías dada la experiencia que cuenta el país con el sector hidrocarburífero.

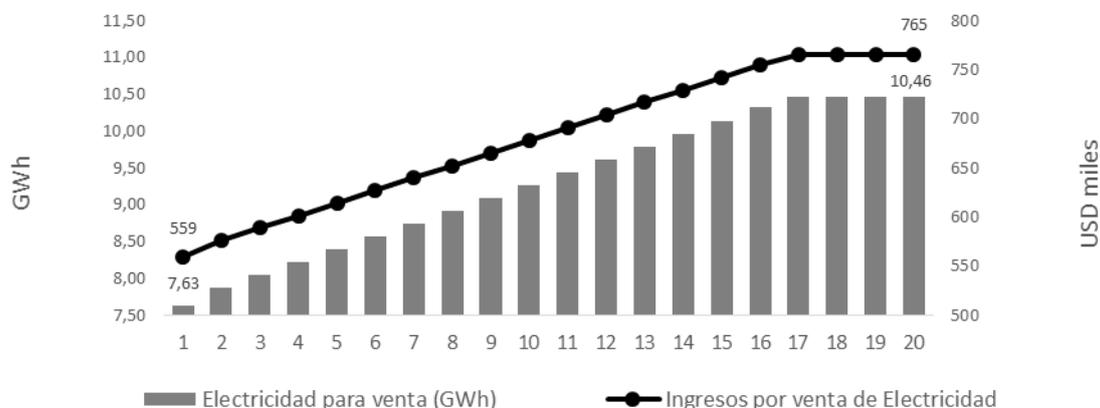
### *Ingresos*

Para el flujo de ingresos se consideran los valores correspondientes por la venta de electricidad, de energía térmica, de compost y adicionalmente se considera los ingresos por venta de bonos de carbono. Estos valores han sido proyectados utilizando el flujo de producción de residuos orgánicos, mostrados anteriormente (Gráfico 24), lo cual ingresará al biodigestor y por lo tanto incrementará la cantidad de biogás, de energía (calor y electricidad) y de compost.

En lo que refiere a los ingresos por concepto de venta de electricidad se utiliza la tarifa establecida por la ARCONEL para este proyecto (7,32 ctvs/kWh). En el Gráfico 25, se muestra el incremento en la venta de electricidad, donde los ingresos por concepto de esta venta aumentan de USD 559 mil, en el año de inicio, a USD 765 mil en el último año de vida de la planta.

La normativa de regulación establece “despacho preferencial” de la electricidad que se genere con energía renovable no convencional; y por lo tanto se asegura la existencia total de este flujo de ingresos.

**Gráfico 25. Ingresos por venta de electricidad**



**Fuente:** Adrián Orbe

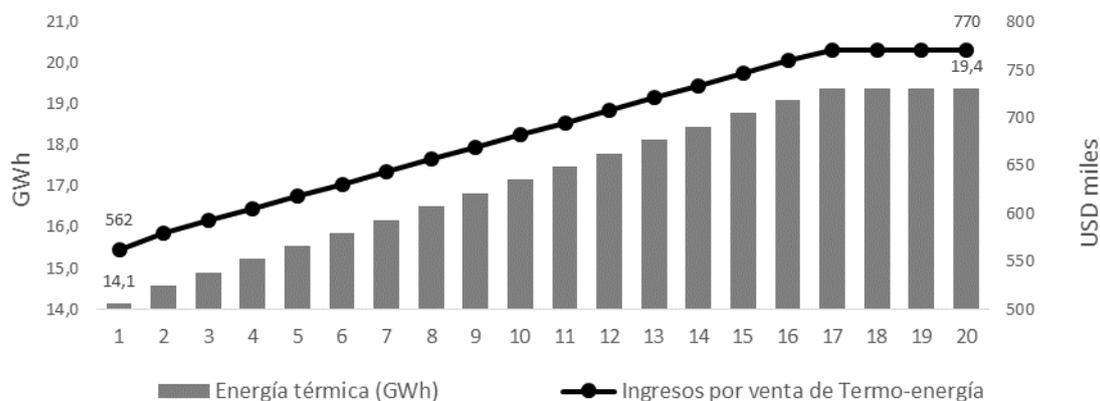
Respecto a los ingresos de energía térmica, y al no existir un mercado interno establecido de esta energía, se ha considerado la cantidad de kg de GLP que se logra desplazar de los sectores agrícola e industrial valorados a un precio de venta en terminal para sector industrial de 50 ctvs., de acuerdo a lo establecido por Petroecuador (2015). Este es un supuesto que sobrevalora los ingresos que se percibirían, pero que resulta de utilidad en vista de la indisponibilidad de información.

Posteriormente, se analizarán escenarios en los cuales unos cuenten con la venta de termo-energía y los otros que no lo considere. Esto debido a que generar la infraestructura desde la ubicación de la planta de digestión anaeróbica, hasta el lugar donde están las industrias, resulta en costos adicionales, los cuales no han podido ser valorados.

Esta decisión de incorporar y no los ingresos por venta de termo energía permiten definir el grado afectación en la viabilidad financiera del proyecto. Aunque sea factible construir centrales de menor capacidad en las industrias más intensivas en calor y que esto resulte en un porcentaje factible de venta de energía térmica se ha planteado escenarios extremos: con y sin venta total.

En el caso de poder comercializar la totalidad de energía térmica, los ingresos por concepto de su venta incrementarían de USD 562 mil en el primer año de operación hasta USD 770 mil en el último año de operación (ver Gráfico 26). Si no se llegase a vender esta energía, se considerará a la misma como energía no aprovechada y por ende no se registrarán ingresos.

**Gráfico 26. Ingresos por venta de termo-energía**



Fuente: Adrián Orbe

Para la venta de compost, de acuerdo a la información recopilada, el municipio vende a USD 5 cada saco de 30 kg de compost (Municipio de Loja, 2016). Bajo esta consideración, los ingresos que percibiría el Municipio de Loja, por la venta de compost, aumentarían de USD 1,58 millones en el primer año de operación a USD 2,16 millones en el último año de operación (Gráfico 27); esto considerando una producción de 260 kg/ton de residuo que ingresa al sistema de aprovechamiento energético.

Este es el principal rubro de ingresos que registraría el proyecto, el cual es tres veces mayor a los ingresos que se obtendrían por la venta de electricidad o de energía térmica. Sin embargo, asumir que el municipio venderá la totalidad de compost, desconociendo el actual mercado, es una suposición significativa del proyecto. En este sentido se planteará un escenario en el cual se establezca la cantidad mínima de compost que el municipio deberá vender para que el proyecto sea factible.

A pesar de desconocer la cantidad real de compost que se vendería, se debe establecer programas en conjunto con el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) para distribuir esta producción a nivel nacional y fomentar la producción local.

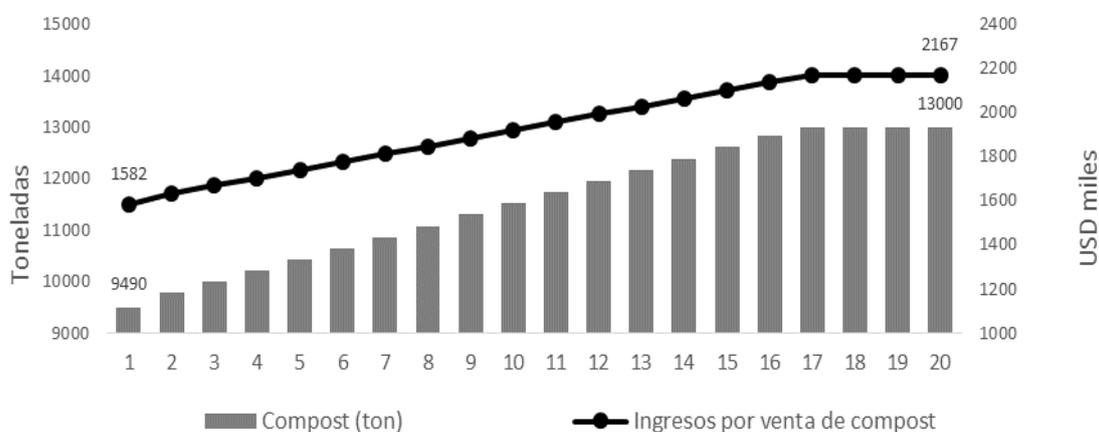
En la actualidad existe gran cantidad de fertilizantes que son importados<sup>8</sup> al Ecuador: 728 mil toneladas en el 2015 (BCE, 2016). En este contexto, el compost producido en el primer año de operación de la planta de digestión (9 490 toneladas) podría suplir el 1,3% de los fertilizantes importados.

<sup>8</sup> Partida NANDINA 3101

Asimismo, esta política tiene beneficios macroeconómicos para el país, en vista que la importación de abonos significa salida de divisas. En el 2015, esta importación se valoró en USD 332,9 millones (USD 0,65 millones en abonos orgánicos y USD 332,3 en abonos químicos) (BCE, 2016).

Por otra parte, es necesario considerar que aunque existe la posibilidad de sustitución de importación de abonos, se deberá analizar las ventajas y desventajas de los abonos orgánicos respecto a los inorgánicos, en vista que estos últimos son los que mayormente se importan. Este es un tema que se deberá analizar en otra instancia.

**Gráfico 27. Ingresos por venta de compost**



Fuente: Adrián Orbe

Respecto a los ingresos que se lograrían obtener en el mercado de carbono por parte del proceso MDL estos pasarían de USD 252 mil en el primer año a USD 345 mil en el último año de operación de la planta<sup>9</sup>. Asimismo, en el primer año se lograría evitar la emisión de 36,5 mil toneladas de CO<sub>2</sub>, mientras que en el último año se evitarían 50 mil toneladas de CO<sub>2</sub>.

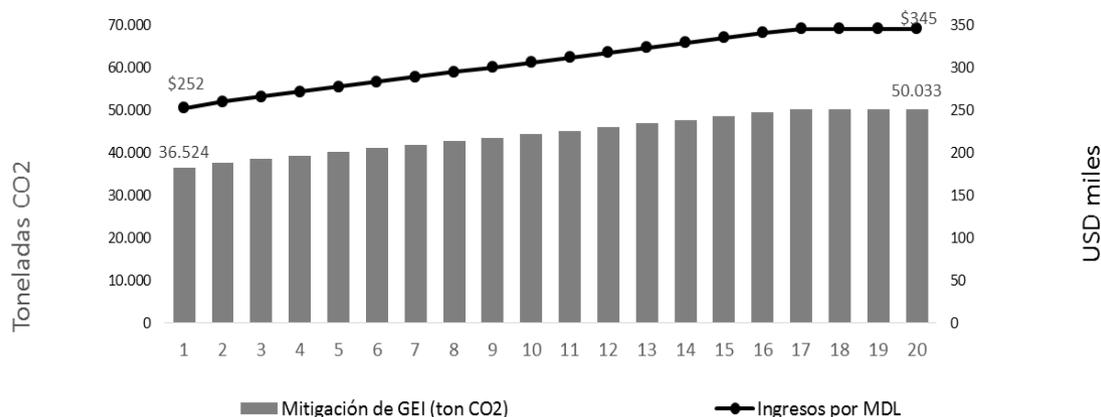
Este rubro será utilizado en uno de los escenarios planteados del análisis financieros debido a que no es garantía que un proyecto que se postule a MDL consiga financiamiento y porque el rubro representa apenas el 9% del total de ingresos. Además, en un análisis financiero se deben considerar los escenarios más pesimistas y esto es que

<sup>9</sup> Se consideró el precio de mercado de USD 6,9 por toneladas de CO<sub>2</sub> mitigado (6,11 Euros con un tipo de cambio de USD 1,13 por euro) de acuerdo a lo que reporta bloomberg.

el proyecto no sea financiado por MDL: no obstante se incluye la información para conocimiento público.

