



Universidad Autónoma de Baja California Sur

*Posgrado en Desarrollo Sustentable y Globalización*

*Departamento Académico de Economía*

**ANÁLISIS DEL USO DE BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE DOMÉSTICO A  
PARTIR DE LOS RESIDUOS ALIMENTICIOS DE LA VIVIENDA. CASO DE  
ESTUDIO LA PAZ B.C.S. MÉXICO**

**Tesis presentada por:**

**Miguel Ángel Martínez Peralta**

**Que para obtener el grado de:**

**Maestría en Ciencias Sociales con Orientación en Desarrollo Sustentable**

**Dr. Alfredo Sergio Bermúdez Contreras**

**La Paz B.C.S. México – 2015**



## **Formato de liberación**

## **Dedicatoria**

A mi hijo Luciano, quien es mi razón de ser y el amor mas grande que conozco.

A mi papá Genaro, quien ha sido mi mayor ejemplo a seguir en mi vida.

A mi madre Yolanda, quien me dio la vida, amor incondicional y su infinito apoyo.

A mi esposa Cinthya, quien paso a paso esta conmigo, compartiendo felicidad, vida cariño, amor y pasión.

A mi abuela Ángela, quien me dio su eterno amor y cariño.

A mi tío Homero, quien con su ejemplo y cariño me enseñó a escuchar y ser.

## **Agradecimientos**

A la Vida, el Universo y mis padres Yolanda y Genaro por darme la oportunidad de continuar mis estudios, de seguir aprendiendo y de poder superar mis metas personales.

A la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por brindarme las facilidades y permitir desarrollarme profesionalmente.

Al plantel académico y administrativo del posgrado en Desarrollo Sustentable y Globalización por su excelente servicio y profesionalismo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme las facilidades financieras en el transcurso de este trabajo de investigación.

A mi director de tesis al Dr. Alfredo Sergio Bermúdez Contreras por dirigirme en mi investigación, escuchar y darme el apoyo necesario para finalizar este trabajo.

A la Dra. Antonina Ivanova Boncheva y el Dr. José Antonio Martínez de la Torre por ser parte de mi comité y por su valiosa orientación y comentarios que dieron forma a este trabajo.

Un agradecimiento muy especial a toda mi familia y amigos, por el invaluable cariño y apoyo moral. Gracias a todos ellos (Tía Wong, Tío Chucho, Tía Delia, Tío Pancho, Tía Tere, Tío Nacho, Tía Dulce, Abraham, Lalo, Comallita, Mimi, Tavito, Jazmín, Anahí Héctor, Vicky, Javi, Cinthya, Belem, Cesar y más...).

]

## **Resumen**

En el hogar se puede producir biogás a partir de los residuos orgánicos y utilizarlo como combustible doméstico. El uso de biogás en la vivienda urbana es una realidad en ciudades como Pune al sur de la India. El sistema de biogás llamado ARTI-BIOGÁS es invención del Dr. Anand Karve y es un pequeño reactor rudimentario de bajo costo que permite generar biogás a partir de los residuos alimenticios de cocina. El biogás generado es luego utilizado como combustible doméstico en sustitución de los combustibles fósiles convencionales. Esto ha conllevado beneficios ambientales, sociales y económicos a los habitantes de Pune. Sin embargo, la localidad de La Paz es distinta y el uso de biogás quizás conllevaría otras afectaciones, beneficios y/o barreras para su implementación.

Posiblemente el uso de biogás a pequeña escala no sea la solución absolutista para los problemas de residuos que acontecen a la ciudad de La Paz pero, el aprovechar los residuos alimenticios para generar biogás lograría disminuir la carga de orgánicos al relleno sanitario del municipio y con ello reducir los riesgos de contaminación. Se reducirían emisiones de GEI y se contribuiría a tener vidas más sustentables. Es importante analizar y valorar la posibilidad de usar biogás en la vivienda de La Paz, así como, conocer los impactos sociales, económicos y ambientales.

El trabajo de investigación inicia abordando los contextos teóricos del desarrollo sustentable y la innovación de la tecnología. Posteriormente se plantea la metodología para luego describir la vivienda mexicana conforme a sus necesidades energéticas, el entorno del hogar y los principales riesgos de los RSU. También se propone al biogás como una alternativa energética y se dan a conocer cifras y aspectos técnicos. Esto encaminado a la posibilidad de usar biogás desde dos escenarios posibles, la vivienda y la ciudad.

## Índice

1	Introducción.....	1-15
1.1	Objetivo general.....	1-17
1.2	Objetivos particulares.....	1-17
1.3	Hipótesis.....	1-17
1.4	Cuerpo del documento.....	1-17
2	El Desarrollo sustentable y la tecnología.....	2-18
3	Metodología.....	3-27
4	Una visión general de los hogares y sus residuos.....	4-30
4.1	El hogar y la vivienda en México, datos.....	4-31
4.1.1	Evolución de la vivienda.....	4-36
4.2	Las Necesidades Energéticas.....	4-39
4.3	Los residuos sólidos urbanos en México.....	4-41
4.3.1	La normativa de los residuos.....	4-41
4.3.2	Caracterización de los RSU.....	4-42
4.3.3	Las Problemáticas.....	4-44
5	El biogás como una alternativa energética.....	5-50
5.1	Los biocombustibles.....	5-50
5.2	Los residuos alimenticios.....	5-50
5.3	Biodigestor (ARTI-BIOGAS).....	5-54
5.4	Potencial los RA.....	5-55
5.5	El biogás.....	5-56
5.5.1	Propiedades físico-químicas.....	5-56
5.5.2	Procesos y producción de biogás a partir de los RA.....	5-58

5.6	Límites y ventajas.....	5-60
6	Caso de estudio: La Paz B.C.S. México .....	6-66
6.1	Caracterización de la ciudad de La Paz.....	6-66
6.2	Energía y residuos de la vivienda en La Paz.....	6-68
6.2.1	Consumo de GLP.....	6-68
6.2.2	Generación de residuos.....	6-69
6.2.3	Producción de biogás .....	6-70
6.3	Análisis del uso de biogás en la vivienda.....	6-71
6.3.1	Análisis Costo-Beneficio en una vivienda.....	6-72
6.3.1	Discusión de resultados.....	6-75
6.4	Sistemas de biogás en la ciudad.....	6-77
6.4.1	Propuesta.....	6-77
6.4.2	De aspectos legales .....	6-78
6.4.3	Del proyecto.....	6-80
6.4.4	Escenario.....	6-85
	Conclusiones y recomendaciones .....	6-91
	Recomendaciones para seguimiento y trabajos futuros.....	6-95
	Bibliografía .....	6-96
	Anexos .....	6-101

## Lista de Figuras

Figura 2-1 Total del suministro energético por tipo de combustible. ....	2-18
Figura 2-2 Sistema del efecto invernadero y sus flujos de energía en el planeta. (Peake et al. 2011, p.22) .....	2-19
Figura 2-3 Impactos en la criosfera, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52) .....	2-20
Figura 2-4 Impactos en el océanos, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52) .....	2-21
Figura 2-5 Impactos en los bosques, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52) .....	2-22
Figura 4-1 VPH según número de ocupantes. Elaboración propia con datos del INEGI correspondientes a 2010, con fuente de: (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-32
Figura 4-2 Población por Sexo Según Condición de Actividad (14+ años). Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-32
Figura 4-3 Población ocupada por duración de jornada de trabajo. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-33
Figura 4-4 Población Ocupada por Nivel de Ingreso. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-33
Figura 4-5 Ingreso promedio mensual por decil de hogares. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-34
Figura 4-6 Hogares y sus gastos corriente monetario por rubros del gasto. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-35
Figura 4-7 Población no económicamente activa por actividad realizada. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013 <sup>a</sup> ). .....	4-36
Figura 4-8 Consumo de Energía en el Sector Residencial por Combustible. Tomado de SENER (Secretaria Energía & Agencia Internacional de 2011). .....	4-39
Figura 4-9 Consumo de GLP en sector residencial en México en Miles de barriles diarios por año. Elaboración propia con información de (Dirección General de Planeación Energetica 2012) SENER. ....	4-40

Figura 4-10 Precio de venta de Gas LP En México por Kg en Pesos. Elaboración Propia con datos de (Dirección General de Planeación Energética 2012).....	4-40
Figura 4-11 Consumo de energía por usos finales. Sector residencial. Fuente (Secretaría Energía & Agencia Internacional de 2011)SENERSENER .....	4-41
Figura 4-12 Generación de RSU por Tipo de Localidad. Tomado de (SEMARNAT 2013) .....	4-43
Figura 4-13 Composición de los RSU en México. Tomado de (SEMARNAT 2013) ...	4-44
Figura 4-14 Emisiones de CH <sub>4</sub> del Sector Desechos de 1990 a 2010 en México. Tomado de (INECC 2012). .....	4-46
Figura 5-1 Clasificación de los distintos tipos de residuos.....	5-52
Figura 5-2 Dr. Anand Karve y su sistema ARTI BIOGAS. Foto tomada de (Karve 2006) .....	5-55
Figura 5-3 Flujo de Elementos en la Vivienda. Elaboración Propia.....	5-60
Figura 5-4 Flujo de Elementos en la Vivienda al Usar Biogás como Combustible. Elaboración Propia.....	5-61
Figura 5-5 Límites, beneficios y externalidades del uso de biogás en las viviendas.....	5-64
Figura 6-1: Ubicación geográfica de la ciudad de La Paz, con imágenes tomadas del Google Maps (GOOGLE 2015).....	6-66
Figura 6-2 Fotografía de casas en serie ubicadas al fondo de la colonia Puesta del Sol.	6-67

## Lista de Tablas

Tabla 2-1 Corrientes del Desarrollo Sustentable. Tomado de (Gudynas 2011). .....	2-24
Tabla 3-1 Valores de la vivienda promedio de la ciudad de La Paz en 2010. Elaboración propia con datos de (SPyDE 2013; Encarnación 2012; SENER 2012). .....	3-29
Tabla 4-1 Enfermedades Transmitidas por Fauna Nociva. Fuente Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Con información de (Rivera 2005) .....	4-47
Tabla 4-2 Derivados de la Contaminación de Cuerpos de Agua por Lixiviados. Fuente U.S. Department of Health. Tomado de (Rivera 2005). .....	4-48
Tabla 5-1 Clasificación de los Biocombustibles. Modificado de (Rodillo-Calle 2008). .....	5-51
Tabla 5-2 Cantidad de Residuos Alimenticios (RA) per Cápita por Día. Elaboración propia. ....	5-53
Tabla 5-3 Alimentos altamente biodegradables y de alta producción de metano. Fuente (Probiogas 2007).....	5-56
Tabla 5-4 Propiedades Físico Químicas del Biogás. Fuente de (Cacua et al. 2011). ....	5-57
Tabla 5-5 Etapas de la Degradación Anaeróbica. Elaboración propia con información de (Fernandez 2008). .....	5-59
Tabla 5-6 Consecuencias por la no disposición de los RA. Elaboración propia. ....	5-65
Tabla 6-1 Datos de una vivienda promedio. Elaboración propia.....	6-71
Tabla 6-2 Costos del primer año por uso de biogás en la vivienda. Elaboración propia.	6-73
Tabla 6-3 Costos a partir del 2do año en adelante por uso de biogás en la vivienda. Elaboración propia. ....	6-74
Tabla 6-4 Beneficios y externalidades de usar biogás. Elaboración propia .....	6-74
Tabla 6-5 Beneficios y externalidades de usar biogás considerando el 100% de las viviendas en la ciudad de La Paz y la parte orgánica del relleno sanitario. Elaboración propia. Valores anuales.....	6-84
Tabla 6-6 Escenario del aprovechamiento del 5% de los RO de La Paz. Elaboración propia. ....	6-87
Tabla 6-7 Etapas de la implementación propuesta. Elaboración propia.....	6-88

## **Abreviaturas y siglas**

**APGIRS** – Agencia para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California Sur

**CH<sub>4</sub>** – Metano

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono

**FAO** – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**GEI** – Gases de efecto invernadero

**Gg** – Giga gramo

**GJ** – Giga Joule

**GLP** – Gas licuado de petróleo

**IEA** – Agencia Internacional de Energía

**INECC** – Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

**INEGI** – Instituto Nacional de Estadística y Geografía

**LGPGIR** – Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos

**NOM** – Normas Oficiales Mexicanas

**ONU** – Organización de las Naciones Unidas

**PEPGIRS** – Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California Sur

**RA** – Residuos alimenticios

**RME** – Residuos de manejo especial

**RO** – Residuos orgánicos

**RSM** – Residuos sólidos municipales

**RSU** – Residuos sólidos urbanos

**SEMARNAT** – Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**SENER** – Secretaria de Energía

**SPM** – Servicios públicos municipales

**TJ** – Tera Joule

**VPH** – Viviendas particulares habitadas

## **Glosario**

## 1 Introducción

Una de las problemáticas ambientales que acontecen al planeta se deriva del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El amplio uso de combustibles fósiles, desde la industrialización, ha causado un incremento de emisiones en la atmósfera. Aunado con otras acciones como, la sobre explotación de los recursos naturales y la contaminación, el efecto invernadero del planeta se ha intensificado. La temperatura de planeta se incrementa a consecuencia y genera cambios en los ecosistemas. Dando pie a un cambio climático de influencia antropogénica.

Una de las opciones para mitigar los efectos del cambio climático es reemplazar los combustibles convencionales por biocombustibles como el biogás. El biogás es una mezcla de gases que derivan de la descomposición de la biomasa y está compuesto de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), principalmente. Es un biocombustible similar al gas natural y su uso en áreas urbanas ayuda a mitigar el cambio climático y propicia vidas más sustentables. Un ejemplo de esto es el uso de biogás en la vivienda.

El biogás se puede generar a partir de los residuos orgánicos del hogar y utilizarlo como alternativa a los combustibles convencibles como el gas licuado de petróleo (GLP), el gas butano, la leña entre otros. Esto ayuda a disminuir el uso de los combustibles fósiles y a la par reduce la carga orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU). Contribuyendo a reducir emisiones de GEI y a evitar parte de la contaminación ambiental que surgen en algunas ciudades a causa de la inadecuada gestión de los residuos. Como sucede en La Paz en Baja California Sur, México.

“El problema al que se enfrenta el Municipio de la Paz en la actualidad, es el aumento considerable de los residuos sólidos urbanos (basura doméstica), en las zonas urbanas y rurales, lo que ha ocasionado la contaminación del suelo, la flora, la fauna y los cuerpos de agua superficiales y subterráneas, todo esto por los residuos sólidos urbanos (basura doméstica) acumulada, así como por la filtración de los líquidos lixiviados producto de la descomposición de materiales orgánicos

mezclados con residuos químicos, esto ocasionado por el manejo inadecuado del sistema de recolección de basura y la poca participación de los ciudadanos” (Encarnación 2012, pp 15).

“La generación excesiva de los residuos sólidos urbanos que ingresan al Relleno Sanitario Municipal, han ocasionado que las 5 trincheras estén completamente saturadas. Además no existe una estructura complementaria para evitar la contaminación ambiental y la disminución de líquidos de lixiviados, los cuales contaminan el subsuelo y los mantos freáticos, además carece de un sistema de captación de biogás, el cual serviría para evitar la generación del gas metano y otros gases que provocan explosiones e incendios durante todo el año.”(Encarnación 2012, pp 17)

El uso de biogás en la vivienda urbana es una realidad en ciudades como Pune al sur de la India. El sistema de biogás llamado ARTI-BIOGÁS es invención del Dr. Anand Karve y es un pequeño reactor rudimentario de bajo costo que permite genera biogás a partir de los residuos alimenticios de cocina. El biogás generado es luego utilizado como combustible domestico en sustitución de los combustibles fósiles convencionales. Esto ha concebido beneficios ambientales, sociales y económicos a los habitantes de Pune. Sin embargo la localidad de La Paz es distinta y el uso de biogás quizás conllevaría otras afectaciones, beneficios y/o barreras para su implementación.

Posiblemente el uso de biogás a pequeña escala no sea la solución absolutista para los problemas de residuos en La Paz pero, el aprovechar los residuos alimenticios (RA) para generar biogás lograría disminuir la carga al relleno sanitario del municipio y con ello reducir los riesgos de contaminación. Aunado a esto se reducirían emisiones de GEI y se contribuiría a tener vidas más sustentables. Es por esto que resulta importante análisis y valorar la posibilidad de usar biogás en la vivienda de La Paz, así como, conocer los impactos sociales, económicos y ambientales.

## 1.1 Objetivo general

Analizar los posibles impactos socioeconómicos y ambientales derivados del uso de biogás como combustible domestico producido a partir de los residuos alimenticios generados en la vivienda para el caso de La Paz B.C.S.

## 1.2 Objetivos particulares

Caracterizar los residuos de la vivienda y su composición de RA.

Evaluar el potencial de generación de biogás partiendo de los residuos alimenticios de la vivienda.

Estimar costos por uso y no uso de biogás en la vivienda.

Determinar los factores sociales implícitos en el uso de biogás como combustible domestico.

Estimar los costos por disposición de los residuos alimenticios.

Asemejar las posibles externalidades.

## 1.3 Hipótesis

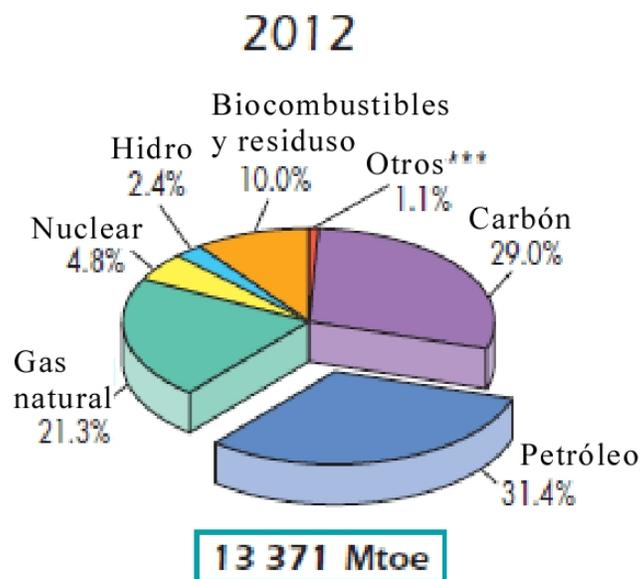
Desde las perspectivas, económicas, sociales y ambientales es recomendable generar biogás aunque a nivel particular todavía no sea rentable, si lo es a nivel agregado de la ciudad de La Paz.

## 1.4 Cuerpo del documento

El trabajo de investigación inicia en el capítulo 2. En él se abordando los contextos teóricos del desarrollo sustentable y la innovación de la tecnología. En el capítulo 3 se describe el documento y se plantea la metodología. En el capítulo 4 se describe la vivienda mexicana, las necesidades energéticas del hogar y se conocen los principales riegos de los RSU. En el capítulo 5 se propone al biogás como una alternativa energética y se dan a conocen aspectos técnicos. En el capítulo 6 se analiza la posibilidad de usar biogás desde dos escenarios posibles, la vivienda y la ciudad. Más conclusiones y recomendaciones.

## 2 El Desarrollo sustentable y la tecnología

El humano requiere energía para subsistir y satisfacer sus necesidades. El alimento por ejemplo, es una fuente de energía que nos permite estar vivos. De igual forma se ocupa energía para desplazar medios de transportes, comunicar personas, iluminar ciudades, etc. Existen diversas fuentes de energía disponibles en nuestro planeta: las fósiles (carbón, petróleo, gas natural,...), los biocombustibles (madera, biodiesel, biogás,...), la hídrica, nuclear entre otras. La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) menciona que el suministro de energía primaria en el planeta proviene de los combustibles fósiles con razón de 81.7%, las energías renovables (geotérmica, eólica, solar,...) el 1.1%, y los biocombustibles un 10% (International Energy Agency 2014) (ver Figura 2-1).



**Figura 2-1 Total del suministro energético por tipo de combustible.**

Gráfica tomada de (International Energy Agency 2014, p.6). Mtoe = Millones de toneladas de petróleo equivalentes), \*\*\* geotérmica, solar, eólica, etc.

El dominio de los fósiles en el mundo ha trascendido en un aumento de emisiones antropogénicas en la atmósfera, CO<sub>2</sub> principalmente. La quema de combustibles fósiles como la gasolina, el GLP, diesel, combustóleo generan CO<sub>2</sub> nuevo, adicionándose al ya existente en la atmósfera. Al incrementar los GEI en la atmósfera, como el CO<sub>2</sub>, el efecto

invernadero en el planeta se intensifica. Esto eleva la temperatura de los océanos, de la superficie terrestre y de la atmósfera.

Este efecto invernadero es una condición natural y es parte vital del ecosistema planetario. El sistema del efecto invernadero involucra un flujo de energía que proveniente del sol y de la superficie terrestre. El 49% de la energía que proviene del sol es absorbida en la superficie terrestre. El 20% se queda en la atmósfera y el 31% restante se escapa al espacio. Al incrementar los GEI en la atmósfera se incrementa la capacidad de absorción de radiación y se evita que parte de la ella se escape al espacio. Esto incrementa la temperatura del planeta y genera un cambio climático de influencia antropogénica (ver Figura 2-2 (Peake et al. 2011, p.22)).

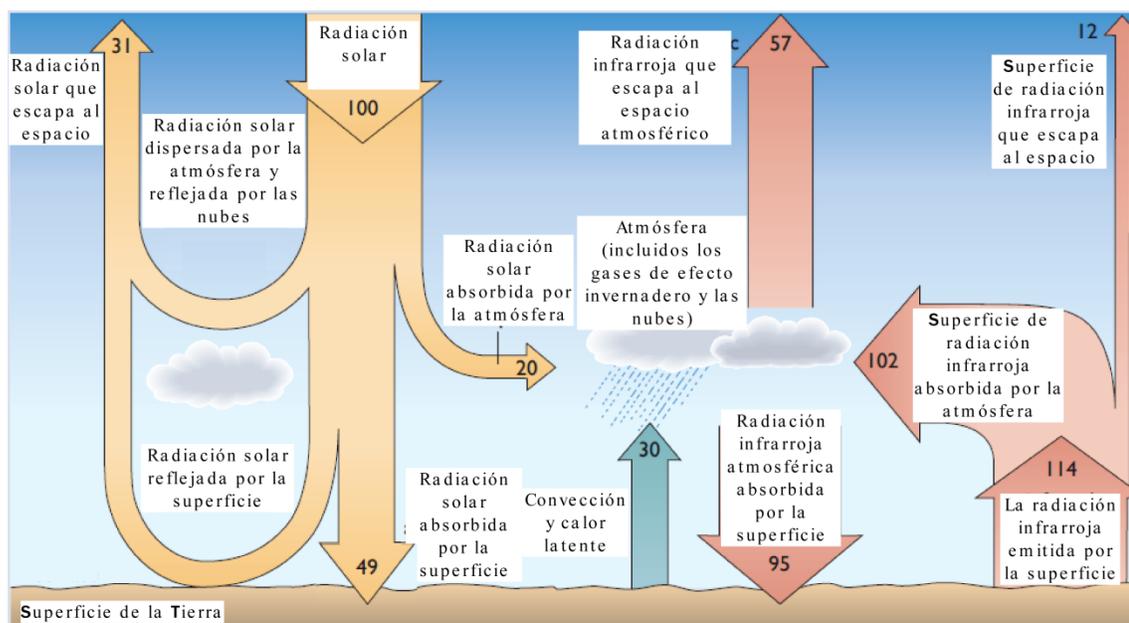


Figura 2-2 Sistema del efecto invernadero y sus flujos de energía en el planeta. (Peake et al. 2011, p.22)

Algunos de los impactos asociados al cambio climático son: la disminución de glaciares, la mortalidad de los arrecifes, el cambio de vientos y corrientes marinas, cambios en la temperatura de los mares, disminución en la variedad de especies, entre muchas consecuencias más (ver Figura 2-3, Figura 2-4 y Figura 2-5)

