



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Análisis de prefactibilidad, evaluación técnica y económica en la implementación de un biodigestor común en viviendas sociales para la generación de energía y propuesta de utilización de ésta.

Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor

Profesor guía: César Retamal Bravo

José Luis Moreno Martínez

CURICÓ-CHILE

2022

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNIVERSIDAD DE TALCA' and the right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO'.

Curicó, 2022

## AGRADECIMIENTOS

*Primero que todo le agradezco a Dios por darme el privilegio y la oportunidad de poder estudiar en esta institución no muy lejos de mi hogar y en un ambiente cómodo y rodeado de muy buenas personas.*

*Gracias a todos mis profesores por otorgarme el conocimiento a través de los años cursados en la universidad, por no regalarme las notas y enseñarme a aprender de mis errores, especialmente agradezco a mi profesor guía y gran académico César Retamal Bravo que siempre estuvo para ayudarme y aconsejarme, no solamente en esta memoria, sino que también en ramos anteriores en los cuales aprendí de él mucha teoría, pero sobre todo el valor de la constancia, perseverancia y el trabajo duro.*

*Mis más sinceros respetos y agradecimientos al profesor Enzo Arellano, gran referente y ejemplo para los actuales y futuros ingenieros de la construcción, el cual me enseñó a ser ordenado y metódico a través de sus exigencias en sus distintas asignaturas, siempre tendré presente y aplicaré sus lecciones tanto las teóricas como las prácticas.*

*A mis compañeros y futuros profesionales Pedro Rebolledo, Jonathan Riquelme y Humberto Lazo, con quienes compartí esta experiencia, les agradezco por su amistad y apoyo a través de mis años cursados en la universidad. A mi mejor amigo Aníbal Palacios, le agradezco por su amistad, paciencia y comprensión ya que por motivos de estudio no he podido estar en tus momentos más importantes, sin embargo, siempre me has apoyado.*

*Le agradezco a cada integrante de mi familia, mi madre, mi padre, mi hermano, mis abuelos, tíos y primos que tuvieron que realizar grandes esfuerzos mientras estudiaba, el apoyo y el amor que ellos me han dado es difícil de describir y cuantificar en el papel.*

*Por último, le doy gracias a Sandra Ávila, mi novia, que con su amor y paciencia me incentivó hasta el último día a terminar mis estudios.*

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a mi querido padre, José Luis Moreno Moraga, que se ha esforzado día a día para que yo pudiese estudiar sin problemas, gracias por creer en mi incondicionalmente a pesar de todo en este largo trayecto, por estar a mi lado y apoyarme con tus enseñanzas y valores, por hacer de mi un mejor hombre, hijo, hermano y estudiante.*

## RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático y la contaminación son dos de las tres grandes crisis que afectan actualmente a todo el planeta, Chile es uno de los países afectados por estos cambios, su vez responsable de este problema global, dado su gran consumo de energía no renovable como es el uso indiscriminado de combustibles fósiles y productos derivados del petróleo, a esto se le suma la gran cantidad de desechos que nuestro país produce anualmente, especialmente de tipo orgánicos. Por lo mencionado anteriormente es que existe la necesidad de buscar energías alternativas renovables no convencionales que aminoren principalmente el impacto ambiental y también que ayude a la economía de las personas reemplazando los combustibles que hoy en día han presentado un alza exponencial.

El presente trabajo trata esta problemática y como solución la idea de implementar un biodigestor común en viviendas sociales, con la finalidad de reducir los desechos orgánicos que son tirados a la basura y estos sean utilizándolos como biomasa, para la producción de biogás, aprovechándolo posteriormente para calefacción o en electricidad, además de generar una conciencia ambiental y aportar al cuidado del medio ambiente mediante el reciclaje de desechos orgánicos.

Esta investigación se basó en analizar y determinar la prefactibilidad del dispositivo ya que normalmente los biodigestores se encuentran en el sector rural y utilizan como materia prima estiércol de ganado, sin embargo, estudios aseguraron que se puede utilizar residuo vegetal, se experimentó con residuo sólido urbano orgánico o basura de cocina con excrementos de mascota dando resultados aceptables demostrando de forma práctica que es viable la producción de biogás. Se diseñó y analizó un digestor para ser evaluado técnica y económicamente resultando en un proyecto bastante viable sobre todo constructivamente, siendo una construcción e instalación simple y de bajo costo, no obstante, el transporte de biogás se limitó a una conducción por tubería desde el biodigestor a los hogares a una distancia menor a 100 metros descartando la posibilidad de almacenamiento y transporte en balones que normalmente se utilizan en el gas licuado, además de proponer la utilización de este en algún espacio comunitario del grupo habitacional social, que podría ser centro social, jardín infantil, junta de vecino entre algunos. Finalmente, producto de la biodigestión queda un excedente llamado biol que es un fertilizante mejorado y acondicionador de suelos teniendo una gran variedad de usos agrícolas dándole un valor agregado a este sistema.

# ÍNDICE

ÍTEM	PÁGINA
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1. Objetivo general: .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2. Objetivos específicos: .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Contaminación .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1. Contaminación mundial .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2. Contaminación en Chile .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3. Contaminación en la Región del Maule.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Energía .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1. Tipos de energías .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2. Energías renovables .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3. Energías no renovables .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.4. Utilización de las energías .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Residuos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1 Definición de residuos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.2 Tipos de residuos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Reciclaje .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.1. Definición de reciclaje.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2. Proceso del reciclaje .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.3. Reciclaje a nivel mundial.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.4. Reciclaje de materia orgánica .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Reciclaje de la materia orgánica en Chile.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6. Tratamiento de residuos orgánicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.1. Tipos de residuos orgánicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.2. Tratamiento .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7. Biodigestor .....</b>	<b>23</b>

2.7.1. Definición de Biodigestor.....	23
2.7.2. Partes de un Biodigestor.....	23
2.7.3. Etapas de la digestión.....	26
2.7.4. Tipos de biodigestor.....	28
<b>2.8. Viviendas sociales.....</b>	<b>31</b>
2.8.1. Definición de Vivienda social.....	31
2.8.2. Características de una vivienda social.....	31
2.8.3. Tipo de viviendas sociales.....	32
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3.DESARROLLO.....</b>	<b>34</b>
3.1. Metodología:.....	34
3.2. Desarrollo de la investigación.....	35
3.2.1 Cálculo consumo de gas de baja presión.....	35
3.2.2. Caracterización y cuantificación de residuos sólidos urbanos producidos en una vivienda.....	39
3.2.3. Elección, diseño y cálculo de Biodigestor.....	44
3.2.4. Costo de instalación del biodigestor común.....	55
3.2.5. Consideraciones finales de funcionamiento y producción del biodigestor.....	58
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>4.ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Chile es uno de los países que genera más basura en el mundo, posicionándose entre las primeras naciones que producen la mayor cantidad de desechos en Latinoamérica. Según datos entregados por el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2020 cada chileno generó entre 1,1 y 1,3 kg de basura diaria, tomando en cuenta que el país posee alrededor de 19 millones de habitantes ese año Chile produjo aproximadamente 8,1 millones de toneladas de basura anual, que finalmente van a parar a los vertederos locales. La basura orgánica en nuestro país ocupa cerca del 50 % de los residuos y en zonas rurales puede llegar hasta un 80 %, lo más preocupante es que solo el 1 % es reciclado. También nuestro país es considerado como un gran consumidor de combustibles, especialmente derivados del petróleo en la última década Chile se encuentra entre los 3 primeros países de la región que más utilizan este recurso no renovable. Además, existen otros factores que producen daño ambiental como la tala de árboles y las nuevas construcciones, que alteran drásticamente y en poco tiempo el ecosistema.

Si bien existe la ley 19.300 que establece un marco de regulación para vivir en un ambiente libre de contaminación y que castiga con la reposición de daños causados y/o multas de hasta 1.000 UTM (artículo 3 título I y artículo 56 título III ley 19.300) a tanto personas como empresas y la ley 20.417 creando el Ministerio y la Superintendencia del Medio Ambiente que monitorea, investiga y publica la situación ambiental actual ,además de incentivar el cuidado del medio ambiente invitando a la comunidad a participar de actividades ecológicas mediante programas ,capacitaciones y concursos, se necesita un sistema que sea más simple y cercano a la gente, demostrando y creando conciencia que se puede reciclar, obteniendo resultados con beneficios a corto y/o mediano plazo de forma tangible, que se pueda medir tanto cualitativamente como cuantitativamente y que deje una sensación de satisfacción en la comunidad.

Actualmente en Chile se ha masificado la producción de energía eléctrica a partir de energías renovables no convencionales ya que posee excelentes condiciones climáticas y geográficas, como fuertes vientos y altas radiaciones solares a lo largo de todo el país , también existe un gran potencial de energía mareomotriz en las costas y grandes oportunidades de explotación de energía geotérmica debido a la cantidad de volcanes que se encuentran en el territorio(en Chile existen más de 2.000 volcanes y aproximadamente 500 están activos) ,siendo las energías más populares y utilizadas la solar y eólica, .sin embargo no solo se puede crear energía renovable a partir de grandes plantas como

eólicas o solares, sino que también se puede generar energía desde la reutilización de desechos domiciliarios orgánicos obteniendo biogás mediante un sistema de biodigestores.

Un sistema de biodigestores utiliza un proceso anaeróbico para descomponer la basura orgánica y así generar gas metano, que con un tratamiento adecuado posteriormente se convierte en biogás. no obstante, en Chile existen pocas construcciones de plantas de biogás y estos usan residuos de granja de todo tipo como biomasa, especialmente estiércol animal y desechos de cultivos, por eso es importante crear una evaluación y determinar si se puede llevar esta tecnología a una comunidad que aporte con residuos domiciliarios y finalmente gocen de este beneficio.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general:**

- Análisis de la prefactibilidad de la implementación de un biodigestor común en viviendas sociales para la generación de energía en forma de biogás.

### **1.1.2. Objetivos específicos:**

- Evaluación técnica de la implementación del biodigestor.
- Evaluación económica de la implementación del biodigestor.
- Evaluación y cuantificación de la cantidad de residuos a utilizar.
- Cuantificación de la cantidad de gas que se podría producir y propuestas de utilización
- Cuantificación de los desechos que quedan una vez producido el gas y propuesta de manejo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Contaminación

#### 2.1.1. Contaminación mundial

El mundo está pasando por su peor momento en términos ambientales, la población humana y las emisiones de gases de efecto invernadero se han duplicado y triplicado en los últimos años, la producción química, los residuos y la contaminación han aumentado enormemente. La sociedad en general tiene conocimiento de esto, pero no posee una conciencia colectiva ecológica sólida. Las personas también liberan gases de efecto invernadero y contaminantes, como sustancias químicas y nutrientes tóxicos, además de desechos domésticos, industriales y humanos.

A pesar de la “Conferencia de Estocolmo”, un hito histórico en la humanidad ocurrido en el año 1.972 en la cual se establecieron una serie de criterios y principios por la necesidad de preservar y mejorar el medio ambiente ,a casi 50 años de este hecho y de lo convenido en esa fecha, la sociedad ha aumentado exponencialmente la producción, extracción de alimentos, energía y materiales, sin medir el nivel de explotación que se le ha hecho a la naturaleza que actualmente es insostenible y está acabando con la capacidad de la Tierra para mantener seguro no solamente a la humanidad sino que a todo su ecosistema , sin embargo los expertos prevén que la población a nivel mundial, la economía, el uso de recursos y la generación de desechos continuarán creciendo.

El IPCC (grupo intergubernamental sobre biodiversidad y servicios de los ecosistemas) advierte un punto de no retorno y en el año 2.020 previo a la pandemia asociada al COVID-19 el planeta cursaba su momento más crítico .Refiriéndose como el “momento de la verdad” Ingerí Andersen directora del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) explica que en ese año se habían fijado reuniones mundiales para plantear ideas y así enfrentar tres grandes crisis que aquejan a todos a nivel mundial ,una de ellas es la contaminación y que ésta al igual que las otras dos crisis como la climática y la naturaleza, son causadas por años de consumo y producción en forma desmedida.

La contaminación evidencia que las personas efectivamente están ejerciendo una presión extrema sobre el planeta, y que a pesar de que actualmente la pandemia provocó una disminución de las emisiones contaminantes, la contaminación y los residuos siguen provocando cada año la muerte

prematura de millones de personas. La OMS estima que anualmente 7 millones de personas mueren a causa de la contaminación atmosférica ya que relaciona directamente la polución del aire con enfermedades cardio respiratorias, que se desglosan en un 40 % cardiopatías isquémicas, 40 % accidentes cerebro vasculares, 11 % neumopatías obstructivas crónicas, 6 % cáncer de pulmón y 3 % infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños (Organización Mundial de la Salud, 2.012). Además, la contaminación causa problemas como falta de acceso a agua potable y dificultades sanitarias, produciendo 1,7 millones de muertes al año por enfermedades diarreicas, sobre todo en niños menores de 5 años. Otros riesgos asociados a la contaminación son la exposición a metales pesados y productos químicos, también debido a los gases de efecto invernadero se produce un daño a la capa de ozono que se recupera lentamente, pero los gases no dejan que ésta se regenere, incrementando la probabilidad de desarrollar enfermedades asociadas a la radiación ultravioleta como el cáncer de piel y cataratas. La contaminación con basura aumenta la posibilidad de contraer enfermedades contagiosas como la fiebre amarilla y el virus del zika y todo tipo de enfermedades zoonóticas (de procedencia animal) afectando a animales y personas (ONU, 2.021).

El futuro bienestar del planeta está en manos de nosotros y los expertos calculan que los próximos 10 años son de gran importancia y que debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero casi a la mitad de las que se registraron 10 años antes, ósea que para el año 2.030 se debe disminuir alrededor del 50 % las emisiones registradas en el año 2.010 y seguir así hasta alcanzar la meta de cero emisiones hasta el año 2.050, para poder limitar el calentamiento global respetando el acuerdo de 1.972 restaurando y conservando la biodiversidad además de minimizar lo más posible la generación de desechos y la contaminación. Por lo tanto, actualmente la humanidad debe esforzarse para restaurar la capa de ozono de la Tierra, eliminar la contaminación del aire, del agua y la reducción de residuos (ONU, 2.021).

### **2.1.2. Contaminación en Chile**

Chile se suma a los países que son responsables y que poseen problemas relacionados con el medio ambiente, uno de los más habituales es la contaminación atmosférica ya que en la última década se registró que en al menos 10 millones de chilenos están expuestos a altas concentraciones de gases contaminantes y que si bien en el país existe un plan de prevención y descontaminación atmosférica (PPDA) que consiste en tomar acciones y medidas específicas en cada región y sector del país, este

plan no ha podido cumplir con las metas establecidas debido a la falta de compromiso de las personas a nivel comunal, provincial y regional. Otro problema que posee el país es la escasez y contaminación hídrica asociados a la alta demanda y mal manejo de este recurso, debido al sistema de mercado de derechos de agua, la poca disponibilidad y distribución desigual, efecto de los cambios climáticos y las características geográficas de la nación, esto se ve reflejado en la zona centro-norte donde la cantidad de fuentes de agua es pequeña y la calidad es muy variable.

La degradación y contaminación de los suelos producto de la erosión, pérdida del material orgánico y salinización también presenta un riesgo para el país, especialmente a la salud de los chilenos ya que los suelos se han empobrecido y agotado, incrementando el proceso de desertificación afectando al uso y conservación de los suelos, esto es la consecuencia de la explotación minera, industrial y agrícola además de la expansión de las zonas urbanas (Bergamini et al,2.017).

Por último, el manejo de los residuos sólidos presenta un grave problema de contaminación para Chile y sus municipios, debido a que las municipalidades poseen ineficiencias por falta de instrumentos de gestión ambiental, además de deficiencias institucionales (administrativas), también existe un aumento en las tasas de generación de basura, además el 95 % de ésta aún se descarga en vertederos (OCDE y CEPAL,2.016), del cual el 40 % no son autorizados (MMA,2.011). y es que Chile tiene un proceso sistemático enfocado en la recolección y transporte a botadero de residuos, pero no en prevenir, reciclar y/o evitar la generación de desechos.

Existen muchos problemas de contaminación en Chile y son causados por las mismas acciones mencionadas a nivel mundial (consumo, producción, desechos) pero que también en este caso son relacionadas con la administración del país y sus municipios, la dificultad asociada a los instrumentos compuestos de normativas y otras herramientas que se utilizan para gestionar y solucionar problemas ambientales, dificultades asociadas a lo institucional, mala estrategia de reciclaje y por último la poca fiscalización, que a la fecha no ha sido capaz de frenar los casos de corrupción vinculados a los contratos entre empresas del sector y municipalidades (Bergamini et al,2.017).Un ejemplo de corrupción pero a nivel nacional ocurrió en el año 2.020 cuando el subsecretario del Medioambiente presentó su renuncia tras negarse a avalar cuestionables gastos por \$17 mil millones de pesos, en la fracasada COP 25, que inicialmente se iba a celebrar en Chile pero al final no se realizó y que todavía a casi más de un año de lo ocurrido se sigue investigando en que se gastó ese dinero (Red Digital,2020;Fundación Terram,2.021).Otro ejemplo ocurrió en la comuna de Cerrillos donde se autorizó “a ciegas” un mega proyecto perteneciente a Google, donde no se estableció cual sería el impacto real que causaría debido a que este proyecto de construcción de un Data Center requiere de

169 l/s de agua para enfriar sus servidores ,esta agua seria sacada de un acuífero ubicado en el sector y que está restringido debido al estrés hídrico que posee desde hace varios años (Arellano,2.020).