Si en los escenarios se obtienen resultados financieros favorables sin considerar los ingresos por MDL, por defecto se entiende que al incluirlos simplemente se obtendrá un mayor apalancamiento al proyecto.

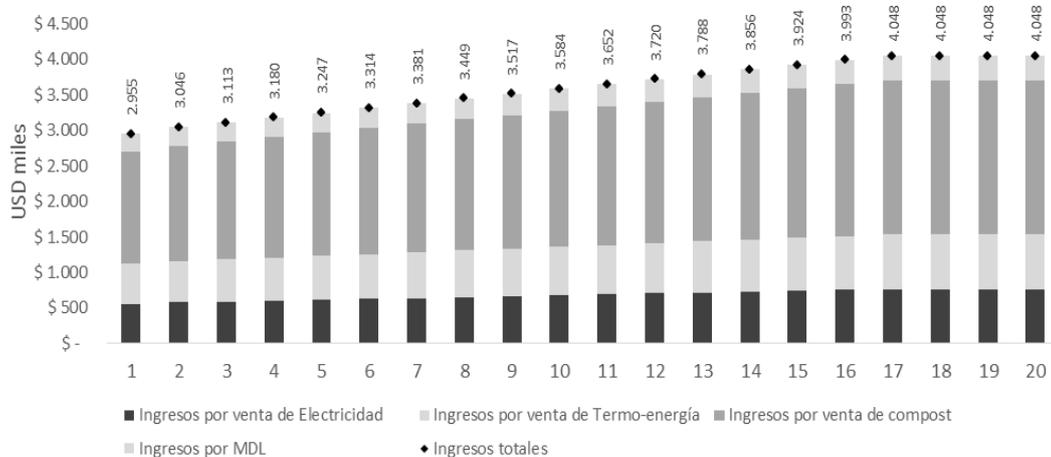
**Gráfico 28. Ingresos por MDL**



Fuente: Adrián Orbe

De esta manera, sumando los cuatro rubros de ingresos que tendría el Municipio de Loja, los recursos por su venta aumentarían de USD 2,9 millones en el primer año de funcionamiento de la planta hasta USD 4 millones en el último año en el que operaría el sistema de digestión anaeróbica (Gráfico 29).

**Gráfico 29. Ingresos totales**



Fuente: Adrián Orbe

## Gastos

Para el rubro de gastos se considera el valor proporcionado por OWS (2015) respecto a los costos de operación (OPEX) (Tabla 13). Este valor considera los sueldos del personal que administraría y daría mantenimiento a la planta; adicionalmente incluye el costo del consumo propio de energía eléctrica. El valor que no está incluido es la depreciación de la maquinaria la cual se refiere a temas contables.

**Tabla 13. Costos de operación –OPEX-**

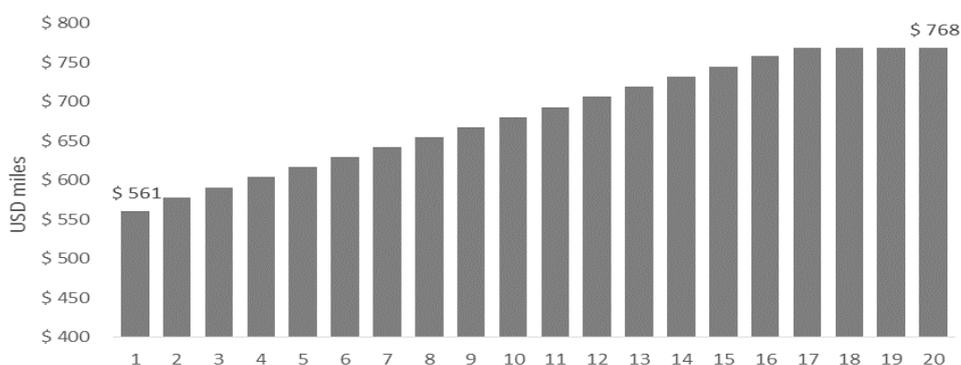
Capacidad (toneladas procesadas año -tpa-)	Costo de Operación	
	Euros por tonelada	Dólares por tonelada
10 000 tpa	30,9	34,9
20 000 tpa	20,3	22,9
30 000 tpa	16,2	18,3
40 000 tpa	15,3	17,3
50 000 tpa	13,6	15,4
75 000 tpa	14,3	16,2
1 000 000 tpa	12,6	14,2

Nota: Considera 1 Euro equivalente a USD 1,13

Fuente: OWS (2015)

De esta manera, los costos de operación para la planta de 50 mil toneladas año serían de USD 15,4 por cada tonelada que ingresaría al biodigestor. Respecto al gasto anual en operación, este incrementa de USD 561 mil en el primer año de operación hasta USD 768 mil en el último año en el que la planta operaría.

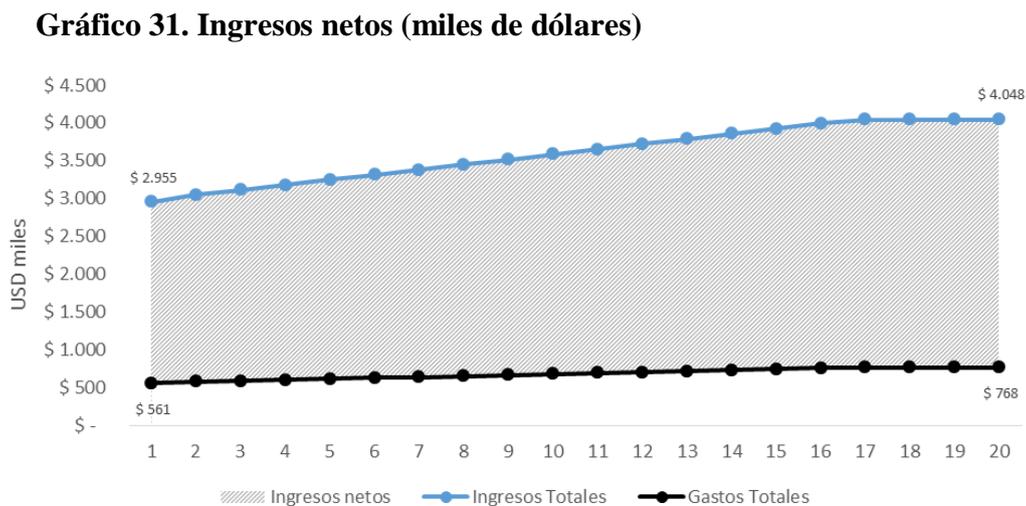
**Gráfico 30. Gastos totales**



Fuente: Adrián Orbe

### *Ingresos netos*

El flujo de ingresos netos (ingresos menos gastos) se muestra en el Gráfico 31. De acuerdo a la modelación realizada, los valores de este rubro serían de USD 2,4 millones en el primer año de operación, y alcanzaría a USD 3,3 millones en el último de operación de la planta



**Fuente:** Adrián Orbe

### *Viabilidad financiera*

Para la factibilidad económica se han realizado varios escenarios. Algunos incluyen los ingresos por venta de energía térmica, en el cual se asume la existencia de infraestructura para la transferencia de energía, y un precio de venta equivalente, en términos energéticos, al del GLP que se logra desplazar. Otros escenarios consideran que la infraestructura no existe y por lo tanto esta energía térmica no es aprovechada.

Asimismo, unos incluyen el monto máximo de inversión que se podría realizar, así como la mínima cantidad de compost que el municipio debería vender para conseguir que el proyecto sea viable.

En la Tabla 14 se muestra la evaluación financiera del proyecto medido a través de tres indicadores financieros: el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación (payback).

**Tabla 14. Indicadores financieros**

Nro.	Escenario	Indicador	Valor máximo	Valor promedio	Valor mínimo
1	1. Venta total de termo energía y de compost 2. Ingresos por mercado de carbono 3. Inversión inicial = USD 9,5 millones	VAN (USD miles)	\$ 16.142	\$ 15.591	\$ 15.074
		TIR	27,7%	27,1%	26,6%
		Payback (años)	3,74	3,82	3,90
2	1. Venta total de compost 2. Sin venta de termo energía 3. Inversión inicial = USD 9,5 millones	VAN (USD miles)	\$ 7.602	\$ 7.051	\$ 6.534
		TIR	18,5%	17,9%	17,3%
		Payback (años)	5,51	5,67	5,85
3	1. Venta total de termo energía 2. Venta mínima de compost = 22% del total 3. Inversión inicial = USD 9,5 millones	VAN (USD miles)	\$ 564	\$ 14	\$ -502
		TIR	9,9%	9,1%	8,4%
		Payback (años)	9,02	9,48	9,99
4	1. Sin venta de termo energía 2. Venta mínima de compost = 58% del total 3. Inversión inicial = USD 9,5 millones	VAN (USD miles)	\$ 640	\$ 90	\$ -426
		TIR	10,0%	9,2%	8,5%
		Payback (años)	8,96	9,41	9,91
5	1. Venta total de termo energía y de compost 2. Inversión máxima inicial = USD 22,42 millones	VAN (USD miles)	\$ 572	\$ 22	\$ -495
		TIR	9,5%	9,1%	8,8%
		Payback (años)	9,28	9,48	9,69
6	1. Sin venta de termo energía 2. Venta total de compost 3. Inversión máxima inicial = USD 16,53 millones	VAN (USD miles)	\$ 571	\$ 21	\$ -495
		TIR	9,6%	9,1%	8,7%
		Payback (años)	9,21	9,48	9,77
7	1. Sin venta de termo energía 2. Sin venta de compost 3. Inversión inicial = USD 9,5 millones	VAN (USD miles)	\$ -8.972	\$ -9.522	\$ -10.039
		TIR	-13,4%	N/A	N/A
		Payback (años)	N/A	N/A	N/A

Fuente: Adrián Orbe

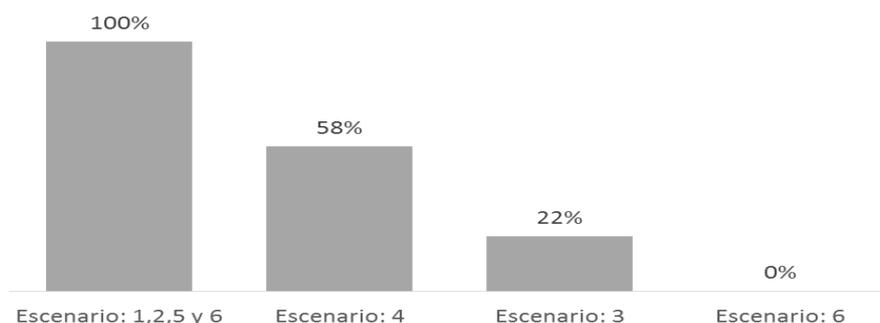
En seis de los siete escenarios planteados, resulta viable la construcción de una planta de aprovechamiento energético de residuos orgánicos (VAN positivo, TIR mayor a la tasa de interés y tiempo de recuperación en pocos años). El último escenario, que resulta ser el más pesimista, donde se vende únicamente electricidad, no es posible conseguir la factibilidad financiera; y por ende la necesidad de que el municipio haga el esfuerzo por relacionar el proyecto con otros sectores (venta de compost y de termo energía).