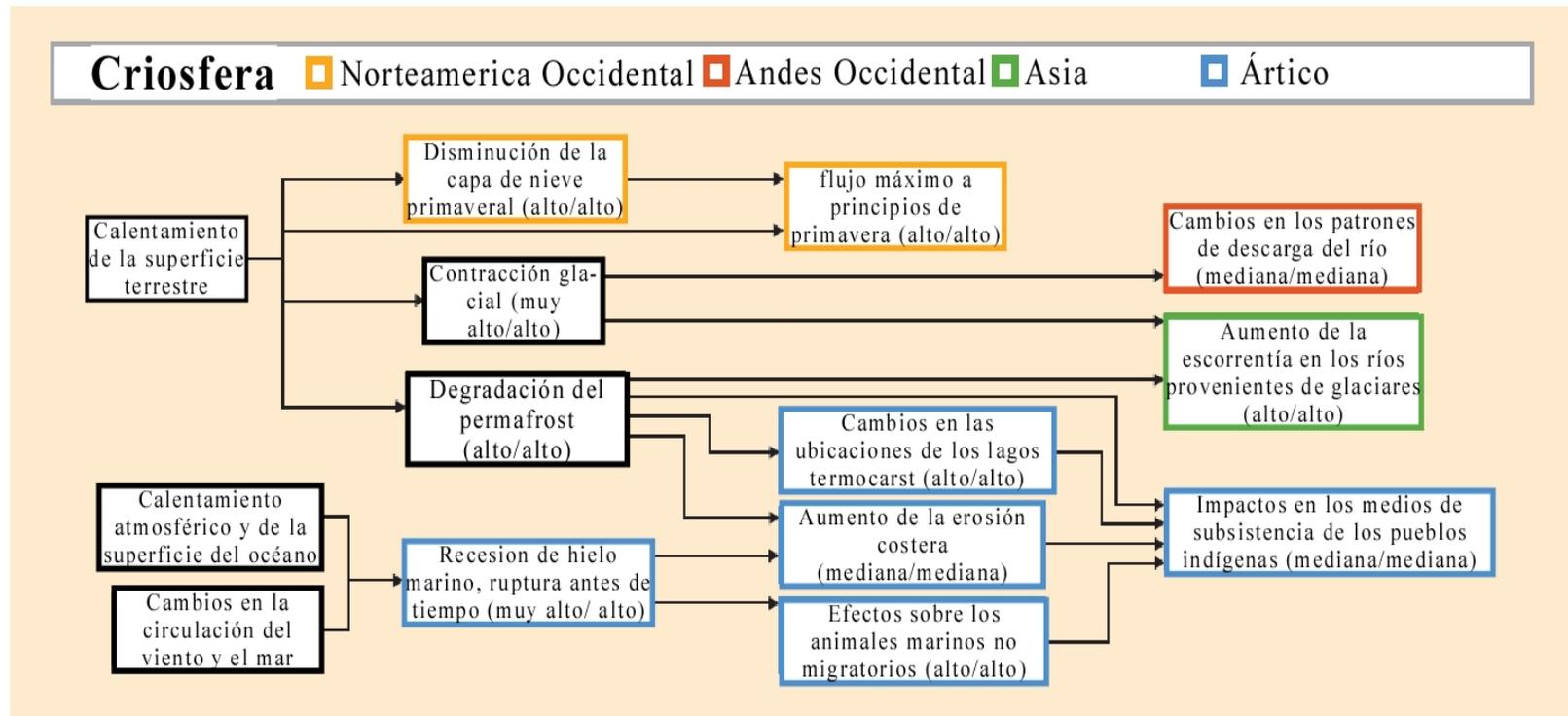


Figura 2-3 Impactos en la criosfera, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52)

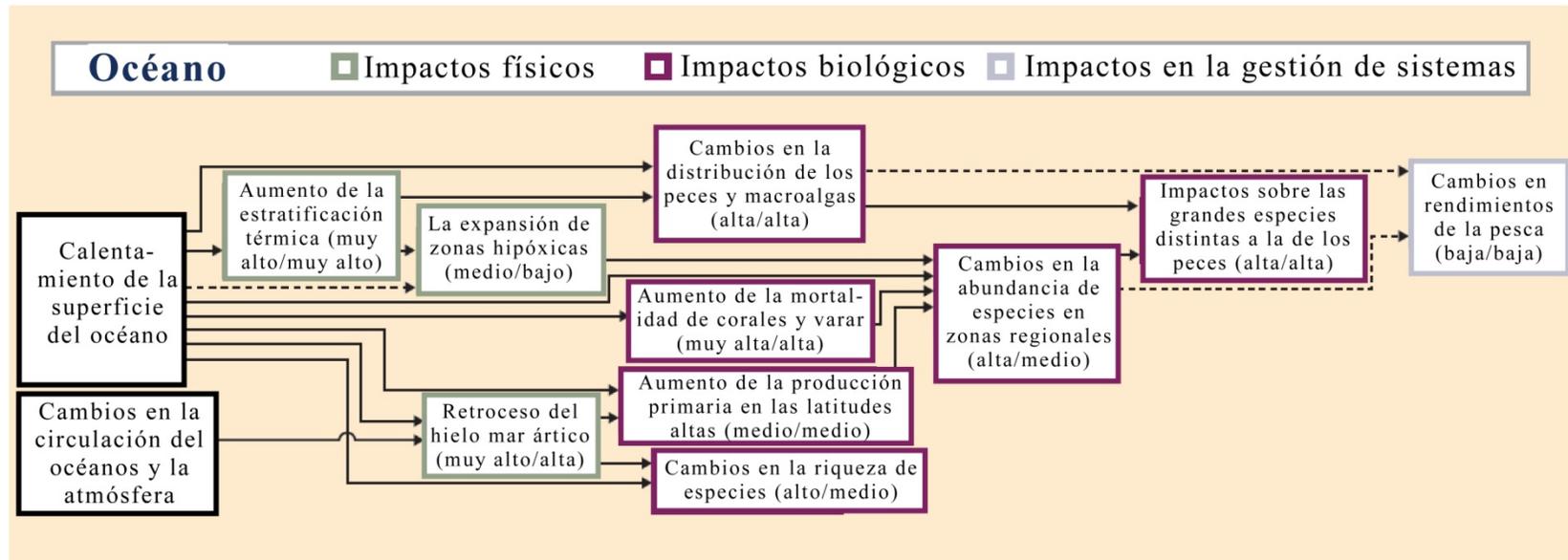


Figura 2-4 Impactos en el océanos, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52)

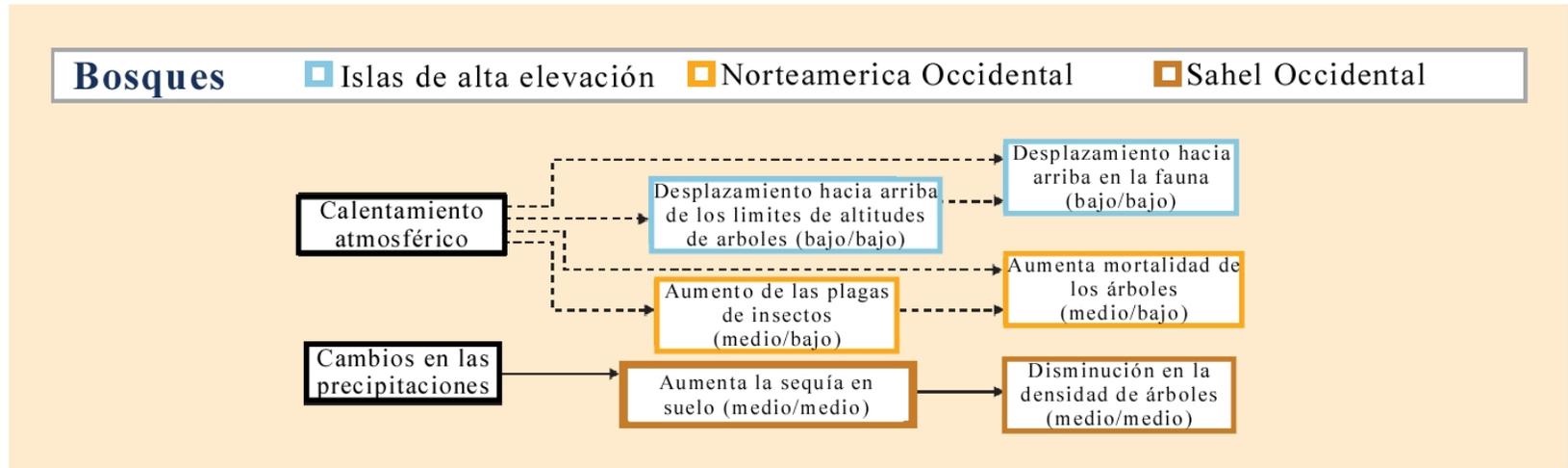


Figura 2-5 Impactos en los bosques, traducido al español de (Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, p.52)

Como se vio en la figura 2-1 los combustibles fósiles dominan el abasto energético, las emisiones derivadas de su uso intensifican el efecto invernadero y además de ello hay múltiples afectaciones al medio ambiente. Eliminar el uso los combustibles fósiles no es posible en el corto plazo, se depende mucho de ellos. El estilo de vida urbano por ejemplo, dispone de servicios energéticos como las gasolineras o estaciones de gas. Los víveres del supermercado es otro ejemplo, pues los productos llegan gracias a transportes que utilizan combustibles convencionales como gasolina o diésel. La energía eléctrica también puede provenir de combustibles fósiles, como en el caso de termoeléctricas. Dependemos de los combustibles fósiles para el desarrollo de sociedades, ciudades, países, regiones, etc. Sin embargo, es posible mitigar los impactos ambientales al tomar modelos de desarrollos más sustentables.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) define el desarrollo sustentable como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de que las generaciones futuras satisfagan las suyas (ONU 2012). La idea de la concientización ambiental nace en los años 60 y una década más tarde se lleva a cabo la conferencia del Medio Ambiente Humano en Estocolmo Suiza en 1972, le sigue la Cumbre Ambiental de Rio 92 en Rio de Janeiro, Brasil. En 2005 las emisiones antropogénicas se regulan mediante el protocolo Kioto y se da pie a una segunda conferencia en Rio de Janeiro, 20 años después, RIO+20. Actualmente se lleva a cabo la 21ª conferencia del cambio climático en Le Bourget, Francia cerca de Paris

Existen perspectivas críticas al desarrollo sustentable en duda a cuáles son los posibles caminos a tomar. E. Gudynas por ejemplo, menciona que el concepto de desarrollo sustentable se ha diversificado en distintas corrientes. Sin embargo propone posibles tendencias que el desarrollo sustentable puede seguir. (Gudynas 2011, ver Tabla 2-1).

Respecto a cómo trascender a vidas más sustentables la ONU establece que los países desarrollados tienen la responsabilidad de proporcionar avances en temas sociales, políticos, económicos y demás, que ayuden a los países en desarrollo a lograr su propio progreso. La IEA, propone que a través de la innovación de la ciencia y la tecnología se

podrán reducir de manera progresiva las afectaciones al ambiente (International Energy Agency 2013). Esta es una propuesta dentro de las sustentabilidad débil, una corriente del desarrollo sustentable según Gudynas.

Tabla 2-1 Corrientes del Desarrollo Sustentable. Tomado de (Gudynas 2011).

<p><b>In-sustentabilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Situación dominante en la actualidad donde no se incorpora en forma sustantiva una dimensión ambiental. Persisten las metas de Crecimiento económico, se persigue el lucro y la competitividad, se alienta la artificialización del ambiente, se rechazan los límites ecológicos. Ideología del progreso.</li> </ul>	
<p><b>Sustentabilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se incorpora la dimensión ambiental.</li> </ul>	
<table border="1"> <tr> <td> <p><b>Sustentabilidad débil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ideología del progreso, metas de crecimiento económico, valor económico de la Naturaleza, límites ecológicos manejables.</li> </ul> </td> </tr> </table>	<p><b>Sustentabilidad débil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ideología del progreso, metas de crecimiento económico, valor económico de la Naturaleza, límites ecológicos manejables.</li> </ul>
<p><b>Sustentabilidad débil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ideología del progreso, metas de crecimiento económico, valor económico de la Naturaleza, límites ecológicos manejables.</li> </ul>	
<p><b>Sustentabilidad fuerte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mayores críticas al progresionismo; economización de la Naturaleza pero con preservación de un stock natural crítico; enfoque técnico-político.</li> </ul>	
<p><b>Sustentabilidad súper – fuerte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crítica sustantiva a la ideología del progreso; búsqueda de nuevos estilos de desarrollo; concepto de Patrimonio Natural; ética de los valores propios en la Naturaleza; enfoque político.</li> </ul>	

Desde 1970 la Universidad de Sussex en el Reino Unido presento el Manifiesto Sussex, una alternativa al desarrollo científico tecnológico. El Manifiesto Sussex considera que la política de innovación se rige bajo quienes tienen los recursos para lograr dichos avances y esto hace es que la innovación tecnológica tenga un camino absolutista. Actualmente y en consecuencia, el Nuevo Manifiesto *Innovación, Sustentabilidad, Desarrollo e Inclusión*

*Social: Lecciones desde América Latina* aborda cuestionamientos acerca de la toma de decisiones. Los fines son lograr la sustentabilidad y un desarrollo socialmente incluyente (STEPS Center 2010). A continuación se presenta un fragmento del Nuevo Manifiesto Sussex que expone algunas de los desafíos que se anteponen a la innovación tecnológica y la sustentabilidad en países latinoamericanos.

Algunos de los desafíos descritos por los investigadores latinoamericanos en las décadas de los sesenta y setenta siguen siendo relevantes hoy día, aún cuando se hayan producido algunos cambios importantes. La pobreza, la exclusión social y la desigualdad son problemas que aún persisten, y que han frustrado los esfuerzos para la inversión en políticas públicas para ciencia, tecnología e innovación, debido a que estos representan necesidades inmediatas y apremiantes. La reciente crisis financiera ha contribuido al desempleo, y ha exacerbado la pobreza. Al mismo tiempo, siendo más optimistas, algunas condiciones estructurales son más favorables de lo que han sido durante décadas, incluyendo una mayor estabilidad económica y política, un creciente mercado interno y la posibilidad de obtener beneficios de la demanda global de bienes y de los precios altos. Asimismo, algunos países han aprovechado la oportunidad de implementar nuevas políticas de innovación y desarrollo. No obstante, estos esfuerzos aún son considerados inadecuados por algunos, especialmente en lo pertinente a su capacidad de vincular la ciencia y la tecnología a la inclusión social y a la sustentabilidad del ambiente. (INTI 2010 pp 79)

Andrew Feenberg, filósofo canadiense de la tecnología y autor del libro *Teoría Crítica de la Tecnología*, menciona que la innovación tecnológica puede evolucionar a partir de una estructura de poder diferente, refiriéndose a que la tecnología no es única o neutral y que solo se innova en aquello de interés para el capitalismo y el socialismo.

La tecnología tiene otros potenciales benéficos, suprimidos bajo el capitalismo y el socialismo de estado, que podrían emerger a lo largo de un

camino de desarrollo diferente. Al sujetar a los seres humanos al control técnico, a costa de los modos tradicionales de vida y restringiendo severamente la participación en el diseño, la tecnocracia perpetúa de modos racionales las estructuras de poder elitistas heredadas del pasado. En el proceso mutila no sólo a los seres humanos y a la naturaleza, sino también a la tecnología. Una estructura de poder diferente innovaría hacia una tecnología distinta, con diferentes consecuencias. En el contexto de la tecnocracia, la agencia aparece como un valor democrático central no sólo para las minorías excluidas, sino para todos (Feenberg 2005 pp 116).

Gustavo Giuliano da una aborda la teoría crítica de la tecnología en una aproximación desde la ingeniería. Argumenta que los enfoques actuales de la tecnología sesgan posibilidades culturales y materiales que pueden desarrollarse en ella. Estos obstáculos los podemos observar al ver la falta de autonomía operativa y la resistencia que existen en la implementación tecnológica (Giuliano 2013).

En la actualidad hay casos de éxito de tecnologías críticas que contribuyen a vidas más sustentables. Un ejemplo de ello es una pequeña planta generadora de biogás, llamada ARTI-BIOGÁS, el cual permite obtener biogás a partir de los residuos alimenticios del hogar para su uso como combustible domestico. El proyecto es liderado por el Dr. Ananad Karve en la India y en 2006 recibió *The Ashden Awards for sustainable energy*, premio que es otorgado a proyectos de energía sustentable que permitan acelerar la transición a un mundo bajo en emisiones de carbono. Esta tecnología será discutida más adelante como parte fundamental para en análisis desarrollado en este trabajo.

En el siguiente capítulo se presenta la metodología seguida para el análisis de este trabajo.

### **3 Metodología**

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis para ampliar la comprensión de lo que englobaría producir y usar biogás como combustible doméstico en una vivienda urbana. El propósito final es conocer y valorar los impactos relacionados con el biogás y su potencial uso como combustible en la vivienda urbana. El trabajo busca indagar en la posibilidad de aprovechar los RA como fuente de energía para la vivienda en La Paz, B.C.S. Sin embargo, debido a la escasa de documentación propia de la localidad en temas relacionados, esta investigación se presenta de tipo exploratoria.

Se buscó información respecto a la vivienda, el consumo energético, el hogar, los residuos y sus problemáticas. Todo en un contexto nacional para lograr tener una visión general de los hogares y sus residuos. De las bases de datos de instituciones gubernamentales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Secretaría de Energía (SENER), entre otros, se obtuvo información y estadísticas.

Para la zona de estudio se obtuvieron registros del relleno sanitario por parte de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales. De trabajos e investigaciones como el Plan de Acción Ante el Cambio Climático para La Paz y sus Zonas Colindantes (Ivanova 2013) y algunos estudios de tesis con relación a RSU de la localidad (Martínez 2002; Encarnación 2012; Castro 2013). Se obtuvo características de la localidad, como número de vivienda, generación de RSU y su composición de los mismos, emisiones, etc.

Respecto al aprovechamiento de los RA y el uso de biogás en la vivienda se planteó la posibilidad de encontrarse con diferentes escenarios, según la cantidad de biogás que se obtuviera de los RA. Una posibilidad fue que se produjera suficiente biogás para cubrir la totalidad de algún combustible convencional. La otra posibilidad sería que con la cantidad de RA que se generarían en el hogar, no se pudiera generar suficiente biogás para cubrir la demanda energética total de una vivienda. Esto daría pie a plantear un sistema híbrido para la vivienda, donde se alternarían el biogás y GLP.

Es relevante mencionar que el estado de BCS importa únicamente GLP para consumo domestico (SENER 2013), es por esta razón que a lo largo del documento se hace referencia a que el GLP es el combustible a remplazar en la vivienda de La Paz. Se considero establecer valores para una vivienda promedio de la ciudad de La Paz. El contexto sería el número de ocupantes promedio, el consumo promedio anual de GLP y la generación anual de RSU (véase la Tabla 3-1).

Asimismo estimó el consumo de GLP mediante la revisión de registros estatales e informes de la Secretaría de Energía (SENER 2013; Secretaria Energía & Agencia Internacional de 2011; Direccion General de Planeacion Energetica 2012). Esto permitió conocer consumo, ventas y demanda del GLP en BCS.

Respecto a la generación de RA y debido a la escasez de información de la localidad al respecto, se consideró revisar estudios que cuantificaban los residuos generados propios de una vivienda y que fueran cercanos a la ciudad de La Paz (véase la Tabla 5-2). Igualmente se buscó información en los reportes ambientales por parte de la Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAT 2013), buscando tener cifras nacionales con las cuales poder comparar al momento de estimar los RA de la vivienda en la Paz.

En cuanto a la estimación de biogás por medio de los RA se consideraron tres investigaciones (Vij 2011; Agrahari & Tiwari 2013; Voegeli et al. 2009) mismas que utilizaron el tipo de modelo biodigestor diseñado por el Dr. Anand Karve (véase la sección 5.3). Este mismo modelo fue diseñado específicamente para su uso urbano y para ser alimentado con RA. Estos estudios y desarrollos tecnológicos permiten tener un panorama más real en cuanto a la posibilidad de lograr un sistema similar para la vivienda de La Paz.

## Estudio de Caso

Se consideró el análisis costo beneficio como método para comparar debido a que este análisis permitiría la toma de decisiones basados elementos cuantificables, permitiendo valorar el uso de biogás en la vivienda, como el costo tecnológico, el ahorro de combustible y ahorro económico, entre otros. Se cubrirían algunos aspectos socioeconómicos y posibles externalidades.

Se consideró también hacer dos valoraciones a diferente escala. Una de ellas sería considerando el uso privado del biogás en la vivienda y la segunda sería un escenario para la ciudad de La Paz. Por último, se consideró internalizar factores derivados de dejar de recolección los RA que serán empleados para generar biogás.

**Tabla 3-1 Valores de la vivienda promedio de la ciudad de La Paz en 2010.**

Elaboración propia con datos de (Gobierno del Estado de Baja California Sur 2013; Encarnación 2012; Direccion General de Planeacion Energetica 2012).

Vivienda Promedio – La Paz, 2010		
Concepto	Unidades	
Número de ocupantes	3.5	Personas
Consumo anual de GLP	146	kg
Generación anual de RSU	1164.5	kg

#### **4 Una visión general de los hogares y sus residuos.**

Vivienda, hogar y residuos.

El desarrollo de sociedades involucra, entre varias acciones, un consumo de bienes materiales que indudablemente generaran diferentes tipo de residuo. Los residuos del hogar por ejemplo, tienen características únicas tanto en volumen como en composición. Debido a que se buscar generar biogás a partir de los residuos, usar biogás en la vivienda e incluir el sistema de biogás a la dinámica del hogar, resulta importante definir los conceptos de hogar, vivienda y residuos. Hogar y vivienda se definen del glosario de INEGI disponible en línea.

Hogar:

“Unidad formada por una o más personas que comparten un mismo gasto para alimentación y que residen habitualmente en una vivienda. Pueden ser hogares familiares, no familiares, nucleares, ampliados, compuestos y unipersonales.”. (INEGI 2014)

Vivienda:

“Espacio delimitado generalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se construyó para la habitación de personas, o que al momento del levantamiento censal se utiliza para vivir”. (INEGI 2014)

En términos generales la vivienda es el lugar construido para vivir y el hogar la unión de personas que conviven en el mismo lugar. En Referencia a los residuos generados por el hogar, se les atribuye el término de residuos sólidos urbanos (RSU). La SEMARNAT define a los RSU como:

“Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que

proviene de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos”.(Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2014)

#### 4.1 El hogar y la vivienda en México, datos.

Analizar el de usar biogás en la vivienda mexicana implica considerar el entorno social y económico que vive el hogar y la vivienda en México. El *Anuario Estadístico y Geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*, versión 2013, contiene información útil para contextualizar el hogar y la vivienda. El censo de población de vivienda más reciente, fue en el año 2010. A continuación se narra información del Anuario (INEGI 2013).

En aquel entonces, México tenía una población de 112,336.538 habitantes, 48.8% corresponden a hombres y 51.2% a mujeres. Existían 28 millones de viviendas particulares habitadas y el número de ocupantes por vivienda diversificaba en 4 ocupantes con 23%, 3 ocupantes con 19%, 2 y 5 ocupantes con 16% (ver la Figura 4-1). De la población y su actividad económica se distingue que, 49 millones de habitantes que son económicamente activos y 34 millones no lo son. Esto, excluyendo la población menor a 14 años de edad (ver la Figura 4-2).

Desde el punto de vista privado, el uso de biogás en la vivienda implicaría tener que invertir recurso en la adquisición de un sistema de biogás y tiempo en su operatividad. Por esto, es importante conocer datos de la población económicamente activa. Para el año 2010 el salario mínimo fue de \$55.92 pesos por jornada de 8 horas. El 95% de la población activa que recibe ingresos labora. El 70% de la población permanece ocupado por encima de las 36 horas a la semana, es decir, que poco más de dos terceras partes de la población económicamente activa se ocupada más de 6 horas diarias trabajando (ver Figura 4-3). El 23% de la población recibe ingresos hasta por 111.84 pesos por jornada, el 21% por \$167.76 pesos, el 17% con 223.68 pesos y el 14% con un salario mínimo. (ver Figura 4-4). De modo que el 60% de de la población activa recibe ingresos por debajo de los \$7,000 pesos mensuales.

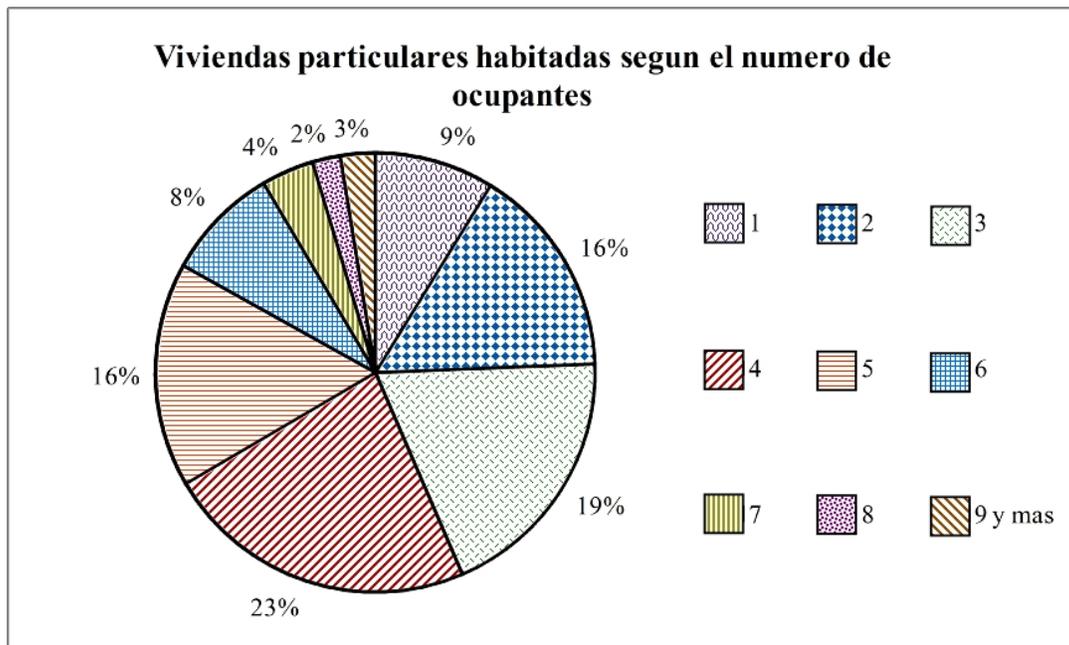


Figura 4-1 VPH según número de ocupantes. Elaboración propia con datos del INEGI correspondientes a 2010, con fuente de: (INEGI 2013<sup>a</sup>).