### **2.1.3. Contaminación en la Región del Maule**

Los principales problemas de contaminación que posee la Región del Maule son la pérdida de suelo por erosión, presentando un 52 % de suelos de cultivo gravemente erosionados (Flores et al,2.010). También los residuos sólidos de la zona en su mayor parte llegan a vertederos y tienen problemas por el líquido que percola y contamina las aguas subterráneas, debido a la existencia de vertederos que han sobre pasado su vida útil y a pesar de esto siguen funcionando.

Además por el uso de leña para calefacción en invierno, junto con otras fuentes como industrias , transporte y agrícolas, la Región del Maule se está convirtiendo en un gran aporte de emisiones de gases contaminantes .En la provincia de Curicó las comunas de Molina , Sagrada Familia , Romeral y Rauco utilizan frecuentemente y en gran magnitud este tipo de combustibles y que gracias a esto el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2.017 decretó el establecimiento de un plan de descontaminación atmosférica para esta provincia y sus comunas.

Con respecto a la generación de basura domiciliaria en la Región del Maule se registran un total de 368.973 toneladas de residuos sólidos durante el año 2.017 tomando en cuenta una población de 1.044.950 personas, de acuerdo con el censo del mismo año. En la provincia de Curicó con un total de 54.598 viviendas (entre rural y urbanas) y 149.136 personas se produjo un total aproximado de 60.000 toneladas de basura anual de los cuales el 47 % (28.200 toneladas) corresponde a residuos orgánicos (SUBDERE, 2.019).

En la Región del Maule existen 4 vertederos activos:

**Relleno Sanitario el Retamo:** Ubicado cerca en la comuna de Talca, iniciando su operación en el año 2.002 con una vida útil de 37 años y que cubre las comunas de Talca, Curepto, Empedrado, Maule, Pelarco, Pelluhue, Linares, Longaví, Parral, Retiro, San Javier, Villa Alegre, y Constitución, recibiendo el 52,1 % de residuos domiciliarios de la Región.

**El Centro de Tratamiento de Eco Maule:** ubicado en la comuna de Río Claro y que cubre las comunas de Río Claro, Chanco, Curicó y Vichuquén la cual inició su operación el año 2.005 y cierra en el año 2.025 cubriendo el 15,53 % de los residuos de la Región.

**Relleno Sanitario San Roque:** Ubicado en la comuna de San Clemente inicio sus operaciones el año 2.012, posee una vida útil de 30 años y que abarca la comuna de Péncahue, San Clemente San Rafael, Colbún y Hierbas Buenas recibiendo el 6,5 % de los residuos de la Región del Maule.

**Relleno Sanitario Parque el Guanaco:** Ubicado en la comuna de Teno, inició sus operaciones en el año 2.002 posee una vida útil de 30 años, y cubre las comunas de Pichidegua, Litueche, Paredones, San Fernando, Chépica, Lolol, Nancagua, Palmilla, Peralillo, Placilla, Pumanque, Santa Cruz, Hualañé, Licantén, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno esta recibe el 28,5 % de la Región del Maule. Esta última comparte el acopio de residuos con comunas de la Sexta Región (SUBDERE, 2019). (TWENERGY, 2019).

## 2.2. Energía

### 2.2.1. Tipos de energías

Existen varios tipos de energías y si bien todas poseen la misma medida (joule), estas se distinguen por la forma de manifestarse, como generan trabajo, los cambios físicos y químicos que producen. Debido a esta relación es importante definir los tipos energías, para comprender el uso de los recursos energéticos.

Los tipos de energía más utilizados son la energía mecánica, eléctrica, térmica, química y atómica.

**La energía eléctrica** se genera a partir de diferencias de potencial entre 2 puntos ,debido a esto ocurren movimientos de cargas eléctricas (electrones) en el interior de un material conductor metálico como por ejemplo el cobre (TWENERGY, 2.019).Esta energía es una de las más utilizadas y eventualmente trae consecuencias al medio ambiente por cómo se genera de forma habitual ,causando gran impacto ambiental tanto por las construcciones de centrales hidroeléctricas (alteración directa de ecosistemas) como por el funcionamiento de generadores que utilizan combustibles fósiles para la producción de esta energía (gases de efecto invernadero).

Se puede producir energía eléctrica y calórica a partir de los siguientes tipos de energías:

A partir de la energía mecánica se producen otros tipos de energía, debido a que la energía no se destruye ni se crea solo se transforma (Primera Ley de la Termodinámica). Dos ejemplos que utilizan energía mecánica para la generación de electricidad son la energía hidráulica que utiliza la energía cinética que produce una masa de agua al caer moviendo una turbina y la eólica producto del movimiento mecánico de las aspas de un molino aerogenerador impulsado por el viento.

**Energía térmica o calórica:** Los átomos de un cuerpo se mueven a tal velocidad que generan energía cinética al interior de dicho cuerpo, haciendo que las moléculas de éste vibren o se muevan de forma constante, a esto le llamamos calor y si bien la energía se mide en Joules, para este tipo también se puede llamar calorías. La energía térmica se transmite por conducción (cuando un cuerpo caliente está en contacto con otro menos caliente), convección (traslado de moléculas calientes) y radiación (a través de ondas electromagnéticas) el ejemplo más común es la energía que viene del **sol** y que da origen a la energía solar e instalaciones de energía solar térmica. La relación que posee este tipo de energía con otro tipo de energías es que la mayoría generan calor (Planas, 2.020).

**La energía química:** Es la energía que participa en las reacciones químicas a través de las transformaciones de una sustancia a otra o cuando se forman o se rompen enlaces ,absorbiendo o liberando energía, además de que los elementos químicos también dependen de la posición entre las partículas de esta sustancia ,generando un potencial de energía electro estática que se atribuye a los cuerpos en interacción (almacenamiento de energía).algunos ejemplos de esta son la energía nuclear , la combustión , la digestión y la fotosíntesis (Planas, 2.020).

**Energía atómica:** Se produce por la separación o unión de las partículas a nivel atómico (protones, neutrones, electrones) en el cual su enlace es extremadamente fuerte. Al realizar esta acción se desprende una gran cantidad de energía que se puede usar en aplicaciones energéticas, medicina y bélicas. (mexicano, 2.017).

Estas energías se utilizan a partir del uso de los recursos energéticos, que se clasifican en renovables y no renovables:

**Las energías renovables** son las que generalmente se encuentran en la naturaleza y que son inagotables, es decir cuando se utilizan se vuelven a regenerar, además de tener una fuente que posee una gran cantidad de energía (por ejemplo, el Sol), obteniendo un ciclo constante en la naturaleza de consumo v/s generación, aunque en muchas ocasiones se puede obtener una cantidad intermitente de energía, por ejemplo, la cantidad generada de energía proveniente del Sol o la del viento que depende

del clima. Otra característica es que este tipo de energía prácticamente no contamina (Emilio Ramón Cabrera Fernández, 2.008).

**Las energías no renovables** son recursos que se van agotando y que en algún día dejarán de existir, si bien este tipo de energía es la que más se consume, es más fácil de usar y hace funcionar la mayoría de las tecnologías que la sociedad utiliza habitualmente, esta produce grandes daños al ambiente generando contaminación, como por ejemplo la emanación de gases de efecto invernadero. El combustible fósil y la energía nuclear se consideran no renovables (Emilio Ramón Cabrera Fernández, 2.008).

Las diferencias entre las energías renovables y no renovables son:

- Las energías renovables son energías prácticamente limpias al contrario de las no renovables que causan daños al Medio Ambiente.
- Las energías renovables son inagotables y las no renovables se van acabando.
- las energías no renovables generan residuos y las renovables no.
- La generación de energía renovable es del tipo autónomo y las no renovables provocan dependencia de países que explotan y generan energía no renovable (importación de petróleo, entre otros).

Estas energías también se clasifican en convencionales, las cuales son de uso frecuente, con fuentes comunes de energía como el agua utilizada para generar electricidad y no convencionales que no son comunes en el mundo y su uso actualmente es limitado por los costos elevados de instalación y su forma difícil de captar y transformar las energías.

Son energías convencionales los combustibles fósiles (petróleo, gas natural) y la energía hidráulica, ya que son las más utilizadas en el mundo. Por otro lado, son energías no convencionales la energía nuclear, energía solar, energía geotérmica, eólica y la energía proveniente de la biomasa (Ovelar, 2.011).

### 2.2.2. Energías renovables

#### **Energías convencionales:**

**Energía hidráulica:** Es la energía que se produce por una masa de agua que está embalsada en lugares altos, generando una gran energía potencial y que cuando se deja caer se va convirtiendo en energía cinética, ésta hace girar a gran velocidad un sistema de turbinas que posteriormente se transforma en energía eléctrica. La energía hidráulica es una de las más utilizadas y comunes en el mundo y si bien entra en la clasificación de energías renovables, genera muchos problemas ambientales como altas pérdidas de flora y fauna nativa. (Fernández, 2.008).

#### **Energías no convencionales:**

**Energía mareomotriz:** Es la energía producida por el mar y las características asociadas a este, como el movimiento de las olas y mareas las cuales generan energía cinética, también puede producir energía por diferencia de temperaturas entre el fondo del mar y su superficie, esta energía sirve para generar electricidad tanto industrial como en viviendas. El inconveniente es que solo se puede instalar en las costas (Alvarado, 2.013).

**Energía eólica:** Energía producida por el viento (la cual también procede del sol debido a que los cambios de presiones y temperaturas atmosféricas generan masas de aire) que mueve las aspas de un molino llamado aerogenerador que posteriormente la transforma en energía eléctrica. Para hacer funcionar este sistema se necesitan vientos de mínimo 11 km/hr. Este tipo de energía es muy limpia y fiable, no obstante, al igual que la energía hidráulica crea un gran impacto ambiental, en este caso a la fauna, especialmente a las aves (que chocan con las aspas de los molinos) y la flora ya que el emplazamiento del sistema de aerogeneradores modifica el paisaje (Alvarado, 2.013).

**Energía solar:** Es la energía que es aportada por el Sol en forma de radiación y se puede captar de dos formas como energía solar térmica y fotovoltaica, en la térmica o termo solar se utilizan colectores o paneles solares térmicos que calientan el fluido a alta temperatura (generación de agua caliente) y la fotovoltaica que transforma la energía lumínica en energía eléctrica. Es una de las energías más limpias y amigables con el medio ambiente e inagotable, pero su costo inicial es muy alto y su producción es muy intermitente ya que depende del clima (Fernández, 2.008)

**Energía geotérmica:** Es la energía que utiliza el calor del interior del planeta y la aplicación de esta depende de la fuente, por lo general se utiliza para producir energía eléctrica (en temperaturas

entre los 100 a 150 grados Celsius), si es menor a 100 grados Celsius se aprovecha directamente la energía térmica. El único detalle de esta energía es que hay que tener precaución con los gases que se pueden emitir (Endesa, 2.021)

**Energía de la biomasa:** Es la energía generada a partir de materiales orgánicos biodegradables provenientes de residuos de origen biológico como residuos de animales (estiércol) y vegetales (residuos agrícolas), también se pueden utilizar residuos orgánicos industriales, municipales y domiciliarios, y es que estos recursos biomásicos se pueden utilizar siempre y cuando cumplan las condiciones que lo hagan ser degradable. (Herguedas y Taranco,2.012).

El **sol** está involucrado indirectamente con esta energía puesto que las plantas absorben energía solar mediante la fotosíntesis, también se relaciona con el estiércol de animal especialmente de animales rumiantes (ganado) ya que los animales de granja consumen estas plantas y posteriormente evacuan en forma de excremento que también pueden ser utilizados como recurso energético. (Herguedas y Taranco,2.012).

Esta fuente de energía puede ser de origen natural, residual y de cultivos energéticos.

**Origen natural:** Se encuentra en la naturaleza de forma espontánea y no hay intervención humana, esta no se explota debido a que no es factible económicamente.

**Origen residual:** Proviene de la actividad humana y se encuentran en lugares donde haya presencia y acción del ser humano.

**Cultivos energéticos:** Cultivos que no poseen la finalidad de alimentación, sino que su enfoque es hacia la producción energética, suelen ser plantaciones agrícolas robustas y de poca calidad para abaratar costos ya que su valor se encuentra al final en forma de residuo, como biomasa residual vegetal. (Herguedas y Taranco,2.012).

Las ventajas de la biomasa son:

- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>
- No emite contaminantes que causen lluvia ácida
- Disminuye los residuos
- Evita la erosión y degradación de los suelos
- Aporta a la diversidad energética

- Disminuye la dependencia a otros combustibles (petróleo, gas natural)
- Brinda oportunidades al sector agrícola

Esta energía se puede aplicar principalmente como energía térmica (biogás, biocombustible), energía eléctrica (relacionada con el biogás, centrales térmicas), (Herguedas y Taranco,2.012).

### 2.2.3. Energías no renovables

#### **Energías convencionales:**

Los combustibles fósiles provienen del material orgánico fosilizado hace millones de años y que se utilizan para obtener principalmente energía eléctrica, calórica y mecánica.

Se consideran combustibles fósiles el petróleo y sus derivados. recurso más utilizado en el mundo y el más importante dado que la economía de algunos países se basa en esta energía.

El petróleo está compuesto por hidrocarburos, se utiliza como combustible y también para la creación de otros derivados como aceites, plásticos, lubricantes, asfaltos y gas natural. También de procedencia fósil el carbón, uno de los primeros combustibles descubiertos y usados de estas características por su poder calorífico, pero ya no se utiliza porque es un gran contaminante por los gases que emana de su combustión. Finalmente se tiene el gas natural compuesto de metano, etano, propano y butano que es menos contaminante que los dos combustibles anteriores, es más fácil de transportar ya que lo cargan en grandes cantidades en forma de líquido al bajarle la temperatura, además que posee una buena combustión y ya sea suministrado por tubería o por balones se puede utilizar en cualquier momento y de forma muy práctica. Los combustibles fósiles son muy útiles y fáciles de manejar, pero producen gases contaminantes, provocan lluvia ácida y con el tiempo se terminarán agotando.

#### **Energías no convencionales:**

La energía nuclear se produce de la fisión atómica del elemento Uranio, ocasionando una enorme liberación de energía y que en las plantas nucleares la transforman en energía eléctrica utilizando la liberación de calor para calentar agua, usar la presión de vapor y hacer funcionar las aspas de la turbina generadora. Si se habla de gases esta energía es muy limpia ,además con poca materia prima (átomos de Uranio) se produce grandes cantidades de energía por lo tanto el problema no es que en

el futuro se agote, sino que es el peligro de la utilización de esta energía , ya que produce energía radiactiva que es nociva para la salud y el medio ambiente si es que se está en contacto (fugas, residuos radiactivos), también si ocurre algún accidente puede desencadenar una catástrofe de gran magnitud con graves consecuencias y de larga duración (Fernández, 2.008).

#### **2.2.4. Utilización de las energías**

Las energías tanto Renovable como No Renovable se utilizan en lugares como las industrias, el transporte y sobre todo en los hogares.

Para las industrias se puede utilizar cualquier tipo de energía, las más utilizadas son la energía eléctrica y el gas natural. En la actualidad algunas industrias implementan la energía solar térmica para bajar sus emisiones de gases contaminantes y ahorrar en el consumo de los combustibles convencionales.

En el caso del transporte tanto aéreo como terrestre se utiliza una gran cantidad de combustible fósil. La mayoría de vehículos en la actualidad siguen funcionando con combustibles fósiles, aunque hoy en día estos medios de transporte tratan de ser amigables con el medio ambiente, siendo los vehículos nuevos más eficientes que los antiguos , consumiendo menos combustible y por ende emitiendo menos CO<sub>2</sub> , no obstante la masificación de estos vehículos tanto para transporte público como particular siguen aumentando la contaminación , es decir los autos, camionetas y camiones nuevos contaminan menos que antes, pero la alta demanda de estos bienes aumentan la cantidad de coches en las calles. También hoy en día existen otros tipos de vehículos alimentados por energías diferentes menos dañinas en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, como gas licuado o electricidad, pero hasta el día de hoy no son tan económicos ni populares como para generar una competencia en comparación con los vehículos que utilizan esta energía derivada del crudo, sin embargo con el avance exponencial a la cual se está desarrollando este tipo de tecnología y la escasez del petróleo , no es raro pensar que tanto vehículos a gas como a electricidad a largo plazo y de forma gradual irán sustituyendo a los medios de transportes que dependan del petróleo .