En los primeros seis escenarios, la factibilidad resulta bajo diversas circunstancias: con o sin venta de termo energía, con o sin venta de la totalidad del compost producido, y con el monto máximo de inversión que puede soportar el proyecto considerando las opciones mencionadas anteriormente.

El porcentaje que se debe vender del total de compost producido, en los diferentes escenarios, se muestra en el Gráfico 32. Para los escenarios uno, dos, cinco y seis la venta del compost debe ser el 100% de la producción. En el escenario cuatro la venta de compost representa el 58% de la producción, mientras que para el escenario tres la venta deberá ser del 22%. En el caso del escenario siete no se considera la venta de compost.

Se ha planteado diferentes escenarios de venta de compost; sin embargo se ha planteado como política pública, el estudiar en otras instancias, posibles convenios con el MAGAP para garantizar la venta total del compost y que esta sustituya un porcentaje de la importación de fertilizantes.

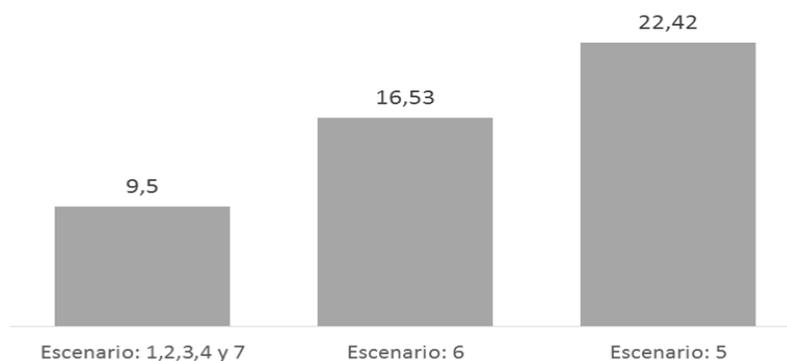
**Gráfico 32. Porcentaje de venta de compost por escenarios**



**Fuente:** Adrián Orbe

Respecto a los valores de inversión inicial, requeridos en cada escenario. El Gráfico 33 muestra los tres niveles establecidos en las diferentes consideraciones.

**Gráfico 33. Inversión inicial por escenarios**



**Fuente:** Adrián Orbe

En el caso de los escenarios uno, dos, tres, cuatro y siete el monto de inversión requerido es de USD 9,5 millones, el cual no asume los costos de traslado y seguro de la infraestructura desde Europa hacia el Ecuador. En los escenarios cinco y seis, el supuesto de no considerar los valores de transporte y seguro puede ser abordado y cubierto fácilmente y garantizar la viabilidad del proyecto.

Recordemos que se mencionó que el diferencial de los montos de importación CIF y FOB difieren en 7% y que se estimaba que el monto máximo de inversión, de la infraestructura puesta en Ecuador, ascendía a USD 10,2 millones. De esta forma, los USD 22,42 millones y los USD 16,53 millones establecidos en los escenarios cinco y seis respectivamente, dan la suficiente holgura para que el margen adicional de importación pueda ser cubierto fácilmente y garantice la viabilidad del proyecto.

A pesar de mostrar buenos resultados, es necesario puntualizar que la venta de compost tiene un peso muy considerable y que el municipio debe construir una estrategia para que la totalidad de la producción se vendida. En este sentido, el municipio deberá analizar el mercado de compost para saber si realmente podrá vender todo lo generado y realizar acercamientos con el MAGAP para un posible apalancamiento.

De igual manera sucede con la termo-energía. Resulta difícil conocer la viabilidad de vender esta energía a los sectores industriales, en lugar de que estos se abastezcan de GLP para cubrir sus procesos térmicos. No obstante, se deberá estudiar la ubicación de la planta priorizando la cercanía a las industrias intensivas en calor.

Una posible estrategia es la de crear centrales de aprovechamiento energético de menor capacidad en las industrias intensivas en calor: empresas de textiles y cueros, bebidas, alimentos y cárnicos, cerámica, entre otras.

De igual manera, al desconocer montos de inversión para el despliegue de infraestructura de transferencia de calor desde el sistema de cogeneración hasta una industria específica, queda el margen de inversión mostrado anteriormente (escenarios cinco y seis) para que absorba estos valores indefinidos y garantizar la viabilidad del proyecto.

Pese a tener incertidumbre sobre algunas decisiones del proyecto, puede haber otros mecanismos que podrían contrarrestar la no venta de compost o de termo energía: uno de estos es el mercado de carbono. El municipio podría proponer, ante el Ministerio

del Ambiente, la participación como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio para garantizar la obtención de recursos y canalizar la factibilidad del proyecto.

Otro mecanismo, aunque no el más adecuado, se refiere a que el municipio o el gobierno central absorban la totalidad de la inversión, y que se evalúe únicamente el flujo de ingresos y gastos. Esto comúnmente suele pasar con algunos proyectos públicos para viabilizar la construcción de los mismos. El sustento más fuerte sería que, aunque sea difícil el sostenimiento de una planta de aprovechamiento energético de residuos orgánicos, los beneficios ambientales y sociales pueden ser mayores que los recursos económicos que se podría obtener por el proyecto.

Bajo cualquier contexto, hay que realzar la importancia y el cambio de paradigma que conlleva el desarrollo de un proyecto como estos en vista que en el país aún no se le ha dado la debida importancia. La participación de la ciudadanía en conjunto con los gobiernos seccionales y el central debe empezar a consolidarse para que proyectos como el planteado sean promovidos.

## CONCLUSIONES

Estudiar la utilidad de los residuos, dentro de los procesos económicos, implica analizar el enfoque que han tenido varias escuelas económicas al respecto de estos: los desarrollos teóricos de algunas escuelas excluyen a los residuos dentro de sus análisis, mientras que otras les dan una importancia considerable dentro de sus respectivos modelos económicos.

La visión económica tradicional, en la que se enmarca la escuela clásica y neoclásica, no incluyó en sus desarrollos teóricos el tema de residuos. En el modelo de flujo circular del ingreso, se muestra el intercambio de bienes y servicios entre familias y empresas desde un enfoque crematístico, el cual se inscribe en un sistema cerrado. Este modelo consideró al medioambiente, únicamente, como un factor que suministra insumos primarios a los procesos económicos.

La economía ambiental, la cual se desarrolla dentro de la escuela neoclásica, incluyó la temática medioambiental. Su aporte fue la contabilización monetaria del impacto de los residuos en el sistema ambiental, generado esencialmente por la contaminación que estos causan.

Los desarrollos teóricos planteados posteriormente por la economía ecológica cambiaron la concepción del modelo de flujo circular, considerando la economía como un sistema abierto que se relaciona directamente con el medioambiente. Este nuevo planteamiento integró al medioambiente y lo definió como aquel que proporciona los insumos a la economía y se encarga a la vez de absorber los residuos generados por la misma.

Los análisis de la economía ecológica incluyeron aportes de la ecología industrial; específicamente lo que se aborda dentro del concepto de metabolismo socio-económico: donde la economía se desenvuelve dentro de flujos de energía y materiales.

Más desarrollos teóricos de la economía ecológica plantearon otros enfoques, como el de la economía circular, el cual considera que los residuos tienen el potencial suficiente como para formar parte nuevamente del ciclo económico. En este sentido, el medioambiente solo recibirá aquellos residuos que no pueden llegar a ser parte del sistema económico.

Bajo este desarrollo teórico, que corresponde a uno de los objetivos específicos de la presente investigación, se sustentó que los residuos tienen una utilidad que dar al sistema económico.

Respecto a la elección del Municipio de Loja como caso de estudio, se ha considerado sus reconocimientos, nacionales e internacionales, respecto a su gestión integral de residuos. La principal razón de haber escogido a esta ciudad se debe a que es la única que incluye a toda la ciudadanía en el proceso de separación de residuos, orgánicos e inorgánicos, en cada uno de los hogares.

Esta cualidad es de gran importancia, dado que tener un proceso adicional de separación de residuos, que incluya maquinaria y personal, implica costos que elevan la cantidad de inversión inicial, y por ende puede afectar la factibilidad financiera del proyecto.

En este contexto, y gracias a la aplicación tecnológica de aprovechamiento energético de residuos que existe alrededor del mundo, se ha podido analizar el objetivo general y responder a la principal pregunta de investigación de la presente tesis: "...es viable desde el punto de vista legal, social, ambiental y económico".

Se ha demostrado que las condiciones legales, ambientales, económicas y en parte las sociales son adecuadas para la implementación de un proyecto con el planteado. La posible barrera que ha limitado el desarrollo se encuentra dentro de la parte social e institucional. El nivel de inversión que se requiere conlleva el compromiso del Municipio para que se destine presupuesto a su desarrollo.

El entorno económico actual, que ha limitado el presupuesto de los Gobiernos Descentralizados, puede ser una variable que detenga al proyecto. A esto se suma que, el proyecto entra en competencia con otros del municipio (alcantarillado, vías, educación, etc.) reduciendo su prioridad como para destinar recursos.

Pasando al análisis técnico, el cálculo energético fue obtenido al analizar determinadas características de los residuos orgánicos del Municipio de Loja: el nivel de sólidos totales, que representa el peso de los residuos secos; el nivel de sólidos volátiles, que es la cantidad de residuos que se convierten en gas; y el factor de eficiencia de sus residuos para generar energía.

Para la contabilización del potencial energético se evaluaron las formas de obtención de energía (térmicas y bio-químicas) y las tecnologías existentes en el

mercado. Se eligió el sistema de digestión anaeróbica, que corresponde a un proceso bio-químico, debido a que está alineada con las directrices emitidas por el Ministerio del Ambiente, las cuales priorizan la obtención de metano, mediante biogás, para generación energética.

La tecnología con que se obtuvo el potencial energético fue Dranco. Esta decisión se basó en un estudio multi-criterio de diversas tecnologías, donde Dranco posee ventaja en generación de energía y en costos de operación. A pesar de que esta tecnología es la segunda que más emisiones de gases de efecto invernadero emite, se ha demostrado que existen mecanismos que contrarrestan estas emisiones, y que en términos netos, el proyecto logra mitigar emisiones: reducción de gases en rellenos sanitarios, mitigación de gases por concepto de sustitución de generación eléctrica con biogás en lugar de otro combustible fósil, y reducción de gases por desplazamiento de gas licuado de petróleo (GLP) en los sectores industriales.

En el marco de lo establecido por Naciones Unidas, a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), se ha evidenciado que actualmente existen proyectos similares que han aplicado a los beneficios económicos para desarrollar proyectos de aprovechamiento energético mediante residuos.

En Ecuador algunos proyectos de captura de biogás de rellenos sanitarios han sido postulados en MDL: El Inga, que entró en operación a inicios del 2016; Pichacay que se espera ingrese en este año; y el de Zámbriza que no ha logrado desarrollarse por algunos factores regulatorios.