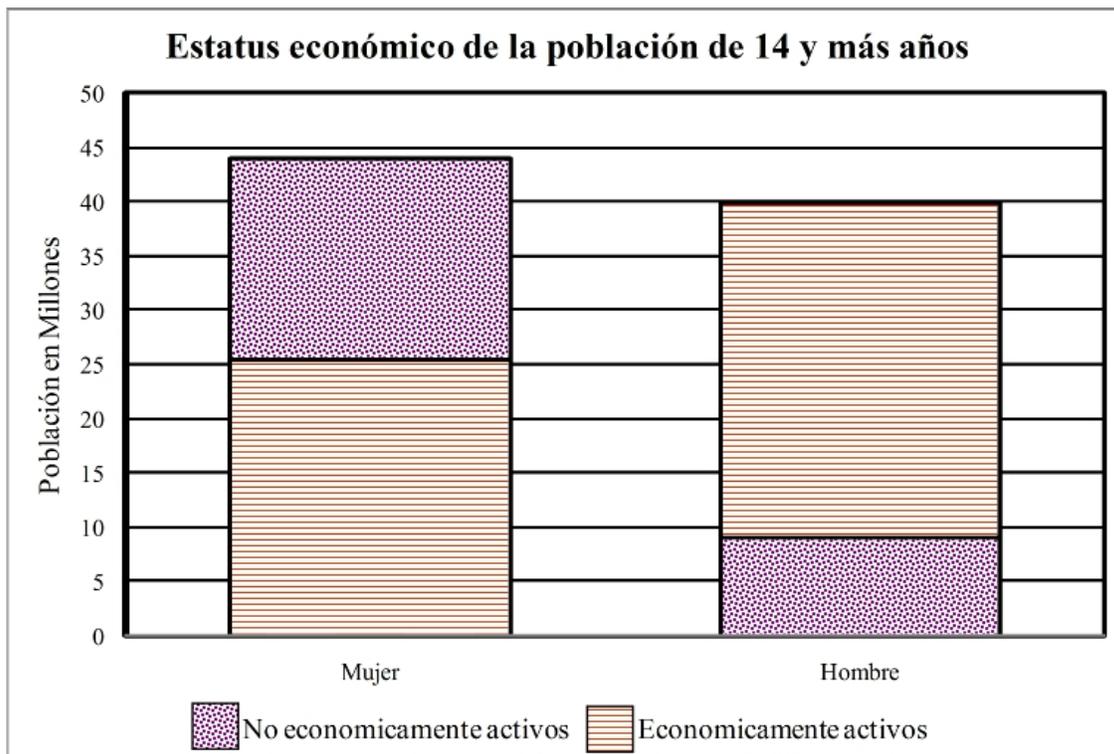


Figura 4-2 Población por Sexo Según Condición de Actividad (14+ años). Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>)

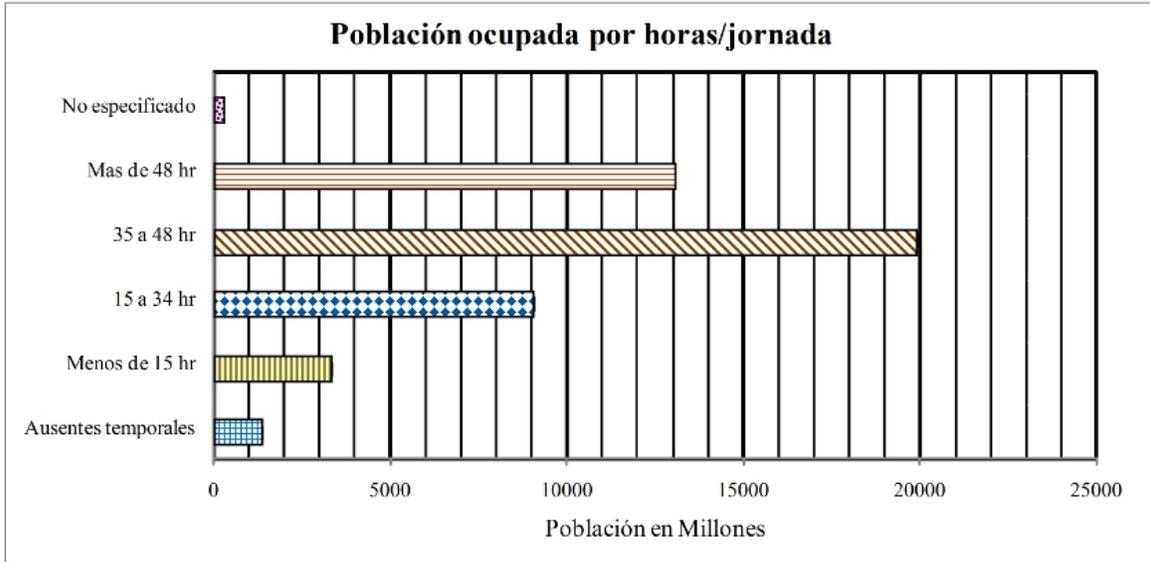


Figura 4-3 Población ocupada por duración de jornada de trabajo. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>)

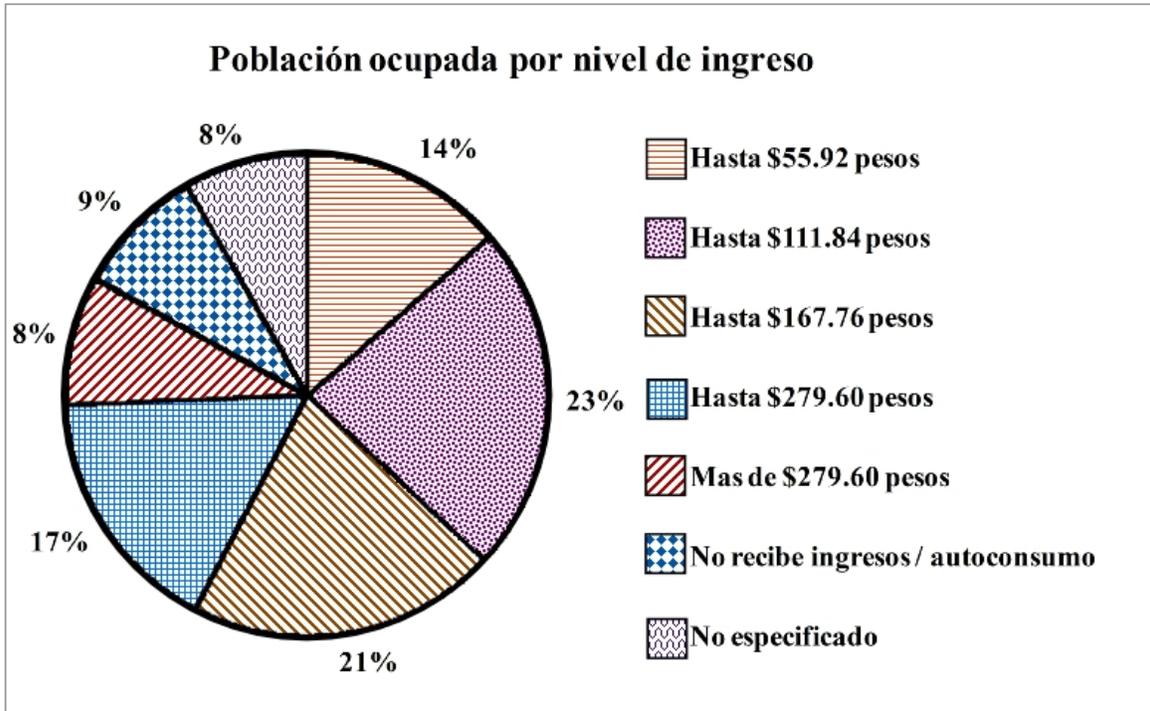


Figura 4-4 Población Ocupada por Nivel de Ingreso. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>).

En cuestión de hogares el 40% de recibe ingresos mensuales por debajo de los \$5,000 pesos, otro 40% recibe desde \$5,000 hasta poco más de \$10,000 pesos y el 20% restantes desde de \$15,000 hasta más de \$30,000 peso (ver Figura 4-5). Este mismo ingreso se destina a diferentes necesidades. El 33% de los ingresos del hogar se destinan a alimentos, bebidas y tabaco. El 18% se destina al transporte, vehículos y comunicación. El 14% a servicios y artículos educativos. El 9% a la vivienda, energía eléctrica y combustibles (ver Figura 4-6). La producción de biogás a partir de los remanentes alimenticios implicaría entonces que, el 33% del ingreso contribuyen a la obtención de materia prima para la producción de biogás. Derivado también del uso de biogás, se puede pensar que el 9% del ingreso que se destina a vivienda, energía eléctrica y combustible se vería afectado. Esto debido a que al invertir en un sistema de biogás, el gasto de vivienda se incrementaría, mientras que al usar biogás, se ahorraría en combustibles.

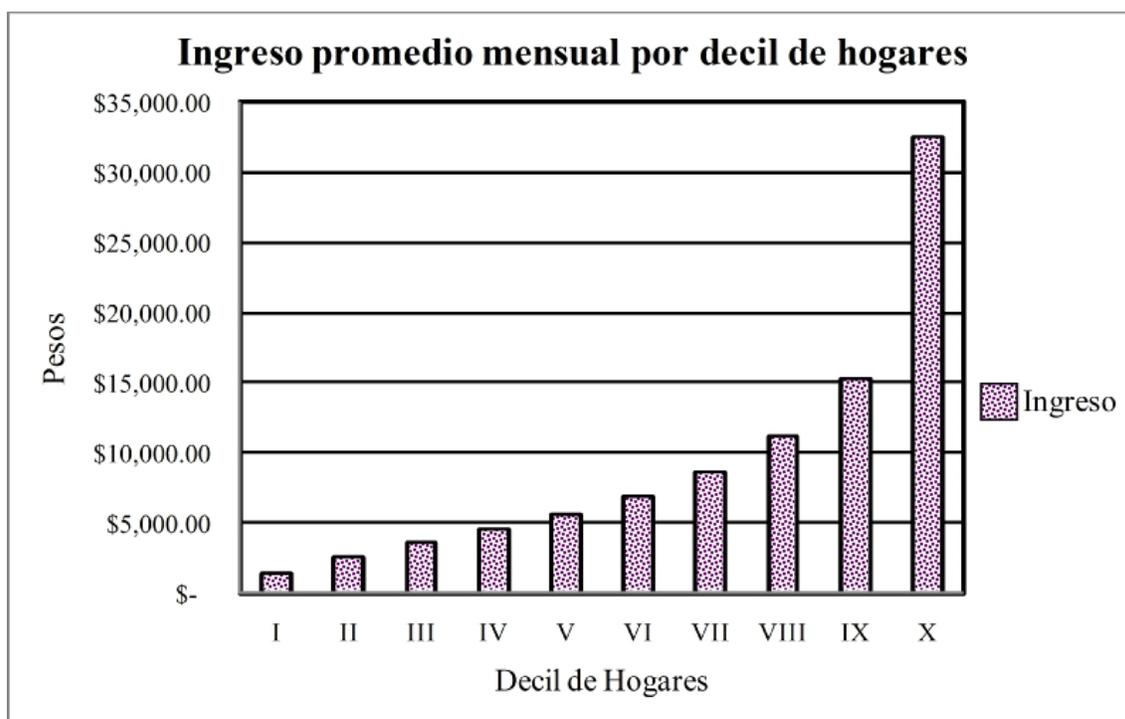


Figura 4-5 Ingreso promedio mensual por decil de hogares. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>)

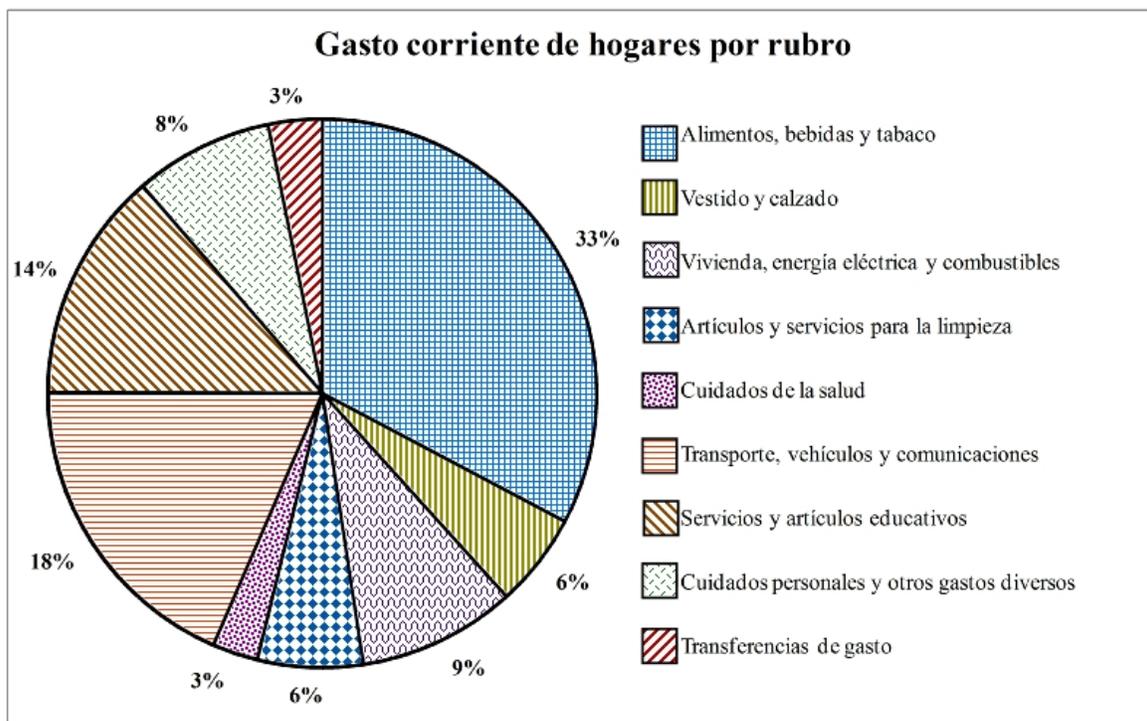


Figura 4-6 Hogares y sus gastos corriente monetario por rubros del gasto. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>)

El usar biogás en la vivienda implica operar el biodigestor, esto, adiciona actividades nuevas a las ya existentes dentro un hogar. La población no económicamente tiene que ser considerada, pues contribuye también a la dinámica del hogar. El 53% de la población no activa se dedica a actividades de quehaceres domésticos y 28% son estudiantes. El 19% se divide en jubilados y pensionados con 7%, personas incapacidades permanentes con el 1% y 11% de tipo no activos (ver Figura 4-7). El uso de biogás en la vivienda implicaría entonces adicionar actividades, estas estarían dentro de quienes hacen los quehaceres domésticos. El separar los RA para producir biogás es una actividad que puede ser considerada como quehacer domestico. El monitoreo de la producción de gas para su uso también implica actividades adicionales. Por ejemplo, en la preparación de alimentos con biogás obligado a administrar la cantidad de biogás disponible para cocinar.

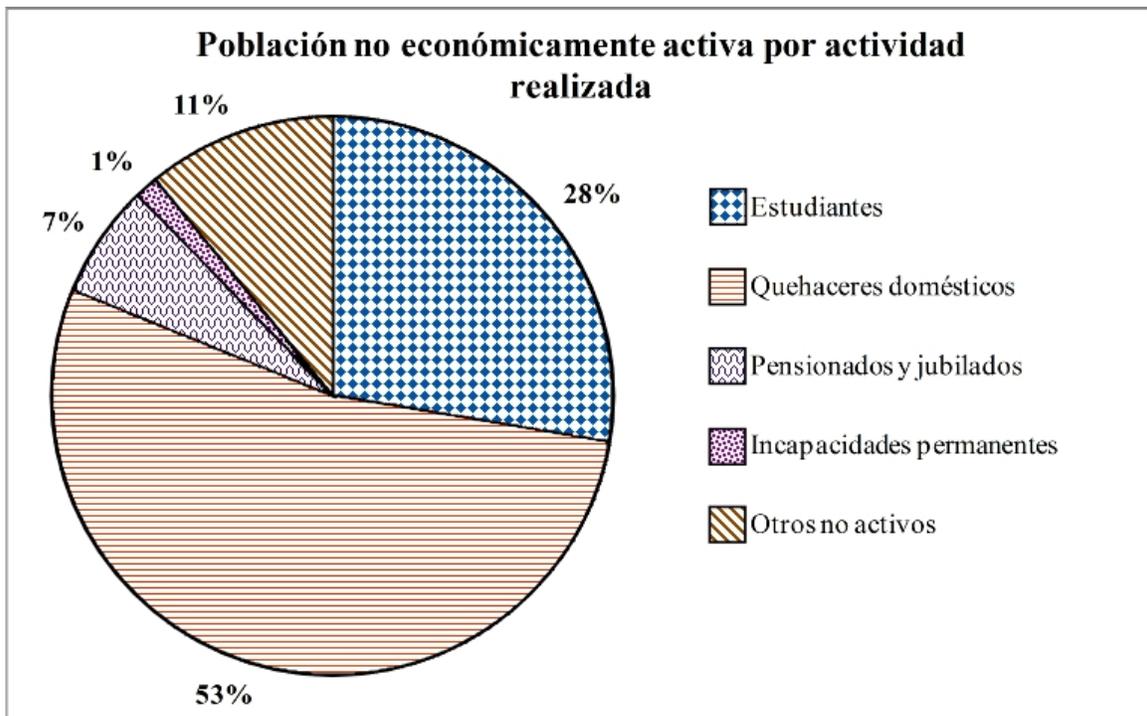


Figura 4-7 Población no económicamente activa por actividad realizada. Elaboración propia con datos de (INEGI 2013<sup>a</sup>)

En síntesis a los datos mostrados se rescata que:

- Invertir en un sistema de biogás para la vivienda implicaría considerar aumentar el gasto destinado a la vivienda y disminuir el gasto de los combustibles convencionales.
- Aumentar las actividades de los quehaceres domésticos, derivado de la gestión de los RA y el administrar la producción de biogás.

Sin embargo, el adaptar un sistema de biogás a la ya existente vivienda, implica considerar aspectos de la vivienda misma, como su entorno urbano por ejemplo.

#### 4.1.1 Evolución de la vivienda

El trabajo de (Cervantes et al. 2008) titulado “Evaluación de la habitabilidad de la vivienda social producida industrialmente en México”, describe el contexto de la vivienda en el país y como esta evolucionó a lo hoy conocemos como viviendas. A continuación se toma la información relevante para este trabajo.

En un principio el Estado Mexicano era el encargado de gestionar la vivienda del país. En la década de los cincuenta se crea el Instituto Nacional de la Vivienda con el objetivo de cubrir los sectores de la población de bajo ingreso. En Años posteriores se modifican algunas políticas permitiéndole al Estado Mexicano deslindarse cada vez más de su función como agente regulador de la vivienda. Esto permitió facilitar el acceso a créditos y financiamientos. Mismos que estarían enfocados a sector específicos de la población.

A partir de los años noventa se modifica el artículo 27 Constitucional, permitiendo a los ejidatarios la oportunidad de vender y comercializar de manera privada sus tierras. Consecuentemente, esto intensificó la oferta de tierras. Dando pie a considerar el uso de estas tierras para el desarrollo urbano. Esto a su vez, generó la oportunidad de construir grandes desarrollos habitacionales. Pagadas por parte de las inmobiliarias quienes eran las que contaban con el capital para adquirir los nuevos terrenos.

Los acontecimientos orientaron a que la vivienda se produjera de manera estandarizada y de baja calidad. La visión de la industrialización de la vivienda sería esencialmente financiera, atribuyendo a una corta visión social ya a fabricar productos inmobiliarios en serie. La idea de estas inmobiliarias sigue siendo tener viviendas al menor costo posible, propiciando vender a precios que generan sobreutilidades directas en la recuperación del costo de producción y en la captura inmediata de plusvalías.

“Solo se busca asegurar la rentabilidad que representa la inversión privada en vivienda de interés social para un sector (el bancario y el financiero), y el acceso a la vivienda a los sectores de población que garantizan cierta solvencia económica. Hasta ahora, la ganancia la da, el contar con un mercado cautivo, con carencias de planeación, corrupción, marcos legales deficientes y necesidades urgentes, no ha importado que el producto (la vivienda) sea malo, lo importante es que se vende por qué es lo único que se oferta” (Cervantes et al. 2008 pp 8)”

Las inmobiliarias empezaron a construir conjuntos habitacionales en terrenos a las periferias de las ciudades donde antes existían lo ejidales. El costo de estos terrenos al ser

bajos permitía generar condiciones para incrementar los ingresos por parte de la inmobiliaria. En contraparte esto propicia condiciones negativas para quienes habitan.

“La política actual de vivienda en México, está enfocada a resolver el aspecto cuantitativo del problema; esto ha generado a la fecha, distorsiones en el desarrollo urbano local y regional, con implicaciones sociales, rurales, y ecológicas al desencadenar una intensiva expansión de asentamientos en la periferia de las ciudades; con impactos negativos a la estabilidad productiva de los suelos agropecuarios, la capacidad instalada de las infraestructuras urbanas, la disputa por recursos como el agua y los energéticos con las comunidades rurales, deseconomías familiares por los elevados costos de la inflación y especulación por la llegada de la ciudad, la falta de transporte y los tiempos de traslados” (Cervantes et al. 2008, p.1).

Las viviendas industrializadas lucen desfavorables como entorno a la dinámica del hogar. Su construcción y ubicación afectan aspectos socioeconómicos de la población y el hogar. Cabe mencionar que en La Paz las inmobiliarias construyen siguiendo los mismos principios de corta visión social. Fabricando hacia las periferias de la ciudad propiciando condiciones similares adversas, como las menciona por Cervantes.

## 4.2 Las Necesidades Energéticas

Conocer las necesidades energéticas de la vivienda, nos ayuda a conocer mejor la dinámica del hogar y de qué manera puede el biogás contribuir. A continuación se muestra información relacionada con la energía en la vivienda con datos de la Secretaria de Energía.

La energía eléctrica, la leña y el GLP fueron los combustibles más consumidos en México con 24.7%, 32.9% y 38.1% respectivamente (ver Figura 4-8).

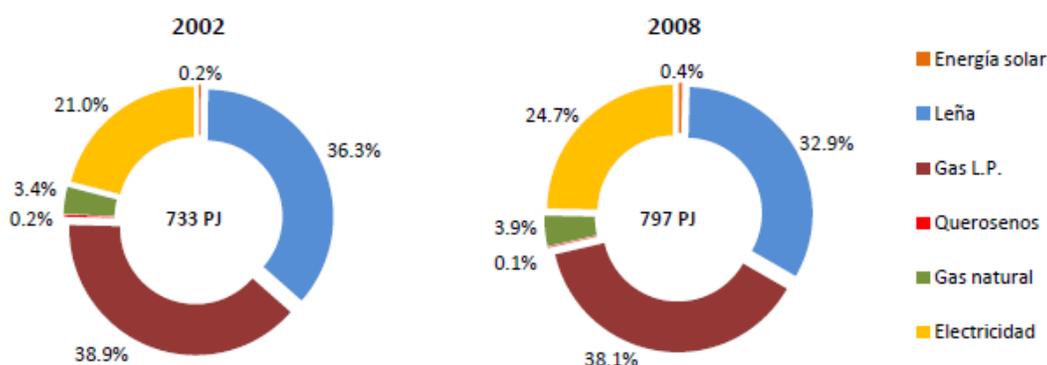


Figura 4-8 Consumo de Energía en el Sector Residencial por Combustible. Tomado de SENER (Secretaria Energía & Agencia Internacional de 2011).

La leña como combustible en el hogar no representa una gran amenaza ambiental, ya que en ocasiones la leña como combustible es usualmente madera encontrada en el suelo seca (Subedi et al. 2014). Sin embargo, el uso de leña propicia impactos a la salud derivado de la exposición de los gases liberados durante su combustión. Aumenta la probabilidad de adquirir enfermedades respiratorias (Martinez 2003).