En los domicilios se consume en mayor parte energía eléctrica, que alimenta al alumbrado interior y exterior de la casa, artefactos y en ciertos casos climatización al igual que las industrias y oficinas, también los hogares poseen un gran consumo de gas natural a base de petróleo, que se utilizan principalmente en calefacción para hacer funcionar estufas, agua caliente y cocinas. También es

común ver en algunas casas paneles solares tanto térmicos (calefacción de agua) como fotovoltaicos (generación de electricidad), además en la zona centro sur del país es común la utilización de energía calórica proporcionada por la leña, en muchos casos para calefacción del hogar y en menor cantidad para cocinar.

## 2.3. Residuos

### 2.3.1 Definición de residuos

Según la Real Academia Española, un residuo es lo que resulta de la destrucción o descomposición de algo, también la considera como un material que queda inservible después de un trabajo u operación. Además, el artículo 3 número 25 de la ley chilena 20.920 define a un residuo como una sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo con la normativa vigente. Por lo tanto, un residuo es considerado como lo que queda de un proceso y no se utiliza, normalmente es desechado y se considera como basura, sin embargo, muchos de estos residuos con un manejo adecuado pueden ser reutilizados.

### 2.3.2 Tipos de residuos

Los residuos ya sean sólidos, líquidos o gaseosos se clasifican principalmente en función de su peligrosidad, residuos peligrosos y no peligrosos, también se pueden clasificar de acuerdo con la fuente de origen como, industriales, hospitalarios, municipales, de construcción y domiciliarios, por último, se dividen de en relación con su degradación en orgánicos e inorgánicos (Jordi Pon, 2.019).

Los residuos peligrosos son los que comprometen directamente la salud de las personas y el medio ambiente, por otro lado, los no peligrosos no representan riesgos para las personas ni para el planeta.

**Residuos industriales:** Es lo que resulta de los procesos ejecutados en las industrias como su producción (escorias de procesos), mantenimiento (desechos de aseo) y ejecución de personal (basura particular de trabajadores).

**Residuos hospitalarios:** generados por procesos médicos como atención de pacientes, laboratorios e investigaciones, a la vez son residuos peligrosos debido a sus características corrosivas,

tóxicas y radiactivas, si se manejan de forma indebida puede poner en peligro la salud de las personas y del medio ambiente. Algunos ejemplos de estos residuos son materiales corto punzantes como agujas usadas, fluidos corporales y órganos.

**Residuos municipales:** se consideran residuos municipales una mezcla entre residuos domiciliarios, demoliciones de construcciones, residuos de pequeñas industrias y residuos de limpieza de áreas públicas.

**Residuos de construcción:** se producen por la demolición y construcción provenientes de remodelaciones y nuevas construcciones, estos residuos dependiendo del tipo pueden clasificarse a su vez como peligrosos que no se pueden volver a utilizar como pinturas y barnices (ya que los sobrantes son muy contaminantes sobre todo si contienen disolventes) y no peligrosos que eventualmente se pueden reciclar como por ejemplo residuos de excavación y áridos sobrantes.

**Residuos domiciliarios:** son los desechos generados por las actividades del hogar, estos residuos poseen características orgánicas (residuos de cocina, aguas grises, residuos vegetales) y también inorgánicas (plásticos, envases), también se pueden encontrar residuos electrónicos y escombros producto de remodelaciones.

**Residuos orgánicos:** tienen la capacidad de degradarse debido a que son de origen biológico ya sea animal o vegetal y que producto de su descomposición eventualmente podrían ser residuos peligrosos, ya que causa contaminación al medio ambiente y enfermedades.

**Residuos inorgánicos:** su origen no es biológico y tardan mucho tiempo en degradarse o simplemente no se degradan, son inorgánicos los residuos procedentes de los metales y derivados del petróleo (plásticos), estos residuos también contaminan ya que al no descomponerse se van acumulando, además los desechos procedentes del petróleo al exponerse al clima liberan gases tóxicos (Nuestra esfera, 2.014).

## 2.4. Reciclaje

### 2.4.1. Definición de reciclaje

El reciclaje se define como aprovechar los residuos que al someterse a algún proceso se convierten en un nuevo producto o materia prima que sirven para la producción de otros artículos, reduciendo el consumo de materias primas y la acumulación de residuos. El reciclaje es diferente a la reutilización ya que, al reciclar, el objeto reciclado se transforma en otro cambiando sus propiedades, por el contrario, la reutilización de un objeto consiste en utilizarlo de otra manera, pero no sufre cambios físicos ni químicos (Álvarez, 2.013).

### 2.4.2. Proceso del reciclaje

El proceso del reciclaje en general se puede resumir en 4 pasos: recolección, acopio, clasificación y reciclado (Ministerio del Medio Ambiente, 2.016).

**Recolección:** Esta primera etapa considera el origen de los residuos como en hogares, industrias y construcciones, donde se extraen y que deben estar separados al momento de la recolección y transporte, esto es realizado por las empresas privadas o públicas a cargo del reciclaje.

**Acopio:** Una vez transportados, los residuos se acumulan en plantas de clasificación para que no causen daños a las personas y posteriormente sean separados.

**Clasificación:** Los residuos ya acopiados, se clasifican, separan y valorizan para enviarlos de forma más fácil y ágil a la planta de tratamiento. Si bien en la etapa de recolección los residuos deberían venir clasificados igual se necesita ser cuidadoso por si el material no viene separado correctamente.

**Reciclado:** En esta etapa ocurre la transformación de los residuos previamente separados, convirtiéndose en nuevos productos utilizables, este proceso final varía dependiendo el tipo de residuo a tratar, su procedencia, materialidad, peligrosidad, orgánico e inorgánico. Las plantas de tratamiento pueden ser recicladoras de metales, plásticos, vidrios o plantas de biogás que utilizan residuos orgánicos.

### 2.4.3. Reciclaje a nivel mundial

En el mundo se producen más de 2.100 millones de toneladas de basura al año y solo se reciclan alrededor del 16 %, es decir 323 millones de toneladas. (BBC News Mundo, 2.019).

El país que más aporta estadísticamente al reciclaje mundial es Alemania la cual posee una gran gestión de sus residuos, puesto que recicla cerca del 70 % de ellos. Por el contrario, Estados Unidos es uno de los países más riesgosos en cuanto a contaminación, ya que cada ciudadano estadounidense produce una gran cantidad de desperdicios y si se considera la densa población residente (330.222.422 habitantes) Norte América genera 252 millones de residuos anualmente, aproximadamente el 12 % de la basura mundial, a pesar de esto solo reciclan un tercio de sus desechos (BBC NewsMundo, 2.019).

Existen países que particularmente importaban basura, como por ejemplo los del sudeste asiático, naciones como China empezaron a importar residuos sólidos desde los años 80 con el fin de reciclarlos y cubrir sus altas demandas de materias primas (plásticos, metales, papel, residuos electrónicos) pero a largo plazo y sumándole la producción interna de basura de este país, se fueron acumulando grandes cantidades de desechos, generando problemas ambientales afectando a la comunidad china especialmente a los niños, gracias a esto no solamente China sino que también los demás países asiáticos en el año 2.017 prohibieron la importación de residuos, ya que se cansaron de ser los vertederos de otros países, por lo tanto naciones como España, Francia, Australia y hasta Estados Unidos no podrán deshacerse de esta manera de sus desperdicios, teniendo que reforzar su cultura ecológica y aumentar su capacidad de reciclaje (Vidal, 2.020).

Actualmente China sigue recibiendo basura, pero en menor cantidad debido al contrabando, donde se introducen ilegalmente residuos de todo tipo al territorio nacional, en especial productos electrónicos y afortunadamente el gobierno chino está aumentando las medidas de fiscalización y endureciendo las sanciones para quienes realizan estas malas prácticas (Vidal, 2.020).

Al igual que en la zona del sudeste asiático existen dos casos ejemplares en Suecia y Noruega que también importan basura, pero con el objetivo de utilizarla para la producción de energía verde, un ejemplo es una planta incineradora ubicada en Oslo, Noruega, donde utilizan residuos orgánicos para generar calefacción y electricidad, y que fue tanto su compromiso con el medio ambiente que se han quedado sin materia prima y tienen que importar aproximadamente el 12 % de los desechos que usan para su producción energética (INFOBAE, 2.018).

#### 2.4.4. Reciclaje de materia orgánica

El reciclaje de materia orgánica es aquel que utiliza residuos orgánicos, como desechos de cocina, residuos agrícolas, excretas de animal y todo lo que sea de procedencia biológica, que se puede descomponer y degradar naturalmente, para efectos de reciclaje esta materia orgánica obtiene el nombre de biomasa y se utiliza para crear diferentes tipos de combustibles, energías y fertilizantes.

Los productos más utilizados que se pueden obtener del reciclaje orgánico son: abono, biogás y agua de riego.

**Abono:** es producto del compostaje de la materia orgánica la cual consiste en descomponer los desperdicios orgánicos para finalmente obtener un fertilizante natural rico en nutrientes para mejorar suelos.

**Aguas para riego:** se obtiene de plantas de tratamiento de residuos industriales líquidos, que separa los sólidos de los líquidos quitándole los objetos que contaminan el agua dejándola apta solamente para riego.

**Biogás:** es un gas generado por la biodegradación de la biomasa en un medio anaeróbico (sin aire) y que está compuesto principalmente por metano  $CH_4$ , además como efecto de la creación de este gas disminuye la cantidad de materia orgánica contaminante.

Las ventajas de reciclar residuos orgánicos son:

- Ahorro energético y económico.
- Disminuye emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- Mejora calidad del agua (no contamina aguas) y suelos (composta fertilidad de suelos).
- Disminuye acumulación de basura orgánica en vertederos.

## 2.5. Reciclaje de la materia orgánica en Chile

Chile actualmente está considerado como el país de Sudamérica que produce más basura al año, donde los residuos orgánicos promedian alrededor del 58 % (entre rural y urbano), desgraciadamente de este 58 % se reciclan solamente un 1%, no obstante, el gobierno lanzó una propuesta para subir del 1 % a un 66 % en los próximos 20 años (Ministerio del Medio Ambiente, 2020), para esto se necesita fomentar el desarrollo de nuevas técnicas de reciclaje y aumentar la motivación en los municipios ya que el 15 % de las municipalidades a lo largo del territorio nacional gestiona el reciclaje de sus residuos orgánicos, utilizándolos solamente para rellenos sanitarios y compostaje. Sin embargo, existen otro tipo de proyectos como biodigestores construidos y funcionando en algunos sectores del país, un ejemplo es la planta de biogás de Los Ángeles que anualmente utiliza 24.700 toneladas de residuos entre estiércol bovino y maíz que de esto resultan 3.615.000 m<sup>3</sup> de biogás al año (MORGAN, 2.018). Otro ejemplo es la planta de biogás de la Viña San Pedro, ubicada en la comuna de Molina, región del Maule, que utiliza los residuos de la uva formados durante la producción de la viña en época de vendimia, con un total aproximado de 9.000 toneladas anuales, la planta cubre cerca del 60 % de las necesidades térmicas y eléctricas del viñedo (INDUSTRIA, REVISTA, 2.016) demostrando que toda la zona centro sur y específicamente la región del Maule posee un potencial elevado por la gran cantidad y diversidad de desecho orgánico que se genera y que pocas plantas como estas la están aprovechando al máximo.

## 2.6. Tratamiento de residuos orgánicos

### 2.6.1. Tipos de residuos orgánicos

**Residuos sólidos urbanos:** estos son los residuos generados por la población urbana y que normalmente dan a parar a vertederos y rellenos sanitarios causando problemas de contaminación. Sin embargo, los residuos orgánicos de este tipo poseen alto valor energético para la producción de energías verdes. En las viviendas se pueden destacar los residuos de cocina, donde la mayor parte de estos son restos de comida como por ejemplo cáscaras de fruta o verduras, alimentos en mal estados, residuos de jardinería, entre otros (Arce,2.011).

**Aguas servidas:** son aguas contaminadas que se componen en mayor parte por sustancias orgánicas como fecas, orina y contaminantes químicos, de los cuales la mayoría se presenta en estado líquido.

Se origina principalmente en zonas urbanas como viviendas y oficinas, pero también en industrias que necesiten agua para sus procesos, posteriormente ésta es conducida por el alcantarillado hasta una planta de tratamiento de aguas servidas. (Recytrans,2.013). Hoy en día es recurrente la reutilización de estas aguas sobre todo en los países más desarrollados y es que las aguas residuales ya tratadas tienen diversos usos como por ejemplo para riego agrícola, de parques y jardines, reutilización industrial, recarga de acuíferos, entre otros (Comas,2.012).

**Residuos orgánicos industriales:** desechos generados por las industrias que trabajan con materias primas orgánicas, las industrias productoras de estos desechos más importantes son las asociadas al área agropecuaria, producción, transporte y comercio de alimentos.

En la industria alimenticia se genera una gran cantidad de residuos en los cuales vienen todo tipo de carnes y vegetales, que poseen altos niveles de azúcares y carbohidratos cumpliendo las condiciones óptimas para utilizarse como biomasa. (Arce,2.011).

**Residuos agrícolas:** se generan a partir residuos de cultivos o limpiezas de campo que pueden ser de procedencia vegetal o excretas animales como purines o estiércol de ganado. Es estrictamente necesario deshacerse de los residuos de este tipo debido a la erosión de los suelos agrícolas para así mantener el suelo de plantación fértil y la productividad de las plantaciones, por lo tanto, estos desechos se pueden y deben reciclar para darles el propósito de generar energía y que no paren en rellenos sanitarios o en espacios verdes sin control. (Vargas y Perez,2.018; Arce,2.011).

**Plantaciones energéticas:** son plantaciones creadas con el fin de ser procesadas y utilizadas para producir energía, las características esenciales de estas plantaciones son poseer un crecimiento rápido y un bajo mantenimiento, para así maximizar la producción y minimizar los costos, el periodo entre siembra y cosecha varía de 3 a 10 años. Las plantas más utilizadas son caña de azúcar, maíz y trigo (Arce,2.011).

## 2.6.2. Tratamiento

Cuando un residuo orgánico no es separado y reciclado de forma apropiada, terminan en vertederos donde se degradan emitiendo gases de efecto invernadero principalmente dióxido de carbono y metano aportando al daño de la capa de ozono, es por esto que se deben realizar correctamente dichas actividades, pero además y posterior a éstas se debe realizar un buen tratamiento de los residuos, el cual tiene como fin cerrar el ciclo de la materia orgánica, una vez tratados convirtiéndolos en productos seguros, estos son aprovechados de nuevo como abono o enmienda orgánica agrícolas o de jardinería en forma de compost o convertidos en biogás mediante la biometanización.

### **Biometanización:**

La Biometanización o digestión anaerobia es un proceso biológico que, en ausencia de oxígeno y a lo largo de varias etapas en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos, permite transformar la fracción más degradable de la materia orgánica en biogás, una mezcla de gases formada principalmente por metano y dióxido de carbono y por otros gases en menor proporción como vapor de agua, CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S (M.Soliva, 2.011, Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica).

### **Compostaje:**

El compostaje es un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica. El proceso de compostaje imita la transformación de la materia orgánica en la naturaleza, y permite homogenizar los materiales, reducir su masa y el volumen e higienizarlos. Este tratamiento favorece el retorno de la materia orgánica al suelo y su inserción en los ciclos naturales. El proceso se desarrolla en dos fases: descomposición y maduración. En la primera fase, desaparecen las moléculas más fácilmente degradables liberando energía (se alcanzan temperaturas de 60 a 70 °C), agua, anhídrido carbónico y amoníaco; biopolímeros como la celulosa y la lignina quedan parcialmente alterados y pasan a ser, en la posterior fase de maduración, las estructuras básicas de las macromoléculas que incluirán parte del nitrógeno contenido en los materiales iniciales dando lugar a

materia orgánica parecida a las sustancias húmicas del suelo (Soliva, 2.001).La duración de esta primera fase suele ser de 4 a 6 semanas, aunque si se lleva a cabo de forma intensiva (recintos cerrados y aireación forzada) puede reducirse a 2 a 4 semanas. Después se pasa a la etapa de maduración, donde el residuo se estabiliza y madura, para ello se requiere entre 6 y 10 semanas, y finalmente se obtiene el producto en forma de compost, con distinta estabilidad, según la duración de esta fase. (Huerta et al, 2.010, Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica).

## **2.7. Biodigestor**

### **2.7.1. Definición de Biodigestor**

Según el Decreto Supremo número 119 acerca del reglamento de seguridad de las plantas de biogás, el biodigestor es el contenedor en el que se produce la degradación anaeróbica de la materia orgánica, este aparato también es conocido como digestor, reactor o fermentador ,es decir es un sistema anaeróbico donde un recipiente o tanque cerrado herméticamente (sin presencia de oxígeno) se carga con residuos orgánicos en su interior y produce la descomposición de materias orgánicas generando biogás, además al finalizar este proceso el residuo ya descompuesto se puede utilizar como biofertilizante. El biodigestor es un sistema muy versátil que puede ser construido en distintos materiales como albañilería, estructura metálica o plástico (Indiveri Elisa,Biodigestor Manual de uso).

### **2.7.2. Partes de un Biodigestor**

En general un biodigestor se compone de varias partes:

**Cámara de carga:** ducto por donde se alimenta el digestor, en esta parte es donde se prepara la mezcla de agua y residuos orgánicos, actuando en conjunto como biomasa y que posteriormente es transportado hacia el reactor (Zúñiga, 2.007).