Aunque el sistema planteado corresponde a los residuos que se van generando en la ciudad, más no a los que ya están dispuestos en el relleno sanitario, la visión de fondo es la misma: uso de residuos para generación energética y gestión para la minimización de impacto en rellenos sanitarios.

Para el desarrollo del estudio se plantearon algunos supuestos, los cuales se deberán estudiar a mayor profundidad en otras instancias. Se ha asumido la inversión de la maquinaria colocada en Europa, excluyendo por dificultad de valoración, los costos de importación de la maquinaria, esto es, los costos de transporte, seguro e impuestos.

Sin embargo, para este supuesto se ha analizado el diferencial del costo de importación CIF (seguro y flete) respecto al FOB (libre a bordo) de la partida de

generadores eléctricos provenientes de Alemania, y se ha evidenciado que el monto de inversión en Ecuador podría incrementar en 7%.

En lo que respecta al mercado de compost, se ha asumido la venta de la totalidad o del mínimo requerido para garantizar la factibilidad del proyecto. Se ha planteado como posible alternativa, para lograr la venta total de compost, la suscripción de un convenio con el Ministerio de Agricultura para que se pueda distribuir la producción de compost.

Esta política conlleva algunos beneficios macroeconómicos para el país: sustitución de importación de fertilizantes evitando la salida de divisas, que ascendieron a USD 333 millones en el 2015, y que afectan a la economía dolarizada del Ecuador.

Para la energía térmica, se ha asumido la existencia de infraestructura para el transporte de esta energía hacia la zona industrial. Este supuesto es poco realista, en vista que un sistema de cogeneración se debe ubicar, de preferencia, dentro de las mismas instalaciones de una industria, como es el caso de las plantas de cogeneración en la industria azucarera del país.

A pesar de lo fuerte que resulta el supuesto, se ha planteado como alternativa que deberá estudiarse en otra instancia, la creación de centrales de co-generación de menor capacidad en las industrias que se determinen más intensivas en calor. Esta decisión puede incurrir en menores rendimientos debido a que una planta de gran magnitud puede abaratar los costos y maximizar la generación de energía.

Referente al precio de venta de termo energía, se planteó una valoración económica en relación al gas licuado de petróleo (GLP) que lograrse desplazar de los sectores agrícola e industrial, los cuales compran este combustible, a un precio de cincuenta centavos por kilogramo, para sus procesos térmicos. De esta comparación se determinó que, por cada GWh de termo energía existe 78,8 mil kg de GLP contenidos.

En este contexto los resultados obtenidos se detallan a continuación. La energía obtenida de los residuos orgánicos de Loja muestra una producción anual de 28,3 GWh. De esta cantidad de energía, el 50% se convierte en energía térmica, el 30% en energía eléctrica, y el 20% restante en pérdidas energéticas que resultan del propio proceso de conversión y que se lograrán disminuir si existiese un proceso de mejora tecnológica e innovación.

En lo que concierne a la energía eléctrica, el 10% de su producción corresponde a energía que se auto consume por la propia planta de digestión anaeróbica. El 90% restante, es la electricidad que se dispone para el mercado eléctrico y cuya venta es garantizada gracias al despacho preferencial que es establecido en la regulación emitida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL).

Con la electricidad disponible para venta, se lograría cubrir el consumo de 4,9 mil hogares de la ciudad de Loja, que corresponde al 9% del total de hogares del cantón durante un año.

Considerando que la producción de residuos se relaciona directamente con el crecimiento poblacional, y basándose en las proyecciones poblacionales de Loja, se estima la construcción de una planta con una capacidad de 50 mil toneladas de residuos al año. Esta capacidad es mayor a la cantidad que actualmente Loja produce (36,5 mil toneladas año) debido a que incluye una visión de largo plazo donde se valora el crecimiento de la generación de residuos.

Bajo este contexto, se ha realizado la modelación de los beneficios ambientales del proyecto, así como el análisis económico que muestra la factibilidad del proyecto.

Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), si en Loja se llegase a implementar un sistema de aprovechamiento energético de residuos orgánicos, en lugar de disponerlos en el relleno sanitario (donde se disponen actualmente la mayoría de residuos), las emisiones de GEI evitadas superarían las 33 mil toneladas de dióxido de carbono equivalentes (kg CO<sub>2</sub> eq), en el primer año de operación.

Al incluir la mitigación de GEI, utilizando el factor de emisión eléctrico del sistema nacional interconectado (SNI), las emisiones evitadas ascenderían a 36,5 mil toneladas CO<sub>2</sub> eq. Este valor se compara a la emisión de 7,7 mil vehículos que circulan en un año: 50% del total del parque automotor (vehículos livianos) matriculado en toda la Provincia de Loja en el año 2014.

De esta manera, el proyecto si logra mitigar emisiones GEI por lo que se confirma una de las hipótesis planteadas en la tesis, donde el eje ambiental del proyecto apalanca la viabilidad del proyecto.

La producción de compost es más de 9 mil toneladas al año, lo cual implica ingresos para Loja por una cantidad de USD 1,6 millones para el primer año de

operación. Este es el principal rubro de ingreso para el proyecto: tres veces más de los ingresos por concepto de venta de electricidad o de energía térmica.

Para la viabilidad financiera, se han analizado tres indicadores: el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión. Se construyeron siete escenarios. Seis de estos escenarios muestran los niveles máximos de inversión inicial, considerando hasta cuánto podría soportar el proyecto si se desconocen costos de transporte, seguro e impuestos; al igual que costos de despliegue de infraestructura para transferencia de calor. De la misma forma, se plantea niveles mínimos de venta de compost y de termo energía para garantizar la factibilidad del proyecto.

Respecto al nivel de inversión inicial, algunos escenarios contemplan montos máximos de USD 9,5 (no incluye costos de seguro y transporte y despliegue de infraestructura), USD 16,53 y USD 22,42 millones. En lo que se refieren a la venta de compost, el porcentaje mínimo que se debería vender del total producido, para conseguir la factibilidad de proyecto, varía entre 0%, 22%, 58% y 100% dependiendo del escenario. Para energía térmica, se ha modelado dos opciones para los escenarios: con o sin venta de termo energía.

El séptimo escenario, muestra el peor estado del proyecto, donde el único ingreso percibido se refiere a la venta de electricidad. Bajo este último, no resulta viable la implementación de una planta de aprovechamiento energético.

La idea de no considerar la venta de energía térmica se basa en que, una planta de cogeneración por lo general debe estar ubicada dentro de la misma industria que requiere energía térmica; y al momento se desconoce si habría una industria que absorba la totalidad de esta energía; por lo tanto queda abierta la línea de investigación para futuros estudios.

Asumiendo que se viabiliza la venta total de energía térmica, se lograría suplir el 79% del consumo de GLP de los sectores agrícola e industrial de Loja en un año. Es así que se concibe una nueva forma de desarrollo económico, donde se utiliza fuentes de energía renovables en lugar de combustibles fósiles: algo que ha sido planteado como hipótesis de este documento, donde los beneficios ambientales pueden ser atractivos para el desarrollo de este tipo de proyectos.

A pesar de existir un considerable potencial energético, y beneficios ambientales y económicos, este tipo de proyectos no han podido ser desarrollados debido a distorsiones que ha causado la ARCONEL. Esta afirmación responde a una de las hipótesis de la presente tesis.

La primera regulación, emitida por la ARCONEL en el año 2012, había establecido incentivos tarifarios a las energías renovables no convencionales por encima de los precios promedios de venta de electricidad del mercado. En esta regulación, se fijó el precio de venta de energía eléctrica fotovoltaica en 40 ctvs./kWh, lo que representaba un mayor beneficio en comparación con la tecnología de biogás, cuyo precio de venta se fijó entre 9 y 11 ctv./kWh; es decir, la energía fotovoltaica representaba un margen de ganancia 30 ctvs./kWh más que la de biogás.

Adicionalmente, la inversión inicial requerida de paneles fotovoltaicos es menor que la de digestión anaeróbica; por lo cual esta distorsión inclinó el desarrollo de energético hacia la tecnología fotovoltaica. Esto se evidencia en lo sucedido entre 2012 y 2014, donde la capacidad instalada de energía fotovoltaica incrementó en 338 veces.

Además, el tiempo de vigencia de los convenios, establecía una temporalidad de beneficios de quince años (en despacho y tarifa preferente) de acuerdo a la regulación, lo cual significó otro factor normativo totalmente beneficioso para proyectos fotovoltaicos.

La actual regulación, elimina parcialmente esta distorsión. Los proyectos que poseen únicamente incentivos tarifarios son los de biomasa, biogás e hidroeléctricas de menor capacidad. Sin embargo aquellos proyectos fotovoltaicos que entraron en operación durante la vigencia de la regulación del 2012 no fueron recategorizados y siguen manteniendo sus beneficios.

En este sentido, la eliminación de beneficios a nuevos sistemas fotovoltaicos da paso al estudio y desarrollo de nuevas tecnologías con fuentes renovables no convencionales en el Ecuador.

Se debe puntualizar, que a pesar de que un proyecto puede no tener viabilidad financiera, existen beneficios sociales de largo plazo, difíciles de contabilizar, que compensan los réditos económicos: mayor cantidad de hogares dotados de electricidad; mitigación de GEI; sustitución de combustibles fósiles en industrias; reducción de

plagas; prevención de enfermedades; eliminación de malos olores; mejor calidad del ambiente, entre otros.

En este contexto, el hecho de que no se haya generado proyectos de aprovechamiento de residuos no es consecuencia únicamente de las regulaciones, sino de la falta de compromiso entre ciudadanía y Estado. Por parte de la ciudadanía, la poca participación en la toma de decisiones respecto a la gestión de residuos; y por parte del Estado, la escasa prioridad que ha dado a este tipo de proyectos.

En vista de las suposiciones planteadas en el presente documento, es necesario profundizar los estudios en determinados temas: mercado de compost en Loja, para ver la demanda real y analizar la cantidad que se quedaría sin vender; localidad de construcción de la planta de aprovechamiento y valoración de infraestructura adicional para transferencia de termo energía a las industrias; contabilización de los costos adicionales de importación; aplicación del estudio en otras ciudades e incluso cuantificación a nivel nacional.

En definitiva, lo que muestra el desarrollo de la presente investigación, es un cambio de paradigma respecto a la concepción de los residuos y su utilidad en los procesos económicos en el Ecuador. Este tipo de proyectos no han recibido la prioridad por parte de las municipalidades del país, desperdiciando el potencial energético de los residuos y perdiendo la oportunidad de brindar a la ciudadanía los beneficios asociados al tratamiento de residuos orgánicos.