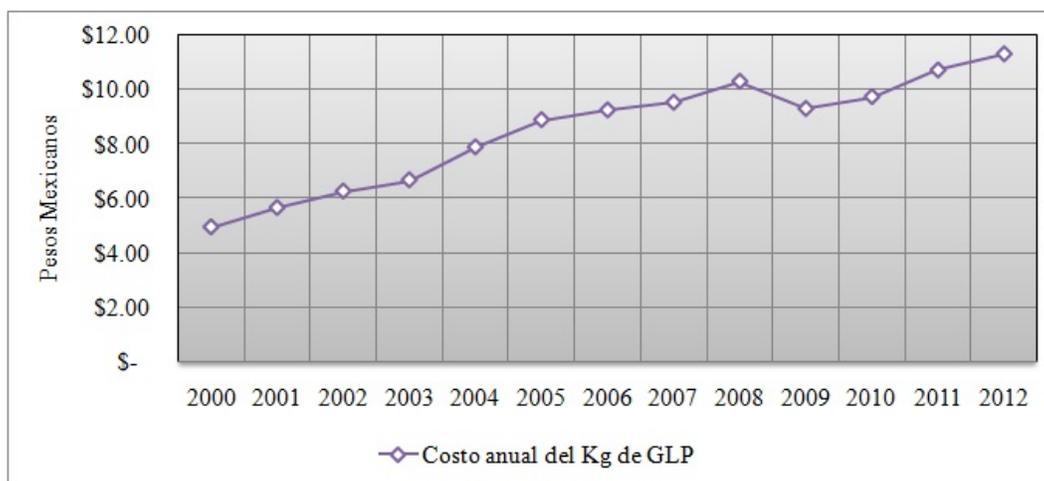
El uso de energía eléctrica aumento en proporción del 2002 al 2008. Su producción implica la quema en combustibles en centrales eléctricas y el 90% de ellas producen energía con hidrocarburos (SIE 2012). Aunque esto propicia un impacto directo a la dinámica del hogar, si genera contaminación ambiental derivado de quema de combustibles fósiles.

Por su parte el GLP es el combustible que lidera las estadísticas para el sector residencial. Sin embargo, datos de la SENER indican que el consumo para el sector va en declive (ver

Figura 4-9) y que el costo por kg de GLP ha aumentado. En 2001 el precio oscilaba alrededor de 5 pesos por 1kg de GLP, once años después el kg se vendía a 11 pesos con 31 centavos (ver Figura 4-10). Cabe recalcar que el costo del GLP termina por ingerir en la economía del hogar, sin embargo ello corresponde solo al 9% del ingreso de los hogares.



**Figura 4-9 Consumo de GLP en sector residencial en México en Miles de barriles diarios por año. Elaboración propia con información de (Dirección General de Planeación Energética 2012) SENER.**



**Figura 4-10 Precio de venta de Gas LP En México por Kg en Pesos. Elaboración Propia con datos de (Dirección General de Planeación Energética 2012)**

Respecto al consumo de energéticos en la vivienda, datos de mismas fuente de la SENER calculan que el consumo promedio de energía por vivienda es de 29.8 GJ. De ello que, el 47% se destina a calentamiento de agua, 27.5% a la cocción de alimentos y el 9% a refrigeración (ver la Figura 4-11).

El biogás pudiera entonces incurrir en el 75% del suministro energético de la vivienda, pues el biogás puede ser utilizado como combustible para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua.

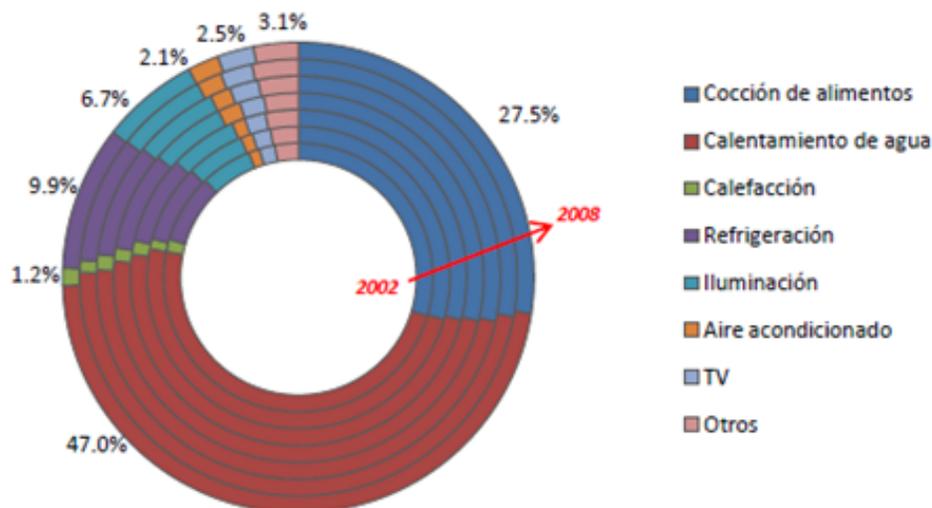


Figura 4-11 Consumo de energía por usos finales. Sector residencial. Fuente (Secretaría Energía & Agencia Internacional de 2011)SENERSENER

De usar biogás en la vivienda, este, impactaría en el consumo de otros energéticos como el GLP. Su uso puede contribuir a al ahorro de combustible derivado de la cocción de alimentos o el calentamiento de agua.

### 4.3 Los residuos sólidos urbanos en México

#### 4.3.1 La normativa de los residuos

Al inicio del capítulo se definió una clasificación de residuo que provenían directamente de los hogares y la vivienda, los RSU. La *Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* aborda la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos para el territorio nacional. En su artículo quinto fracciones XXIX, XXX, XXXI, XXXII, XXXIII define a los distintos tipos de residuos (anexos).

La Norma Oficial Mexicana **NOM-161-SEMARNAT-2011** establece los criterios para clasificar los residuos de manejo especial y cuáles de ellos deberán estar sujetos a un Plan de Manejo (SEMARNAT 2012). Estos criterios son:

- Que se generen en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de las características de peligrosidad en los términos de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005,
- Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.
- Que sea un residuo, incluido en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de una o más Entidades Federativas, o en un Estudio Técnico-Económico.

Los residuos sólidos urbano se consideran de manejo especial cuando su generación rebasa las 10 toneladas al año. Si bien en una vivienda es improbable que genera tal cantidad de residuos, la unión de varias viviendas puede ser posible que sí. Como sería para el de los RSU de vivienda de una ciudad. Por lo tanto los RSU recolectado de los hogares implica que los municipios están sujetos a Planes de Manejo de Residuos (Camara de Diputados del H. Congreso de la Union 2013).

#### *4.3.2 Caracterización de los RSU*

La SEMARNAT emitió un informe de la situación del medio ambiente en México, se publicó en 2013 con información del 2011. A continuación se detalla información relevante del informe (SEMARNAT 2013):

Para el año 2011 se estimó un volumen total de 41 millones de toneladas de RSU anualmente. Esto representó un incremento significativo del 25% desde 2003. El informe asegura que el crecimiento se deriva principalmente del incremento poblacional y del gasto de la población, el cambio de los patrones de consumo, entre otras cosas. Un habitante generaría entonces 1.0 kg de RSU por día.

Las localidades menores a 15 mil habitantes, representan el 38% de la población y contribuyeron al 11% del volumen total de RSU. En sentido opuesto las zonas con población mayor a un millón de habitantes, representan solo el 13% de la población y generaran el 43% de los RSU totales (ver Figura 4-12). En cuanto a su composición, los RSU ha cambiado a lo largo de tiempo. En los 50's los orgánicos representaban alrededor del 70% y para el 2011, ocupan el 52.4% del total de RSU. Esta disminución porcentual es consecuencia de la industrialización, donde se ofrecen productos que requieren de empaques para su distribución o bien para su preservación.

El otro 47.6% de los RSU restantes corresponden a materiales como: papeles, plásticos, vidrios, metales, textiles y otros, esto, con proporciones del 13.8%, 10.9%, 5.9%, 3.4%, 1.4% y 12.1% respectivamente (ver la Figura 4-13).

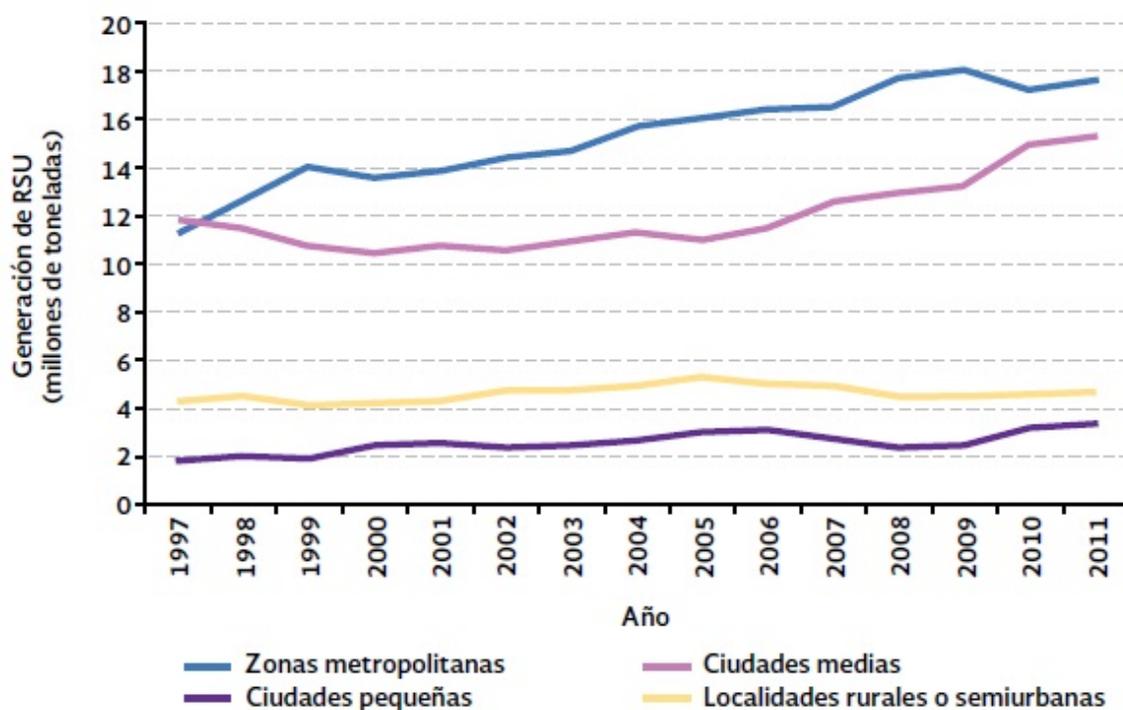


Figura 4-12 Generación de RSU por Tipo de Localidad. Tomado de (SEMARNAT 2013)

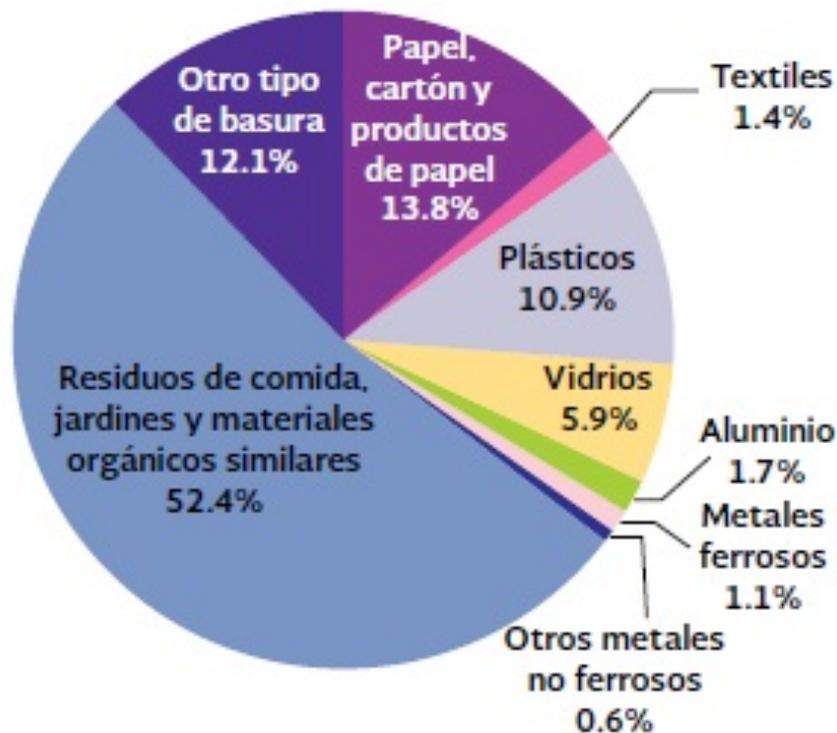


Figura 4-13 Composición de los RSU en México. Tomado de (SEMARNAT 2013)

En el mejor de los casos los RSU de una vivienda sería recolectados, reciclados y llevados a un sitio de disposición final por los servicios municipales. Ellos, tienen la obligación de llevar a cabo un plan de manejo de residuos para mitigar los impactos ambientales. De no llevar a cabo el plan de manejo de residuos, la situación puede orientarse a tener riesgos sociales, económicos y ambientales.

#### 4.3.3 Las Problemáticas

Los RSU pueden generar alteraciones al ambiente, todo dependiendo de su composición y el manejo. Por ejemplo, los orgánicos que constituyen más del 50% son responsables de emitir GEI ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) derivado de su descomposición. También los orgánicos bajo cierto criterio pueden generar lixiviados. (INECC 2012)

El 89% de la recolección de los RSU en nuestro país se da de manera no selectiva. Esto quiere decir que los residuos no son separados en orgánicos e inorgánicos, lo que dificulta

el reaprovechamiento de algunos materiales como el plástico o los metales que tienen valor en el mercado si fuesen reciclados.(SEMARNAT 2012<sup>a</sup>)

En México existen tres tipos de lugares en los que los RSU pueden descomponerse: los rellenos sanitarios, los rellenos de tierra controlada y los tiraderos clandestinos. Estos sitios impactan de manera negativa al ambiente y la sociedad. No obstante, los rellenos sanitarios son los que propician menos contaminación, controlan la filtración de lixiviados al subsuelo y evitan la acumulación de GEI (SEMARNAT 2004).

A menor escala los problemas de los RSU pueden asociarse a la contaminación visual, malos olores y en ocasiones problemas de salud. A continuación se detallan los posibles riesgos sociales, ambientales y económicos que los residuos del hogar pueden generar.

#### *4.3.3.1 Afectaciones al Medio Ambiente*

Las diversas problemáticas relacionadas con la basura nacen del ámbito local, sus consecuencias suelen trascender a un contexto mayor. Se afectan los sistemas ecológicos y se ramifican las contingencias a través de organismos vivos. La ingestión o retención de contaminantes en la flora y fauna puede causar diversos efectos como la reducción de especies, enfermedades, efectos mutagénicos o inclusive la muerte, produciendo de esta manera una descompensación en los ecosistemas. (INECC 2007)

Los efectos por la contaminación de suelo, aire y cuerpos de agua no solo tienen impactos en el corto plazo, de hecho muchos de los problemas ambientales que vivimos hoy en día han derivado de nuestra forma de vida a lo largo del tiempo. Ejemplo de esto, es la cantidad de metano que se produce en los sitios de disposición final. Datos del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) estiman que de los sectores de desechos (tratamiento biológico, incineración, incineración a cielo abierto, aguas residuales municipales, aguas residuales industriales y disposición final de residuos sólidos), los sitios de disposición final contribuyen con el 53.5% de CH<sub>4</sub> (INECC 2012), (ver la Figura 4-14).

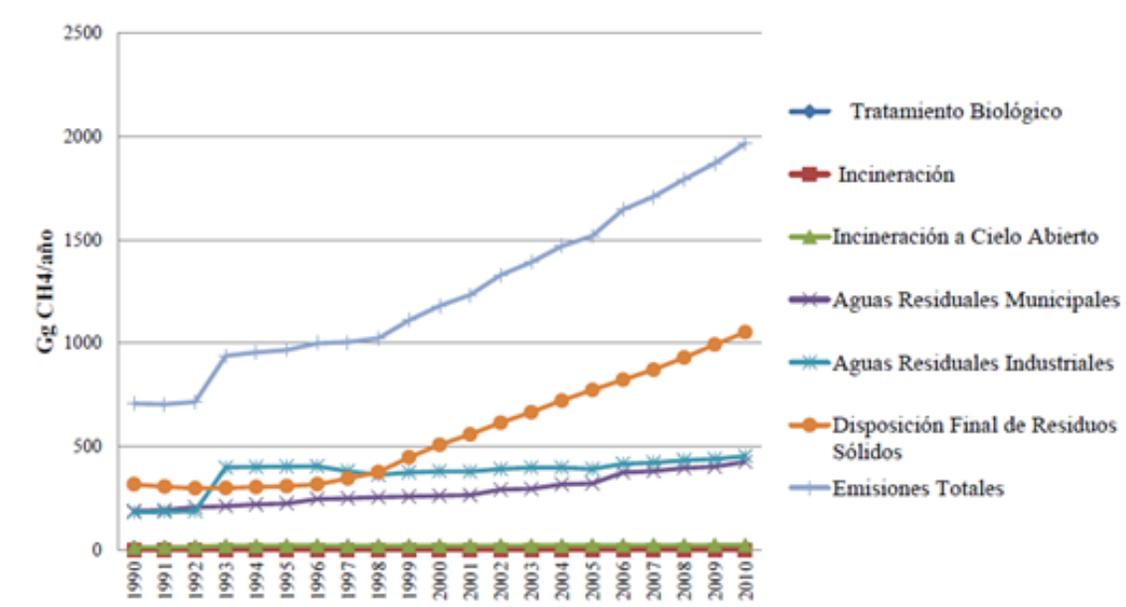


Figura 4-14 Emisiones de CH<sub>4</sub> del Sector Desechos de 1990 a 2010 en México. Tomado de (INECC 2012).

La ausencia de un correcto manejo de los residuos propicia intensificar las problemáticas ambientales como la contaminación del medio (suelo, aire y agua) y las afectaciones a flora y fauna. Por su parte los tiraderos clandestinos son una consecuencia de la falta de educación ambiental. Las afectaciones ambientales derivado de los RSU terminan por trascender riesgos para la sociedad y la economía.

#### 4.3.3.2 Riesgos Sociales

Los RSU deben ser depositados en la vía pública para su recolección. Ello implica que se coloquen en contenedores preestablecidos, botes de basura, canastas o en bolsas. En México el 93% de los municipios cuentan con servicios para el manejo de los residuos. Sin embargo, el servicio de recolección de basura no suele opera diariamente. Esto, implica tener que almacenar momentáneamente la basura. Lo que trasciende a diversas situaciones como:

- Deterioro del paisaje por acumulación de los residuos,
- Olores desagradables derivados de la descomposición,
- Esparcimiento de materiales ligeros por animales domésticos, y
- Proliferación de fauna nociva como moscas, cucarachas y ratas

Una de las principales afectaciones de los RSU tiene que ver con la salud pública, la proliferación de fauna nociva y la generación de lixiviados (ver la Tabla 4-1 y Tabla 4-2).

Cabe mencionar las afectaciones a la sociedad derivado de los RSU están sujetos a condiciones climatológicas, el tipo de sitio de disposición final, las propiedades fisicoquímicas de los residuos, la edad del relleno, entre otras.

**Tabla 4-1 Enfermedades Transmitidas por Fauna Nociva. Fuente Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Con información de (Rivera 2005)**

Fauna nociva	Forma de transmisión	Enfermedades
Ratas	A través de orina, heces y mordidas, también a través sus pulgas	Peste Bubónica Tifus Murino Leptospirosis
Moscas	Por contacto del cuerpo, heces o saliva	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amebiasis Disentería
Mosquitos	A través de picazón del mosquito hembra	Malaria Leishmaniosis Fiebre amarilla Dengue Filariosis
Cucarachas	Por contacto del cuerpo y por heces	Fiebre tifoidea Giardiasis
Cerdos	Por ingestión de carne contaminada	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis
Aves	A través de sus heces	Toxoplasmosis

Tabla 4-2 Derivados de la Contaminación de Cuerpos de Agua por Lixiviados. Fuente U.S. Department of Health. Tomado de (Rivera 2005).

Contaminantes	Efectos comprobados (E.C.) y efectos posibles (E.P.)
Bacterias	Epidemias y endemias de infecciones gastrointestinales (E.C.) Interacción secundaria con desnutrición y con nitratos en el agua (E.C.)
Virus	Hepatitis epidémica e infecciones virales (E.C.) Trastornos inflamatorio de los ojos y de la piel asociados a la natación (E.P.)
Parásitos	Amibiasis, esquistosomiasis, hidatidosis y otras infecciones parasitarias (E.C.)
Metales	Intoxicación por plomo (E.C.) Intoxicación por mercurio (a través de las cadenas alimentarias)(E.C.) Intoxicación por arsénico (E.C.) Intoxicación por cromo (E.C.) Nefropatía epidémica (E.P.) Enfermedad del pie negro (E.P.)
Nitratos	Metahemoglobinemia (con interacciones bacterianas (E.C.)
Factor de “blandura del agua”	Aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares (E.P.)
Sulfatos y/o fosfatos	Hipermotilidad gastrointestinal (E.C.)
Fluoruros	Fluorosis dental (E.C.)

Cabe mencionar que en La Paz existen tiraderos clandestinos los cuales pueden volverse peligrosos al no tener control de lixiviados y captación de GEI. Si estos sitios clandestinos se encuentran dentro de la zona urbana, no solo afecta el saneamiento público de la ciudad sino que también puede implicar riesgos económicos.

#### 4.3.3.3 *Riesgos Económicos*

En cuestión económica los residuos pueden afectar distintas áreas, como por ejemplo, la pérdida de valor en propiedades adyacentes a los sitios de disposición final. Esto, derivado de que los olores pueden ser transportados por vientos logrando invadir áreas aledañas al sitio. Esto afectaría a los habitantes con pestilencias y a su vez ocasionaría una baja en la demanda de inmueble cercano al sitio. Afectando en la plusvalía (Rivera 2005).

En otro caso la contaminación de suelos y la excesiva filtración de lixiviados a los cuerpos de agua también tiene afectaciones monetarias. La tierra contaminada se vuelve improductiva, lo que ocasiona una pérdida económica a los agricultores. Esto se puede derivar de estar en áreas colindantes a los sitios de acopio o por la utilización de aguas de riego que ya han sido contaminadas.(Sierra Llopart 2000)

Las afectaciones a la salud pública también contribuyen riesgos económicos. Ingerir alimentos expuesto a la contaminación en suelo, aire o cuerpos de agua puede ocasionar enfermedades. Estas, implicarían gastos económicos en consultas y medicamento. El estar enfermo, también constituye a la pérdida de productividad laboral por ausencia.

En otro contexto, la no selectividad de la basura evita obtener ganancias del reciclaje. De manera que el papel, el plástico, el vidrio y los metales son desaprovechados como fuente adicional de ingreso.

## **5 El biogás como una alternativa energética**

Para valorar el uso de biogás como alternativa energética en la vivienda, es necesario comprender aspectos técnicos del biogás, identificar los límites y beneficios implícitos en el uso de biogás en la vivienda.

### **5.1 Los biocombustibles**

La FAO establece una clasificación de tres subgrupos de insumos los cuales pueden ser procesados para crear biocombustibles. Los combustibles de madera constituyen la primera agrupación. Los agro-combustibles corresponden a la segunda agrupación y pueden producir biogás. Los subproductos municipales forman el tercer grupo y generan gases de vertederos. Por su parte, los residuos alimenticios se consideran subproducto municipal pero, también fueron en algún momento producto agrícola. De modo que de los residuos alimenticios es posible considerar obtener biogás.

### **5.2 Los residuos alimenticios**

Los RA son fuente de biomasa disponible en el hogar y existe la posibilidad de generar biocombustible “biogás” a partir de ellos. Estos residuos son parte de los RSU y se dividen conforme a los criterios de la LGPGIR (ver Figura 5-1).

El volumen de RA por día constituye la disponibilidad diaria de los RA para producir biogás. La cantidad de RA generados per cápita en distintas ciudades del país, que se presentan como referencia en la Tabla 5-2, muestran variaciones amplias que abarcan de los 0.10 kg hasta los 1.33 kg por habitante al día. Sin embargo, también es notorio que existe poca discrepancia entre los estudios realizados por estatus socioeconómicos de vivienda. Esta condición se da gracias a que en los estudios de residuos por estrato socioeconómico fueron realizadas en sitio.