**Reactor:** es donde ocurre el proceso de degradación de la materia orgánica. La forma geométrica, la materialidad y las dimensiones del reactor puede variar dependiendo el tipo de diseño, por lo general se presentan en formas cilíndricas, cúbicas, ovoides o simplemente prismáticas, aunque el más

utilizado de estos actualmente son los cilíndricos. Normalmente la base del reactor está inclinada para que los sedimentos y la parte más pesada del afluente pueda ser expulsado del tanque (MINENERGIA, 2.011).

**Tanque de Almacenamiento de gas:** se puede presentar de dos formas ,en el caso de los digestores de domo fijo y flotante están contruidos de material sólido como albañilería con terminación de estuco en su interior, por otro lado en los digestores de tipo globo el almacenaje consiste en una bolsa de material plastico resistente, en ambos casos este recipiente almacena el gas con la finalidad de reunir la cantidad suficiente para tener disponible al momento que se necesite (Zúñiga, 2.007).

**Cámara de descarga:** ducto donde se extraen los lodos residuales producidos por la digestión , su estructura es similar al tanque de carga ,pero la diferencia es que en la descarga los residuos ya procesados son expulsados gracias al efecto de vasos comunicantes ,donde la presión ejercida por el material que entra empuja la misma cantidad ya procesada expulsándola del reactor (Zúñiga, 2.007).

**Línea de conducción:**es por donde se conduce el biogás generado por el reactor ,por lo general ésta línea está hecha por una manguera o tubería de PVC debido a su resistencia al ácido sulfhídrico ,no obstante esta línea va preferentemente enterrada o cubierta protegiendose de la luz solar que eventualmente podría causar deterioro (Zúñiga, 2.007).

**Válvulas:**normalmente para este sistema se utiliza como mínimo 2 válvulas ,una colocada al inicio de la conducción y la otra al final de la línea en el lugar donde se usa el biogás.Estas válvulas deben ser del mismo diámetro de la tubería y hechas de materiales como acero inoxidable o PVC ya que al igual que la conducción éstas deben resistir la corrosión provocadas por el ácido sulfhídrico (Zúñiga, 2.007). Aún no siendo un recipiente a alta presión el digestor como obligación debe poseer una válvula de seguridad (Chamorro y Echeverría,2.018).

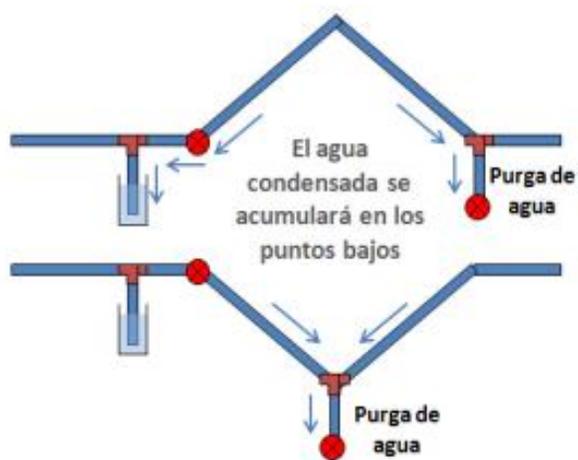
**Trampas:**se utilizan para purificar el gas y proteger tanto a los artefactos como a las personas de contenidos de ácido sulfhídrico(corrosión) y el agua que puede presentar este combustible luego de ser producido por la digestión (Zúñiga, 2.007).

**Trampas de ácido sulfhídrico:** está compuesta por un recipiente relleno con hierro dividido en muchos filamentos creando un filtro poroso que reacciona con el gas dejando atrapado el ácido sulfhídrico ,purgando el biogás de dicho compuesto.Los materiales utilizados son de bajo costo y presentan poca pérdida de carga o poca resistencia al flujo de conducción ,siendo la última característica muy importante debido a las bajas presiones que se pueden presentar en este

sistema. Como precaución se debe verificar la hermeticidad para evitar fugas y en el caso de los recipientes de las trampas hechas de hierro o acero se debe pintar como protección ante la corrosión (al contrario de las de PVC que no necesitan pintura pero si protección a la exposición de los rayos del Sol). La trampa de ácido sulfhídrico no solamente sirve para depurar el combustible generado por el digestor, si no que también funciona como trampa de llama debido al relleno yaumento de diámetro que presenta en relación a la línea de conducción (Zúñiga, 2.007).

**Trampas de agua:** es común que el biogás salga del contenedor hermético saturado con agua, especialmente cuando la temperatura de producción es alta ya que al salir en forma de vapor el agua se condensa producto del enfriamiento, debido a esto se coloca esta trampa conectada a una tubería en pendiente para que el agua condensada caiga en dicha trampa sin permitir que escape el gas (Tapia, Octubre, 2.016).

En las siguientes imágenes (ilustración 1 y 2) se pueden apreciar las trampas que se utilizan en la conducción del biogás:



*Ilustración 1: Trampa de agua*

Fuente: (Herrero Martí, Biodigestores tubulares guía de diseño y Manual de instalación)



*Ilustración 2: Filtro de Ácido Sulfhídrico*

Fuente: (Herrero Martí, Biodigestores tubulares guía de diseño y Manual de instalación)

### 2.7.3. Etapas de la digestión

Para producir gas en el reactor ocurren las siguientes etapas:

#### **Hidrólisis y ácido génesis:**

En esta etapa microorganismos insolubles hidrolíticos como proteínas, grasas y celulosa se dividen en monómeros a causa de la hidrolasa, una enzima que tiene como origen bacterias metabólicas anaeróbicas que obran sobre los polímeros de procedencia orgánica descomponiéndolos en partes más pequeñas.

Después estos compuestos generan un proceso de fermentación dando origen a distintos ácidos orgánicos, esta etapa es importante para lograr la división de biopolímeros complejos en otros polímeros que pueden ser solubles o simplemente en monómeros, ya que la depuración solo es llevada a cabo en la materia orgánica disuelta.

Esta fase puede limitar la velocidad del proceso general de digestión sobre todo con la presencia de residuos sólidos y otros factores como el pH, la temperatura, el tipo, la concentración y tamaño de las partículas de biomasa.

Aquí se pueden encontrar bacterias de tipo anaerobias facultativas como las enterobacterias, Aero tolerantes como las bacterias del ácido láctico y bacterias estrictas como Clostridium, Propionibacterium, Selenomona (Pérez,2.010).

### **Etapa Acetogénica:**

Ocurre posterior a la hidrólisis y ácido génesis formando otro tipo de bacterias que producen reacciones endergónicas (se necesita energía para que ocurra la degradación de los compuestos producidos en el ácido génesis), algunas reacciones producidas en esta fase son las del ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, glicerina, ácido láctico, etanol, entre otros. Las bacterias para esta etapa producen  $H_2$  y están en simbiosis con las otras bacterias productoras de metano, ya que los organismos metanogénicos pueden desarrollarse y vivir solo en condiciones de altos niveles de presión de hidrógeno, si este nivel baja predominaría la formación de ácidos propiónico, butírico, valérico y etanol en vez de metano.

### **Etapa metano génica:**

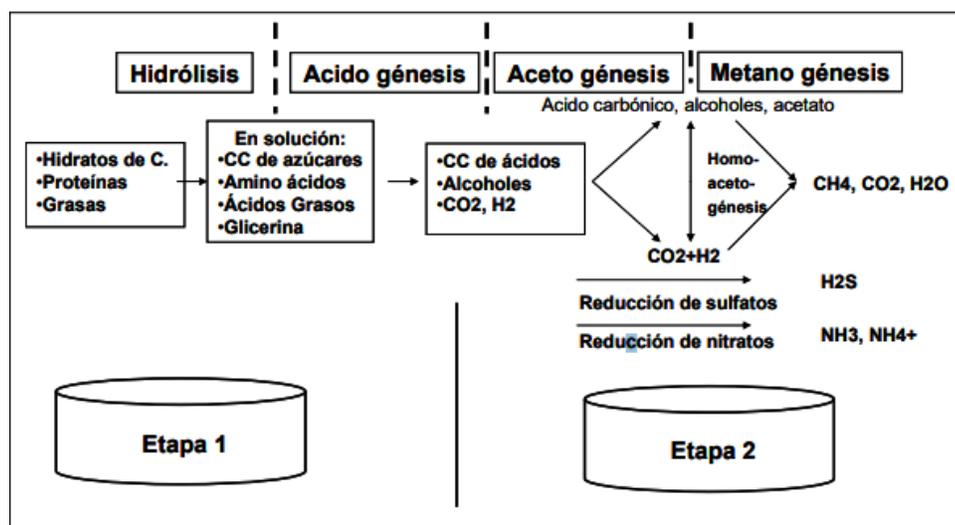
En esta fase y en condiciones estrictamente energéticas y anaeróbicas se forma el gas metano, es más se necesitan ciertos microorganismos metanogénicos para degradar sustratos específicos y se dividen en 3 grupos:

- Tipo  $CO_2$  como  $CO_2$ ,  $HCOO^-$ ,  $CO$
- Tipo metílico Como  $CH$ ,  $OH$ ,  $CH_3NH_3$ ,  $(CH_3)_2NH^+$ ,  $(CH_3)_3NH^+$ ,  $CH_3SH$ ,  $(CH_3)_2S$
- Tipo acetato como  $CH_3COO^-$

Las bacterias que participan en la metanogénesis se clasifican como arque bacterias y se dividen en relación con el tipo de sustrato que degradan, uno de ellos son los Hidrogeno tróficos que consumen el hidrógeno y anhídrido carbónico, Acetoclásticos que degradan el acetato y producen anhídrido carbónico y por último los Metilótrofos que metabolizan compuestos como metilaminas y metilsulfuros, todos estos microorganismos son responsables de producir metano.

Las bacterias hidrogenofílicas que se encuentran normalmente en el reactor anaeróbico del biodigestor son las siguientes: Methanobacterium, Methanospirillum y Methanobrevibacter (Pérez,2.010).

El proceso anaeróbico de la producción de biogás se puede ver a continuación en la siguiente imagen:



*Ilustración 3: Etapas degradación de la biomasa en reactor.*

Fuente: (Pérez, 2.010)

#### 2.7.4. Tipos de biodigestor

De acuerdo con cómo se alimenta, consume y se retira la biomasa en el digestor se pueden clasificar en 3 tipos:

**Consumo continuo:** es un proceso ininterrumpido donde el efluente o material que ingresa al digestor es igual al afluente o material que sale del digestor, es decir hay un flujo prácticamente continuo y constante con producciones de biogás uniformes a mediano plazo. Normalmente se aprovecha en el ámbito industrial y sirve a la vez para el tratamiento de aguas negras.

**Consumo semi continuo:** al inicio se introduce una carga con gran cantidad de biomasa y después se agregan pequeñas cantidades de afluentes calculadas en relación con el tiempo de retención hidráulica (THR) y el volumen total del digestor, por lo tanto, a medida que se va agregando materia se va descargando la misma cantidad ya procesada.

Generalmente estos procesos son usados en zonas rurales y en sistemas pequeños para uso doméstico. Los digestores de consumo semi continuo más conocidos son el digestor chino e indio.

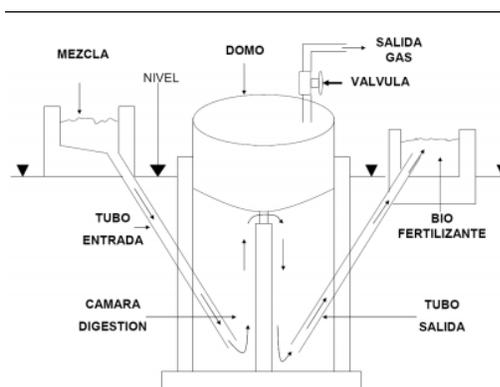
**Consumo Discontinuo o estacionario:** se realiza una carga con un solo lote de materia prima, después de un período de fermentación, cuando la cantidad de biomasa se procesa, disminuye y el rendimiento de producción de biogás baja demasiado se retira totalmente el material ya descompuesto

del digestor y se vuelven a alimentar generando un nuevo proceso de fermentación, estos biodigestores son conocidos como Batch o Batelada.

**Digestor de flujo pistón:** este tipo de digestor es el más sencillo de todos debido sus formas geométricas, por lo tanto, su costo de construcción y operación es considerablemente menor. Su forma alargada es parecida a un flujo de pistón o tapón donde la mezcla fluye de un extremo al otro. Estos reactores pueden ser construidos de cualquier material tanto rígidos (albañilería de ladrillo u hormigón armado) como flexibles (geomembranas por ejemplo polietileno de alta densidad) (Chamorro y Echeverría,2.018).

Los biodigestores más comunes de acuerdo con sus tipologías de construcción son:

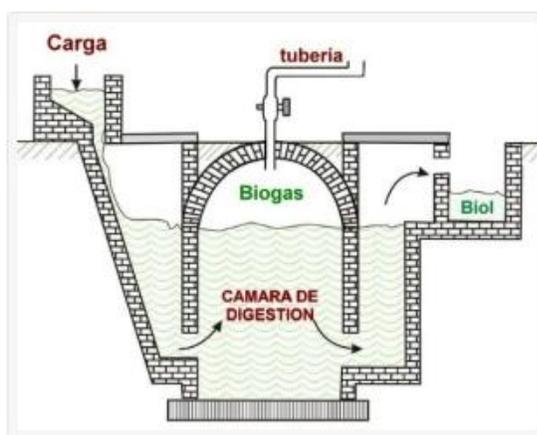
**Biodigestor domo flotante:** Son digestores subterráneos que poseen un recipiente móvil para el gas producido y que flota sobre la mezcla de fermentación ,este recipiente en forma de tambor se levanta o baja según la cantidad de gas almacenado, por lo tanto es muy simple ver la cantidad acumulada de dicho combustible (Chamorro y Echeverría,2018).Como ventaja tiene que su construcción es relativamente fácil y no requiere de mano de obra especializada y su desventaja es que los materiales poseen un costo elevado ya que el tambor puede ser construido de acero revestido con pintura anti corrosiva o también fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) y el reactor esta hecho de albañilería de ladrillo .Estos biodigestores por lo general corresponden a un sistema de consumo semi continuo (Pérez,2.010).



**Ilustración 4:** Esquema biodigestor de domo flotante tipo hindú.

Fuente: (Pérez,2010)

**Biodigestor de domo fijo:** Se diferencia con el de domo flotante por el recipiente de gas que en este caso es fijo e inmóvil, su ubicación está en la parte superior del digestor y al ser rígido y de volumen constante la presión del gas va aumentando directamente con la producción ocurrida en el reactor. Este tipo de biodigestor posee como ventaja un costo de construcción relativamente bajo y una larga vida útil, además al ser totalmente subterráneo no ocupa tanto espacio y protege al sistema a los cambios de temperatura. Por otro lado, como desventaja es la poca permeabilidad que posee la albañilería siendo propenso a fugas, por lo mismo la construcción de esta debe ser supervisada por personal experimentado en materia de biogás (Corona,2.007).



*Ilustración 5: Biodigestor chino domo fijo.*

Fuente: (Jayr, 2009)

#### **Biodigestor de estructura flexible:**

Consiste en un digestor en forma de globo parcialmente lleno con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo (Chamorro y Echeverría,2.018), generalmente está hecho de polietileno y se coloca enterrado en una zanja a una profundidad aproximada a la mitad del volumen del reactor. Este tipo de plantas son muy prácticas ya que el gas se almacena en la parte superior de la bolsa, además la entrada y salida se encuentran en la misma superficie del globo. Su bajo costo, fácil transporte, construcción y posterior mantenimiento son algunas de las ventajas más importantes del reactor de estructura flexible. No obstante, al ser un globo de polietileno puede dañarse fácilmente, sin embargo, la reparación del digestor es bastante simple, rápida y a muy bajo costo (Corona ,2.007).



- 1.- Válvula de salida
- 2.- Almacenamiento de biogás
- 3.- Nivel de agua con materia orgánica

*Ilustración 6: Biodigestor de globo.*

Fuente:(Corona,2007)

## 2.8. Viviendas sociales

### 2.8.1. Definición de Vivienda social.

Según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), una vivienda social corresponde a una vivienda económica de carácter definitivo, cuyo valor de tasación no sea superior a 400 Unidades de Fomento, salvo que se trate de condominios de viviendas sociales en cuyo caso podrá incrementarse dicho valor hasta en un 30 %.

### 2.8.2. Características de una vivienda social

El programa arquitectónico de la vivienda debe estar compuesto de a lo menos 4 recintos, una zona de estar-comedor y cocina, a lo menos dos dormitorios conformados y un baño. No obstante, se aceptará que la vivienda incluya un mínimo de tres recintos conformados: una zona de estar-comedor-cocina, el dormitorio principal y un baño, siempre que la superficie interior de la vivienda sea a lo menos de 50 m<sup>2</sup> (artículo 43, Decreto Supremo N° 49).