## BIBLIOGRAFIA

- Abarca, Lilliana, Ger Maas y William Hogland (2012). "Solid waste management challenges for cities in developing countries". Disponible en [http://ac.els-cdn.com/S0956053X12004205/1-s2.0-S0956053X12004205-main.pdf?\\_tid=bb2b91f8-28fb-11e6-9496-00000aacb35e&acdnat=1464897412\\_6a4379b43d386a4fb6bbfc0983fa6fc6](http://ac.els-cdn.com/S0956053X12004205/1-s2.0-S0956053X12004205-main.pdf?_tid=bb2b91f8-28fb-11e6-9496-00000aacb35e&acdnat=1464897412_6a4379b43d386a4fb6bbfc0983fa6fc6), visitado en junio 02 de 2016.
- Agencia Internacional de Energía (s/f). "World Balance Energy". Disponible en <http://www.iea.org/Sankey/>, visitado en mayo 19 de 2016.
- Aguilera-Klink, Federico y Alcántara Vincent (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Barcelona: ICARIA: FUHEM.
- ARCONEL (2012). "Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales": Regulación No. 004/11. Disponible en [http://www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC\\_004\\_11\\_ERNC.pdf](http://www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC_004_11_ERNC.pdf), visitado en octubre 26 de 2015
- ARCONEL (2014). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Volumen II*. Quito-Ecuador
- ARCONEL (2014). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Volumen III*. Quito-Ecuador
- ARCONEL (2015). "Estadística del sector eléctrico ecuatoriano 2014". Disponible en [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/doc\\_10525\\_EstadisticaSectorElectricoEcuatoriano2014.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/doc_10525_EstadisticaSectorElectricoEcuatoriano2014.pdf), visitado en octubre 28 de 2015.
- ARCONEL (s/f). "Estadísticas del sector eléctrico". Disponible en <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/produccion/>, visitado en mayo 19 de 2016a.
- ARCONEL (s/f). "Proyecto de biogás. Relleno sanitario El Inga I y II". Disponible en <http://www.regulacioneolica.gob.ec/proyecto-de-biogas-relleno-sanitario-el-inga-i-y-ii/>, visitado en 19 de mayo de 2016.
- ARCONEL (s/f). "Proyecto de Biogás Pichacay". Disponible en <http://www.regulacioneolica.gob.ec/inspeccion-tecnica-al-proyecto-de-biogas-pichacay-de-2-mw/>, visitando en 19 de mayo de 2016c.
- Arrow, Kenneth, Bert Bolin, Robert Costanza, Partha Dasgupta, Carl Folke, C. S. Holling, Bengt-Owe Jansson, Simon Levin, Karl-Goran Maler, Charles Perrings y Davis Pimentel (1995). "Economic growth, carrying capacity, and the environmental". Disponible en [http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/40547/growth\\_and\\_the\\_environment.pdf](http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/7/40547/growth_and_the_environment.pdf), visitado en mayo 18 de 2016.
- Arvizu, José (2010). *La basura como recurso energetico. Situación actual y prospectiva en México*. México: Revista de Ingeniería Civil:
- Ayres, Robert (1989). *Industrial metabolism*. Washington D.C: Ausubel
- Ayres, Robert, Jeroen Van den Berrgh, John Gowdy (2001). "Strong versus weak sustainability: economics, natural sciences, and consilience". Disponible en [https://www.pdcnet.org/scholarpdf/show?id=enviroethics\\_2001\\_0023\\_0002\\_0155\\_0168&pdfname=enviroethics\\_2001\\_0023\\_0002\\_0155\\_0168.pdf&file\\_type=pdf](https://www.pdcnet.org/scholarpdf/show?id=enviroethics_2001_0023_0002_0155_0168&pdfname=enviroethics_2001_0023_0002_0155_0168.pdf&file_type=pdf), visitado en junio 02 de 2016.
- Balboa, Catalina y Manuel Domínguez (2014). "Economía circular como marco para el eco-diseño: el modelo ECO-3". Disponible en

- <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo;jsessionid=9B125E9C108A0DB467F1477AD8397953.dialnet02?codigo=4881026>, visitado en abril 28 de 2015.
- Banco Central del Ecuador (2015). “Evolución del Volumen de Crédito y Tasas de Interés del Sistema Financiero Nacional”. Disponible en <http://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/BoletinTasasInteres/ect201512.pdf>, visitado en febrero 28 de 2016.
- Banco Central del Ecuador (2016). “Estadística de comercio exterior”. Disponible en <http://www.bce.fin.ec/comercioExteriorBi/comercio/consultaTotXNandinaPaisConGraficoV2.jsp>, visitado en 23 de mayo de 2016.
- Benyus, Janine (2002). *Biomimicry: Innovation inspire by Nature*. New York: HarperCollins Publisher.
- Bloomberg (s/f). “Precio del bono de carbono”. Disponible en <http://www.bloomberg.com/energy>, visitado en mayo 02 de 2016.
- Borrayo, Rafael (2002). *Sustentabilidad y desarrollo económico*. México: McGraw-Hill / Interamericana editores.
- Braungart, Michael y William McDonough (2005). *De la cuna a la cuna: rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid: McGraw Hill.
- Brewer, Anthony (2005). *Cantillon, Quesnay, and the Tableau Economique*. Reino Unido: Universidad de Bristol.
- Carvajal, Pablo y Adrián Orbe (2013). *Balance Energético Nacional 2014 (año base 2013) y series históricas 1995-2012*. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Case, Karl (1997). *Principios de microeconomía*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Cepal (1994). *Economía y ecología: dos ciencias y una responsabilidad frente a la naturaleza*. Lima, Perú.
- Coase, R.H (1960). “The problem of social cost”. Disponible en <http://www2.econ.iastate.edu/classes/tsc220/hallam/Coase.pdf>, visitado en junio 02 de 2016.
- Common, Mick y Stagl, Sigrid (2008). *Introducción a la economía ecológica*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Conelec (2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito.
- Costanza, Robert y Daly, Herman (1992). “Natural Capital and Sustainable Development”. En *A survey of sustainable development*, Jonathan Harris. United States of America: Island Press.
- Costanza, Robert (1999). “Environment economics”. En *Environment and development economics*. USA: ELSEVIER.
- Costanza, Robert (1991). *Ecological economics: the science and management of sustainability*. New York: Columbia University Press.
- Costanza, Robert (2004). “Changing Visions of Humans’ Place in the World and the Need for an Ecological Economics”. En *A guide to what’s wrong with economics*, Edward Fullbrook. London: Anthem Press.
- Chung, S. y C. Lo (2008). “Local waste management constraints and waste administrators in China”. *Journal of Waste Management* 28.
- Daly, Herman (1991). “Economía ecológica y desarrollo sustentable”. En *Crecimiento o desarrollo: un debate sobre la sustentabilidad de los modelos económicos*, Jacobo Schatan. Santiago: CEP/AUR/Fundación F.Ebert.

- Daly, Herman (1996). *Beyond growth: the economics of sustainable development*. Boston MA: Bacon.
- Daly, Herman (1997). *Para el bien común: reorientando la economía hacia la comunidad, el ambiente y un futuro sostenible*. Bogotá: Fondo de Cultura Económica.
- Deng, Yanfei, Jiuping Xu, Ying Lui y Karen Mancl (2014). “Biogas as a sustainable energy source in China: Regional development strategy application and decision making”. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002585>, visitado en 19 de mayo de 2016.
- Dublein, D. y A. Steinauser (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH / Co KGaA.
- Eguren, Lorenzo (2004). *El Mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Empresa de Pesquisa Energética (2015). “Balance Energético Nacional”. Disponible en [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf), visitado en 19 de mayo de 2016.
- Environmental Protection Agency (1996). *Turning a liability into an asset: a landfill gas to energy project development handbook*. United States.
- Environmental Protection Agency (2014). “Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle”. Disponible en <http://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420f14040a.pdf>, visitado en febrero 10 del 2016.
- Environmental Protection Agency (2015). “Anaerobic Digestion and its Applications”. Disponible en <https://www.biocycle.net/wp-content/uploads/2015/12/AD-and-Applications-final.pdf>, visitado en 20 de mayo de 2016.
- Escartín, Eduardo (2006). *Historia del pensamiento económico: Marshall y la escuela de Cambridge*. España: Digital @ tres.
- Fehrenbach Horst, Jürgen Giegrich, Guido Reinhardt, Uwe Sayer, Marco Gretz, Kerstin Lanje y Jutta Schmitz (2008). “Criteria for a sustainable use of bioenergy on a global scale”. Disponible en [http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/sites/remea/files/criteria\\_sustainable\\_bioenergy.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/sites/remea/files/criteria_sustainable_bioenergy.pdf), visitado en 20 de mayo de 2016.
- Fenhann, Joergen y Miriam Hinojosa (2011). *CDM information and guidebook*. UNEP: Denmark.
- Field, Barry (1996). *Economía ambiental: una introducción (2da edición)*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Fischer-Kowalski, Marina (1998). “Society’s metabolism: the intellectual history of materials flow analysis”. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/247565362>, visitado en 30 de mayo de 2016.
- Fischer-Kowalski, Marina y Helmut Haberl (2000). “El metabolismo socioeconómico”. Disponible en [http://biblioteca.hegoa.ehu.es/system/ebooks/9429/original/El\\_Metabolismo\\_Socioeconomico.pdf](http://biblioteca.hegoa.ehu.es/system/ebooks/9429/original/El_Metabolismo_Socioeconomico.pdf), visitado en 30 de mayo de 2016.
- Foladori, Guillermo (2005). “La economía ecológica”. En *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, Guillermo Foladori y Naina Pierri: 189-196. México: Universidad Autónoma de Zacatecas.

- Frosch, Robert y Nichola Gallopoulos (1989). "Strategies for Manufacturing". En *La práctica de la inteligencia emocional*, Goleman (1999): 144-152. Barcelona: Editorial Kairós
- García, María (2003). *Apuntes de economía ecológica*. Boletín económico de ICE No. 2767.
- Georgescu-Rogen, Nicholas (1971). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid: fundación Argentaria.
- Georgescu-Rogen, Nicholas (1975). "Energía y mitos económicos". En *El trimestre económico*. México: Fondo de Cultura Económica
- Giannopoulos, D., E. Voudrias y A. Aivazidis (2005). *Anaerobic treatment of municipal solid waste: evolution and perspectives*. Atenas: Grecia.
- Gobierno Autónomo descentralizado Municipal de Loja (2013). *Programa de gestión integral de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Loja. Diagnóstico 2012*. Loja: Jefatura de Higiene y Saneamiento Ambiental.
- Gómez de Segura, Roberto (2007). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. España: Hegoa.
- Gudynas, Eduardo (2009). *Desarrollo sostenible: posturas contemporáneas y desafíos en la construcción de espacio urbano*. Uruguay: Centro Latino Americano de Ecología Social –CLAES-.
- Gudynas, Eduardo (2011). "Desarrollo y sustentabilidad ambiental: diversidad de posturas, tensiones persistente". En *La Tierra no es muda: diálogos entre el desarrollo sostenible y el postdesarrollo*. Alberto Matarán Ruíz y Fernando López Castellano: 69-96. Granada, Universidad de Granada.
- Haberl, Helmut. (2001): "The energetic metabolism of societies". Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1162/108819801753358481/abstract>, visitado en 30 de mayo de 2016.
- Hotelling, Harold. (1931). "The economics of exhaustible resources". Disponible en <http://msl1.mit.edu/classes/esd123/2003/bottles/Hotelling.pdf>, visitado en abril 27 de 2015.
- INEC (s/f). "Proyecciones poblacionales". Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>, visitado en diciembre 04 de 2015.
- INEC (s/f). "Estadísticas de transporte 2014". Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>, visitado en febrero 26 de 2016.
- IPCC (1996). "Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero". Módulo 6: Desperdicios. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdffiles/spnch6-1.pdf>, visitado en enero 25 de 2016.
- IRENA (2012). "Biogas for power generation". Disponible en [https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis-BIOMASS.pdf](https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-BIOMASS.pdf), visitado en 20 de mayo de 2016.
- IRENA (2015). "Renewable power generation costs in 2014". Disponible en [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Power\\_Costs\\_2014\\_report.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf), visitado en octubre 28 de 2015.
- Jacobs, Michael (1995). *La economía verde*. Bogotá: TM
- Jaramillo, Jorge (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud.