Tabla 5-1 Clasificación de los Biocombustibles. Modificado de (Rodillo-Calle 2008)

De la producción / tipo de materia prima	Agrupación común	Del Consumo / ejemplos de demanda								
<table border="1"> <tr><td data-bbox="233 464 596 579">Combustible de madera directo</td></tr> <tr><td data-bbox="233 579 596 695">Combustible de madera indirecto</td></tr> <tr><td data-bbox="233 695 596 810">Combustible de madera recuperado</td></tr> <tr><td data-bbox="233 810 596 919">Combustibles derivados de la madera</td></tr> </table>	Combustible de madera directo	Combustible de madera indirecto	Combustible de madera recuperado	Combustibles derivados de la madera	<table border="1"> <tr><td data-bbox="628 638 992 747">Combustible de madera</td></tr> </table>	Combustible de madera	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1024 464 1382 617"><b>Sólido:</b> leña (madera en bruto, pedacería, serrín), carbón de leña</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 617 1382 770"><b>Líquido :</b> Licor negro, metanol, aceite pirolítico</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 770 1382 919"><b>Gaseoso:</b> Los productos de la gasificación y gases de la pirólisis</td></tr> </table>	<b>Sólido:</b> leña (madera en bruto, pedacería, serrín), carbón de leña	<b>Líquido :</b> Licor negro, metanol, aceite pirolítico	<b>Gaseoso:</b> Los productos de la gasificación y gases de la pirólisis
Combustible de madera directo										
Combustible de madera indirecto										
Combustible de madera recuperado										
Combustibles derivados de la madera										
Combustible de madera										
<b>Sólido:</b> leña (madera en bruto, pedacería, serrín), carbón de leña										
<b>Líquido :</b> Licor negro, metanol, aceite pirolítico										
<b>Gaseoso:</b> Los productos de la gasificación y gases de la pirólisis										
<table border="1"> <tr><td data-bbox="233 961 596 1077">Cultivos para combustibles</td></tr> <tr><td data-bbox="233 1077 596 1192">Subproductos agrícolas</td></tr> <tr><td data-bbox="233 1192 596 1308">Subproductos de animales</td></tr> <tr><td data-bbox="233 1308 596 1381">Subproductos agroindustriales</td></tr> </table>	Cultivos para combustibles	Subproductos agrícolas	Subproductos de animales	Subproductos agroindustriales	<table border="1"> <tr><td data-bbox="628 1136 992 1209">Agro-combustibles</td></tr> </table>	Agro-combustibles	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1024 961 1382 1094"><b>Sólido:</b> Paja, tallos, cascaras, bagazo y carbón.</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 1094 1382 1247"><b>Líquido:</b> Etanol, aceite vegetal crudo, aceite diéster, metanol, aceite pirolítico</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 1247 1382 1402"><b>Gaseoso:</b> Biogás, gas pobre, gases de la pirolisis de los agro-combustibles.</td></tr> </table>	<b>Sólido:</b> Paja, tallos, cascaras, bagazo y carbón.	<b>Líquido:</b> Etanol, aceite vegetal crudo, aceite diéster, metanol, aceite pirolítico	<b>Gaseoso:</b> Biogás, gas pobre, gases de la pirolisis de los agro-combustibles.
Cultivos para combustibles										
Subproductos agrícolas										
Subproductos de animales										
Subproductos agroindustriales										
Agro-combustibles										
<b>Sólido:</b> Paja, tallos, cascaras, bagazo y carbón.										
<b>Líquido:</b> Etanol, aceite vegetal crudo, aceite diéster, metanol, aceite pirolítico										
<b>Gaseoso:</b> Biogás, gas pobre, gases de la pirolisis de los agro-combustibles.										
<table border="1"> <tr><td data-bbox="233 1549 596 1640">Subproductos municipales</td></tr> </table>	Subproductos municipales	<table border="1"> <tr><td data-bbox="628 1549 992 1640">Subproductos municipales</td></tr> </table>	Subproductos municipales	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1024 1413 1382 1507"><b>Sólido:</b> Residuos Sólidos Urbanos</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 1507 1382 1661"><b>Líquido:</b> Lodos de depuradora, aceite de pirólisis de RSU</td></tr> <tr><td data-bbox="1024 1661 1382 1780"><b>Gaseoso:</b> Gas de vertederos, gas de lodos</td></tr> </table>	<b>Sólido:</b> Residuos Sólidos Urbanos	<b>Líquido:</b> Lodos de depuradora, aceite de pirólisis de RSU	<b>Gaseoso:</b> Gas de vertederos, gas de lodos			
Subproductos municipales										
Subproductos municipales										
<b>Sólido:</b> Residuos Sólidos Urbanos										
<b>Líquido:</b> Lodos de depuradora, aceite de pirólisis de RSU										
<b>Gaseoso:</b> Gas de vertederos, gas de lodos										

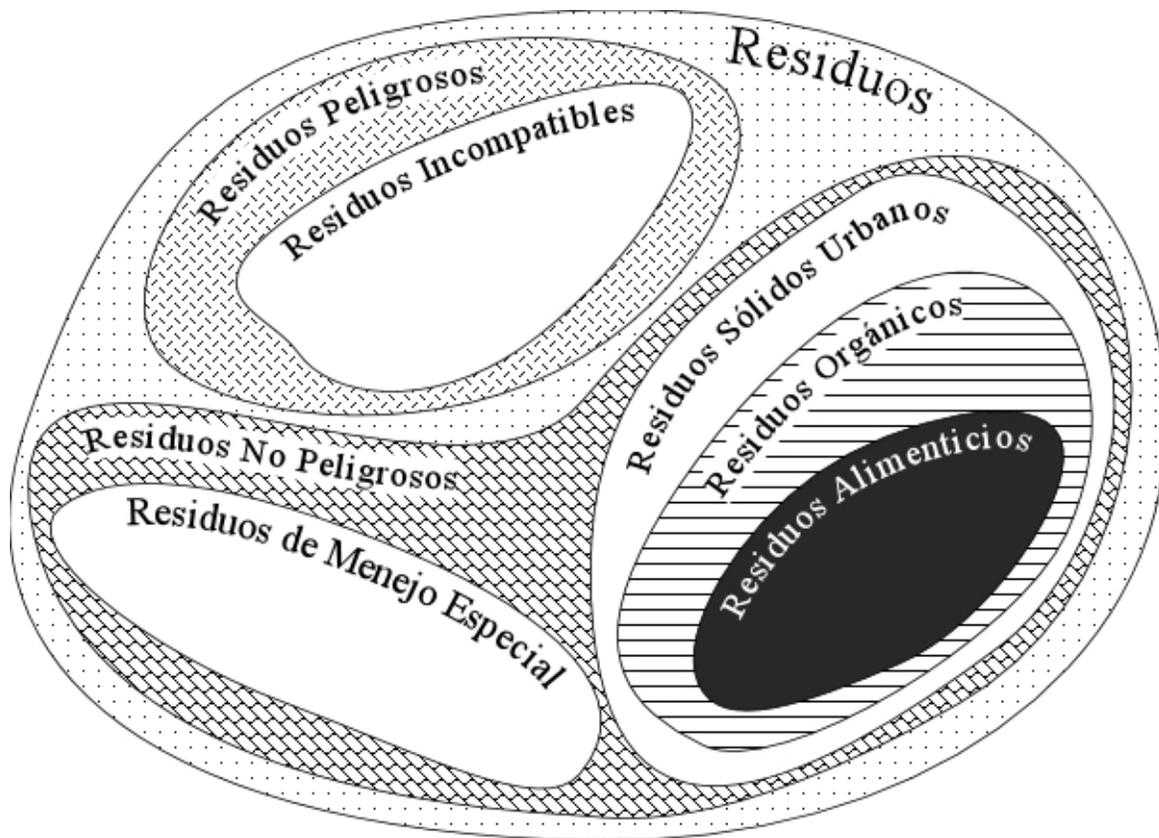


Figura 5-1 Clasificación de los distintos tipos de residuos.

Elaboración propia.

Tabla 5-2 Cantidad de residuos alimenticios per cápita por día.

Elaboración propia.

R.A. kg/hab/día	Localidad	Estrato	Autor/fuente
0.31*	México	Todos los estratos	(SEMARNAT 2013)
0.21	Municipio Xico, Veracruz	Residencial	(Medina-salas 2014)
0.18		Medio	
0.10		Popular	
0.17	Vicente Guerrero B.C., México	Todos los estratos	(Taboada et al. 2011)
0.30	San Quintín B.C., México	Todos los estratos	
0.38	Ensenada B.C., México	Todos los estratos	
0.26	Ensenada B.C., México	Bajo	(Aguilar-Virgen et al. 2010)
0.28		Medio	
0.34		Alto	
0.30	Tijuana B.C., México	Estrato 1	(Porras Hernández & De la Parra Rentaría 2010)
0.27		Estrato 2	
0.28		Estrato 3	
0.52*	La Paz B.C.S., México	Todos los estratos	(Ivanova 2013)
0.62*	La Paz B.C.S., México	Todos los estratos	(Gobierno del estado de Baja California Sur 2010)
0.71*	Todos Santos B.C.S., México	Todos los estratos	
1.33*	Los Barriles B.C.S.	Todos los estratos	

\* Ha sido calculado a partir de la proporcionalidad de RA nacional, el 31%.

Los estudios de Ensenada, Tijuana, Vicente Guerrero, San Quintin y el Municipio de Xico muestran datos específicos de viviendas. Es decir que la estimación de RA de estos casos no incluye agentes económicos como pequeños negocios, restaurantes, supermercados, etc.

### 5.3 Biodigestor (ARTI-BIOGAS)

El Dr. Anand Karve (presidente de *Appropriate Rural Technology Institute*) desarrolló un sistema para producir biogás compacto que utiliza materia prima como harina de almidón, residuos de grano, grano estropeado, fruta demasiado madura o fruta deforme, rizomas, hojas verdes, restos de comida y más. Con sólo 2 kg de tales materias primas se puede producir alrededor de 500 g de metano, y la reacción estaría completa en 24 horas. Los sistemas de biogás convencional, utilizan estiércol de ganado, aguas negras, etc. y utilizan alrededor de 40 kg de materia prima para producir la misma cantidad de metano, y requieren unos 40 días para completar la reacción. Por lo tanto, desde el punto de vista de la conversión de materia prima en metano, el sistema desarrollado por el Dr. Anand Karve es 20 veces más eficiente que el sistema convencional, y desde el punto de vista del tiempo de reacción, es 40 veces más eficiente. Por lo tanto, en general, el nuevo sistema es 800 veces más eficiente que el sistema de biogás convencional (Karve 2006).

Existen casos de estudio como los de (Voegeli et al. 2009; Vij 2011; Sunil et al. 2013) donde se evaluó la sustentabilidad, rentabilidad y potencial del sistema ARTI-BIOGAS. De los estudios se rescata que el sistema de biogás tipo ARTI, demostró ser altamente eficiente. La alimentación adecuada del reactor fue el factor determinante en la producción de metano. Su tamaño y tiempo de reacción se consideran idóneos para su uso en áreas urbanas.

Los digestores domésticos representan una gran ayuda para las viviendas urbanas y rurales pudiendo satisfacer sus necesidades energéticas. Estos digestores ayudan de dos maneras: una es para reducir el desperdicio y el otro es para proporcionar energía valiosa (Sunil et al. 2013).



Figura 5-2 Dr. Anand Karve y su sistema ARTI BIOGAS. Foto tomada de (Karve 2006)

#### 5.4 Potencial los RA.

Un artículo publicado por la empresa AINIA del Parque Tecnológico en Valencia, España valorizó el potencial energético de algunos residuos orgánicos incluyendo alimenticios. Los residuos altos en azúcares, almidón, celulosa, grasa y proteínas fueron calificados como excelente componentes para la biodegradabilidad anaerobia. En cuanto a la calidad del biogás, se encontró que los RA propician altas concentraciones de metano. Llegando a presentar entre 70% y 80% de metano en el biogás (AINIA 2011),

En el Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales, realizado por PROBIOGAS (PSE PROBIOGAS 2007) en colaboración con el Ministro de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, se estudió la concentración de metano en ciertos alimentos de la dieta. Se destacan los cítricos como la naranja, el limón, y la mandarina. Por otro lado el mango y la cebolla también enfilan la lista de los alimentos con alto potencial de metano (ver Tabla 5-3). Estos alimentos que se

hallan fácilmente en la cocina mexicana lo cual nos indica que es posible que el biogás que se genere de los RA en México pueda contener altas concentración de metano.

Con lo anterior, vemos posible usar a los RA como fuente energética para la producción de biogás.

**Tabla 5-3 Alimentos altamente biodegradables y de alta producción de metano. Fuente (PSE PROBIOGAS 2007)**

Residuos Alimenticio	Sólidos Volátiles (VS) de Sólidos Totales (VT)	Producción de Metano CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /t SV alimentado)
Mango	95.7	469
Plátano	91.2	292
Naranja	93,5	479
Mandarina	94.6	471
Limón	96.8	473
Pina	93.9	356
Uva	91.1	232
Tomate	95.3	298
Cebolla	88.2	400
Patata	90.9	267
Berenjena	92.6	385
Coliflor	84.6	261
Nabo	84.4	314
Rábano	83.3	299

## 5.5 El biogás

### 5.5.1 Propiedades físico-químicas

El biogás se constituye principalmente de CH<sub>4</sub> en un 50% a 80% y CO<sub>2</sub> en un 20% a 50%, según la fuente. Para el caso de los RA, estudios indican que se puede encontrar concentración de metano entre el 70% y el 80%. Cabe destacar que entre mayor es la concentración de metano mayor será el poder calorífico del biogás.

Un estudio de la Universidad de Antioquia en Colombia obtuvo las propiedades de combustión del biogás en concentraciones de 60% CH<sub>4</sub> y 40% CO<sub>2</sub>. A continuación en la Tabla 5-4 se muestran los datos (Cacua et al. 2011).

**Tabla 5-4 Propiedades Físico Químicas del Biogás. Fuente de (Cacua et al. 2011).**

Propiedad	Valor	Unidades
Peso molecular	27.20	g/mol
Densidad relativa	0.94	N/A
Volumen estequiométrico de aire	5.71	m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> biogás
Volumen de humos húmedos	6.71	m <sup>3</sup> hh/m <sup>3</sup> biogás
Volumen de humos secos	5.51	m <sup>3</sup> hh/m <sup>3</sup> biogás
Volumen de agua	1.20	m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> biogás
Volumen de CO <sub>2</sub>	1.00	m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> biogás
Porcentaje máximo de CO <sub>2</sub>	18.14	m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> hs
Poder calorífico inferior	20.35	MJ/m <sup>3</sup>
Poder calorífico superior	22.64	MJ/m <sup>3</sup>
Índice de Wobbe inferior	20.99	MJ/m <sup>3</sup>
Índice de Wobbe superior	23.36	MJ/m <sup>3</sup>
Temperatura de rocío	330.81	K
Temperatura adiabática de llama	1.872	K
Velocidad de deflagración VL	0.25	m/s
Energía mínima de ignición EML	464.98	kJ

El Índice de Wobbe es uno de los parámetros utilizado en la comparación de combustibles gaseosos. Este índice mantiene los parámetros de presión y el tamaño del orificio del quemador en parámetros constantes, permitiendo medir solo el calor que desprende la llama. Es importante resaltar esto ya que el biogás pudiera en dado caso alternarse con el GLP utilizando la misma infraestructura.

Los datos de la tabla indican que el biogás tiene un Índice de Wobbe 20.99 a 23.36 MJ/m<sup>3</sup>, lo cual es bajo si lo comparamos con el del GLP de 48.2 MJ/m<sup>3</sup> (Instituto Mexicano del

Petroleo 2014) indicando que se ocuparían de dos a tres veces más volumen de biogás para igualar la cantidad de energía que la flama del GLP desprende.

### *5.5.2 Procesos y producción de biogás a partir de los RA*

Los RA son materia orgánica y se descomponen en dos tipos de ambientes, aerobio (ambiente con oxígeno) y anaerobio (ambiente sin oxígeno). La descomposición trae como consecuencia dos subproductos: biomasa (sólido no digerible) y biogás. Las propiedades obtenidas mediante el proceso anaerobio son biomasa en un 5% y gas en un 95%, mientras que en el proceso aerobio logra un 80% de biomasa y gas en un 20% (Fernández et al. 2004). El proceso anaeróbico es el proceso indicado para la vivienda ya que produce mayor porcentaje de biogás.

Se consideran cuatro etapas para el proceso anaerobio: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Fernandez 2008) (ver Tabla 5-5). Debido a que la vida bacteriana no puede coexistir con el oxígeno es necesario crear un ambiente óptimo. Esto se puede lograr utilizando el propio biodigestor. El biodigestor o reactor anaeróbico es un recipiente hermético donde se depositan los residuos orgánicos. Esta tecnología permite captar el biogás generado y no permite la entrada de oxígeno.

Para el caso de los RA generados en la vivienda es importante considerar dos aspectos. El primero es que los RA en una vivienda se generan continuamente por lo que se deberá procurar al máximo la degradación de sólidos, es decir, degradar el mayor porcentaje de sólidos en el menor tiempo posible. Lo segundo es producir biogás con altas concentraciones de metano y asegurar que la producción sea persistente.

Considerando el alto potencial de los RA y una tecnología como el reactor ARTI, es posible pensar en la posibilidad de usar biogás como un combustible en la vivienda. Sin embargo, el solo hecho de poder producir biogás no implica que sea adaptable a la vivienda urbana. Es por esto que se debe analizar cuáles son los factores implicados en el uso de biogás como combustible doméstico.

Tabla 5-5 Etapas de la Degradación Anaeróbica. Elaboración propia con información de (Fernandez 2008).

El Proceso		Polímeros Complejos (RA)
Hidrólisis	La hidrólisis englobaría la ruptura de las macromoléculas orgánicas formadas por los carbohidratos, proteínas y grasas hasta subunidades pequeñas que puedan atravesar la pared celular. Así la proteínas son degradadas a aminoácidos, los polisacáridos a monómeros de azúcar y las grasas a polioles y ácidos grasos de cadena larga. La hidrólisis se produce por la acción de exoenzimas secretadas por las bacterias de la microbiota acidogénica.	
Acidogénesis	Los productos procedentes de la hidrólisis de grandes macromoléculas orgánicas son metabolizados en el interior celular siguiendo diferentes rutas según su naturaleza. De este modo se obtienen los ácidos orgánicos y alcoholes, además de otros subproductos importantes para etapas posteriores. Así los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas pueden conducir a la formación de ácidos grasos volátiles por distintas rutas metabólicas.	
Acetogénesis	Los productos finales de la microbiota acidogénica se transforma en acetato a partir de dos rutas diferentes. De un lado, la des-hidrogenación acetogénica, que genera acetato a partir de otros ácidos grasos y algunos alcoholes. La formación de acetato depende de la concentración de H <sub>2</sub> existente, pero además, la degradación del propionato a acetato se paraliza cuando existen concentraciones de H <sub>2</sub> del orden de 500-50.000 ppm en el biogás.	
Metanogénesis	La metanogénesis es el último paso del proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica. En esta etapa, la mayor parte de la energía química contenida en el sustrato es convertida en metano por la actuación de las Archaea metanogénicas. Este grupo no bacteriano requiere unas condiciones ambientales más estrictas para su desarrollo de las condiciones admisibles por los microorganismos acidogénicos.	

## 5.6 Límites y ventajas

La dinámica del hogar sin un sistema de biogás conlleva un sistema lineal. Ello implica introducir elementos como agua, alimentos, energía y otros. Que proporcionan elementos vitales para la dinámica del hogar. En respuesta, los elementos aprovechados se transforman en aguas residuales, RA, calor y otros residuos. Esto permite comprender que la dinámica del hacer hogar es lineal, pues ninguno de los elementos de salida son reintroducidos a la vivienda (ver Figura 5-3).

Por otro lado, el introducir y utilizar un sistema de biogás implicaría adoptar sistemas de retroalimentación. Al implementar un sistema de biogás, los RA (elementos de salida) se considerarían como elementos de entrada para el sistema de biogás. Con ello los RA se transformarían en biogás, lodos y agua. El biogás por su parte, entraría de nuevo a la dinámica del hogar como energía. Los lodos y el agua son excelente abono. Además, el agua puede ser realimentada al sistema de biogás y si el agua residual de las viviendas es tratada, también puede ser considerada para introducirse al sistema de biogás (ver Figura 5-4).

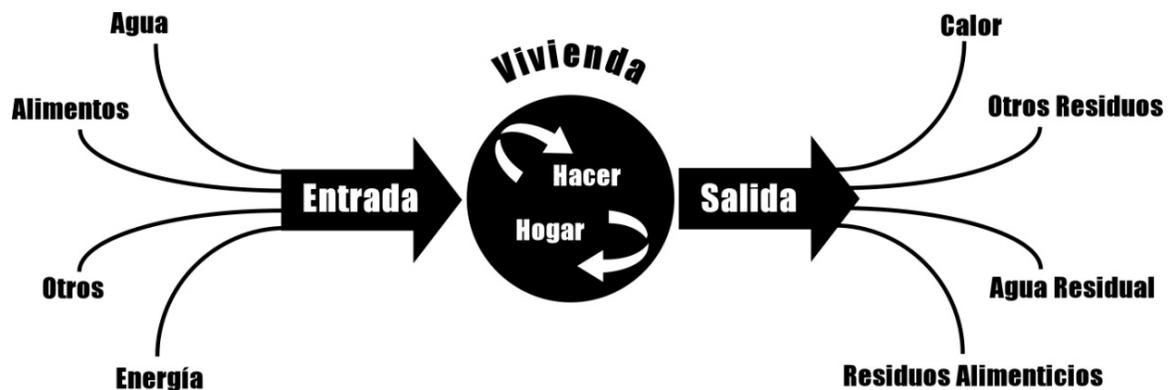
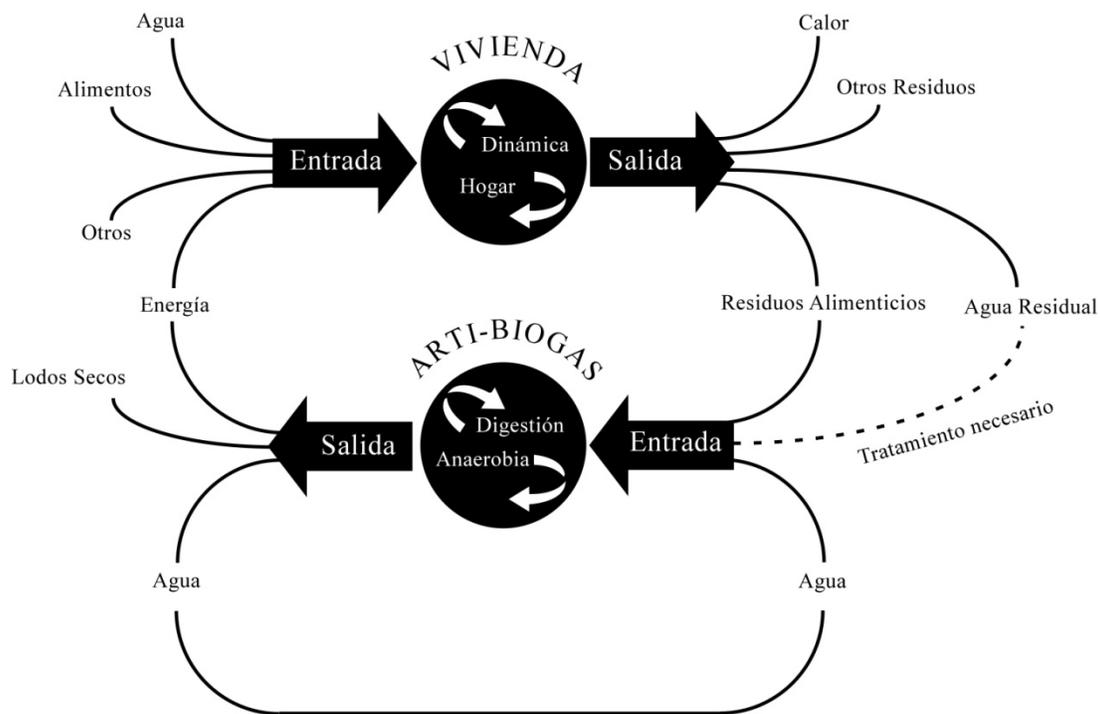


Figura 5-3 Flujo de Elementos en la Vivienda. Elaboración Propia.



**Figura 5-4 Flujo de Elementos en la Vivienda al Usar Biogás como Combustible. Elaboración Propia**

Ya que los RA son la fuente de materia prima para genera biogás, éstos ya no podrán ser considerados como desperdicios. De aquí que la separación de los residuos sea quizás la mayor limitante en cuanto la producción de biogás. Esto se debe a que para aprovechar los RA se tiene que separar, seleccionar, gestionar y en ocasiones pre-tratar los residuos, tareas que desafortunadamente no son prácticas comunes en los hogares del país. En México, solo el 11% del total de RSU es recolectado siendo previamente separado (SEMARNAT 2013). Por lo tanto, la gestión de RA constituye la primera limitante a superar para producir biogás en la vivienda. La eco-alfabetización por su parte contribuirá a contrarrestar la falta de conocimientos en materia de sistemas de retroalimentación similares a los ecosistemas.

Otra limitante importante y necesaria para la producción de biogás es el factor tiempo. Se requiere disponer de él para operar el sistema y monitorear el gas. Tal como se mencionó en el Capítulo 4, el biogás en la vivienda implica generar actividades adicionales a los quehaceres del hogar. En adición, también se debe considerar tiempo para el aprendizaje

tecnológico. El aprender de esta tecnología implicaría adquirir conocimientos básicos de biología, energía y termodinámica.

El usar biogás como combustible doméstico puede resultar en reducir o eliminar el uso de otros combustibles. Esto a su vez resulta en un ahorro en el hogar. Aunque eventualmente podrían también haber afectaciones en el mercado y producción de los combustibles domésticos convencionales, para este trabajo la pérdida de otros combustibles no es valorada.

Otro beneficio que brinda el usar biogás es el hecho de generar la energía propia. Esto impulsaría la autonomía energética de la vivienda ya que el tener una alternativa energética renovable como el biogás implica, una mayor seguridad energética. Así, mientras se generen RA en el hogar, será posible generar energía para la vivienda. Este autoabastecimiento energético es muy significativo para las viviendas que son vulnerables por distintos motivos. Un ejemplo de esto son las miles de viviendas en ciudad de La Paz y Los Cabos que quedaron sin servicios energéticos a causa del huracán Odile, que impactó en Septiembre del 2014. Este fenómeno ocasionó daños a infraestructura y provocó que el abastecimiento de combustibles y la red de energía eléctrica quedaran inhabilitados. El contar con un sistema de biogás implica entonces, más que solo energía adicional, también resiliencia.