Tomando en cuenta diferentes condiciones se tiene la siguiente tabla de superficies mínimas:

Tipología	Superficie Mínima
Construcción en Sitio Propio	45m <sup>2</sup>
Densificación Predial	42m <sup>2</sup>
Pequeño Condominio	42m <sup>2</sup>
Construcción en Nuevos Terrenos	42m <sup>2</sup>

*Ilustración 7: Cuadro de superficies Viviendas Sociales.*

Fuente: (Decreto Supremo N° 49, Biblioteca del Congreso nacional de Chile)

La materialidad de una vivienda social dependerá según el tipo y zona geográfica en donde se encuentre, cumpliendo con los requisitos mínimos determinados en un itemizado técnico aprobado por el MINVU, la Seremi puede aprobar itemizados regionales propuestos por los respectivos SERVIU, pero deben ser informados al MINVU (artículo 44, DS 49).

Este tipo de vivienda se vende a precios que no se rigen por el mercado, sino por la capacidad económica de los que las adquieren y es ofrecido normalmente por el estado (subsidios), con la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas que postulan a este beneficio. En Chile los requisitos básicos para obtener este tipo de inmueble son tener una libreta de la vivienda con ahorros de 1 año de antigüedad y cumplir con el puntaje establecido en la ficha social para la familia.

Por lo general este modelo es utilizado en casi todo el mundo debido a la gran cantidad de poblaciones vulnerables que existen en la mayoría de los países, siendo los principales beneficiarios las poblaciones más jóvenes y familias que poseen ingresos bajos y presentan dificultades para adquirir otro tipo de viviendas.

### **2.8.3. Tipo de viviendas sociales.**

De acuerdo con las tipologías mencionadas en la tabla anterior, según el Ministerio de Urbanismo y Construcción, el Decreto Supremo 49 y el subsidio asociado a este existen 4 tipos de viviendas sociales:

**Construcción en nuevos terrenos:** proyectos habitacionales que tienen entre 10 y 160 viviendas. Incluyen urbanización, equipamiento y áreas verdes. La postulación es colectiva.

**Pequeño Condominio:** son proyectos habitacionales que tienen entre 2 y 9 viviendas. Se desarrolla en un terreno urbano bajo el régimen de copropiedad inmobiliaria (Ley 19.537). La postulación es colectiva.

**Construcción en Sitio Propio:** corresponde a la construcción de una vivienda en un sitio que pertenece a la persona que postula. La postulación puede ser colectiva o individual.

**Densificación Predial:** es la construcción de una o más viviendas en un terreno donde ya existe una o más propiedades habitacionales. La postulación puede ser colectiva o individual ("Subsidio para construir una vivienda DS49 - Ministerio de Vivienda y Urbanismo", 2021).

### 3.DESARROLLO

#### 3.1. Metodología:

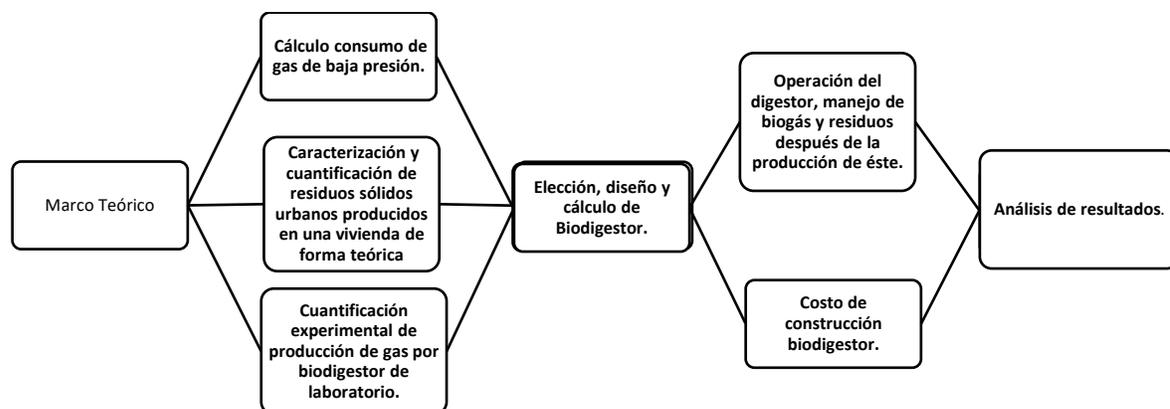
Para desarrollar esta investigación se propone la siguiente Hipótesis:

***los Residuos Sólidos Urbanos sirven como biomasa para la creación de biogás que permita cubrir las necesidades básicas de calefacción o producción de energía de los hogares pertenecientes a la población más vulnerable del país (viviendas sociales).***

Con respecto a los factores que actúan en este postulado ,se tiene como variables independientes la cantidad y calidad de la biomasa en estudio, como variable dependiente la producción de biogás y el diseño del digestor para producirlo, no obstante ,las variables externas que pueden intervenir en el desarrollo de este análisis son el sector donde se lleva a cabo el anteproyecto (este contiene variables como el clima, tipo de suelo, emplazamiento del biodigestor, entre otras), y el almacenamiento y transporte del biogás.

La metodología a emplear es mediante la investigación basada en revisiones bibliográficas como memorias de pregrado, documentos e informes, recopilando datos numéricos y estadísticos, además de entrevistas y encuestas que permiten cuantificar y calificar los residuos orgánicos producidos por una vivienda unifamiliar, no obstante se agrega un apartado práctico y experimental para medir de forma real y empírica dichos datos, también se recurre a normativas y manuales para la realización de cálculos relacionados con el requerimiento de gas y posterior diseño de un dispositivo de digestión que alimente a un Pequeño Condominio Social (9 viviendas sociales), estimando los posibles resultados energéticos y económicos sobre todo de construcción para finalmente generar una evaluación detallada de pre factibilidad y así comprobar o refutar la premisa que se postula de que se puede cubrir todas las necesidades energéticas de calefacción de dichos hogares con un biodigestor común.

Se puede ver la metodología de trabajo y su desarrollo de forma gráfica y secuencial con el siguiente diagrama de flujo (Ilustración 8) de acuerdo a los títulos que se verán a continuación en este capítulo:



*Ilustración 8: Diagrama de flujo metodología de trabajo.*

Fuente: (Elaboración propia)

## 3.2. Desarrollo de la investigación

### 3.2.1 Cálculo consumo de gas de baja presión.

Para este apartado se calcula el número de balones de gas de acuerdo al Decreto Supremo N°66, inciso 63.3.2 “Consumo”, para una vivienda de hasta 50 m<sup>2</sup> dando como resultado el promedio de consumo de gas licuado de petróleo (GLP) en una vivienda social y su equivalente en biogás.

Como se tiene una vivienda social, se estimará que ésta dispone de solamente de las instalaciones más básicas asociadas a un baño (calentador de agua) y cocina (cocina y horno), también supondremos que en este hogar además se utiliza un calefactor o estufa a gas.

Se calcula la cantidad de cilindros que necesita una vivienda ubicada en Rauco con los siguientes datos:

- Calentador de agua de tiro natural marca Junkers de 7 Lts y potencia 19,2 KW equivalentes a 16,51 Mcal/h cotizado en Sodimac (Código 3566072).
- Una cocina de 4 quemadores de aproximadamente 8 Mcal/h
- Un calefactor a gas marca Orbergozo cotizado por internet en Tech INN de 3,6 Mcal/h.
- Se considera un consumo intermitente debido a que es una instalación domiciliaria
- Al ser una vivienda de no más de 50 m<sup>2</sup> se estima un consumo de nivel bajo de acuerdo a la tabla de la Ilustración 9:

---

Análisis de prefactibilidad, evaluación técnica y económica en la implementación de biodigestor común en viviendas sociales para la generación de energía y propuesta de utilización de ésta.

Clasificación de los usuarios según la superficie construida de la vivienda	
Superficie construida m <sup>2</sup>	Nivel de consumo
Menos de 50	Bajo
Entre 50 y 75	Medio
Más de 75	Alto

**Ilustración 9:** Tabla de consumo de acuerdo a superficie construida

Fuente: (PROCOBRE, 2001)

**Cálculos:**

- Si bien el lugar considerado para el desarrollo del proyecto es Rauco, este no aparece en tabla para ver la temperatura de cálculo, por lo tanto, se busca un lugar que esté más cercano y que pertenezca a la misma Región de esta comuna, en este caso sería Curicó y su temperatura asociada es de 0°C (NCh 1079 de 1977) esto se ve en la tabla asociada a la ilustración 10.

TEMPERATURA DE CÁLCULO			
Comunas por orden alfabético			
Comunas de:	Temperatura de cálculo °C	Comunas de:	Temperatura de cálculo °C
Ancud	-5	Cerrillos	5
Antofagasta	10	Cerro Navia	5
Arauco	0	Colina	5
Arica	10	Combarbalá	5
Aysén	-5	Concepción	0
Balmaceda	-20	Conchalí	5
Baquedano	10	Constitución	5
Batuco	5	Copiapó	5
Buín	5	Coquimbo	5
Calama	-5	Coronel	0
Caldera	10	Coyhaique	5
Calera de Tango	5	Curacaví	5
Castro	-5	Curicó	0
Catalina	10	Chanco	5
Cauquenes	0	Chañaral	10

**Ilustración 10:** Tabla de temperatura de cálculo por comuna

Fuente: (PROCOBRE, 2001)

- La Potencia Instalada Total o PIT (Suma de las potencias nominales de los artefactos de una instalación de gas) sería la suma de la cocina, calefón y calefactor la cual da un total de 28,11 Mcal/h.
- Luego utilizando la tabla de la ilustración 11 y utilizando la temperatura de cálculo de 0°, un consumo intermitente y para cilindros de 45 kg se calcula que la razón de vaporización o Rv es igual a 29 Mcal/h.

RAZÓN DE VAPORIZACIÓN								
Temperatura de cálculo	Consumo intermitente							
	Estanques						Cilindros tipos	
	Superficie m2			Subterráneo m2				
	1	2	4	1	2	4	15	45
15	180	280	530	-	-	-	17	38
10	179	250	470	100	140	270	16	35
5	140	210	400	-	-	-	15	32
0	120	180	350	-	-	-	14	29
-5	100	150	240	-	-	-	18	26
-10	80	120	230	-	-	-	12	24
-15	60	90	170	-	-	-	10	20
-20	40	60	170	-	-	-	8	15

**Ilustración 11:** Tabla Razón de Vaporización.

Fuente: (PROCOBRE, 2001)

- Empleando la fórmula del número de cilindros:

$$N = \frac{PIT}{RV} \quad N = \frac{28,11}{29}$$

- Dando como resultado  $N = 0,97$  si se aproxima al entero más grande sería 1 balón de gas de 45 Kg.
- No obstante, para verificar datos también se calcula de acuerdo al consumo ocupando la Tabla (Ilustración 12) de “Consumo diario”.

Artefactos	Nivel	Temperatura de cálculo en °C						
		10	5	0	-5	-10	-15	-20
Calefactor + Calefón + Cocina	Bajo	6,5	10	15	18	21	63	27
	Medio	13	23	36	45	54	86	72
	Alto	15	31	50	62	74	24	98
2 Calefones + Cocina	Medio	13	18,5	24	24	24	35	24
	Alto	15	25	35	35	35	69	35
Calefactor + 2 Calefones + Cocina	Medio	16	27,5	42	51	60	95	78
	Alto	18	37	59	71	83	8	107
2 Calefactores+ Calefón+ Cocina	Medio	14,5	27,5	45	58,5	72	85,5	93
	Alto	16,5	37	62	80	98	116	134
2 Calefactores+ 2 Calefones+ Cocina	Medio	17,5	32	51	64,5	78	91,5	99
	Alto	19,5	43	71	89	107	125	143

**Ilustración 12:** Tabla de consumo diario de artefactos en función del nivel de consumo y temperatura

Fuente: (PROCOBRE, 2001)

- Luego se inserta el valor sacado de la tabla en la fórmula para cilindros de 45 kg.

$$N = 0,037 \times \left( \frac{\text{consumo}}{\text{dia}} \right)$$

$$N = 0,037 \times 15$$

$$N = 0,555$$

- Este valor se aproxima al entero superior ósea 1 y coincide con el otro calculado.
- Como lo indica el decreto se debe dejar el resultado más elevado y multiplicarlo por 2 para tener reposición (punto 63.3.4 y 63.3.5 Ds 66), es decir 2 balones de 45 kg.
- Para efectos de esta memoria se centrará solo en el consumo y no la reposición por lo tanto esto es aproximadamente un balón de 45 kg mensual.

Un balón de gas GLP de 45 kg equivale a 59,25 m<sup>3</sup> de gas natural (MEDIAGROUP, 2014) y un m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,6 m<sup>3</sup> de gas natural (Moncayo,2017) , por lo tanto se necesitan

aproximadamente 98,75 m<sup>3</sup> de biogás para abastecer este tipo de vivienda, si consideramos un pequeño condominio social se tiene requerimiento un total de 888,75 m<sup>3</sup> de biogás.

### 3.2.2. Caracterización y cuantificación de residuos sólidos urbanos producidos en una vivienda.

#### 3.2.2.1. Caracterización y cuantificación teórica.

Para saber cuánta biomasa se debe tener para crear la cantidad de biogás requerida, primero que todo se tiene que clasificar y ver las características de los tipos de residuos con los cuales se va a trabajar ,en este caso son residuos sólidos urbanos , para ser más específico residuo sólido orgánico de cocina ,donde se contemplan principalmente desechos asociados a verduras y frutas, no obstante también se incluyen en menor parte restos de comida proveniente de animales como carnes a excepción de sus partes óseas (huesos) y por último excretas de animales domésticos (mascotas como perros ,gatos, roedores y aves).

Si la biomasa a utilizar se basa en su mayoría en desechos vegetales, de forma teórica se puede ver el rendimiento en las siguientes tablas (ilustración 13 y 14):

1kg de estiércol bovino	0,023 m <sup>3</sup> - 0,040 m <sup>3</sup> de biogás
1kg de estiércol de ave	0,043 m <sup>3</sup> - 0,116 m <sup>3</sup> de biogás
1kg de estiércol porcino	0,040 m <sup>3</sup> - 0,059 m <sup>3</sup> de biogás
1kg de material vegetal	0,040 m <sup>3</sup> - 0,065 m <sup>3</sup> de biogás

*Ilustración 13: Tabla de rendimiento de biomasa de distintos tipos y su producción de gas.*

Fuente: (DISTRIDALAM, 2021)

Velocidad de fermentación de la materia orgánica	
Estiércol líquido de vaca	20-30 días
Estiércol líquido de cerdo	15-25 días
Estiércol líquido de ave	20-40 días
Estiércol de animal mezclado con residuos vegetales	50-80 días

*Ilustración 14: Tiempo de retención de distintos tipos de residuos.*

Fuente: (DISTRIDALAM, 2021)

Por lo presentado en las imágenes anteriores un kilogramo de vegetales produce entre 40 y 65 litros de biogás. Su tiempo de retención o velocidad de fermentación varía entre 50 y 80 días siendo un poco más de 3 veces más lento que la producción de gas con estiércol de cerdo, además genera casi la mitad del gas de lo que se obtiene de las excretas de ave. Si se compara lo que se produce por kilogramo de residuo vegetal con lo que se necesita en biogás obtenido del apartado anterior y se requiere de abastecer 9 viviendas sociales (888,75 m<sup>3</sup>/vivienda), teóricamente se necesitan entre 2,18 toneladas o en el mejor de los casos un mínimo de 1,37 toneladas, teniendo un valor promedio de 1,78 toneladas en un tiempo medio de 65 días. Este material orgánico es mezclado con agua con dosificación 1:1 para que posteriormente se ejecute de forma adecuada la etapa hidrolítica de la digestión, dicha dosificación se justifica en la ilustración 15 que otorga ciertos valores para distintos tipos de biomasa.

Bovino	Fresco	1:1
	Seco	1:2
Porcino		1:2
Aves		1:1
Equino		1:2
Desechos Humanos		1:1
Desechos Vegetales		1:0,5-2

**Ilustración 15:** Dosificación de agua RSU, para vegetales de 1:0,5 a 2 litros.

Fuente: (DISTRIDALAM, 2021)

Se estima que un hogar promedio se desecha alrededor de 2 kg de basura orgánica diaria, este dato resulta de varios razonamientos, el primero consiste en la obtención de varias muestras en distintas casas de diferentes poblaciones en la localidad de Rauco, residencias en las cuales las familias de entre 2 y 4 personas producían aproximadamente entre 1,5 y 2,5 kg diarios de residuos del tipo orgánico. Para asegurar que esta estimación fuese la adecuada si se remonta a la introducción de esta investigación y citando los datos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente en el año 2.020 cada chileno generó aproximadamente un poco más de medio kilogramo de basura orgánica al día y si se considera una familia de 4 personas se tiene como resultado 2 kg por hogar, por último existe un proyecto similar llamado “Compact 2” realizado por la Universidad Adolfo Ibáñez, el cual consiste en un biodigestor de uso doméstico y que considera como carga diaria la misma cantidad de masa indicada en este punto.