- Karagiannidis, A. y G. Perkoulidis (2008). *A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes*. Grecia: Bioresource Technology..
- Kolstad, Charles (2000). *Economía ambiental*. México: Oxford University Press México, S.A.
- Landázury, Raúl (2007). *A propósito de la relación economía y medio ambiente: un balance crítico sobre las convenciones y tensiones epistémicas de la disciplina*. Bogotá: cuadernos de economía.
- León, Patricio y Salvador Marconi (1999). *La contabilidad nacional: teoría y métodos*. Quito: ABYA-YALA.
- Leontief, Wassily (1986). "Input-output economics", 2da ed. Oxford: Oxford University Press.
- Londoño, Claudia (2006). *Los recursos naturales y el medio ambiente en la economía de mercado*. Colombia: Universidad de San Buenaventura – Revista Científica Guillermo de Ockham.
- Lorenzo, Yaniris y Abreu Obaya (2005). "La digestión anaeróbica. Aspectos teóricos". Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>. Visitado en: diciembre 01 de 2015.
- Lyle, Jhon (1994). *Regenerative Design for Sustainable Development*. United States of America: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Malthus, Thomas (1798). *An Essay on the Principle of Population*. Printed for J. Johnson, in St. Paul's Church-Yard.
- Mankiw, Gregory (2002). *Principio de economía*. España: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.
- Manzini, Ezio y Jordi Bigues (2000). *Ecología y democracia: de la injusticia ecológica a la democracia ambiental*. Barcelona: Icaria.
- Marshall, Alfred (1890). *Principios de economía: introducción al estudio de esta ciencia*. Barcelona: biblioteca de cultura económica.
- Martí, Jaime (2008). *Biodigestores familiares: guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: GTZ.
- Martinez Alier, Joan (1999). *Introducción a la economía ecológica*. España: Rubes Editorial, S.L.
- Martínez Alier, Joan (1996). *De la economía ecológica al ecologismo popular*. España: Icaria editorial S.A.
- Martinez Alier, Joan y Roca, Jordi (2001). *Economía ecológica y política ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez Alier, Joan (2003). "Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica". Disponible en <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/352/Economia02.pdf>, visitado en 30 de mayo de 2016.
- Marx, Karl (1986). *El Capital. Crítica de la economía política*. México: Fondo de Cultura Española.
- Matthews, E. y N. Themelis (2007). *Potential for reducing global methane emissions from landfills, 2000-2030*. Disponible en [http://www.necec.org/files/Matthews\\_Themelis\\_Sardinia2007.pdf](http://www.necec.org/files/Matthews_Themelis_Sardinia2007.pdf), visitado en enero 26 de 2016.

- McDonough, William y Michael Braungart (2007). *The Hannover Principles: Design for Sustainability*. Hamburgo.
- Mill, John (2004) *Principles of political economy*. Indianapolis: KacketPublishing Company. Primera version en 1848.
- Ministerio de Ambiente (2012). “Mecanismo para un desarrollo limpio”. Disponible en [http://unfccc.int/resource/webcast/collections/dna\\_belize/downloads/S4\\_Presentacion\\_MD\\_L\\_DNA\\_training.pdf](http://unfccc.int/resource/webcast/collections/dna_belize/downloads/S4_Presentacion_MD_L_DNA_training.pdf), visitado en 23 de mayo de 2016.
- Ministerio de Ambiente (2013). “Evaluación de necesidades tecnológicas para la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos”. Disponible en [http://unfccc.int/ttclear/misc\\_/StaticFiles/gnwoerk\\_static/TNR\\_CRE/e9067c6e3b97459989b2196f12155ad5/ff118ec7a6df4f2d9dc4c5a6dd169473.pdf](http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TNR_CRE/e9067c6e3b97459989b2196f12155ad5/ff118ec7a6df4f2d9dc4c5a6dd169473.pdf), visitado en 20 de mayo de 2016.
- Ministerio de Ambiente (s/f). “Programa nacional para la gestión integral de desechos sólidos”. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>. Visitado en diciembre 01 de 2015.
- Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados (2011). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito: V&M Gráficas.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2012). *Mapa eólico del Ecuador*. Quito.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015). *Balance Energético Nacional 2015: año base 2014*. Quito-Ecuador
- Mirabeau, V. Riquetti, Marquis de (1756–60). “L’Ami des Hommes”. Avignon, part 6; reprinted Aalen: Scientia Verlag, 1970, vol 2.
- Moghadam, M., N. Mokhtarani y B. Mokhtarani (2009). *Municipal solid waste management in Rasht City*. Iran: Journal of waste management.
- Monroe, Arthur (2006). *Early economic thought: selected writings from Aristotle to Hume*. United States of America: Dover Publications.
- Moratorio, Diego, Ignacio Rocco y Marcelo Castelli (2012). *Conversión de residuos sólidos urbanos en energía*. Uruguay: Universidad de Montevideo – Memoria de trabajos de difusión científica y técnica.
- Mrayyan, B. y M. Hamdi (2006). “Management approaches o integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: a case of Zarqa City”. *Journal of Waste Management* 195-205
- Municipio de Loja (s/f). “Humus o abono orgánico”. Disponible en <https://www.loja.gob.ec/contenido/higiene>, visitado el 11 de febrero de 2016.
- Naciones Unidas (s/f). “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future”. Disponible en <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, visitado el 30 de abril de 2015.
- Naciones Unidas (s/f). “Mecanismos de Desarrollo Limpio”. Disponible en <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>, visitado en febrero 26 de 2016.
- Nagao, N., Tajima, N., Kawai, M., Niwa, C., Kurosawa, N., Matsuyama, T., y Toda, T. (2012). *Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste*. *Bioresource Technology*: 210-218.
- Organic Waste System (s/f). “Planta de biogas: Dranco”. Disponible en [http://www.ows.be/es/household\\_waste/dranco-3/](http://www.ows.be/es/household_waste/dranco-3/), visitado en 01/15/2015a.
- Organic Waste System (s/f). “The Dranco technology: a unique digestión technology for solid organic waste”. Disponible en <http://www.ows.be/wp->

- [content/uploads/2013/02/The-DRANCO-technology-2012.pdf](http://content/uploads/2013/02/The-DRANCO-technology-2012.pdf), visitado en Enero 15 de 2015b.
- Organización Latinoamericana de Energía (2004). *Guía M-1: Metodología para la elaboración de los balances de energía*. Quito.
- Organización Latinoamericana de Energía (s/f). “Sistema Integrado de Estadística Energética Regional–SIER-“. Disponible en <http://www.olade.org/productos/>, visitado en 19 de mayo.
- Pauli, Gunter (2010). *La economía azul*. Barcelona: Tusquet Editores.
- Pearce, David (1976). *Economía Ambiental*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pearce, David y Turner Kerry (1990). *Economics of natural resources and the environment*. New York: Harvester Wheathsheaf.
- Pearce, David (1993). *Blueprint 3: Measuring Sustainable Development*. London: Earthscan
- Petroecuador (2015). “Precios de venta en los terminales de EP Petroecuador a las comercializadoras”. Disponible en [http://eppintranet.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh\\_docsusogeneral/002220~124.pdf](http://eppintranet.eppetroecuador.ec/idc/groups/public/documents/peh_docsusogeneral/002220~124.pdf), visitado el 11 de enero de 2016.
- Pierri, Naina (2005). “Historia del concepto de desarrollo sustentable”. En *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, Guillermo Foladori y Naina Pierri: 27-79. México: Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Pigou, Arthur (1920). *The Economics of Welfare*. Londres: Mac-Millan
- PNUD, FAO, GEF (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.
- PNUMA (2007). “Perspectivas del medio ambiente urbano: Geo Loja”. Disponible en <http://www.naturalezaycultura.org/docs/Geo%20Loja.pdf>, visitado en abril 12 de 2015.
- PNUMA (2012). “Proyecto Geo Ciudades 10 años”. Disponible en [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Geo\\_Ciudades%281-47%29WEB11mayo.pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Geo_Ciudades%281-47%29WEB11mayo.pdf), visitado en abril 12 de 2015.
- Podolinsky, Sergei (1880). *Le socialisme et l'unité des forces physiques*. La Revue Socialiste, 8, 353-365.
- Quesnay, Francois (1760). *Tableau oeconomique avec ses explications*. Paris
- Reed, William (1994). “Una introducción a la economía de los recursos naturales y su modelización”. En *Análisis económico y gestión de recursos naturales*. Diego Azqueta y Antonio Ferreiro. Madrid: Alianza Editorial
- Rees, William (1998). “Understandig sustainable development”. En *Sustainable development and the Future of Cities*, Hamm y Muttagi. London: Intermediate Technology:19-42.
- Ricardo, David (2001). *On the Principles of Policital Economy and Taxation*. Ontario: Batoche Books. Primera edición en 1817.
- Rincón, Idana y Óscar Torres (2014). “Abordaje epistemológico de pensamiento económico”. Disponible en <http://www.eumed.net/entelequia/pdf/2014/e17a06.pdf>, visitado en abril 22 de 2015.
- Roben, Eva (2002). *Manual de compostaje para municipios*. Ilustre Municipalidad de Loja. Loja: Ecuador.
- Rodriguez de Austria, Alfonso (2014). “Economía y naturaleza en Marx: el “asunto Podolinsky” como prueba de un divorcio inexistente”. Disponible en

- [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ec/jec14/comunica/A\\_EEMA/A\\_EEM\\_A\\_2.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ec/jec14/comunica/A_EEMA/A_EEM_A_2.pdf), visitado en 25 de mayo de 2016.
- Saidur, R., Abdelaziz, Dernirbas, Hossain, Mekhilef (2011). “Renewable and Sustainable Energy Reviews”. Disponible en: <http://repository.um.edu.my/26652/1/A%20review%20on%20biomass%20as%20a%20fuel%20for%20boilers.pdf>, visitado enero 12 de 2015.
- Samuelson, Paul y Nordhaus, William (1988). *Economía*. México D.F, México: McGraw-Hill
- Schumpeter, Joseph (1994). *Teoría del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Seng, B., H. Hirayama y K, Katayaa (2010). *Municipal solid waste management in Phnom Penh, capital city of Cambodia*. Waste Management and Research 29.
- Senplades (2013). *Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir*. Quito-Ecuador.
- Serageldin, Ismail (1996). “Sustainability and the Wealth of Nations: First Steps in an Ongoing Journey”. En *Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs*. Washington: World Bank
- Sharholly, M., K. Ahmad, G. Mahmood y R. Trivedi (2008). “Municipal solid waste management in Indian cities: A review”. *Journal of waste management*.
- Soderbaum, Peter (1992). “Neoclassical and Institutional approaches to development and the environment”. *Ecological economics: the transdisciplinary journal of the International Society for Ecological Economics*: 127-144.
- Solow, Robert (1974). “The economics of resources or the resources of economics”. Disponible en [http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/Solow\\_Resources.pdf](http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/documents/Solow_Resources.pdf), visitado en abril 27 de 2015.
- Stahel, Walter (2010). *The Performance Economy*. Hampshire:Palgrave Editorial Palgrave.
- Strange, Tracey y Anne Bayley (2012). *Desarrollo sostenible: integrar la economía, la sociedad y el medio ambiente*. Mexico: OCDE
- Tiwary, A., I. Williams, D. Pant y V. Kishore (2014). “Emerging perspectives on environmental burden minimization initiatives from anaerobic digestion technologies for community scale biomass valorization”. *Elsevier: renewable and sustainable energy reviews*.
- Turner, Kerry, David Pearce y Ian Bateman (1993) *Environmental economics*. London: .University Press-Baltimore.
- UNFCC (2006). “Clean Development Mechanism-Project Design Document”. Disponible en <http://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/1F7FRL6JQ7048KU4IE0I9E1IFC868F/view.html>, visitado en 20 de mayo de 2016.
- Vargas, Gustavo (2006). *Introducción a la teoría económica: un enfoque latinoamericano*. México: Pearson Education.
- Verma, Sh. (2002). *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid waste*. Universidad de Columbia.
- Wellinger, A., K. Wyder y A. Metzler (1993). “Kompostas: a new system for the anaerobic treatment of source separate waste”. *Waster Science and Technology*.