Por otro lado, el aprovechamiento de los RA ocasionaría que una parte de los RSU no tuviesen que ser recolectados ni llevados a los sitios de disposición final. Esto en consecuencia tendría impactos en temas ambientales, económicos, sociales, de salud pública y de energía (ver Tabla 5-6).

En cuanto a los RSU restantes que sí serán recolectados y llevados a sitios de disposición final, contendrán menos orgánicos. Restando materiales como metales, vidrio, plásticos, papel y otros. Esto beneficia la pepena (formal e informal), pues mejora las condiciones de los reciclables. Dichos materiales estarían menos contaminados por orgánicos haciendo más fácil su separación y mejorando las condiciones de higiene.

En conclusión, se observa que el uso de biogás como combustible doméstico es una alternativa factible ambientalmente hablando y que las consecuencias derivadas del aprovechamiento de los RA impactan de manera muy importante al entorno de la vivienda. Si esta situación fuese a reproducirse por todas las viviendas en La Paz los beneficios serían más visibles, trascendiendo a beneficios globales, tal como se muestra en la Figura 5-5.

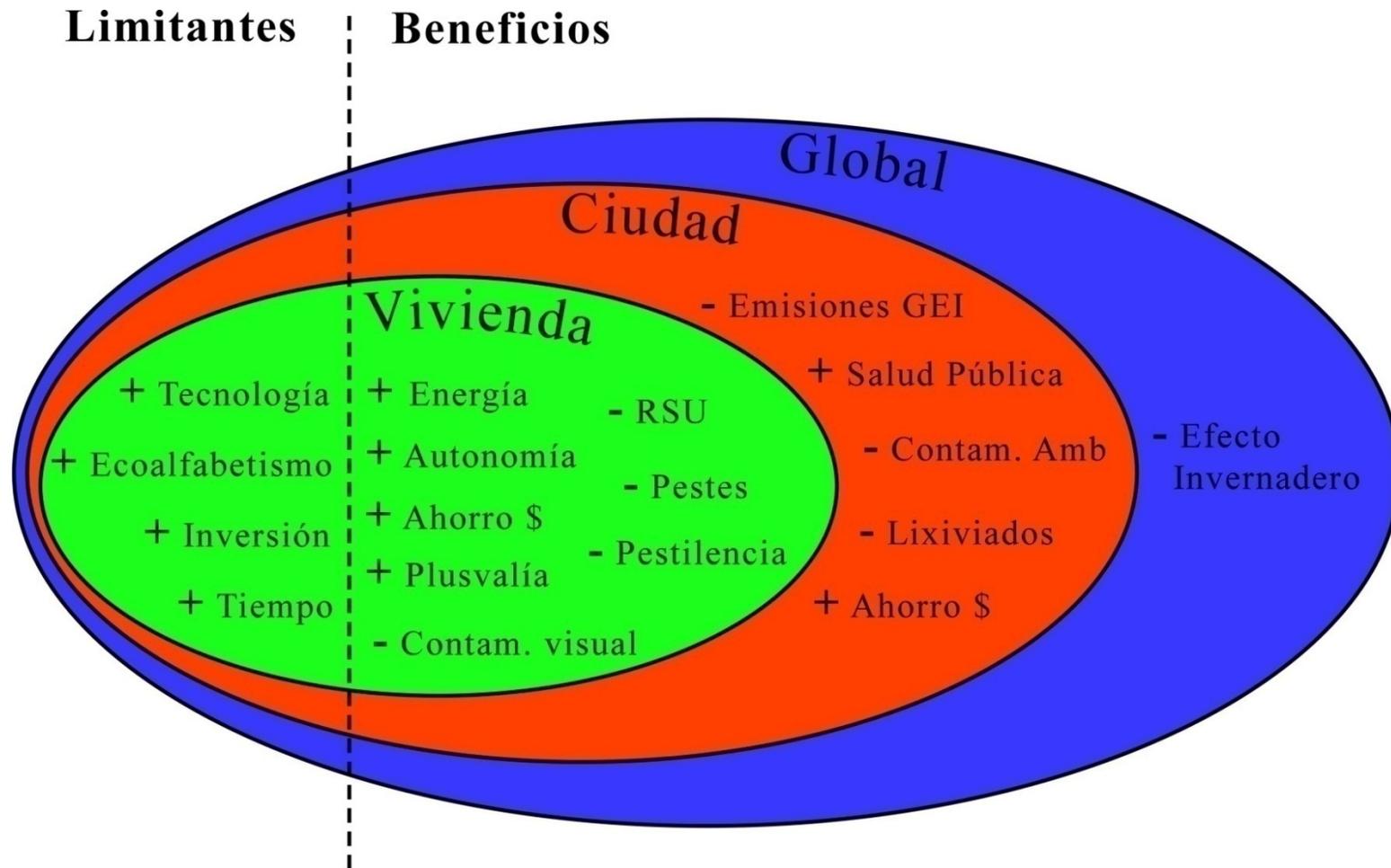


Figura 5-5 Límites, beneficios y externalidades del uso de biogás en las viviendas.

Los signos “+” en la sección de los límites indican que se requiere más para superar dicho límite. En relación a los beneficios el “+” indica la tendencia a obtener más de dicho elemento y el “-” indica la tendencia a disminuir dicho elemento.

Tabla 5-6 Consecuencias por la no disposición de los RA. Elaboración propia.

Consecuencias derivadas del uso de biogas (RA)	Descripcion	Efectos		Impacto				
		Directos	Indirectos	Ambiental	Salud P.	Social	Economico	Energetico
Aprovechamiento de los RA en la vivienda	Al tener que disponer de los RA para generar biogas estos ya no tendran que ser desechados. En consecuencia los RSU generados en la vivienda no contendran RA.	1. Generacion de biogas	1.1 Ahorro de energeticos comunes				✓	✓
		2. Menos malos olores	2.1 Menos contaminacion del aire	✓	✓			
		3. Menos ploriferacion de plagas	3.1 Menos riesgos de infecciones		✓	✓		
		4. Menos dispercion de los RSU	4.1 Menos contaminacion visual	✓		✓		
		5. Mejora el entorno de la vivienda	5.1 Evita el deterioro del paisaje 5.2 Eleva la plusvalia en agregado	✓		✓	✓	
Reduccion de los RSU en sitios de disposicion final	Ya que los RSU de la vivienda no contendran RA estos no llegaran a los sitios de disposicion final se reduzcan en un 31% de los RO. de los sitios de disposicion fial.	6. Menos produccion de lixivados	6.1 Menos infiltracion al subsuelo	✓				
			6.2 Menos contaminacion c/ agua	✓				
			6.2.1 Menos riesgos a la salud publica		✓	✓		
		7. Menos proliferacion de plagas	7.1 Menos riesgos de infecciones		✓			
		8. Beneficia el reciclaje informal	8.1 Mayor productividad				✓	
		9. Menos RSU que recolectar	9.1 Menos vueltas para recolectar				✓	
			9.1.1 Menos cosumos de combustible					✓
			9.1.1.1 Menos emisiones GEI 9.1.1.2 Menos contaminacion admosferica	✓	✓			
		10. Reduce las emisicon de GEI	10.1 Menos contaminacin admosferica	✓				
			10.2 Reduccion de los E.I.	✓				

## 6 Caso de estudio: La Paz B.C.S. México

### 6.1 Caracterización de la ciudad de La Paz

La Paz es una ciudad costera colindante con el Golfo de California; se ubica al noroeste de México, y es capital del estado de Baja California Sur. Según el INEGI la población en 2010 se estima en 215,178 habitantes (ver la Figura 6-1).

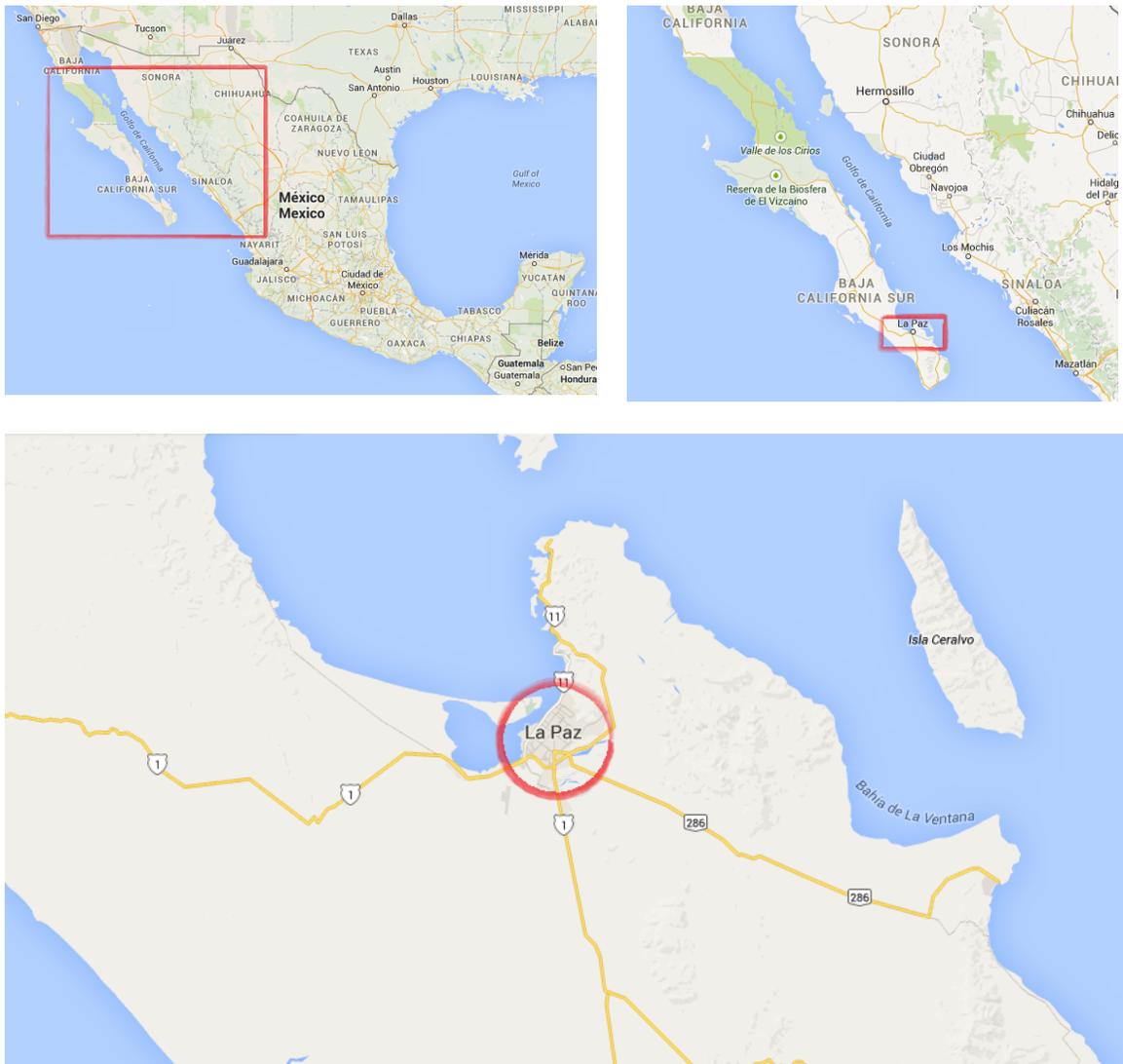


Figura 6-1: Ubicación geográfica de la ciudad de La Paz, con imágenes tomadas del Google Maps (GOOGLE 2015)

La ciudad de La Paz se ubica en una bahía de aguas tranquilas gracias a la barrera arenosa de nombre El Mogote. Los vientos dominantes provienen del noroeste y del sur principalmente. La ciudad se percibe como planicie con pendiente al mar, rodeada de montañas y de características notables. El clima es desértico, zona semiárida, con potencial económico mediano y un alto desarrollo social. Su tamaño de urbe es mediana y la tasa de crecimiento poblacional mediana es de 4.5 % anual (Castro 2013; Ivanova 2013).

El total de viviendas particulares en La Paz en 2010 era de 74,220 y el promedio de habitantes por vivienda de 3.47 ocupantes. El 97.9% de viviendas cuenta con energía eléctrica, 93% con agua entubada y 96.6% con drenaje. En tipo de construcción de vivienda que predomina en la actualidad es la construcción en serie. Las colonias como El progreso, Camino Real, Santa Fe, Paraíso del Sol, El Mezquitito, los Fraccionamientos Arcoíris I y II, entre otras, se encuentra en la periferia y presentan viviendas de uno y dos niveles (ver Figura 6-2).



**Figura 6-2** Fotografía de casas en serie ubicadas al fondo de la colonia Puesta del Sol.  
Fuente propia.

Una de las mayores vulnerabilidades climatológicas que tiene la ciudad y en particular la parte sur del estado, son los huracanes. Surgen durante los meses Junio a Noviembre en el océano pacífico. El registro histórico indica que la ciudad ha recibido impactos en periodos prolongados a lo largo de su historia (Castro 2013). Las afectaciones más comunes son: daños a la infraestructura en general, inoperatividad de los servicios públicos y energéticos, riesgos a la salud pública por problemas de saneamiento y pérdidas de telecomunicaciones en general.

## 6.2 Energía y residuos de la vivienda en La Paz

A continuación se describen los procedimientos seguidos para obtener consumos de GLP, generación de RA, y la cantidad de biogás-energía que se podría producir a partir de los RA.

### 6.2.1 Consumo de GLP.

A través de la búsqueda de información en órganos gubernamentales (SENER 2013; SENER 2011; INEGI 2013<sup>a</sup>; SPyDE 2013), se pudo estimar el consumo de GLP anual por vivienda para la ciudad de La Paz.

De los registros de la Secretaría de Energía se obtuvo el consumo de GLP para BCS; en 2010 fue de 1,800 barriles diarios (SENER 2013). Para obtener la cantidad de GLP correspondiente a la ciudad de La Paz se calculo el consumo per cápita del estado. En el mismo año, la ciudad de La Paz representó el 33.1% de la población total del estado. Por lo tanto, podemos decir que de los 1.8 miles de barriles solo 600 barriles corresponden a la ciudad de La Paz, equivalentes a 48,541.36 kg al día de GLP.

El consumo promedio de GLP en las viviendas se calculó considerando el consumo residencial de la Región Noroeste, el cual fue de 58.3% para 2010. Esto corresponde a 28,299.7 kg de GLP diarios para consumo de las viviendas. Dividiéndolo por el total de viviendas el consumo por vivienda es de 0.38 Kg de GLP diarios.

Es importante mencionar que el estado solo represente 7% del consumo total de GLP por Región y no cuenta con ningún otro combustible petroquímico para el sector doméstico.

Aunado a esto, en el estado no existen industrias y servicios que pudieran requerir grandes volúmenes de GLP, lo que lleva a concluir que quizás el 58.3% es un valor bajo para el sector residencial. Sin embargo, debido a no contar con otra fuente con dato más confiable, se utilizó este valor.

Así, el consumo anual por vivienda en la ciudad de La Paz se estimó en 139.17 kg de GLP. Esta cantidad de combustible equivale a un total de 6.91 GJ de energía.

### 6.2.2 *Generación de residuos.*

El diagnóstico de recolección solicitado a la Dirección General de Servicios Públicos Municipales detalla que los RSU recolectados en casa habitación en la ciudad de La Paz correspondieron en promedio a 286 toneladas diarias (H. XIV Ayuntamiento de La Paz 2014). Considerando el total de viviendas para la ciudad de La Paz (74,220 unidades) es posible estimar que una vivienda generaría en promedio 3.85 kg de RSU diariamente.

En cuanto a la caracterización de los residuos, estudios realizados en La Paz revelaron que en dos colonias; Santa Fe y Márquez de León, la mezcla de orgánicos correspondía a 43% y 46%, una valoración significativa considerando que se asemeja a la nacional de 51% (Martínez 2002). Sin embargo, la fuente no es precisa en cuanto a la composición de los residuos orgánicos. Aunado a esto, el estudio es de hace más de 10 años. Esto implicó buscar otras fuentes y métodos.

Ya que no se encontraron estudios recientes<sup>1</sup> en tema de caracterización de los RSU para La Paz, fue necesario considerar los trabajos hechos en Ensenada y Tijuana por Hernández y Aguilar de El Colegio de la Frontera Norte (Porrás Hernández & De la Parra Rentaría 2010; Aguilar-Virgen et al. 2010) y de aquí se promedió un valor para los RA. Esta metodología se consideró adecuada por ser las ciudades de la región y contar con estudios precisos de caracterización de RSU en viviendas. La proporción de RA en los RSU de la ciudad de Ensenada resultó de 30.59%, 32.48% y 39.29% para los estratos bajo, mediano y alto, respectivamente. En la ciudad de Tijuana los valores fueron 29.91%, 27.0%, 27.91% para los estratos en orden bajo, mediano y alto.

---

<sup>1</sup> Se sabe que actualmente está en curso un estudio de la GIZ en este sector pero a diciembre del 2015 los resultados aún no están disponibles

Promediando los seis valores se obtuvo 31.2%, un valor razonable para representar la parte proporcional de los RA, que se generan en la vivienda de la ciudad de La Paz. Con este valor es posible estimar que la vivienda genera en promedio 3.85 kg diario de RSU, por lo tanto, el 31.2% de RA correspondería a 1.2 kg de RA diarios por vivienda promedio (3.47 habitantes). Esto a su vez indica que una vivienda genera alrededor de 438.4 kg RA al año.

### *6.2.3 Producción de biogás*

Para estimar el biogás producido de los RA se consideraron tres investigaciones (Vij 2011; Agrahari & Tiwari 2013; Voegeli et al. 2009). En ellas se utilizó un modelo de biodigestor diseñado por el Doc. Anand Karve. Este modelo fue diseñado específicamente para su uso urbano y para ser alimentado con RA de manera rudimentaria (véase sección 5.3).

Con información y el procedimiento de Soyog Vij (Vij 2011), se obtuvo que 1 kg de RA produce 0.312 kg de biogás. Por lo tanto, si la vivienda de La Paz genera 1.2 kg de RA diarios, esto equivaldría a 0.375 kg de biogás por día. Mediante la quema de éste es posible obtener 6.85 MJ de energía en promedio.

Anualmente esto representaría 136.8 kg de biogás o bien 2.5 GJ de energía por vivienda. Esta cantidad de biogás-energía permitiría sustituir entonces el 35.7 % del GLP utilizado en la vivienda de La Paz. Esto representa poco más de una tercera parte del consumo por GLP por vivienda.

### 6.3 Análisis del uso de biogás en la vivienda

Los valores obtenidos para una vivienda de la ciudad de La Paz se ilustran en la Tabla 6-1. En promedio, el número de ocupantes por vivienda es de 3.47, los cuales consumen 146 kg de GLP anuales y generan 1,406.5 kg de RSU. De ellos 438.4 kg son RA y con ellos se puede generar 136.8 kg de biogás. Esto aportaría 2.5 GJ de energía anuales a la vivienda.

Estos datos de la vivienda de La Paz son elementos suficientes para considerar que el biogás producido por los RA no cubriría la totalidad de la energía que requiere una vivienda. De hecho, solo puede remplazar el 35.62% del consumo de GLP. Esto implica que se debe considerar usar biogás en un sistema híbrido, donde se utilicen los combustibles tradicionales y se alternen con biogás.

**Tabla 6-1 Datos de una vivienda promedio.**

Elaboración propia.

<b>Datos de una vivienda promedio de La Paz</b>	
<b>Concepto.</b>	<b>Valor</b>
Número de ocupantes.	3.47
Consumo anual de GLP.	139.17 kg
Generación anual de RSU	1406.5 kg
Generación anual de RA	438.4 kg
Generación potencial anual de biogás	136.8 kg
Potencial energético anual del biogás	2.50 GJ
Potencial energético anual del GLP	6.91 GJ
Ahorro energético de GLP por uso de biogás	35.62%

### *6.3.1 Análisis Costo-Beneficio en una vivienda*

El uso de biogás en la vivienda tiene como primer requisito un cambio drástico en la forma que hacemos vida. Tal es el caso de la aceptación a gestionar los residuos, como se menciono anteriormente. Las personas que hacen hogar deben de estar familiarizados con la importancia de separar los residuos y las afectaciones de no hacerlo. En términos generales se puede argumentar que el no tener una sociedad ecoalfabetizada propicia que el aprovechamiento de los RA para generar biogás sea nula.

Una vez superado el obstáculo anterior, el siguiente punto sería cubrir el costo tecnológico. Un sistema híbrido (biogás-GLP) estaría sujeto al costo de los materiales con el cual se construye un biodigestor tipo ARTI-Biogás. Para este caso se solicitó un presupuesto de compra de material con precios de Agosto de 2015 (Anexos). Igualmente, se contabilizó el costo de instalación así como el de capacitación para su operatividad en la vivienda. El total de costo por la implementación tecnológica resultó en 8,021.34 pesos.

Ya que el biogás es un combustible con propiedades similares al GLP y gas natural, puede adaptarse a las estufas convencionales. Esto evitaría gastos adicionales a la hora de optar por un sistema híbrido. Quizás sea necesario separar las entradas de gas a la estufa, para evitar la mezcla de gases entre el GLP y el biogás. De igual forma se considera el material necesario para instalar y utilizar el GLP en la vivienda (Anexos). Este último resultado de 1,549.5 pesos

Otro aspecto importante es saber cuánto cuesta usar biogás en la vivienda. Para ello es necesario valorar la gestión de los RA y el mantenimiento del biodigestor. Solo a partir de estos elementos es que podemos considera un costo por uso de biogás. Una manera factible para valorar estas tareas es asignando un precio al tiempo invertido en la gestión de los RA y el mantenimiento del biodigestor. Si el salario promedio por hora en La Paz es de 35 pesos y se requiere un máximo 3.5 horas a la semana para gestionar los RA y mantener en operatividad el biodigestor, se estima que el costo por uso de biogás asciende a 6,387.5 pesos anuales.

Cabe mencionar que se descartó valorar el costo social por uso de GLP ya que la ciudad de La Paz cuenta con servicio GLP a domicilio. Por lo que solo se necesitaría llamar por

teléfono y pedir el GLP. El costo en esfuerzo y tiempo para abastecerse de GLP se considera despreciable.

A continuación en la Tabla 6-2 se comparan los costos de viviendas con GLP y viviendas con sistema híbrido de GLP y biogás (comparación anual). Los conceptos se clasificaron en tres, el primero es el costo de combustible consumido durante un año, el segundo hace referencia a los costos tecnológicos (en material e instalación) y por último el costo social, es decir, los costos invertidos para producir y utilizar un combustible.

**Tabla 6-2 Costos del primer año por uso de biogás en la vivienda.**

Elaboración propia.

Conceptos	Tipo de Vivienda	
	Sin biogás solo utilizando GLP	Con biogás alternando con GLP
Costo de combustible GLP consumido en la vivienda durante un año.	\$2,181.26	\$1,404.24
Costo Tecnológico.		
_ Material	\$1,549.5	\$8,021.34
_ Instalación		
Costo Social (costo por uso)		
_ Costo del aprendizaje (única inversión).	\$ 0	\$6,887.5
_ Operación		
Costo total del primer año	\$3,730.76	\$16,313.08

Económicamente hablando el uso de biogás en la vivienda no constituye en sí una ventaja puesto que durante el primer año la inversión para implementar un sistema híbrido en la vivienda requiere cuatro veces más de inversión en comparación a solo usar GLP. Aunque en los años siguientes no se incluyan los costos tecnológicos y el costo por tiempo invertido en la operación, el sistema híbrido sigue siendo considerablemente mayor (ver Tabla 6-3).

**Tabla 6-3 Costos a partir del 2do año en adelante por uso de biogás en la vivienda.**

Elaboración propia.

Conceptos	Tipo de Vivienda	
	Sin biogás solo utilizando GLP	Con biogás alternando con GLP
Costo de combustible GLP consumido en la vivienda.	\$2,181.26	\$1,404.24
Costo Social (costo por uso) _ Operación	\$ 0	\$6,887.5
Total	\$2,181.26	8,291.74

Observando las tablas anteriores (Tabla 6-2, Tabla 6-3) se hace visible que el costo por implementar un sistema híbrido en la vivienda requiere cuatro veces más de inversión en comparación a una vivienda convencional que solo utilizaría GLP. Inclusive, valorando años posteriores en donde no se incluyen los costos tecnológicos y por aprendizaje, el costo social (operación) sigue siendo el factor que incrementa los costos por usar biogás. Por lo tanto se concluye que económicamente no es atractivo usar biogás en la vivienda. Sin embargo, aun así el sistema híbrido representaría un ahorro económico real de \$777.02 pesos anuales y se dejarían de emitir 159.80 kg de GEI o CO<sub>2</sub>e, derivados de no usar GLP (ver la Tabla 6-4).