### 3.2.2.2. Cuantificación experimental de producción de gas por biodigestor de laboratorio.

Se calculó cuanto gas se genera de forma teórica de acuerdo a tablas de producción en el punto anterior, en este apartado se realiza un ensayo o maqueta de biodigestor discontinuo, llenando un recipiente con una sola carga de material orgánico, dejando que éste dispositivo mediante el proceso anaeróbico produzca biogás en un determinado tiempo para así comprobar el rendimiento de la biomasa de forma experimental.

En este apartado se consideraron ciertas variables de interés, como, por ejemplo:

- Temperatura (°C)
- Tiempo (días)
- Masa de residuos de cocina (kg)
- Volumen de agua (Lts)
- Presión (Pa)

Para llevar a cabo este experimento se consideraron los siguientes materiales e instrumentos:

- Un barril de plástico de 60 litros
- Máquina de Termo fusión.
- Tubería de PPR de 20 mm
- Codo PPR 20 mm
- Tee de PPR de 20 mm
- Cámara de vehículo
- Manguera de gas
- Flexible de gas
- 2 Abrazaderas 20 mm
- Manómetro
- Pasa muros para tubería PVC
- 2 llaves de globo 20 mm
- Terminales HE PPR 20 mm

Inicialmente la instalación del biodigestor experimental quedó de la siguiente manera:



**Ilustración 16:** Biodigestor a escala recién construido e instalado.

Fuente: (Elaboración propia)

Una vez construido el biodigestor se procede a llenar el reactor con la biomasa considerando los datos iniciales mostrados a continuación:

<b>Fecha</b>	<b>22-09-2021</b>
Temperatura inicial	19°C
Cantidad de masa de RSU ingresada	8 kg
Volumen de agua (dosificación 1:1)	8 Lts
Masa total del biodigestor	16 kg

**Ilustración 17:** Datos iniciales inicio de experimentación producción de biogás a escala.

Fuente: (Elaboración propia)

A partir del tercer día se evidencia que la cámara de vehículo se comenzó a presentar cambios de volumen llenándose con gas metano. A la semana de instalado el volumen fue aumentando considerablemente como se muestra en las siguientes imágenes (ilustraciones 18 y 19).



**Ilustración 18:** Biodigestor después de 7 días (29-09-2021).

Fuente: (Elaboración propia)

Luego de 3 semanas el gas ocupó el volumen total de la cámara quedando de la siguiente forma:



**Ilustración 19:** Biodigestor experimental luego de 3 semanas.

Fuente: (Elaboración propia)

Se tomaron los datos para asegurar que el biodigestor haya funcionado de tal manera que no solamente la biomasa que contuvo por este periodo de tiempo esté degradada y convertida en Biol,

sino que también comprobar si el rendimiento experimental es similar al teórico investigado anteriormente, dando como resultado lo siguiente:

<b>Tiempo de retención</b>	<b>21 días</b>
Presión	6772,76 P.a.
Temperatura	29°C
Volumen de biogás	17,4 Litros
Tiempo de cocina	47 segundos

*Ilustración 20: Valores finales biodigestor a escala.*

Fuente: (Elaboración propia)

En este periodo de tiempo se pudo notar fácilmente y por experiencia propia que es posible la producción de biogás, sin embargo la productividad de la generación de este combustible no fue la más óptima debido al resultado de corta duración del ensayo de alimentación a una cocinilla el cual no superó el minuto encendida, por lo tanto se pudo inferir del punto anterior y de forma teórica que para poder cubrir las necesidades mínimas se debe cargar el biodigestor con más biomasa y con un tiempo mayor de retención ya que se estima que el gas producto de la experimentación además de poseer un volumen y presión muy bajo este todavía no presentaría el porcentaje de metano adecuado para la correcta combustión y consumo, es decir el biodigestor funciona pero si se tiene como biomasa residuo de cocina tiene que ser alimentado en grandes cantidades de masa y tiempo.

### 3.2.3. Elección, diseño y cálculo de Biodigestor

#### **Elección del tipo de biodigestor:**

Se elige un digestor de estructura flexible o tipo tubular debido a sus características económicas, de diseño, construcción, operación y mantención.

En lo económico este tipo de biodigestor tiene muchas ventajas por su bajo costo de inversión inicial y es que este se compone de material plástico como bolsas de geo membrana de PVC o

polietileno, además de tuberías y fittings de PVC hidráulico, siendo estos materiales principales más baratos que sus equivalentes construidos en hormigón y albañilería.

El diseño de este sistema es menos complicado que los otros investigados y definidos en el marco teórico (Biodigestores de domo flotante y Biodigestores de domo fijo) que son estructuras sólidas (albañilería, acero) y van enterradas a una gran profundidad teniendo más difícil acceso al reactor y a los demás componentes del digestor en el caso de necesitar alguna mantención y/o reparación, en cambio en el biodigestor tubular su estructura se trata de un globo horizontal de carga continua con un porcentaje tanto de volumen líquido-sólido como gaseoso, donde el primero va depositado en una zanja con cierto talud calculado por diseño y el segundo sobresale de éste de acuerdo al gas producido, todo esto en función del volumen de los residuos sólidos, la temperatura, el caudal de biomasa entrante (como es continuo es igual al de salida), el tiempo de retención y la presión del digestor. Teniendo todo este sistema a la vista por si existiese algún desperfecto o avería.

Si se ve de forma constructiva es mucho más versátil y fácil de confeccionar que los otros tipos de biodigestor, puesto que los materiales son más livianos, trabajables y de rápido montaje, en materia de planificación y rendimiento la construcción del proyecto no dura más de 3 días, siendo la tarea más larga la excavación de la zanja, que si es a mano podría tardar hasta 1 día dependiendo del terreno y las dimensiones del biodigestor, luego viene la instalación del digestor que si se realiza de forma meticulosa y si no se tiene la experiencia se demoraría al igual que la excavación máximo 1 día pero esta actividad requiere menos esfuerzo físico, sin embargo para disminuir la posibilidad de fugas se tiene que realizar con cuidado y con calma. Por último, el llenado y la puesta en marcha de este sistema anaeróbico no toma más de medio día, y es que, teniendo la biomasa necesaria y la dosificación adecuada para la primera carga, no se deberían presentar mayores inconvenientes.

En lo que respecta a la operación del biodigestor, si se maneja correctamente de acuerdo con la dosificación, estado y frecuencia de suministro de la biomasa, no habría eventuales problemas de producción de gas. Se debe inspeccionar periódicamente si el sistema está perdiendo gas por cualquier motivo, revisar las trampas de agua y ácido sulfhídrico para mantener la seguridad y producción esperada. Para esto la inspección es bastante fácil, debido a que se puede detectar problemas de forma simple, de forma visual, si se detectan malos olores o simplemente tocando el globo y este no se infla como se debe. Si se llegase a dañar (pinchar el globo) se puede parchar fácilmente de forma similar a una cámara de vehículo o bicicleta.

### **Diseño de biodigestor:**

Este diseño se basa en el cálculo utilizado con estiércol animal, pero en este caso se adaptará a residuo vegetal complementado con los datos experimentales obtenidos en el punto anterior. El anteproyecto contempla varios parámetros.

Uno de ellos es la disponibilidad de carga con respecto a la masa unitaria (ya que es de tipo continuo), para animales se habla de kilogramos de estiércol por animal de granja y su tipo (desde caballos, vacunos, aves hasta seres humanos), en este caso puntual se considerará 2 kg de residuo de cocina por hogar.

La dosificación de agua que al igual que la cantidad de masa a necesitar se saca del apartado anterior “Caracterización y cuantificación de Residuos Sólidos Urbanos”, que para este tipo de biomasa es de 1:1 (un kg de vegetal por un litro de agua).

La carga o caudal diario para alimentar el biodigestor expresado en litros por día es muy importante, en el caso de estiércol de animal se hace la equivalencia que un kilogramo de estiércol es igual a un litro de estiércol, para simplificar el cálculo se toma la misma igualdad, dado que la mezcla de la biomasa a utilizar procedente de la cocina varía tanto en el tipo de residuo vegetal como en el volumen total (Martí Herrero,2019), entonces es conveniente tomar este dato teórico como referencia para estimar la carga total y asumir el mismo parámetro, para fines prácticos un litro de RSU equivale a un kilogramo de RSU.

La temperatura y el tiempo de retención son dos variables fundamentales y van de la mano, ya que a mayor temperatura mayor es la productividad de las bacterias que operan en la digestión, por lo tanto, se demoran menos en producir gas metano, es decir su tiempo de retención disminuye. Para esta relación existen tablas que relacionan y ajustan estos parámetros para obtener un funcionamiento óptimo del biodigestor y sacarle el mayor provecho a la biomasa que se encuentra dentro de éste. También tomando en cuenta la zona y el clima donde se va a instalar el sistema de biodigestor, se tendrá que determinar si se necesita algún tipo de calefacción pasiva, que va desde la elección del color de los materiales a utilizar en el proyecto (colores oscuros absorben mejor la radiación y calientan más el reactor) hasta invernaderos que sirven no solo para elevar y mantener la temperatura del sistema, sino que también para proteger al globo de deterioros y pinchazos.

El dimensionamiento óptimo de un digestor tubular está dado por la relación entre el largo y el diámetro a utilizar, que debe estar en un rango entre 5 y 10, teniendo como relación óptima un equivalente a 7,5 como se muestra en la ilustración N° 13. Esto tiene como explicación el

desplazamiento de la biomasa a través del digestor ya que si la relación es menor a 5 el reactor será muy corto y el material cargado saldría antes de haber transcurrido el tiempo de retención necesario para maximizar la producción, ya si la relación es mayor a 10 tendrá una forma muy alargada, esto causaría eventuales problemas de acumulación de lodos a lo largo del contenedor provocado por la turbulencia que la carga diaria puede generar dentro del digestor (ilustración 21).

$$\frac{L}{D} \text{ óptima} = 7.5$$

L= Longitud del biodigestor (m)  
D= Diámetro de la circunferencia del plástico (m)

**Ilustración 21:** Relación entre longitud y diámetro.

Fuente: (Herrero Martí, Biodigestores tubulares guía de diseño y Manual de instalación)

### **Cálculos para dimensionado:**

Una vez fijados y entendidos los parámetros de diseño, se calculan las dimensiones del biodigestor con el siguiente procedimiento:

1. Sacando del apartado “Cálculo consumo de gas de baja presión” se necesitan 888,75 m<sup>3</sup> de biogás y para esto de acuerdo con la “Caracterización y cuantificación de los RSU” se necesita un valor promedio de 1,78 toneladas en un tiempo medio de 65 días y que si se toma en consideración la equivalencia propuesta en el inicio de este punto un kilogramo de RSU es igual a un litro de la misma biomasa por lo tanto esas 1,78 toneladas corresponderían a 1.780 litros, Además se le debe sumar la cantidad de agua con razón 1:1 dando un volumen líquido de 3.560 litros.
2. Se despeja la ecuación de el volumen líquido del digestor el cual es igual a la multiplicación del tiempo de retención por la carga diaria.

$$Vl = TR \times CD$$

Despejando:

$$CD = \frac{Vl}{TR}$$

Reemplazando los valores:

$$CD = \frac{3560 \text{ (Litros)}}{65 \text{ (días)}} = 54,77$$

$$CD = 55 \text{ (Litros/día)}$$

Se necesitan 55 litros diarios de mezcla, es decir 27,5 kg de RSU y 27,5 litros de agua. Si cada casa produce 2 kg de residuos orgánicos al día se necesitan aproximadamente de 14 hogares para alimentar diariamente al biodigestor.

3. Se calcula la capacidad total del biodigestor, el cual es la suma del volumen de líquido y el volumen de gas que se estima a conveniencia en un 20 % del volumen total, por lo tanto, el volumen líquido ocuparía el 80 % del total.

$$V_{total} = Vl + Vb$$

Reemplazando los valores considerando lo anterior:

$$\frac{V_{total}}{Vl} = \frac{100\%}{80\%}$$

$$\frac{V_{total}}{3,56 \text{ m}^3} = \frac{100\%}{80\%}$$

$$V_{total} = 4,45 \text{ m}^3$$

$$Vb = 4,45 \text{ m}^3 - 3,56 \text{ m}^3 = 0,89 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen total del biodigestor es de 4,45 m<sup>3</sup> y su volumen de gas es de 0,89 m<sup>3</sup>, esto asegura el correcto funcionamiento del sistema, en el caso de presentar presiones

mayores a las que se pueda someter el volumen del biodigestor se tiene la trampa de alivio de presión y también se necesita un tanque de almacenamiento del biogás tema que se tratará en el siguiente apartado “manejo del biogás”.

4. Como el biodigestor es tubular se deben estimar las dimensiones que cumplan con el volumen calculado previamente, aplicando la fórmula del perímetro y despejándolo se tiene la siguiente ecuación.

$$P = 2 \times \pi \times r$$

$$r = \frac{P}{2 \times \pi}$$

Aplicando el área y simplificando:

$$A = \pi \times r^2$$

$$A = \frac{P^2}{4 \times \pi}$$

Entonces se tiene el volumen expresado en función del perímetro y el largo del digestor:

$$V = \frac{P^2}{4 \times \pi} \times L$$

Despejando el largo ya que el volumen es dato conocido:

$$L = \frac{4 \times \pi \times V}{P^2}$$

siempre y cuando se cumpla:

$$5 < \frac{L}{D} < 10$$

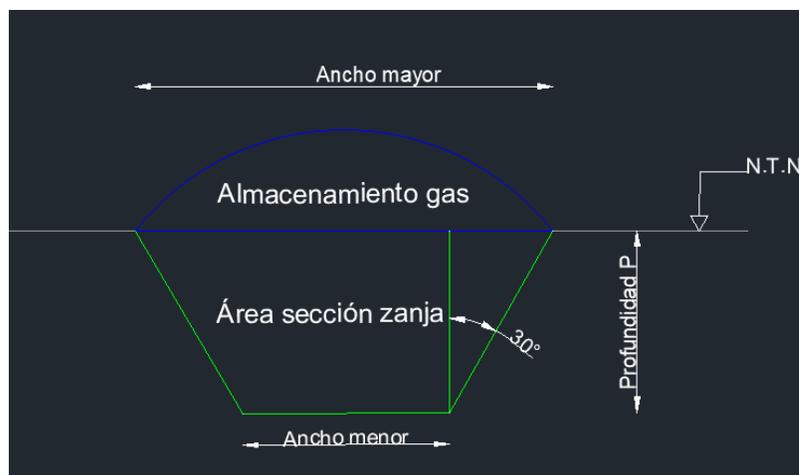
Entonces se estima el largo con diferentes perímetros comerciales, considerando un perímetro inicial de 4 metros para tratar de ocupar el menor espacio lineal posible. En la siguiente tabla (ilustración 22) se indican las iteraciones realizadas verificando si sus dimensiones resultantes cumplen con los parámetros establecidos.

Perímetro (m)	Largo (m)	Diámetro (m)	L/D	Factibilidad
4	3,49	1,273223	2,74	$2,74 < 5$ No cumple tramo muy corto
3	6,21	0,954929	6,53	$5 < 6,5 < 10$ Cumple acercándose al óptimo (7,5)
2	13,98	0,636619	22,19	$10 < 22,19$ No cumple biodigestor muy largo

**Ilustración 22:** *Tabla de valores discriminantes para factibilidad de biodigestor.*

Fuente: (Elaboración propia)

- Una vez teniendo las dimensiones óptimas de la manga tubular se debe calcular la zanja donde va depositado el digestor. Para esto la sección de la excavación debe ser considerada como un trapecio (ilustración 23). Además, tomando en cuenta las condiciones del sitio proyectado para la instalación del biodigestor el ángulo del talud debe ser de  $30^\circ$  (ángulo que es considerado para suelos tanto de tipo trozos de roca, terreno vegetal y arena mezclada con arcilla) para asegurar la estabilidad del talud y evitar desmoronamientos que puedan perjudicar el funcionamiento del biodigestor tubular.