- Williams, R., B. Jenkins y D. Nguyen (2003). *Solid waste conversion: a review and database of current and emerging technologies*. Universidad de California.
- World Energy Council (2013). “World energy perspective: cost of energy technologies”. Disponible en [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC\\_J1143\\_CostofTECHNOLOGIES\\_021013\\_WEB\\_Final.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf), visitado en octubre 28 de 2015.
- Yu Chang, Man (2005). “La economía ambiental”. En *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*, Guillermo Foladori y Naina Pierri: 175-188. México: Universidad Autónoma de Zacatecas.

## ANEXOS

### Emisiones de gases de efecto invernadero en el relleno sanitario de Loja

MODULO		DESPERDICIOS											
SUBMODULO		EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SOLIDOS (VRS)											
PAIS		ECUADOR											
CANTÓN		LOJA											
PASO 1	PASO 2	PASO 3			PASO 4			PASO 5					
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O
Total anual de RSU eliminados en VRS (Gg RSU)	Factor de corrección para el metano (FCM)	Fracción del COD en los RSU	Fracción de COD que realmente se degrada	Fracción del carbono liberado como metano	Relación de conversión	Tasa potencial de generación de metano por unidad de desperdicios (Gg CH <sub>4</sub> /Gg MSW)	Tasa real de generación de metano (para el país) por unidad de desperdicios (Gg CH <sub>4</sub> / 'Gg MSW)	Total bruto anual de metano generado (Gg CH <sub>4</sub> )	Recuperación de metano anual (Gg CH <sub>4</sub> )	Total neto anual de metano generado (Gg CH <sub>4</sub> )	Unidad menos el factor de corrección para la oxidación del metano	Total neto anual de emisiones de metano (kg CH <sub>4</sub> )	Total neto anual de emisiones de metano (kgCO <sub>2</sub> eq)
						C x D x E x F	B x G	H x A		J - K		L x M x1000	Nx21
1,00	1	0,15	0,55	0,5	16/12	0,06	0,06	0,06		0,06	1	55,0	1.155

**Notas:**

- A) Modelación en función de una tonelada de residuo orgánico
- B) En el caso de relleno sanitario se asume como uno
- C) Equivale al 15% de la fracción orgánica de los residuos
- D), E), F) Datos por defecto provistos por el IPCC

## Residuos, energía y compost

Variable	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Población Loja (hab.)	243.321	248.473	253.625	258.767	263.900	269.017	274.112	279.283	284.419	289.554	294.690	299.825	304.961	310.096	315.232	320.367	325.503	330.638	335.774	340.909	
Residuos Orgánicos producidos (ton)	36.500	37.633	38.461	39.288	40.116	40.943	41.767	42.606	43.440	44.276	45.114	45.953	46.793	47.635	48.479	49.324	50.170	51.018	51.868	52.719	
Energía (kWh) (A+B+C)	Máximo	30.842.500	31.799.853	32.499.282	33.198.660	33.898.115	34.596.684	35.293.533	36.002.086	36.707.081	37.413.378	38.120.976	38.829.876	39.540.077	40.251.579	40.964.383	41.678.488	42.393.895	43.110.604	43.828.614	44.547.925
	Medio	28.272.292	29.149.865	29.791.009	30.432.105	31.073.272	31.713.627	32.352.405	33.001.912	33.648.158	34.295.596	34.944.228	35.594.053	36.245.070	36.897.281	37.550.684	38.205.281	38.729.167	38.729.167	38.729.167	38.729.167
	Mínimo	25.702.083	26.499.878	27.082.735	27.665.550	28.248.429	28.830.570	29.411.277	30.001.738	30.589.234	31.177.815	31.767.480	32.358.230	32.950.064	33.542.983	34.136.986	34.732.074	35.328.246	35.925.503	36.523.845	37.123.271
Energía térmica (kWh) (A)	Máximo	15.421.250	15.899.927	16.249.641	16.599.330	16.949.057	17.298.342	17.646.766	18.001.043	18.353.541	18.706.689	19.060.488	19.414.938	19.770.038	20.125.790	20.482.191	20.839.244	21.196.948	21.555.302	21.914.307	22.273.962
	Medio	14.136.146	14.574.933	14.895.504	15.216.052	15.536.636	15.856.813	16.176.202	16.500.956	16.824.079	17.147.798	17.472.114	17.797.026	18.122.535	18.448.640	18.775.342	19.102.641	19.364.583	19.364.583	19.364.583	19.364.583
	Mínimo	12.851.042	13.249.939	13.541.368	13.832.775	14.124.215	14.415.285	14.705.639	15.000.869	15.294.617	15.588.907	15.883.740	16.179.115	16.475.032	16.771.491	17.068.493	17.366.037	17.664.123	17.962.752	18.261.922	18.561.635
Pérdidas energéticas (kWh) (B)	Máximo	6.168.500	6.359.971	6.499.856	6.639.732	6.779.623	6.919.337	7.058.707	7.200.417	7.341.416	7.482.676	7.624.195	7.765.975	7.908.015	8.050.316	8.192.877	8.335.698	8.478.779	8.622.121	8.765.723	8.909.585
	Medio	5.654.458	5.829.973	5.958.202	6.086.421	6.214.654	6.342.725	6.470.481	6.600.382	6.729.632	6.859.119	6.988.846	7.118.811	7.249.014	7.379.456	7.510.137	7.641.056	7.745.833	7.745.833	7.745.833	7.745.833
	Mínimo	5.140.417	5.299.976	5.416.547	5.533.110	5.649.686	5.766.114	5.882.255	6.000.348	6.117.847	6.235.563	6.353.496	6.471.646	6.590.013	6.708.597	6.827.397	6.946.415	7.065.649	7.185.101	7.304.769	7.424.654
Electricidad (kWh) (C=D+E)	Máximo	9.252.750	9.539.956	9.749.785	9.959.598	10.169.434	10.379.005	10.588.060	10.800.626	11.012.124	11.224.013	11.436.293	11.648.963	11.862.023	12.075.474	12.289.315	12.503.547	12.718.169	12.933.181	13.148.584	13.364.377
	Medio	8.481.688	8.744.960	8.937.303	9.129.631	9.321.982	9.514.088	9.705.721	9.900.574	10.094.447	10.288.679	10.483.268	10.678.216	10.873.521	11.069.184	11.265.205	11.461.584	11.618.750	11.618.750	11.618.750	11.618.750
	Mínimo	7.710.625	7.949.963	8.124.821	8.299.665	8.474.529	8.649.171	8.823.383	9.000.522	9.176.770	9.353.344	9.530.244	9.707.469	9.885.019	10.062.895	10.241.096	10.419.622	10.598.474	10.777.651	10.957.153	11.136.981
Autoconsumo de electricidad (kWh) (D)	Máximo	925.275	953.996	974.978	995.960	1.016.943	1.037.901	1.058.806	1.080.063	1.101.212	1.122.401	1.143.629	1.164.896	1.186.202	1.207.547	1.228.931	1.250.355	1.271.817	1.293.318	1.314.858	1.336.438
	Medio	848.169	874.496	893.730	912.963	932.198	951.409	970.572	990.057	1.009.445	1.028.868	1.048.327	1.067.822	1.087.352	1.106.918	1.126.521	1.146.158	1.161.875	1.161.875	1.161.875	1.161.875
	Mínimo	771.063	794.996	812.482	829.966	847.453	864.917	882.338	900.052	917.677	935.334	953.024	970.747	988.502	1.006.289	1.024.110	1.041.962	1.059.847	1.077.765	1.095.715	1.113.698
Electricidad para venta (kWh) (E)	Máximo	8.327.475	8.585.960	8.774.806	8.963.638	9.152.491	9.341.105	9.529.254	9.720.563	9.910.912	10.101.612	10.292.664	10.484.066	10.675.821	10.867.926	11.060.383	11.253.192	11.446.352	11.639.863	11.833.726	12.027.940
	Medio	7.633.519	7.870.464	8.043.572	8.216.668	8.389.783	8.562.679	8.735.149	8.910.516	9.085.003	9.259.811	9.434.942	9.610.394	9.786.169	9.962.266	10.138.685	10.315.426	10.456.875	10.456.875	10.456.875	10.456.875
	Mínimo	6.939.563	7.154.967	7.312.339	7.469.698	7.627.076	7.784.254	7.941.045	8.100.469	8.259.093	8.418.010	8.577.220	8.736.722	8.896.517	9.056.605	9.216.986	9.377.660	9.538.626	9.699.886	9.861.438	10.023.283
Compost (ton)	9.490	9.785	10.000	10.215	10.430	10.645	10.860	11.078	11.294	11.512	11.730	11.948	12.166	12.385	12.604	12.824	13.000	13.000	13.000	13.000	

## Flujo financiero: escenarios

Supuestos:

Precio de Venta (c.USD kWh)	7,32
Precio de venta Compost (USD/saco 30kg)	5
Costo de operación (USD/ton)	15,37
GLP Industrial (USD/kg)	0,50

Escenario 1:

- Venta total de termo energía y de compost; y mercado de carbono
- Inversión inicial = USD 9,5 millones

Variable		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost		1.581.667	1.581.667	1.630.762	1.666.630	1.702.495	1.738.365	1.774.189	1.809.925	1.846.261	1.882.414	1.918.635	1.954.922	1.991.276	2.027.696	2.064.184	2.100.738	2.137.358	2.166.667	2.166.667	2.166.667
Ingresos por venta de Termo		562.155	562.155	579.604	592.352	605.100	617.848	630.581	643.282	656.197	669.046	681.920	694.817	707.738	720.682	733.651	746.643	759.658	770.075	770.075	770.075
OPEX		560.932	252.171	259.998	265.717	271.435	277.154	282.865	288.563	294.356	300.120	305.895	311.680	317.476	323.283	329.100	334.928	340.767	346.532	351.972	357.422
Ingresos netos	Máximo	560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400
	Medio	2.444.632	2.520.513	2.575.951	2.631.385	2.686.825	2.742.195	2.797.428	2.853.590	2.909.469	2.965.451	3.021.537	3.077.725	3.134.017	3.190.412	3.246.910	3.303.511	3.352.747	3.372.352	3.391.993	3.411.669
	Mínimo	2.393.834	2.468.139	2.522.425	2.576.707	2.630.995	2.685.214	2.739.300	2.794.294	2.849.012	2.903.831	2.958.751	3.013.772	3.068.894	3.124.118	3.179.442	3.234.867	3.280.317	3.285.757	3.291.207	3.296.667