**Tabla 6-4 Beneficios y externalidades de usar biogás. Elaboración propia**

Concepto	Vivienda de 3.47 ocupantes con sistema híbrido
Energía - Biogás	2.46 GJ
Ahorro monetario (GLP Biogás)	\$777.02
Emisiones CO <sub>2</sub> e no liberadas	159.80 kg

### *6.3.1 Discusión de resultados*

#### *6.3.1.1 Análisis a nivel individual*

Aunque a nivel privado el uso de biogás bajo el modelo tecnológico ARTI-BIOGAS no resultó ser atractivo, existen argumentos adicionales que deben ser valorados. Tal es el caso de los beneficios por la menor proliferación de fauna nociva como moscas, cucarachas, ratas, entre otras (ver la Tabla 4-1). Esto se deriva de que al utilizar los RA para generar biogás, se evita que las bolsas de basura contengan RA. A su vez, esto evitaría olores desagradables producto de la descomposición, así como atraer fauna nociva y/o animales callejeros en busca de alimento.

Otro aspecto que pudiera ayudar a que el uso de biogás a nivel privado sea atractivo es considerar la posibilidad de automatizar la producción de biogás. Sin duda invertir en un biodigestor automatizado será más costoso. Sin embargo, invertir en un biodigestor que pre-tratara los RA y gestionara la producción de biogás por el usuario, reduciría el tiempo invertido en la operación, lo que nos llevaría a disminuir o erradicar el costo social.

En adición, invertir en un biodigestor automatizado en la ciudad de La Paz sería favorable, puesto que la ciudad cuenta con características climatológicas ideales para la vida microbiana encargada de la producción de biogás. Esto, evita tener que regular la temperatura del biodigestor para sustentar la vida biológica. Favoreciendo a su estabilidad y adaptabilidad a la zona.

Aunque en términos general el uso de biogás en la vivienda no puede ser visto como una inversión privada redituable puesto que los beneficios y/o alcances que conlleva este sistema híbrido son de bajo impacto para quienes habitan el hogar o no representa un ahorro monetario significativo, queda claro que los beneficios a gran escala (agregados) por uso de biogás son mucho más significativos y determinantes a la hora de buscar soluciones de alto impacto (ver Tabla 5-6). A la par se impulsaría una forma de vida más sustentable.

De igual forma se puede considerar el biogás a pequeña escala como una opción si se tiene apoyo del gobierno, como una opción tipo social-privado para tratar residuos. Posiblemente la implementación del uso de biodigestores de forma colectiva implica que el gobierno implementase programas o iniciativas que impulsarían a la ciudadanía a aprovechar los RA para generar biogás en sus viviendas.

#### *6.3.1.2 Análisis a nivel ciudad*

Un sistema de biogás en la vivienda contribuiría a la autonomía energética. El biogás producido en la vivienda constituye en menor o mayor medida una independencia energética, ya a través de él es posible producir energía en distintas formas (calor, iluminación, electricidad). Si a esto le aunamos que las condiciones de las viviendas en La Paz son vulnerables ante las catástrofes naturales como los huracanes (ver sección 6.1), el biogás se vuelve una ventaja, proporcionando energía a la vivienda de forma regular y cuando los servicios energéticos de la ciudad quedan inoperables, derivado de las estos fenómenos.

De forma agregada el uso de biogás en viviendas generaría impactos ambientales, sociales y económicos en el corto plazo, ya que se aprovecharían los RA in situ evitando su recolección y traslado a los sitios de disposición final. Esto favorecería a reducir la contaminación ambiental, a mejorar la salud pública, a disminuir las emisiones de GEI y ahorrar recursos destinados a la gestión de residuos (ver Figura 5-5 y Tabla 5-6). Igualmente se promovería el uso de energías renovables entre la ciudadanía.

En un panorama global el uso de biogás como combustible doméstico puede ser una oportunidad para cambiar de paradigmas y encaminarnos a una vida más sustentable, por esto, vale la pena considerar implementar el uso de biogás a pequeña y mediana escala. Pero implementar sistemas híbridos de biogás en las viviendas y garantizar su adaptabilidad es difícil. Un posible primer paso, podría ser instalar biodigestores comunitarios en distintos puntos de la ciudad. Estos serían un constante recordatorio de que debemos adaptar sistemas ecológicos, de retroalimentación, concientizar a la sociedad

sobre los beneficios ambientales de usar biogás y quizás así, la sociedad misma sería la que solicite sistemas híbridos de biogás para su vivienda.

Lograr implementar biodigestores comunitarios en La Paz puede ser una posibilidad rentable en el corto/mediano plazo. El municipio podría ser la autoridad encargada, ello implicaría establecer estrategias que logren favorecer la instalación de biodigestores en la ciudad, no solo financieramente, sino creando puestos de trabajo y de más acciones que favorezcan al uso de biodigestores. Inclusive puede capacitarse al mismo personal que ya labora en la recolección de RSU. A continuación se hará una propuesta/escenario donde se estima para el municipio de La Paz la instalación de biodigestores comunitarios y los beneficios posibles a obtener.

#### 6.4 Sistemas de biogás en la ciudad.

##### 6.4.1 *Propuesta*

Una iniciativa para introducir sistemas de biogás en la ciudad de La Paz podría ser colocar biodigestores comunitarios en sitios estratégicos. La idea principal sería ubicar los biodigestores comunitarios en sitios de alta y continua generación de RO para que la mayor cantidad de orgánicos sea aprovechada diariamente. Algunos sitios como mercados, centrales de abasto, comedores comunitarios, instituciones educativas, restaurantes o plazas comerciales son ideales prospectos para instalar un biodigestor comunitario.

Sería importante que el municipio considerara una propuesta de este tipo para tratar los residuos orgánicos, pues se obtendrían muchos más beneficios que solo biogás y composta. Instalar biodigestores comunitarios permitiría aprovechar RO evitando su acumulación, almacenamiento temporal y transferencia al relleno, lo cual conlleva a gozar los beneficios mencionados en la Tabla 5-6. Por otro lado, instalar sistemas de biogás en sitios públicos como los mercados y centrales de abasto puede ser una gran iniciativa pro-ambiental. Un recordatorio visual positivo de que la ciudad de La Paz puede transitar a ser una ciudad más sustentable.

Antes de plantear un posible escenario de biodigestores comunitarios para La Paz, habría que detallar primero los aspectos jurídicos en relación al manejo de residuos en dichos sitios y los permisos para la instalación de biodigestores comunitarios. También se expone una opción para sustentar la operación de los sistemas de biogás.

#### *6.4.2 De aspectos legales*

El artículo 132 de la Ley Orgánica del Gobierno Municipal de Baja California Sur indica que el municipio tendrá a su cargo la prestación, explotación, administración y conservación de los servicios públicos municipales. Ello incluye el inciso III que habla de la limpieza, recolección, traslado, tratamiento, disposición final, y aprovechamiento de los residuos (H. XIV Ayuntamiento de La Paz 2011 Artículo132, sección 3). Esto hace al municipio el agente central en cuanto a la implementación de biodigestores comunitarios, pues sería él, el facultado para aprovechar los residuos orgánicos para generar biogás y composta.

A nivel municipal el Reglamento de la Administración Pública Municipal de La Paz Baja California Sur, artículo 89, le atribuye a la Dirección General de Servicios Públicos Municipales (Dirección General SPM) las siguientes facultades en tema de residuos sólidos:

“VI.- Vigilar la aplicación de las disposiciones legales y administrativas para la prestación del servicio público de limpia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el Municipio;”

“VII.- Recolectar la basura, desperdicios o desechos, provenientes de las actividades que se desarrollen en casas habitación, oficinas, edificios, mercados, calles, vía pública, plazas, parques, establecimientos comerciales, industriales o de prestación de servicios y de cualesquiera otros similares a los anteriores.”

“X.- Garantizar que los residuo y desechos orgánicos e inorgánicos no originen focos de infección, peligro o molestias a para la ciudad o propicien la propagación de enfermedades.”

“VIII.- Promover y coordinar acciones para el manejo adecuado de los desechos sólidos, y para la creación y ampliación de rellenos sanitarios;”

“XII.- Promover la investigación, estudio, innovación tecnológica en la presentación de los servicios a su cargo.”

(H. XIV Ayuntamiento de La Paz 2011b, p.60)

Los biodigestores comunitarios contribuirían con las atribuciones VIII, X y XII de la Dirección General de SPM. Estos sistemas promoverían acciones para el manejo adecuado de los desechos, disminuirían los riesgos a la salud pública e innovarían el uso de tecnología en el tratado de los desechos. Cabe mencionar que en ninguna de las atribuciones de esta dirección se encontró alguna en la que se hiciera mención sobre el aprovechamiento de los residuos. Esto conduce a que la Dirección General SPM podría disponer de los RO para su tratado biológico anaeróbico en biodigestores comunitarios pero le faltarían facultades para beneficiarse del biogás y la composta.

Afortunadamente existe una ruta alternativa que permitiría instalar y operar biodigestores comunitarios en mercados y centrales de abasto. Esto sería gracias a la concesión o el permiso que el municipio puede otorgar sobre la prestación de servicios públicos a empresas del sector privado. Esta concesión o permiso tendría que ir acorde al Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR) del Estado de Baja California Sur. Un documento diseñado con el objetivo de:

“Promover la política ambiental de Baja California Sur en materia de gestión integral de residuos que contemple acciones enfocadas a la prevención y minimización en su generación, así como de separación, reutilización y reciclado, dando un valor agregado a los subproductos para su comercialización, para finalmente lograr una disposición final apropiada a los residuos restantes.” (Dirección de Planeación Urbana y Ecología 2011, p.58)

El PEPGIR tiene distintas líneas de acción, una de ellas se titula “separación y el reciclaje de residuos de manejo especial” (RME, ver sección 4.3.1). En esta acción se promueve el aprovechamiento de los orgánicos para generar energía a través de incluirlos en otros procesos productivos, como ocurrirá con la generación de biogás. Mismo texto señala que las actividades productivas de la cuales se derivan estos RO provienen de actividades agrícolas, pesqueras, silvícolas, avícolas, forestales y ganaderas. Pero también, residuos provenientes de tiendas departamentales o centros comerciales, siempre y cuando se genere en grandes cantidades (Dirección de Planeación Urbana y Ecología 2011, p.73).

Los RO de mercados y centrales de abasto se consideran RME. Y la normativa mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 es la encargada de establece los criterios para clasificar a los RME. En el apartado 6.2 de dicha NOM se establece que los RME serán aquellos:

“6.2 - Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.”

Por lo regular los mercados municipales y centrales de abasto son centros comerciales con alta generación de residuos. Desafortunadamente para este trabajo se desconoce la cantidad que se generan de los mercados y centrales de abasto de la ciudad. Sin embargo se asume para los mercados que su generación de residuos sí es mayor a 10 ton. anuales.

#### *6.4.3 Del proyecto*

Respecto a la inversión tecnológica y operativa de los biodigestores, el mismo PEPGIR incluye diversos programas de financiamiento para el manejo de residuos sólidos. Estos programas podrían servir para implementar biodigestores comunitarios en mercados y centrales de abasto. Según el PEPGIR, los apoyos en capital pueden ser adquiridos internacionalmente, federal, de la banca de desarrollo y/o a través de asociaciones publico-privadas.

De estas opciones financieras, la banca de desarrollo de obras y servicios (BANOBRAS) es la mejor opción para dar soporte financiero y técnico. Esto debido a se podría cubrir el costo tecnológico del los biodigestores comunitarios y el recurso humano necesario.

“BANOBRAS otorga financiamiento y asistencia técnica para proyecto de infraestructura o servicios públicos; para el sector de residuos sólidos atiende obras dirigidas al tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, la modernización del servicio público de limpia y la construcción, ampliación o rehabilitación de infraestructura para el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

BANOBRAS otorga créditos en condiciones competitivas, a municipios y/o al sector privado, bajo el esquema de proyectos con fuente de pago propia, por hasta el 70% de la inversión y 80% del periodo de la concesión o contrato de prestación de servicios de manejo de residuos sólidos. En estas operaciones los proyectos pueden tener un alcance donde se incluya la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa o el biogás de los residuos sólidos.” (Dirección de Planeación Urbana y Ecología 2011, p.112)

Para disponer de los recursos financieros y poder ejecutar dicho proyecto se tendría que gestionar a través de la Agencia para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California Sur (APGIRS). La cual funge como instrumento operativo del PEPGIRS y promueve la creación de asociaciones publico-privadas.

La APGIRS tiene el objetivo general de:

“Impulsar los proyectos estratégicos derivados del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California Sur, a través de agencias interrelacionadas por una Agencia Central, con el fin de lograr un desarrollo sustentable.” (Dirección de Planeación Urbana y Ecología 2011, p.120)

En la lista de los proyectos estratégicos de la APGIRS se incluye la construcción de plantas de tratamiento biológico, en el cual se encuentra los biodigestores y/o plantas de biogás. Asimismo promueve que la iniciativa privada obtenga fuentes económicas por la comercialización de subproductos generados, que en este caso podrían ser la venta de biogás-energía y de composta.

Así un biodigestores comunitario puede considerarse como proyecto adyacente al modelo de tratamiento actual de los residuos y encaminado a los lineamientos y objetivos de PEPGIR. De instalarse en los mercados de la ciudad de La Paz, los biodigestores deberán contar con permisos del ayuntamiento, tanto para su instalación, uso de suelo, así como sus capacidades y operatividad. Sin embargo, independientemente de las condiciones que pueda establecer el municipio, los biodigestores comunitarios serían una opción que respaldaría el compromiso que tiene el municipio con el cuidado del medio ambiente y sería visto por la sociedad como un proyecto eco-eficiente, complementario al tratado de RSU de la ciudad.

Siguiendo las acciones y organismo operativos que presenta el PEPGIRS, se propone un escenario donde se implementan graduablemente biodigestores comunitarios para la ciudad de La Paz. Esto sería posible gracias al ahorro económico por la no recolección, gestión y traslado de residuos, uso y venta de los productos obtenidos, así como también de la venta de carbono. Los beneficios adicionales para el ayuntamiento podrían ser certificaciones ambientales, fondos, mayor turismo, etc. De todo esto el municipio podría invertir en:

- La compra de más biodigestores (comunitarios, subsidiados),
- la impartición de cursos de capacitación a futuros operadores, hogares y a la comunidad en general que desea aprender,
- instalación y mantenimiento de biodigestores comunitarios.

En cuestión de la compra de los biodigestores es importante mencionar que entre mayor sea la capacidad del un biodigestor, mayor será la cantidad de residuos que puede

aprovechar, lo que a su vez implica obtener mayor cantidad de biogás. Por lo tanto un biodigestores comunitarios seria proporcional a uno para vivienda.

Respecto a los cursos de capacitación estos pueden incluir, la aparte de cómo operar un biodigestor, conocimientos básicos en materia de educación ambiental, uso eficiente de la energía, consecuencias por la separación de residuos, impactos y mejoras derivados del uso de biogás en agregado, entre otros. De ser así, se estaría contribuyendo de manera importante a la ecoalfabetización de la sociedad paceña.

Adicionalmente los biodigestores comunitarios también son una buena opción cuando existen hogares que no cuentan con espacio suficiente para tener un biodigestor o simplemente no desean tener uno en casa. También es importante agregar que es posible incluir a personal de manejo para los biodigestores comunitarios, y se deben incluir aquellos trabajadores que por la reducción en la recolección de RO puedan haber sido afectados laboralmente.

De ser así, la meta máxima que el municipio podría alcanzar por implementar biodigestores en la ciudad, sería que la totalidad de los RO fuesen aprovechados en sitio y tratados en biodigestores comunitarios, públicos o privados. En este sentido los valores máximos que se podrían alcanzar en materia de energía, dinero ahorrado y emisiones evitadas se muestran en la siguiente Tabla 6-5.

Tabla 6-5 Beneficios y externalidades de usar biogás considerando el 100% de las viviendas en la ciudad de La Paz y la parte orgánica del relleno sanitario. Valores anuales. Elaboración propia.

	Viviendas de La Paz.	La ciudad de La Paz.
Concepto	Considerando solo las viviendas (74,220) en la ciudad de La Paz	Considerando la parte orgánica del relleno del municipio de La Paz.*
Total de biogás.	10,153 Ton	22,676 Ton
Total de energía - biogás	182.6 TJ	480.2TJ
Emisiones de GEI evitadas	12.05 Gg CO <sub>2</sub> e	26.92 Gg
Venta de bonos de carbono**	\$1,690,012.5 m.n.	\$3,775,530. m.n.
Ahorro por sustitución de GLP (beneficio social)	\$57,670,700.4 m.n.	\$151,661,940.4 m.n.
Ahorro en la recolección de RA (beneficio público)	\$2,666,854.3 m.n.	\$5,956,318.3 m.n.
Ahorros totales anuales	62,027,567.2 m.n.	161,393,788.7 m.n.

\*La parte orgánica del relleno fue calculado considerando el promedio nacional de 52.4% (SEMARNAT 2013). \*\*Para estimar un precio aproximado por la venta de bonos de carbono se utilizó un precio de \$8.5 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>, con tipo de cambio a \$16.50 pesos por dólar.

Es importante mencionar que el relleno sanitario de en la ciudad de La Paz es de tipo no selectivo, por lo que se desconoce la porción orgánica real en el relleno. Existen estudios como los de Karla Martínez (Martínez 2002) que mediante la revisión de las bolsas de basura generada en los hogares de una colonia pudo determinar proporciones para la parte orgánica de los residuos. Sin embargo, el estudio se hizo solo en ciertas colonias de la ciudad y se llevo a cabo hace 13 años lo cual introduce falta de certidumbre sobre la validez de esos datos. Es por esta razón que se considero utilizar el promedio nacional para estimar la parte orgánica disponible para ser tratada para generar biogás.

Observando la Tabla 6-5 se observa que la cantidad de biogás generado a partir de la parte orgánica del relleno sanitario es de 22,676 Ton. Esta cantidad de biogás pudiera proporcionar 480.2 TJ de energía y evitar liberar 31.2 Gg de CO<sub>2</sub>e. En adicción, los beneficios económicos derivados de aprovechar el biogás hacieren a \$157,618,258.7 pesos donde casi 6 millones corresponderían al ahorro por la recolección reducida de RO y un poco más de 151 millones y medio de pesos corresponderían al gasto equivalente de adquirir GLP para cubrir los 480.2TJ que en teoría generaría el biogás.

Estos beneficios teóricamente solo serían posibles si todos los RO de la ciudad de La Paz se aprovecharan para generar biogás a través de biodigestores instalados en la ciudad. Sin embargo, no hay que olvidar aquellos beneficios que se lograrían en materia de ambientes más limpios, menos olores desagradables por la descomposición de RO, disminución de la fauna nociva y en general mejor saneamiento y salud pública, evitando así, riesgos sociales (ver sección 4.3.3.1).

Para complementar la propuesta dada, en la siguiente sección se plantea un escenario para conceptualizar la transición de lo que nos llevaría a los beneficios mencionados en el párrafo anterior.

#### *6.4.4 Escenario*

El primer paso sería considerar la construcción de 10 biodigestores, mismos que podrían ser financiados a fondo perdido. Estos 10 sistemas permitirían entonces aprovechar los RO de comedores comunitarios y mercados, por ejemplo. Se podrían instalar en los propios sitios para evitar traslado de residuos. Suponiendo que los 10 biodigestores pudieran aprovechar un 5% del total de RO en La Paz, el ayuntamiento pudiese, en el corto plazo, obtener beneficios de saneamiento público, ya que al aprovechar los RO en sitios de grandes generaciones, ya no habrá grandes cúmulos de orgánicos descomponiéndose al aire libre, se evitarían los malos olores por la descomposición, posibles riesgo de sitios de infección y la proliferación fauna nociva.

De igual forma, ese 5% implicaría que diariamente se aprovecharan 10 toneladas de RO, sin necesidad de que fuesen recolectados, con esto, el ayuntamiento se ahorraría \$297,815.92 anualmente.

En cuanto a la producción de biogás, las mismas 10 Ton de RO producirían 3.1 Ton de biogás diariamente, esto equivaldría a 2 TJ de Energía-Biogás mensuales. Este mismo biogás pudiese ser vendido o utilizado como gas combustible para diversos usos. En cuanto al costo, si adquiriera la misma cantidad de energía (2TJ), pero a través del GLP, se tendrían que invertir \$631,924.7 pesos en la compra. De aquí que 94.29 Ton de biogás al mes podrían ahorrar esta cantidad al sustituir el uso de GLP.

En materia ambiental y derivado de la no recolección diaria de las 10 Ton de residuos, el ayuntamiento evitaría emitir 0.13 Gg de CO<sub>2</sub>e a la atmósfera cada mes durante el primer año. Además, si se utiliza el biogás tiene un factor de calentamiento 21 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, por lo que su quema ayuda a reducir su impacto como gas de efecto invernadero.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de biogás, energía, emisiones no liberadas y los posibles ahorros, si se considera aprovechar el 5% de los RO de La Paz a lo largo de un año.

Tabla 6-6 Escenario del aprovechamiento del 5% de los RO de La Paz durante un año. Elaboración propia.

Concepto	Considerando el 5% la parte orgánica del relleno del municipio de La Paz.*
Total de Biogás.	1,134 Ton
Total de Energía - Biogás	24 TJ
Emisiones de GEI no liberadas en CO <sub>2e</sub>	1.6 Gg
Ahorro de combustible en la recolección de RO (beneficio público)	\$297,815.92 m.n.
Ahorros totales anuales	\$297,815.92 m.n.

En cuanto a la implementación de más biodigestores, las autoridades tendrían disponible lo ahorrado de la no recolecta de RO, los \$297,815.92 pesos. Esta cantidad se podría incrementar si se considera también la venta y/o uso de biogás para ahorrar combustible. Sin embargo, para esta investigación solo se consideraran los cuasi 300 mil pesos, mismos que se verían reflejados en el presupuesto al final del año. Esta cantidad ahorrada permitiría entonces instalar entre 25 y 35 nuevos biodigestores. Estos, podrían situarse en lugares de continua generación de RO y/o quizás algunos en forma comunitaria, como en vecindades, privadas, o andadores.

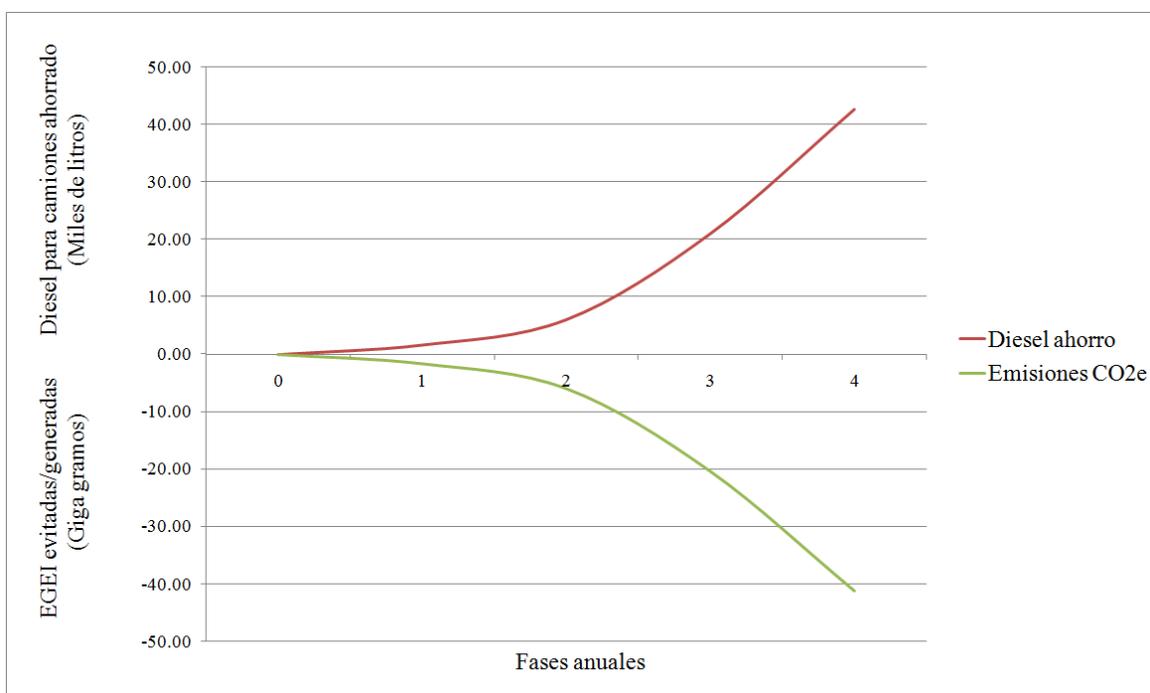
Bajo este razonamiento, la siguiente tabla muestra las posibles etapas del proyecto, y los principales beneficios cuantificables (diesel ahorrado, gasto ahorrado, emisiones no liberadas y la cantidad de biogás). Cabe mencionar que las etapas están en función a la posibilidad de reinvertir el dinero ahorrado para compra de nuevos sistemas de biodigestores.