**Ilustración 23:** Sección transversal biodigestor.

Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo con la imagen anterior y utilizando la fórmula de volumen del trapecio y relacionándola con el volumen total de líquido se despeja la siguiente ecuación:

$$V_{\text{liquido}} = \text{Área trapecio} \times L$$

Despejando:

$$L = \frac{V_{\text{liquido}}}{\text{Área trapecio}}$$

6. Para determinar las medidas de la sección trapezoidal, se debe tomar en cuenta el ángulo del talud a excavar junto con el perímetro de la circunferencia de la manga a utilizar como biodigestor, dichas dimensiones se pueden sacar de una tabla de cálculo en función del radio proporcionadas por Martí Herrero en el “Manual de Diseño e Instalación de Biodigestores Tubulares” que se muestra a continuación en la ilustración 24:

$\alpha$ (°) desde vertical	% VL	% VB	a (m)	b (m)	P (m)	A zanja (m <sup>2</sup> )	A biogás (m <sup>2</sup> )	A total (m <sup>2</sup> )
0	88	12	1,49 x r	1,49 x r	1,57 x r	2,34 x r <sup>2</sup>	0,32 x r <sup>2</sup>	2,65 x r <sup>2</sup>
0	83	17	1,41 x r	1,41 x r	1,57 x r	2,22 x r <sup>2</sup>	0,45 x r <sup>2</sup>	2,67 x r <sup>2</sup>
0	80	20	1,34 x r	1,34 x r	1,57 x r	2,10 x r <sup>2</sup>	0,53 x r <sup>2</sup>	2,63 x r <sup>2</sup>
7,5	80	20	1,23 x r	1,63 x r	1,54 x r	2,20 x r <sup>2</sup>	0,55 x r <sup>2</sup>	2,75 x r <sup>2</sup>
15	76	24	1,02 x r	1,82 x r	1,49 x r	2,12 x r <sup>2</sup>	0,69 x r <sup>2</sup>	2,80 x r <sup>2</sup>
30	75	25	0,72 x r	2,26 x r	1,33 x r	1,98 x r <sup>2</sup>	0,66 x r <sup>2</sup>	2,64 x r <sup>2</sup>
45	65	35	0,43 x r	2,57 x r	1,07 x r	1,61 x r <sup>2</sup>	0,86 x r <sup>2</sup>	2,47 x r <sup>2</sup>

**Ilustración 24:** Tabla de cálculo de diseño de zanja biodigestor tubular en función de su ángulo  $\alpha$ .

Fuente:( Martí Herrero J. 2019)

Al reemplazar los valores queda representado de la siguiente manera:

Ángulo ( $\alpha$ )	volumen líquido (%)	Volumen Biogás (%)	Ancho Menor (m)	Ancho Mayor (m)	Profundidad (m)	Área Zanja (m <sup>2</sup> )	Área Biogás (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )
30	75	25	0,3438	1,07915	0,635075	0,451452375	0,150484125	0,6019365

**Ilustración 25:** Dimensionado de zanja de biodigestor.

Fuente: (Elaboración propia)

7. Para finalizar se calcula el largo de la zanja con la ecuación del punto 5 y los datos del punto número 6, reemplazando:

$$L = \frac{3,56 \text{ m}^3}{0,451452375 \text{ m}^2}$$

$$L = 7,886 \text{ m}$$

8. La longitud de la zanja a simple vista es bastante cercana a la óptima, pero para asegurar un adecuado diseño se debe verificar que el perímetro de la circunferencia sea mayor que la de la zanja para que la cúpula de gas esté sobre el nivel de terreno natural:

$$Apotema = \sqrt{\left(\frac{L_{Mayor} - L_{menor}}{2}\right)^2 + P^2}$$

$$P_{zanja} = 2 \times Apotema + L_{mayor} + L_{menor}$$

Considerando los valores del punto anterior se tiene que:

$$P_{zanja} = 2,89$$

Realizando la comparación entre el perímetro de la circunferencia y la zanja debido a que la circunferencia de plástico tiene que ser mayor a la de la zanja:

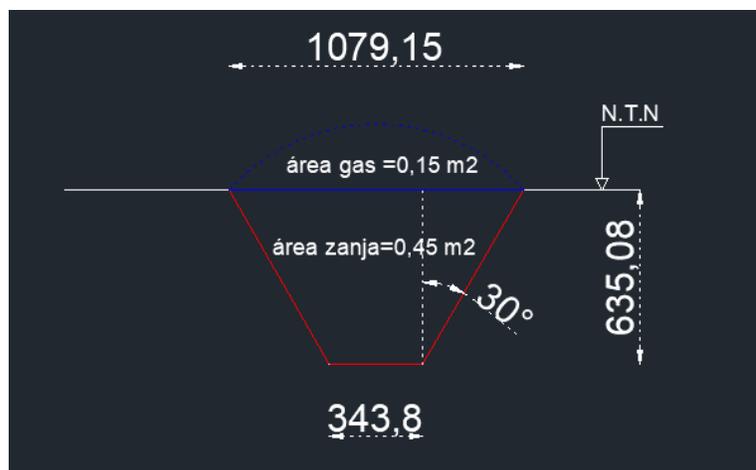
$$P_{Circunferencia} > P_{zanja}$$

$$3 > 2,89$$

Por lo tanto, la primera condición se cumple, no obstante, se tiene que volver a calcular la relación L/D debido a que las dimensiones de la zanja son las que predominan por sobre las medidas de la manga tubular calculadas en el punto 4. Entonces se aplica una vez más la siguiente ecuación con los datos de la tabla del punto 6:

$$\frac{L}{D} = \frac{7,886 \text{ m}}{0,954929 \text{ m}} = 8,258$$

Se comprueba que el biodigestor cumple con todos los parámetros de diseño, por lo tanto, se utilizan las medidas calculadas en el punto número 6 y que se representan en las siguientes ilustraciones.



**Ilustración 26:** Sección transversal de biodigestor con cotas en milímetros y áreas en metros cuadrados.

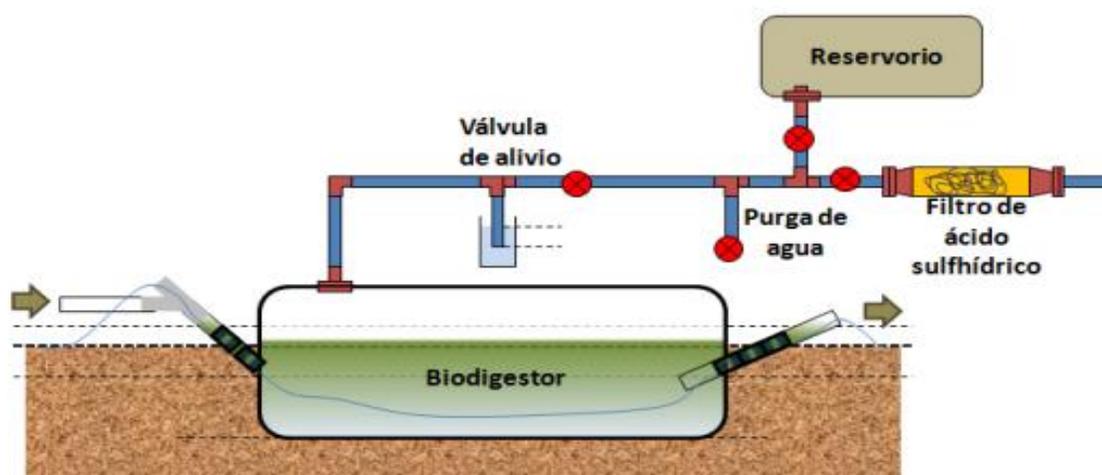
Fuente: (Elaboración propia)



**Ilustración 27:** Elevación lateral biodigestor con cotas en milímetros.

Fuente: (Elaboración propia)

De acuerdo a las dimensiones previamente calculadas y los demás componentes que posee el biodigestor en su diseño, este sistema generador de biogás se proyecta de la siguiente manera (ilustración 28)



*Ilustración 28: Esquema diseño biodigestor.*

Fuente: (Herrero Martí, Biodigestores tubulares guía de diseño y Manual de instalación)

### 3.2.4. Costo de instalación del biodigestor común.

PROYECTO: Construcción de Biodigestor Común					
n°	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Replanteo y trazado	Gl	1	60.000	60.000
2	Excavación zanja	Gl	1	86.000	86.000
3	Instalación Biodigestor	Gl	1	264.064	264.064
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 410.064</b>

*Ilustración 29: Tabla de costos Biodigestor.*

Fuente: (Elaboración propia)

Para estimar el costo de construcción de este anteproyecto se realiza un análisis de precios unitarios y su posterior costo directo ya que para efectos de esta investigación no se considera la confección de un presupuesto debido a que solo se tomará en cuenta el costo neto resultante de la suma de las

partidas que se deben ejecutar para hacer el biodigestor, por lo tanto, no se considerarán los gastos generales, imprevistos, utilidades ni el impuesto al valor agregado (IVA).

Los ítems asociados a los trabajos que se deben realizar se estudiaron de la siguiente forma:

- En el replanteo y trazado se consideró un trazador más un ayudante con los respectivos materiales asociados a esta partida (construcción de niveletas, colocación de lienza, cal, entre otros). Debido a que es un trazado pequeño y se puede hacer utilizando instrumentos simples (con manguera de nivel) el valor es aproximadamente la suma de medio día de trabajo del personal más la implementación adecuada, todo esto tratado con los trabajadores que eventualmente ejecutarían esta parte del proyecto dando un valor final de \$ 60.000 de forma global.
- En lo que respecta al movimiento de tierras, se contempla el arriendo de una mini excavadora la cual cuesta en promedio \$ 16.000 por hora, Dadas las condiciones del terreno y la pequeña cantidad de material que se debe extraer para hacer la zanja y tomando en cuenta el arriendo mínimo de media jornada (4 horas) más un jornal para asegurar que el talud quede de acuerdo a lo proyectado, se calcula un valor total de \$ 86.000. Además dicho material puede ser utilizado como relleno para el mismo terreno, por lo tanto, en este caso no se considera transporte a botadero debido a que puede ser esparcido en el mismo predio.
- Ya centrándose en la construcción del biodigestor y su conducción del biogás, se realiza el análisis de precio unitario pertinente, tomando en cuenta todos los materiales necesarios para una instalación adecuada. Es importante señalar que la conducción del gas es cotizada y diseñada en material de PPR, el cual si bien es usado comúnmente para el agua potable, se eligió por su estanqueidad y rapidez de soldado en relación a las uniones (como por ejemplo en codos, llaves, coplas) sin perjuicio del funcionamiento del biodigestor ya que según Martí Herrero en el “Manual de Biodigestores Tubulares” se puede utilizar tuberías parecidas como polietileno típica de riego, o tuberías de PVC hidráulico, en este caso se prefiere utilizar polifusión de media pulgada (20 milímetros de diámetro).

En la siguiente imagen (ilustración 19) se muestra de forma cuantitativa el criterio aplicado para el análisis de precios utilizado en el suministro, construcción y montaje del biodigestor:

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO : BIODIGESTOR COMÚN				
PARTIDA : SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BIODIGESTOR		REGIÓN : DEL MAULE		
UNIDAD : GL		COMUNA : RAUCO		
		FECHA : 09/12/2021		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
GEOMEMBRANA 500 MICRONES	M2	32,00	3.587	114.784
CODO RECTO PPR 20 MM	UN	1	580	580
PASA MURO PVC 20 MM	UN	1,00	1.084	1.084
BOTELLA 2 LTS PET	UN	2,00	500	1.000
TEE PPR 20 MM	UN	3,00	412	1.236
TERMINAL HI PPR 20 MM	UN	3,00	1.420	4.260
TERMINAL HE PPR 20 MM	UN	2,00	2.429	4.858
ROLLO CUERDA 10 MM X 20 METROS	UN	1,00	11.924	11.924
LLAVE DE BOLA PPR 20 MM	UN	3,00	5.958	17.874
CAMARA RUEDA CARRETILLA 3,5"x 8"x 14"	UN	2,00	3.521	7.042
TUBERIA PVC 110 MM X 6 M	UN	0,50	12.597	6.299
CODO 45° PPR 20 MM	UN	4,00	580	2.320
TUBERIA PPR 20 MM DE 6 METROS PN-16	UN	2	4105	8.210
ESPONJA DORADA DE COBRE (PACK 3 UNIDADES)	UN	1	1924	1.924
PERDIDAS		5%		9.170
A) TOTAL MATERIAL				192.564
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMIENTO	VALOR H.D. (\$)	TOTAL (\$)
GASFITER	DIA	1,00	40.000	40.000
AYUDANTE	DIA	1,00	25.000	25.000
BOLETA DE HONORARIOS		10%		6.500
B) TOTAL MANO DE OBRA				71.500
TOTAL COSTO				<b>\$264.064</b>

*Ilustración 30: Análisis de precios unitarios movimiento de tierras*

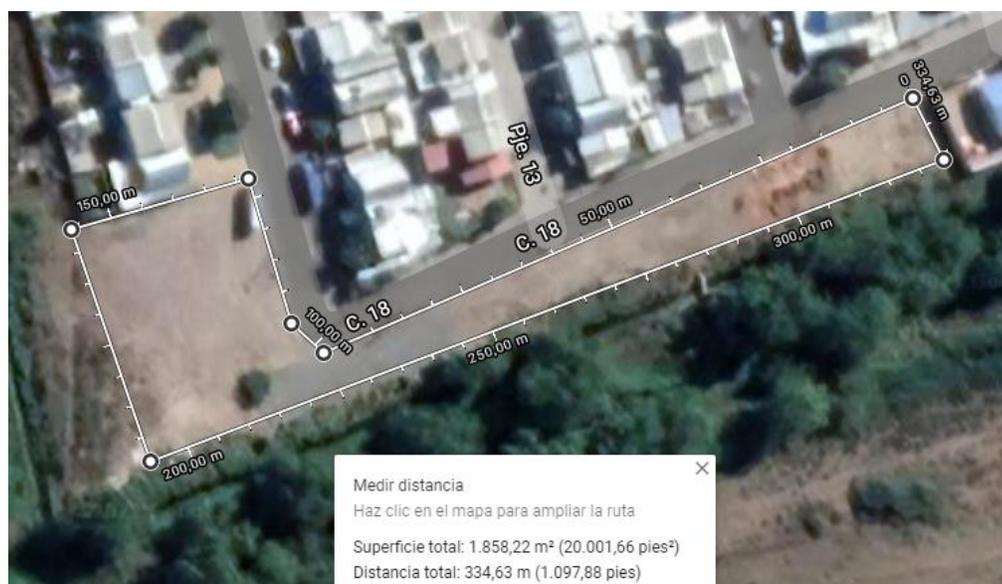
Fuente: (Elaboración propia)

### 3.2.5. Consideraciones finales de funcionamiento y producción del biodigestor.

#### Del emplazamiento y recinto de sistema de generación de biogás:

Debido a que hoy en día estas instalaciones no existen en partes urbanas, no hay legislación que permita o restrinja el emplazamiento y disposición del biodigestor con respecto a zonas habitadas, por lo tanto, para efectos de esta investigación se propone un terreno que esté relativamente cerca de la comunidad, pero a la vez a una distancia prudente en relación a las viviendas, es decir, el recinto a utilizar para la generación de biogás no debe colindar en ninguno de sus lados con edificaciones, el sitio debe estar delimitado y cerrado con cercas de mínimo 2 metros de alto y letreros de advertencias y restricciones para resguardar la seguridad tanto de las instalaciones como de los habitantes del sector evitando estrictamente el paso de animales y niños que puedan circular por el lugar.

En las siguientes imágenes se propone un sitio vacío en la Calle 18, Pasaje 13 perteneciente a la Villa San Sebastián ubicada en Rauco, Región del Maule para posibles emplazamientos del biodigestor sin perjuicio de lo escrito y visto en el Decreto Supremo 119 para Plantas de Biogás, especialmente tomando en consideración los Títulos II, III y IV.



*Ilustración 31: Terreno propuesto posibles emplazamientos para instalaciones de biogás*

Fuente: (google maps, s.f.)



*Ilustración 32: Fotografía de terreno mirando hacia posible sitio para construcción biodigestor*

Fuente: (Elaboración propia)



*Ilustración 33: Fotografía de terreno mirando en dirección a Calle 18*

Fuente: (Elaboración propia)



*Ilustración 34: Fotografía de terreno mirando hacia viviendas, Pasaje 13)*

Fuente: (Elaboración propia)

### **Manejo de biogás:**

Una vez generado y almacenado el biogás se necesita transportarlo hacia su uso final, se postulan dos formas para llevar a cabo el transporte de biogás, el primero es por tubería, desde la pequeña o mediana planta hasta las instalaciones domiciliarias, es por eso que el biodigestor debe estar relativamente cercano a las casas, no solamente porque estas aportarán la biomasa diariamente, sino que posteriormente esta energía retornará en forma de gas por tubería hacia las viviendas. Para el diseño del trazado de la línea de biogás se deben considerar varias condiciones, una de estas consideraciones son la existencia de trampas de agua en las partes más bajas de las instalaciones y con pendiente mínima de 1 % para que la conducción no presente obstrucciones por agua. Si la tubería está a la vista debe tener un marcador amarillo con la palabra biogás e indicar mediante una flecha hacia donde se dirige el flujo de gas, por otro lado las que no están a la vista tienen que estar recubiertas con una cinta plástica con el texto “biogás” advirtiendo que en esa dirección a 25 centímetros más abajo pasa la línea de gas, además la profundidad mínima a cumplir entre la parte más alta de la conducción y la superficie deberá ser de 30 cm. Con respecto a la unión entre las tuberías de biogás y los artefactos, éstas se deben impermeabilizar y sellar manteniendo la estanqueidad asegurando el perfecto funcionamiento del sistema.