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 16.141.832	\$ 15.591.483	\$ 15.074.226
<b>TIR</b>	27,7%	27,1%	26,6%
<b>Tiempo de recuperación</b>	3,74	3,82	3,90

Escenario 2:

- Venta total de compost
- Sin venta de termo energía
- Inversión inicial = USD 9,5 millones

Variable	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost	1.581.667	1.630.762	1.666.630	1.702.495	1.738.365	1.774.189	1.809.925	1.846.261	1.882.414	1.918.635	1.954.922	1.991.276	2.027.696	2.064.184	2.100.738	2.137.358	2.166.667	2.166.667	2.166.667	2.166.667	
Ingresos por venta de Termo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
OPEX	560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400	
Ingresos netos	Máximo	1.630.306	1.680.911	1.717.882	1.754.850	1.791.823	1.828.748	1.865.583	1.903.037	1.940.302	1.977.636	2.015.039	2.052.511	2.090.052	2.127.661	2.165.339	2.203.086	2.236.140	2.250.305	2.264.495	2.278.712
	Medio	1.579.508	1.628.536	1.664.355	1.700.172	1.735.993	1.771.768	1.807.455	1.843.741	1.879.846	1.916.016	1.952.254	1.988.558	2.024.929	2.061.367	2.097.871	2.134.442	2.163.710	2.163.710	2.163.710	2.163.710
	Mínimo	1.528.711	1.576.162	1.610.829	1.645.494	1.680.162	1.714.787	1.749.326	1.784.446	1.819.389	1.854.397	1.889.469	1.924.605	1.959.807	1.995.072	2.030.402	2.065.797	2.096.494	2.108.298	2.120.124	2.131.971

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 7.601.729	\$ 7.051.380	\$ 6.534.123
<b>TIR</b>	18,5%	17,9%	17,3%
<b>Tiempo de recuperación</b>	5,51	5,67	5,85

Escenario 3:

- Venta total de termo energía
- Venta mínima de compost = 22% del total
- Inversión inicial = USD 9,5 millones

Variable		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost		347.967	358.768	366.659	374.549	382.440	390.322	398.183	406.177	414.131	422.100	430.083	438.081	446.093	454.120	462.162	470.219	476.667	476.667	476.667	476.667
Ingresos por venta de Termo		562.155	579.604	592.352	605.100	617.848	630.581	643.282	656.197	669.046	681.920	694.817	707.738	720.682	733.651	746.643	759.658	770.075	770.075	770.075	770.075
OPEX		560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400
Ingresos netos	Máximo	958.761	988.521	1.010.263	1.032.004	1.053.747	1.075.462	1.097.124	1.119.150	1.141.065	1.163.021	1.185.017	1.207.054	1.229.131	1.251.248	1.273.406	1.295.605	1.316.215	1.330.380	1.344.570	1.358.787
	Medio	907.963	936.146	956.737	977.325	997.916	1.018.481	1.038.996	1.059.855	1.080.609	1.101.401	1.122.232	1.143.101	1.164.008	1.184.954	1.205.938	1.226.960	1.243.785	1.243.785	1.243.785	1.243.785
	Mínimo	857.165	883.772	903.210	922.647	942.086	961.501	980.867	1.000.559	1.020.152	1.039.781	1.059.447	1.079.148	1.098.886	1.118.660	1.138.470	1.158.316	1.176.569	1.188.373	1.200.199	1.212.046

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 564.729	\$ 14.380	(\$ 502.877)
<b>TIR</b>	9,9%	9,1%	8,4%
<b>Tiempo de recuperación</b>	9,02	9,48	9,99

Escenario 4:

- Sin venta de termo energía
- Venta mínima de compost = 58% del total
- Inversión inicial = USD 9,5 millones

Variable	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost	917.367	945.842	966.645	987.447	1.008.252	1.029.030	1.049.756	1.070.831	1.091.800	1.112.808	1.133.855	1.154.940	1.176.064	1.197.226	1.218.428	1.239.668	1.256.667	1.256.667	1.256.667	1.256.667	
Ingresos por venta de Termo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
OPEX	560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400	
Ingresos netos	Máximo	966.006	995.991	1.017.897	1.039.802	1.061.710	1.083.589	1.105.415	1.127.607	1.149.688	1.171.810	1.193.972	1.216.175	1.238.419	1.260.704	1.283.029	1.305.396	1.326.140	1.340.305	1.354.495	1.368.712
	Medio	915.208	943.616	964.371	985.124	1.005.879	1.026.608	1.047.286	1.068.312	1.089.232	1.110.190	1.131.187	1.152.222	1.173.297	1.194.410	1.215.561	1.236.751	1.253.710	1.253.710	1.253.710	1.253.710
	Mínimo	864.411	891.242	910.845	930.446	950.049	969.628	989.158	1.009.016	1.028.775	1.048.570	1.068.402	1.088.270	1.108.174	1.128.115	1.148.093	1.168.107	1.186.494	1.198.298	1.210.124	1.221.971

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 640.650	\$ 90.301	(\$ 426.956)
<b>TIR</b>	10,0%	9,2%	8,5%
<b>Tiempo de recuperación</b>	8,96	9,41	9,91

Escenario 5:

- Venta total de termo energía y de compost
- Inversión máxima inicial = USD 22,42 millones

Variable	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost	1.581.667	1.630.762	1.666.630	1.702.495	1.738.365	1.774.189	1.809.925	1.846.261	1.882.414	1.918.635	1.954.922	1.991.276	2.027.696	2.064.184	2.100.738	2.137.358	2.166.667	2.166.667	2.166.667	2.166.667	
Ingresos por venta de Termo	562.155	579.604	592.352	605.100	617.848	630.581	643.282	656.197	669.046	681.920	694.817	707.738	720.682	733.651	746.643	759.658	770.075	770.075	770.075	770.075	
OPEX	560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400	
Ingresos netos	Máximo	2.192.461	2.260.515	2.310.234	2.359.950	2.409.671	2.459.329	2.508.865	2.559.233	2.609.348	2.659.556	2.709.856	2.760.249	2.810.734	2.861.312	2.911.982	2.962.744	3.006.215	3.020.380	3.034.570	3.048.787
	Medio	2.141.663	2.208.140	2.256.708	2.305.272	2.353.841	2.402.349	2.450.737	2.499.938	2.548.892	2.597.936	2.647.071	2.696.296	2.745.611	2.795.017	2.844.513	2.894.100	2.933.785	2.933.785	2.933.785	2.933.785
	Mínimo	2.090.865	2.155.766	2.203.182	2.250.594	2.298.011	2.345.368	2.392.609	2.440.643	2.488.435	2.536.316	2.584.286	2.632.343	2.680.489	2.728.723	2.777.045	2.825.456	2.866.569	2.878.373	2.890.199	2.902.046

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 572.447	\$ 22.098	(\$ 495.159)
<b>TIR</b>	9,5%	9,1%	8,8%
<b>Tiempo de recuperación</b>	9,28	9,48	9,69

Escenario 6:

- Sin venta de termo energía
- Venta total de compost
- Inversión máxima inicial = USD 16,53 millones

Variable		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost		1.581.667	1.630.762	1.666.630	1.702.495	1.738.365	1.774.189	1.809.925	1.846.261	1.882.414	1.918.635	1.954.922	1.991.276	2.027.696	2.064.184	2.100.738	2.137.358	2.166.667	2.166.667	2.166.667	2.166.667
Ingresos por venta de Termo		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX		560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400
Ingresos netos	Máximo	1.630.306	1.680.911	1.717.882	1.754.850	1.791.823	1.828.748	1.865.583	1.903.037	1.940.302	1.977.636	2.015.039	2.052.511	2.090.052	2.127.661	2.165.339	2.203.086	2.236.140	2.250.305	2.264.495	2.278.712
	Medio	1.579.508	1.628.536	1.664.355	1.700.172	1.735.993	1.771.768	1.807.455	1.843.741	1.879.846	1.916.016	1.952.254	1.988.558	2.024.929	2.061.367	2.097.871	2.134.442	2.163.710	2.163.710	2.163.710	2.163.710
	Mínimo	1.528.711	1.576.162	1.610.829	1.645.494	1.680.162	1.714.787	1.749.326	1.784.446	1.819.389	1.854.397	1.889.469	1.924.605	1.959.807	1.995.072	2.030.402	2.065.797	2.096.494	2.108.298	2.120.124	2.131.971

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	\$ 571.729	\$ 21.380	(\$ 495.877)
<b>TIR</b>	9,6%	9,1%	8,7%
<b>Tiempo de recuperación</b>	9,21	9,48	9,77

Escenario 7:

- Sin venta de termo energía
- Sin venta de compost
- Inversión inicial = USD 9,5 millones

Variable	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Ingresos por venta de Electricidad	Máximo	609.571	628.492	642.316	656.138	669.962	683.769	697.541	711.545	725.479	739.438	753.423	767.434	781.470	795.532	809.620	823.734	837.873	852.038	866.229	880.445
	Medio	558.774	576.118	588.789	601.460	614.132	626.788	639.413	652.250	665.022	677.818	690.638	703.481	716.348	729.238	742.152	755.089	765.443	765.443	765.443	765.443
	Mínimo	507.976	523.744	535.263	546.782	558.302	569.807	581.284	592.954	604.566	616.198	627.852	639.528	651.225	662.944	674.683	686.445	698.227	710.032	721.857	733.704
Ingresos por venta de compost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingresos por venta de Termo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OPEX	560.932	578.343	591.064	603.783	616.504	629.209	641.883	654.769	667.591	680.436	693.306	706.198	719.115	732.055	745.019	758.006	768.400	768.400	768.400	768.400	768.400
Ingresos netos	Máximo	48.639	50.149	51.252	52.355	53.458	54.560	55.659	56.776	57.888	59.002	60.117	61.235	62.355	63.477	64.602	65.728	69.473	83.638	97.829	112.045
	Medio	(2.158)	(2.225)	(2.274)	(2.323)	(2.372)	(2.421)	(2.470)	(2.520)	(2.569)	(2.618)	(2.668)	(2.717)	(2.767)	(2.817)	(2.867)	(2.917)	(2.957)	(2.957)	(2.957)	(2.957)
	Mínimo	(52.956)	(54.600)	(55.801)	(57.002)	(58.202)	(59.402)	(60.598)	(61.815)	(63.025)	(64.238)	(65.453)	(66.670)	(67.890)	(69.111)	(70.335)	(71.561)	(70.173)	(58.368)	(46.543)	(34.696)

Indicador	Máximo	Medio	Mínimo
<b>VAN</b>	<b>(\$ 8.972.269)</b>	<b>(\$ 9.522.618)</b>	<b>(\$ 10.039.875)</b>
<b>TIR</b>	-13,4%	N/A	N/A
<b>Tiempo de recuperación</b>	N/A	N/A	N/A