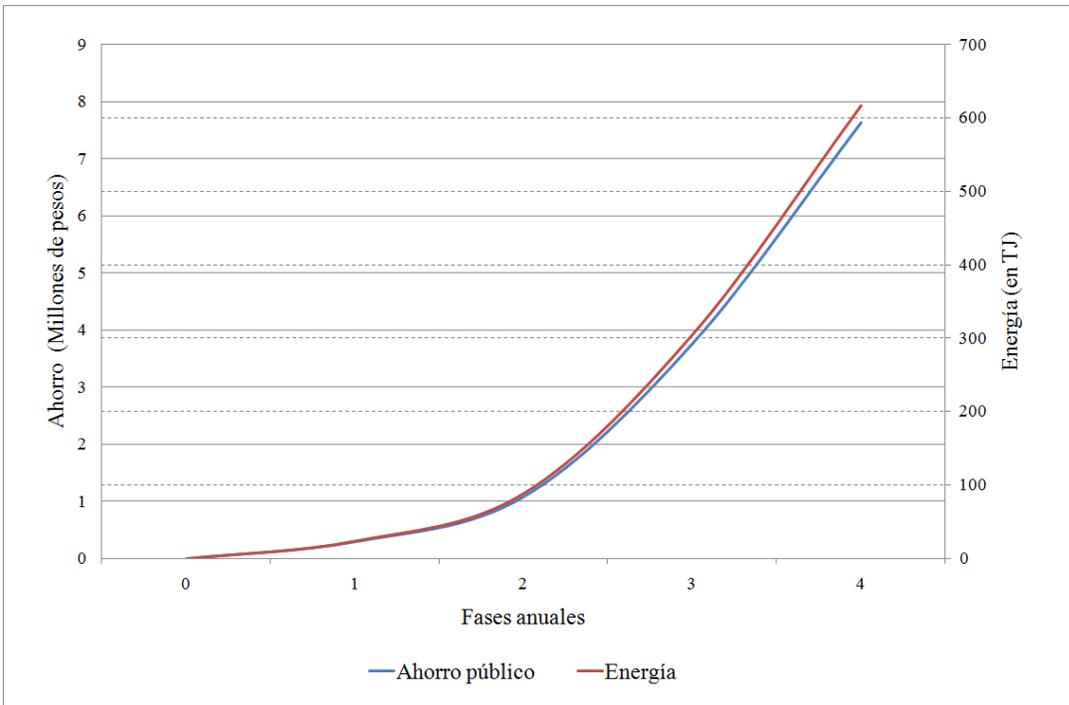
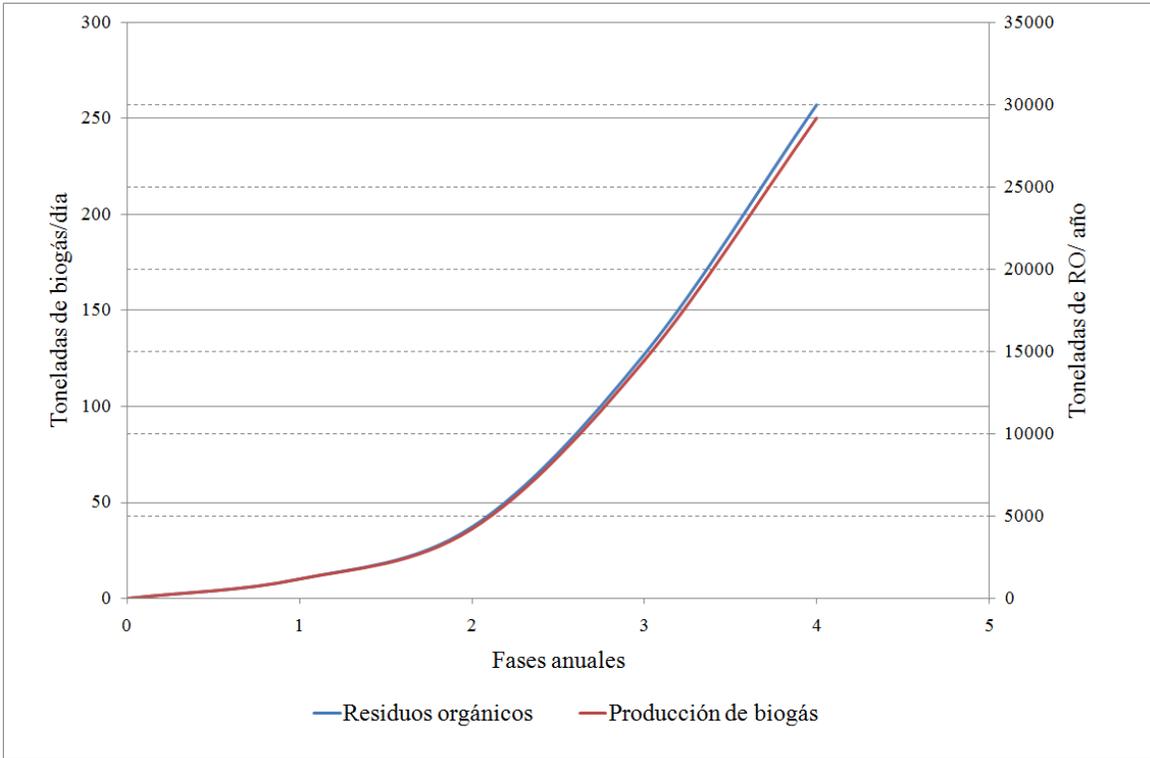
Tabla 6-7 Etapas de la implementación propuesta. Elaboración propia.

Etapas		Residuos Orgánicos		Beneficios cuantificables anuales				
Fases anuales	Biodigestores	Aprovechado / día.	Aprovechado / año.	Ahorro diesel	Total de ahorro	Emisiones CO2e	Energía - Biogás	
1ra	Instalación de 10 biodigestores.	10 sistemas instalados con capacidad de 1 ton de RO diariamente c/u.	10 ton.	3,640 ton.	1,664.05 lt	\$297,815.92 pesos ahorrado de la no recolección de R.O.	(- 1.6 Gg)	24 TJ - 1,134 ton
2da	Instalación de 27 biodigestores.	27 sistemas instalados con capacidad de 1 ton de RO diariamente c/u.	37 ton.	13,268 ton.	6,065.57 lt	\$1,085,555.39 pesos ahorrado de la no recolecta de R.O.	(- 5.92 Gg)	88.8 TJ - 4,195.8 ton
3ra	Instalación de 90 biodigestores	90 sistemas instalados con capacidad de 1 ton de RO diariamente c/u.	127 ton.	46,028 ton.	21,042.07 lt	\$3,765,898.67 pesos ahorrado de la no recolecta de R.O.	(- 20.32 Gg)	304.8 TJ - 14,401.8 ton
4ta	Instalación de 260 biodigestores.	260 sistemas instalados con capacidad ½ ton de RO diariamente c/u.	257 ton.	93,348 ton.	42,674.78 lt	\$7,637,505.63 pesos ahorrado de la no recolecta de R.O.	(- 41.12 Gg)	616.8 TJ - 29,143.8 ton
5ta	Mantenimiento preventivo sustentable.	387 sistemas o más en operación, según se requieran.	(+) 257 ton.	(+) 93,348 ton.	.....	.....	.....	.....

Dado el escenario propuesto podemos decir que la implementación de biodigestores en la ciudad de La Paz para aprovechar los RO y generar biogás con ello, significaría considerar 5 fases en 5 años. El número de biodigestores por implementar por cada etapa está en función de lo ahorrado del año anterior, y el costo de implementarlos.

Cabe mencionar que los datos de la tabla fueron calculados mediante proporcionalidad, tomando como referencia los datos obtenidos en la supuesta generación de biogás a partir de los RA generados en una vivienda de La Paz. A continuación se grafica la progresión de algunos datos implícitos en el uso de biogás para el escenario de La Paz.





## **Conclusiones y recomendaciones**

El efecto invernadero del planeta se ha intensificado a consecuencia del aumento de GEI en la atmósfera. Esto ha dado origen a un calentamiento global, donde la atmósfera, el océano y la superficie terrestre han incrementado su temperatura. El uso de combustibles fósiles y la disposición convencional de RSU son algunas de las causas del incremento de GEI.

Un recurso para disminuir las emisiones de GEI derivadas de la disposición final de RS es aprovechar la biomasa comprendida en los RSU para generar biogás y utilizarlo como combustible alternativo a los convencionales. Esta práctica sustentable es posible implementarla en la vivienda ya que, a través de un biodigestor, se pueden aprovechar los RA para generar biogás y utilizarlo como combustible doméstico.

Aunque existen ejemplos positivos del uso de biogás en áreas urbanas de la India, el contexto de nuestro país generaría impactos sociales, económicos y ambientales distintos. A continuación se detallan los beneficios potenciales del uso de biogás y sus límites socioeconómicos.

### **Beneficios potenciales del uso de biogás**

#### **Ahorro de GLP**

En La Paz la vivienda promedio utiliza GLP como combustible doméstico. Por ello, usar biogás implica disminuir el consumo del GLP. Se estimó que en una vivienda se pueden producir en promedio 136.8 kg de biogás. Esto representaría un ahorro de 49.58kg de GLP al año. De aquí que el ahorro económico por uso de biogás y sustitución del GLP se estimó en \$777.02 pesos anuales y las emisiones no liberadas en de 159.80 kg de CO<sub>2</sub> nuevo. La quema de biogás también contribuye a la baja de emisiones ya que el CH<sub>4</sub>, es transformado en CO<sub>2</sub> aunque este no se contabiliza por ser considerado carbono de ciclo natural.

### No recolección de RA

El aprovechamiento de RA para generar biogás implica que no formaran parte de los RSU y no serían recolectados por los servicios municipales. Esta acción permite ahorrar \$ 30.77 pesos por 438.44kg de RA de una vivienda promedio y evita emitir 7.23Kg de CO<sub>2</sub> durante el proceso de recolección. Incluyendo todas las viviendas, el ahorro sería de \$2,666,854.3 pesos anuales y se evitarían emitir 0.54 Gg de CO<sub>2</sub>e derivado de los 182,326.8 litros de diésel economizados.

### El relleno sanitario

La no recolección de los RA en vivienda conlleva a que el relleno sanitario disminuya su carga orgánica, haya más espacio disponible y por tanto, se prolongue su vida útil. Considerando que todas la viviendas en La Paz utilicen biogás, la cantidad de RA que se evitaría llegar al relleno sanitario sería de 32,540.87 Ton anuales. Esta condición también propicia la disminución de riesgos ambientales, sociales y económicos asociados a los RSU en rellenos sanitarios tales como, contaminación ambiental, proliferación de fauna nociva y generación gases inflamables y lixiviados.

### Limites socioeconómicos

#### Dinámica del hogar

En cuanto al uso de biogás en la vivienda se requiere monitoreo y alimentación diaria. De lo contrario, la vida bacteriana muere y la producción de biogás se suprime. Se estima que un sistema de este tipo requiere de un tiempo para el monitoreo y la alimentación. Sin embargo, la dinámica del hogar no resulta favorable para el uso de biogás en México.

Un motivo es el tiempo en el hogar. El promedio de los hogares es de 3.57 ocupantes y 2 de ellos suelen ser económicamente activos. El 70% de las personas económicamente activa permanece más de 36 horas a la semana fuera del hogar. Por tanto poca disponibilidad de tiempo.

Esta condición resulta en poco tiempo en el hogar. Esto tener menos disponibilidad para operar un biodigestor. En adición el 70% de los hogares recibe ingresos por debajo de los 9 mil pesos mensuales, destinando 18% del ingreso a transporte y comunicación, el 33% a alimentos, tabaco y bebidas y solo el 9% a energéticos y combustibles, lo que en conjunto con lo anterior, da pie a que la aceptación para el uso de biogás en la vivienda para México pudiera ser de poco interés. Una encuesta de percepción aportaría información valiosa al respecto.

#### Autogestión de los RSU

La producción de biogás en la vivienda conlleva la autogestión de los RSU es decir, separar, seleccionar, gestionar y en ocasiones pre-tratarlos. Esto implica cambiar la dinámica en que hacemos hogar y pasar de un sistema lineal, donde los residuos son puestos a disposición de las autoridades, a un sistema de retroalimentación, donde los residuos se reintroducen como materia prima para la producción de biogás. El uso de biogás en la vivienda es por lo tanto un circuito de retroalimentación. Sin embargo la autogestión de los residuos no es común en los hogares y esto dificultaría el producir biogás en la vivienda. El eco-alfabetismo por su parte ayudaría a superar esta limitante social y de paso contribuir al desarrollo de vidas más sustentables.

#### Rentabilidad

Para el caso de La Paz el biogás producido a partir de los RA resulto de 136.79 kg anuales, con capacidad de 2.46 GJ de energía. Esto representa un 35.62% de la energía que el GLP proporciona a la vivienda paceña promedio. Esta situación obliga a que el uso de biogás en la vivienda sea posible solo bajo un sistema híbrido, donde el biogás y el GLP se combinan para proporcionar energía al hogar. Sin embargo la inversión requerida para un biodigestor es de \$8,021.34 pesos y su tiempo de recuperación es de 10 años 4 meses. Económicamente hablando no es rentable usar biogás en la vivienda.

Las recomendaciones para usar biogás en la vivienda de La Paz son:

- Buscar la innovación tecnológica de biodigestores para lograr la automatización los procesos de alimentación, producción, quema y/o almacenamiento de biogás.
  - La automatización elevaría el costo de la tecnología pero garantizaría su estabilidad biológica, la producción de biogás y el almacenamiento para futura disposición de los productos.
  - La innovación tecnológica debe estar enfocada a buscar la ergonomía del biodigestor y la aprobación de la población interesada.
- Es necesario eco-alfabetizar a quienes habitan la vivienda. Pues favorecería la retroalimentación y propiciaría vidas más sustentables.
- El biogás debe ser considerado como un sistema energético de respaldo ya que la demanda energética actual en los hogares supera la capacidad de energía que el biogás puede proporcionar con los RA.
- Los RA deben ser aprovechados in situ para evitar su traslado y acumulación. Esto crea ahorro en combustible y EGEl, alarga la vida útil al relleno sanitario y mejorar las condiciones para otros materiales posibles de ser reciclados.

Las recomendaciones para usar biogás en la ciudad de La Paz son;

- Plantear un proyecto público/privado a través la APGIRS, con participación de los organismos involucrados en la generación y tratado de residuos. Esto permitirá unificar los objetivos de aprovechar los RO, producir biogás-energía y composta.
- Introducir un programa para la Eco-alfabetización de futuros operadores de biodigestores y de proveedores de la cadena productiva de los orgánicos. Adquirir conocimientos de química orgánica básica y del proceso de digestión anaerobia. Estos conocimientos permiten comprender la correcta alimentación según el tipo de biodigestor, al igual que permitir controlar mejor la producción de biogás.
- Buscar la venta de energía-biogás y la de composta, inclusive a la misma cadena productiva de los proveedores. Esto permitiría contribuir al ahorro de combustibles convencionales y evitaría EGEl.

## **Recomendaciones para seguimiento y trabajos futuros**

- Realizar estudios en situ de la composición de los RSU tanto en viviendas como en el relleno sanitario para la ciudad de La Paz.
- Realizar estudios para determinar la incidencia de enfermedades en relación con los residuos.
- Realizar estudios de la vivienda urbana de La Paz, para tener un mejor contexto de quien está en contacto directo con los RA.
- Evaluar la posibilidad de automatizar los biodigestores para facilitar su inmersión en la vivienda urbana y disminuir costo social.
- Realizar estudios en la vivienda urbana de La Paz en relación a su ecosistema y tipo de consumo.
- Realizar estudios de uso de biogás en conjuntos habitacionales o conjunto de viviendas.
- Realizar estudios para uso de biogás en lugares que generan grandes cantidades de RA: como hoteles, restaurantes, alberges, mercados, etc.

## Bibliografía

- Agrahari, R.P. & Tiwari, G.N., 2013. The production of biogas using kitchen waste. *International Journal of Energy Science (IJES)*, 3(6), pp.408–413. Available at: <http://www.ijesci.org/PaperInfo.aspx?ID=10163>.
- Aguilar-Virgen, Q. et al., 2010. Municipal solid waste generation and characterization in ensenada, Mexico. *The Open Waste Management Journal*, 3(1), pp.140–145. Available at: <http://benthamopen.com/ABSTRACT/TOWMJ-3-140>.
- AINIA, 2011. Valorización energética: producción de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos/subproductos orgánicos agroindustriales. *AINIA Centro Tecnológico*, pp.1–11.
- Cacua, K., Amell, A. & Olmos, L., 2011. Estudio comparativo entre las propiedades de combustión de la mezcla biogás- biogás - aire normal y gaso A comparative study of the combustion properties of normal bio- gas - air mixture and oxygen- oxygen - enriched biogas- biogas - air. , 31(1), pp.233–241.
- Camara de Diputados del H. Congreso de la Union, 2013. *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*, Distrito Federal: Ley General. Available at: <http://tramites.semarnat.gob.mx/index.php/2012-11-06-21-50-20>.
- Castro, A.A., 2013. *Transformaciones historicas del paisaje urbano y natural de la ciudad de La Paz, siglos XIX y XX*. Universidad Autonoma de Baja California Sur.
- Cervantes, J.F., Maya, E. & Martínez, J.G., 2008. *Evaluación de la habitabilidad de la vivienda social producida industrialmente en México*, Ciudad Universitaria.
- Dirección de Planeación Urbana y Ecología, 2011. *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos para el Estado de Baja California Sur*, La Paz: Programa Estatal.
- Dirección General de Planeación Energetica, 2012. Prontuario Estadístico del Sector Energetico Julio 2012. , p.77. Available at: [http://www.sener.gob.mx/res/380/BASE DE DATOS \\_CIFRAS DESTACADAS \\_ JUL.xls](http://www.sener.gob.mx/res/380/BASE_DE_DATOS_CIFRAS_DESTACADAS_JUL.xls).
- Encarnación, M., 2012. *Propuesta para un manejo integral de los residuos solidos urbanos para el municipio de La Paz B.C.S*. Universidad Autonoma de Baja California Sur.
- Feenberg, A., 2005. Teoría crítica de la tecnología. *Revista CTS no. 5*, 2, pp.109–123.

- Fernandez, L.A., 2008. *Caracterización cinética de la degradación anaerobia termofílica seca de la forsu. efecto de diferentes pretratamientos sobre la biodegradabilidad del residuo*. Universidad de Cadiz.
- Fernández, L.A. et al., 2004. *Biometanización de la fracción orgánica del residuos sólido urbano : proceso Sebac*, Provincia de Cadiz.
- Giuliano, H.G., 2013. Critical theory of technology : an approach from engineering La teoría crítica de la tecnología : una aproximación desde la ingeniería. *Revista CTS no. 24*, 8, pp.65–76.
- Gobierno del Estado de Baja California Sur, 2013. *Anuario de Información Estratégica La Paz*, La Paz Baja California Sur, Mexico. Available at:  
<https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWjGso6U8cnMAhUM5mMKHdq3BPUQFggaMAA&url=http://www.spyde.bcs.gob.mx/files/die/2014/ESTRATEGICOBCS2014.pdf&usg=AFQjCNHQ-W579EPGIQCVwKHjmGc-5RIIhw&sig2>
- GOOGLE, 2015. La Paz, BCS - Google Maps. Available at:  
<https://www.google.com.mx/maps/place/La+Paz,+BCS/@24.116468,-110.3032952,12z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x86afd2def5da1057:0x4875d2e8c0f1a3b6> [Accessed January 11, 2015].
- Gudynas, E., 2011. Desarrollo, derechos de la naturaleza y buen vivir después de Montecristi. In *Debates sobre cooperación y Modelos de desarrollo. Perspectivas desde la sociedad civil en el Ecuador*. pp. 83–102.
- H. XIV Ayuntamiento de La Paz, 2014. *Diagnóstico de recolección.*, La Paz.
- H. XIV Ayuntamiento de La Paz, 2011a. *Ley orgánica del gobierno municipal del estado de Baja California Sur*, La Paz: Ley Organica Municipal.
- H. XIV Ayuntamiento de La Paz, 2011b. *Reglamento de la administración pública municipal de La Paz, Baja California Sur*, La Paz: Reglamento de la Administracion Publica Municipal.
- INECC, 2012. *Actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2010, para el sector de Desechos CONVENIO : FPP-2011-26*,
- INECC, 2007. El manejo actual de los residuos: Condicionantes y consecuencias. , p.Capitulo 2. Available at:  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/283/cap2.html> [Accessed January 10, 2015].

- INEGI, 2013. *Anuario estadístico y geográfico de los estados Unidos Mexicanos 2013* c2014 ed. INEGI, ed., México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI, 2014. Glosarios. , p.web page. Available at: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/glogen/default.aspx?t=ehne&c=4394> [Accessed December 4, 2014].
- Instituto Mexicano del Petroleo, 2014. *Factores de emision para los diferentes tipos de combustibles fosiles que se consumen en mexico.*, Region Centro-Norte.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva.
- International Energy Agency, 2013. *Energy Technology Initiatives* Secon Edit. IEA Publications, ed., Paris: Corlet.
- International Energy Agency, 2014. *Key World Energy Statistics 2014* First edit. IEA Pulications, ed., Paris: Chirat. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>.
- Ivanova, A.B., 2013. *Plan de acciÓn ante el cambio climÁtico para La Paz y sus zonas colindantes*, La Paz.
- Karve, A., 2006. ARTI Biogas Plant: A compact digester for producing biogas from food waste. *Appropriate Rural Technology Institute*, p.9. Available at: <http://www.arti-india.org/> [Accessed March 11, 2015].
- Martínez, K., 2002. *Modelo para el establecimiento de un centro de acopio, separacion y comercializacion de residuos solidos en areas urbanas de la Cd. de La Paz, Baja California Sur. Caso proyecto de Santa Fe*. Universidad Autonomo de Baja California Sur.
- Martinez, M., 2003. La demanda por combustible y el impacto de la contaminación al interior de los hogares sobre la salud: el caso de Guatemala. *Desarrollo y Sociedad*, 7760(51), pp.129–174.
- Medina-salas, E.C.L.D.E., 2014. Generación y composición de residuos sólidos domésticos en localidades urbanas pequeñas en el estado de Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 30(1), pp.81–90.
- ONU, 2012. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable. In *Rio+20*. Nueva York: Naciones Unidas, p. 16.

- Peake, S. et al., 2011. *Energy Systems and Sustainability* Secon Edit. B. Everett et al., eds., Oxford: Oxford University Press.
- Porras Hernández, F.E. & De la Parra Rentaría, C.A., 2010. *Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos en Tijuana, Baja California.*, Tijuana.
- PSE PROBIOGAS, 2007. *Manual de Estado del Arte de la Co-digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales*, Gobierno de Espana.
- Rivera, G., 2005. *Diagnostico de la problematica de los residuos solidos urbanos en el municipio de Ciudad Ixtepec, Oaxaca*. Universidad del Mar Campus Puerto Angel.
- Rodillo-Calle, F., 2008. *The Biomas Assesment Handbook* Paperback. F. Rodillo-Calle, ed., New York: Taylor and Francis.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014. Glosario. *SEMARNAT*, p.21. Available at: <http://tramites.semarnat.gob.mx/index.php/2012-11-06-21-50-20> [Accessed December 10, 2014].
- Secretaria Energía & Agencia Internacional de, 2011. *Indicadores de Eficiencia Energetica en Mexico*, Mexico.
- SEMARNAT, 2012. *Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuales estan sujetos a Plan de Menjo*, Distrito Federal: Norma Oficial Mexicana.
- SEMARNAT, 2004. *Espacificaciones de proteccion ambiental para la seleccion del sitio, diseno, construccion, operacion, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposicion final de residuos solidos urbanos y de manejo especial.*, Distrito Federal: Norma Oficial Mexicana.
- SEMARNAT, 2013. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México* 2012th ed., Tapalpa, Mexico D.F.: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Available at: [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx).
- SENER, 2013. *Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2013-2027*.
- SIE, 2012. *Prontuario Estadístico del Sector Energético. Sistema de Información Energética (SIE)*.
- Sierra Llopart, J., 2000. *Aprovechamiento del alpechin a traves del suelo. Estimacion del posible impacto sobre las aguas de infiltracion*.

STEPS Center, 2010. *Sostenibilidad y Desarrollo. El Rol de la Ciencia y la Tecnología. Nuevo Manifiesto Sussex* Primera Pu., Brighton: University of Sussex.

Subedi, M. et al., 2014. Can biogas digesters help to reduce deforestation in Africa ? *Biomass and Bioenergy*, 70, pp.87–98. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.029>.

Sunil, M. et al., 2013. Smart Biogas Plant. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 3(3), pp.62–66. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/38765400/smart-biogas-plant-international-journal-of-innovative-technology->.

Taboada, P.A., Aguilar Virgen, Q. & Ojeda Benitez, S., 2011. Análisis estadístico de residuos sólidos domésticos en un municipio fronterizo de México. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 2(1), p.12.

Vij, S., 2011. *Biogas production from kitchen waste*. National Institute of Technology Rourkela-&69008, Odhisha.

Voegeli, Y., Lohri, C. & Baier, U., 2009. *Technical and biological performance of the arti compact biogas plante for kitchen waste - case study from Tazanzania*. Ardhi University, Environmental Sci.

## **Anexos**

- Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Artículo 5, fracciones de XXIX a XXXIII;

**XXIX.** Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven;

**XXX.** Residuos de Manejo Especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos;

**XXXI.** Residuos Incompatibles: Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos;

**XXXII.** Residuos Peligrosos: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley;

**XXXIII.** Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole;

- Diagnostico recolección, elaborado por el quipo de servicios públicos, con fecha del 12 de Noviembre del 2014.
- Presupuesto de ferretería, material necesario para la construcción de un biodigestor estilo ARTI Biogás.
- Presupuesto de ferretería, material necesario para la instalación de GLP.