La segunda forma que se podría proponer para llevar esta energía del biodigestor a los hogares, es almacenarla en balones de 45 kg al igual que el gas licuado de petróleo y es por esto que se debe realizar el cálculo de cuanto biogás se puede insertar en estos recipientes utilizando la ecuación de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

Despejando la ecuación tenemos el número de moles de  $\text{CH}_4$ :

$$n = \frac{PV}{RT}$$

La presión máxima que permite el balón de gas es de 250 PSI equivalentes a 1.723.689,323 Pascales el volumen está dado por el diámetro del cilindro (0,38 m) y su altura (1,20 m), por último, se asume una temperatura de 30 °C y la constante R equivalente a 8,3144 (J/molK) se reemplaza la ecuación:

$$n = \frac{1.723.689,323 \times \pi \times 0,19^2 \times 1,2}{8,3144 \times 303,15}$$

$$n = 93,07 \text{ moles}$$

Se utiliza el promedio de porcentaje de metano que posee este biogás el cual es de 62,5 % y se multiplica por el número de moles:

$$n \text{ metano} = 93,07 \text{ moles} \times 0,625$$

$$n \text{ metano} = 58,17 \text{ moles}$$

Ahora si tomamos la masa molar del metano que es 16,04 gramos por mol y lo multiplicamos por los moles de metano nos da lo siguiente:

$$\text{masa metano} = 58,17 \text{ (mol)} \times 0,01604 \left( \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right)$$

$$\text{masa metano} = 0,933 \text{ kg}$$

Teniendo este dato y multiplicándolo por su poder calorífico interior de 50 Kilojulios da un total de 46,65 Kilojulios por balón de 45 kg, almacenando un total de 1,42 m<sup>3</sup> de biogás en cada cilindro (producto de la multiplicación de la densidad 0,657 kg/m<sup>3</sup> y su masa 0,933 kg),

Para ambos casos se deberá demostrar a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) que el biogás destinado a la utilización domiciliaria o cualquier otro uso esté libre de ácidos sulfhídricos ya que son perjudiciales tanto para las personas como para los artefactos los cuales tienen que ser especiales para el uso de biogás ya sea de fábrica o adaptados (artículo 22, Ds 119).

### **Manejo de Biol:**

El Biol posee nutrientes y hormonas de crecimiento producto de la fermentación anaeróbica, la biomasa al ser descompuesta genera ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, estos contienen una gran cantidad de nitrógeno, carbono y azufre. Debido a estas propiedades el Biol se puede manejar de varias formas, se puede emplear como acondicionador que tiene como principal función la restitución de suelos previniendo la erosión y aumentando la permeabilidad de estos, además aumenta la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas. También se puede utilizar como biofertilizante o bioabono siendo un gran aporte de nutrientes en plantaciones favoreciendo el enraizamiento y mejora la floración aumentando la producción de la vegetación. Por lo tanto, estos efluentes se pueden utilizar en la misma comunidad para jardines y áreas verdes o para el mejoramiento de suelos de algún predio cercano a la población.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación son los siguientes:

- El consumo promedio de biogás en una vivienda social es aproximadamente 98,75 m<sup>3</sup>
- La biomasa que se produce en el hogar (Residuo Sólido Urbano) es la mayor parte de desechos vegetales y estos aportan en promedio 52,5 litros de biogás por cada kilogramo, una casa produce 2 kg de basura orgánica diaria por lo tanto cada vivienda produciría aproximadamente 105 litros diarios de biogás en un plazo promedio de 65 días.
- El apartado experimental dio como resultado y de forma notable la producción de biogás a menor escala con un volumen producido de gas bruto (sin purgar) de 17,4 litros traducidos a 47 segundos de funcionamiento de una cocinilla.
- El biodigestor proyectado teóricamente podría abastecer en su totalidad las necesidades básicas de 9 viviendas sociales utilizando la biomasa producida por 14 hogares (28 kg diarios de residuos orgánicos), proporcionalmente a esto y de forma autónoma estos 9 hogares podrían cubrir sus necesidades en un 64 %.
- Con respecto al diseño del biodigestor este cumple con los parámetros de factibilidad (largo v/s ancho), con dimensiones de 7,86 metros de largo y sección trapezoidal de 0,45 m<sup>2</sup>, este volumen de zanja está destinado al depósito de la biomasa ocupando el 75 % de la manga y dejando el 25 % restante para la producción de biogás, dicha instalación no ocuparía más de 25 m<sup>2</sup> de superficie de forma aproximada.
- El costo directo para construir el biodigestor es de \$410.064 equivalentes a 13,33 UF (UF observado el 30 de noviembre del 2021), este costo se asume sin IVA y considera todas las partidas asociadas a la instalación (replanteo y trazado, excavación e instalación) haciendo énfasis que el costo de materiales más la mano de obra empleado para la confección de la manga de geomembrana y su conducción de biogás es de \$264.064 u 8,58 UF. Estos valores comparados con otras memorias de la misma temática pero en el área rural (no afecta al costo de instalación) son más elevados debido a que las otras investigaciones ocurrieron en años anteriores al 2021, en algunos casos no consideraron mano de obra y los precios unitarios no están actualizados, por lo tanto el precio es aceptable y real.

- El emplazamiento donde se puede ubicar este sistema no está restringido por alguna normativa en especial para biodigestores urbanos, sin embargo, se aplica el Decreto Supremo 119 para Plantas de Biogás, sobre todo los Títulos II, III y IV.
- Acerca del manejo de los productos del biodigestor, el biogás se puede transportar por tubería desde el reservorio de gas que debe estar obviamente cerca del biodigestor hacia las viviendas, idealmente a no más de 100 metros de la planta de biogás, si se quiere transportar por cilindros utilizados usualmente en gas GLP de 45 kg, el gas metano total transportado por balón sería de 1,42 m<sup>3</sup> o 0,933 kg llevando en este recipiente una energía equivalente a 46,65 Kilojulios, si se compara con un balón de gas licuado, el gas GLP transporta casi 45 veces más energía que el balón con gas metano, si bien el gas propano posee menor poder calorífico interno (45,36 KJ/Kg) que el metano (50 KJ/kg) la diferencia radica en la masa debido a que el propano a 250 PSI se convierte en líquido y entran 45 kg como lo indica su recipiente y el biogás a la misma presión no se licua por lo tanto cabe menos masa gaseosa en el cilindro. El Biol se puede ocupar de distintas maneras mejorando suelos (propiedades físicas y/o químicas) y como abono tanto de forma particular (para cada vivienda o algún predio) o de forma comunitaria en áreas comunes como áreas verdes, plazas, entre otras.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis anterior se puede concluir lo siguiente:

- El consumo de biogás en una vivienda es mucho mayor que el consumo de gas GLP, sin embargo, no es imposible de generar.
- La biomasa a utilizar al ser en mayor parte residuo vegetal se debe emplear una cantidad mucho mayor que en el caso del estiércol de ave y menor que si utiliza desecho de porcino y/o bovino ,debido a su rendimiento de producción de biogás, entonces si lo comparamos con sus contra partes orgánicas ,teóricamente el residuo domiciliario puede producir una cantidad intermedia de gas por lo tanto sirve para alimentar un biodigestor, teniendo solamente la particularidad de que se necesita mucha biomasa ya que cada kg de desecho vegetal genera en promedio 52,5 litros de gas metano el cual para fines energéticos es muy poco.
- De la parte experimental se puede concluir en forma práctica que se puede crear biogás y reafirma la conclusión anterior de que se necesita mucha biomasa para generar una cantidad importante de biogás además de incluir que el tiempo de retención es importante en la creación de gas metano ,efectivamente este se demora en promedio un poco más de 2 meses en degradar por completo la biomasa y de acuerdo al experimento se puede notar que a partir de la primera semana comienza la producción de metano.
- Ya analizados los resultados en relación al cálculo y diseño del biodigestor se concluye que este sistema puede abastecer totalmente las necesidades energéticas de las viviendas propuestas, necesitando 5 casas más por cada 9 casas para cumplir la demanda de biomasa , es decir cada 14 casas 9 serían beneficiadas con esta energía en el caso de que solos los hogares beneficiarios aporten sus residuos, se espera que el diseño del digestor sea más pequeño y este pueda cumplir con más de la mitad de las necesidades energéticas de cada hogar que a nivel económico y ambiental aun así es bastante beneficioso. Esta iniciativa no solamente fomentaría a la solidaridad de las familias al ayudar a la producción de este combustible para los más necesitados, sino que también concientizaría a la comunidad las cuales se espera que utilicen el biodigestor para depositar su basura orgánica.
- Para la materialización del biodigestor se concluye que el lugar propuesto se podría utilizar para instalar el sistema más un reservorio de gas siempre y cuando se tome en cuenta todas

las precauciones e indicaciones de acuerdo al Decreto Supremo N°119 y la autorización de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles debido que no existe normativa asociada a biodigestores urbanos, dadas las dimensiones del diseño del biodigestor se asume que no necesitaría más de 25 m<sup>2</sup> para la instalación del dispositivo productor de biogás, por lo tanto no se ocuparía más espacio de lo que ocupa una vivienda social.

- El costo de instalación es bastante bajo como se esperaba debido a que este tipo de biodigestor no es tan costoso a pesar de la constante alza en los materiales de construcción, con un buen financiamiento no tendría problemas para ser ejecutado, ya sea subsidio, apoyo de la municipalidad, algún fondo concursable para el estado o costado entre los mismos vecinos.
- Los productos asociados al funcionamiento constante del biodigestor son bastante beneficiosos .El biogás es un gran aporte tanto energético como ambiental ya que sería el reemplazante del gas licuado y gas natural ,entre otros combustibles, sin embargo se considera estudiar la posibilidad de transporte ya que se concluye en esta investigación que técnicamente es mejor distribuir el biogás por tubería que por cilindros ,un cilindro con gas con metano transportaría casi 45 veces menos la energía de un balón con gas licuado ,es decir para cubrir la necesidad mensual en una vivienda se necesitaría recargar 70 veces el envase de gas, por lo tanto este último método de transporte no sería factible . Por otro lado, tenemos el Biol, producto secundario de la biometanización que le da un valor agregado a este análisis debido a que mientras se produce gas se puede utilizar este fertilizante mejorando tanto el crecimiento y calidad de la flora como las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo a tratar y puede ser de uso masivo, localizado, privado o común.

En síntesis y de forma general a través de todos estos análisis , se concluye que el biodigestor aplicado a una zona urbana es prefactible pero con ciertos detalles, en el área constructiva presenta resultados aceptables sin observaciones importantes solamente señalar que habría que proponer a futuro un proyecto de ley que regule las instalaciones de biogás en estas condiciones (no rurales) ,sin embargo para llevar a cabo este proyecto se debe destacar un gran nivel de compromiso social en el tema del reciclaje de materia orgánica ya que es bastante demanda diaria de biomasa que se necesita, en lo que respecta al transporte del biogás se sugiere investigar otro tipo de transporte ,por ejemplo la creación de un cilindro o balón en el que se pueda almacenar una mayor cantidad de gas metano para eliminar la dependencia de la distancia entre el biodigestor y la vivienda beneficiaria más lejana. Finalmente, si se quiere seguir con este estudio hacia una posible factibilidad y puesta en marcha, se recomienda no solamente el punto de vista

constructivo sino que también este se debe analizar en conjunto con un análisis bioquímico , también desde el área de la agronomía y por último pero no menos importante desde la ingeniería ambiental, asegurando que este sistema funcione de acuerdo a la normativa , ordenanzas y planes reguladores, buscando la mayor producción de biogás, maximizando y tecnificando la utilización del Biol, todo esto pasando por un último filtro evaluando el impacto ambiental. Este sistema aparte de ser aplicado a viviendas sociales como se pudo apreciar en esta investigación se podría aplicar también a otras infraestructuras donde se necesite energía (ya sea en forma de gas para utilizar en baños y/o cocinas o para generar electricidad) como en una sede social, un gimnasio polideportivo, un establecimiento educacional, municipalidad, entre otras, dejando esta memoria un punto de partida en la posibilidad de aprovechar los residuos orgánicos transformándolos en energía alternativa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Aguas Residuales. (RECYTRANS)
2. Alicia Grima, Montse Masanas, Gemma Nohales, Marta Villa. (2013). *Gestión de Biorresiduos de Competencia Municipal*, España, Madrid.
3. Arellano, A., Cifuentes, L. y Ríos, C. (2020, 25 de mayo). Las zonas oscuras de la evaluación Ambiental que autorizó “a ciegas” el megaproyecto de Google en Cerrillos. CIPER.
4. BERGAMINI, K., IRRARÁZABAL, R., MONCKEBERG, J.C., & PEREZ, C. (2017). Principales problemas ambientales en Chile: desafíos y propuestas. Santiago de Chile
5. Cabrera, Fernández, Emilio, y Echarte del Sol Nicasio (2008). Energía renovable y no Renovable. Cuba
6. Carlos Orellana Céspedes (2017). *Diario Oficial de la República de Chile*. Santiago, Chile
7. Decreto N° 66, de 2 de febrero del año 2.007 “Aprueba Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas”.
8. DISTRIDALAM. (2021). <https://www.distriladam.com/>.
9. El reciclaje. (2018). LINEA VERDE
10. Elvira Calle de Antequeda. (s.f). *Biodigestor*. Mendoza, Argentina:
11. Energía Mecánica. (2020) Centro Estudios Cervantinos.
12. Energías Renovables Convencionales y No Convencionales. (2021, 31 de mayo). Electro Industria.
13. Esteban Andrés Chamorro Carrasco, Diego Alfonso Echeverría E. Sergio Monroy Morales
14. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos. (2021-2040). Ministerio del Medio Ambiente.
15. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos que propone ambiciosa meta de reciclaje. (2020, 4 de agosto). Ministerio del Medio Ambiente.
16. Flores, J. P., Espinosa, M., Martínez, E., Henríquez, G., Avendaño, P., Torres, P. y Ahumada, i. (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. CIREN.
17. Fica, R. (2017). Plan de descontaminación atmosférica del valle central de la provincia de Curicó, Teno, Rauco, Sagrada Familia, Romeral. Santiago de Chile: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.
18. Google. (s.f.). [Calle 18, Pasaje 13 perteneciente a la Villa San Sebastián, comuna Rauco, Provincia de Curicó, Región del Maule, Chile]. Recuperado el 20 de noviembre de 2021

<https://www.google.cl/maps/place/C.+18,+Rauco,+Maule/@-34.9314886,-71.3205278,161m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x96645a4ef50dcae3:0xa2c797bca3377fda!8m2!3d-34.9314897!4d-71.3199806>

19. Guevara A, N. (2013). ENERGIAS RENOVABLES EN ACORDE CON EL MEDIO AMBIENTE. Portal de la Red Cubana de la Ciencia. Ciencia y Tecnología en Cuba
20. Hoffman, A. (2016). Ambiental y residuos. Ministerio del Medio Ambiente.
21. Iván Corona Zúñiga, Ernesto Alonso Cruz B. (2007). Biodigestores. Hidalgo, México:
22. Jaime Mulet Martínez, Esteban Velásquez, Núñez. (2020). *Proyecto de ley que modifica la ley general de Urbanismo y Construcciones estableciendo una superficie mínima para las viviendas económicas y sociales y otras exigencias que indica*
23. Javier Andrés P, Roberto Corvalá P, Marco Antonio B. Leonel Núñez L. (2010). *Estudio y diseño de un Biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*. Santiago, Chile:
24. Ludeña Urquizo, M. S. F. y Aguilar Gálvez, A. (2018), MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS EMPRESAS ALIMENTARIAS. Facultad de industrias alimentarias
25. Martí Herrero J. 2019. Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación. Ecuador:
26. María Teresa Varnero Moreno. (2011). Manual de Biogás. Santiago, Chile:
27. (2020). Ministerio del Medio Ambiente presenta Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos que propone ambiciosa meta de reciclaje. Santiago de Chile:
28. MEDIAGROUP, S. B. (1 de OCTUBRE de 2014). *REVISTAEI.CL*. Obtenido de [revistaei.cl/2014/10/1/gas-narutal-por-red-es-hasta-18-mas-carro-que-glp-en-segmentos-de-menor-consumo/](http://revistaei.cl/2014/10/1/gas-narutal-por-red-es-hasta-18-mas-carro-que-glp-en-segmentos-de-menor-consumo/)
29. Navech, A. (2020, 18 de junio). ¿Cómo es la cadena de reciclaje en Chile? Todos reciclamos
30. Noruega y Suecia importan basura para producir energía. (2018, 16 de marzo). INFOBAE
31. Nuevo caso de Corrupción en el Gobierno: Se va Subsecretario de Medio ambiente por diferencias con Cuestionables Gastos en la COP 25. (2020, 2 de noviembre). RED DIGITAL
32. Pon, J. (2019, 7 de febrero). Gestión de residuos. ONU Medio Ambiente.
33. Planas, O. (2015, 11 de diciembre). ¿Qué es la energía química?, Energía nuclear.
34. PROCOBRE. (2001). INSTALACIONES DE GAS BAJA PRESION.
35. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2021). Hacer las paces con la naturaleza: Plan científico para hacer frente a las emergencias del clima, la biodiversidad y la contaminación

36. (2018). *Proyecto de un Biodigestor para vivienda rural*. Concepción, Chile:
37. Qué es la energía nuclear. (Twenergy)
38. Qué es la energía eléctrica). (2019, 1 de Febrero). Twenergy.
39. Raúl Botero, Thomas R. Preston (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Colombia:
40. Romero, G. M. (2017). ¿Que es el Biogás? *Aqualimpia Engineering*, 11.
41. Tipos de energía. Fundación vida sostenible
42. Valerio Tapia. (2016). Instalación y uso de Biogás. Caré, Perú: