

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**ESTUDIO Y DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS Y BIOABONO**

Alumnos:

Matías Cuevas Yantén

Miguel Díaz Gálvez

Profesor Guía:

Marcelo Quiroz Neira

Trabajo de Titulación para la optar al Título
de Ingeniero en Ejecución de Mecánica de
Procesos y Mantenimiento Industrial.

2023

RESUMEN

En este documento se propone una visión detallada sobre el biogás y los biodigestores, destacando su importancia en la producción de energía renovable y tratamiento de residuos orgánicos, y como estos pueden contribuir al desarrollo sostenible de las zonas rurales en Chile.

El marco teórico inicia aludiendo a la energía, incluyendo su definición y clasificación, y la creciente importancia de las fuentes renovables en Chile. Se menciona que la biomasa es una fuente de energía renovable que se puede obtener de materia orgánica y convertir en energía térmica, eléctrica o biocombustible a través de diferentes métodos de producción.

Se implementa la metodología AHP para el proceso de selección demográfica del biodigestor, destacándose la cuarta región como la más apta para la instalación del biodigestor. Además, se diseña un prototipo de biodigestor tipo batch semi-continuo, se brinda información detallada sobre los costos asociados al uso de diferentes tipos de combustible para cocinas en Chile, proyectando una evaluación económica para cada tipo de combustible en un período de 3 años siendo el biogás la mejor alternativa.

ABSTRACT

This paper proposes a detailed overview of biogas and biodigestors, highlighting their importance in renewable energy production and organic waste treatment, and how these can contribute to the sustainable development of rural areas in Chile.

The theoretical framework begins by referring to energy, including its definition and classification, and the growing importance of renewable sources in Chile. It is mentioned that biomass is a renewable energy source that can be obtained from organic matter and converted into thermal electric or biofuel energy through different production methods.

The AHP methodology is implemented for the demographic selection process of the biodigestor, with the fourth region being highlighted as the most suitable for the installation of the biological digester. In addition, a prototype of a semi-continuous batch type biodigestor is designed, detailed information is provided about the costs associated with the use of different types of fuel for kitchens in Chile, projecting an economic assessment for each type of fuel over a period of 3 years being Biogas the best alternative

DEDICATORIA

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres, hermana y abuelos, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios para que este logro sea una realidad.

Dedico este trabajo a mis profesores, cuyas enseñanzas han sido la base de mi desarrollo académico profesional. En especial a un profesor de la enseñanza media quien fue la primera persona en decirme que no me arrepentiría de estudiar Ingeniería en la Universidad Técnica Federico Santa María.

Le dedico además un agradecimiento especial a mi querido amigo y compañero de tesis, Miguel Díaz, su colaboración indispensable, ingenio y amistad que hicieron posible la realización de este trabajo y un pasar académico imborrable afrontando desafíos con triunfos y derrotas, pero siempre con un mutuo apoyo y frente en alto.

Matías Bastián Cuevas Yantén

Esta memoria está dedicada a toda mi familia:

A mis queridos padres M^a Cecilia y Miguel quienes, con su amor incondicional, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño. A mis hermanos Matías y Lucas por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A mi tía Gladys, cuya sabiduría, aliento y apoyo han sido de gran ayuda en mi camino. Gracias por ser una fuente constante de motivación, inspiración y experiencia.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes que han compartido este viaje conmigo. Sus sacrificios, amor y paciencia han sido pilares que han sostenido mi éxito.

Con eterna gratitud,

Miguel Andrés Díaz Gálvez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Técnica Federico Santa María por brindarnos la oportunidad de pertenecer a la familia sansana, ampliar nuestros conocimientos durante todos estos años de formación y poder convertirnos en profesionales. Nuestra gratitud a los docentes de la sede Rey Balduino de Bélgica que nos ayudaron y orientaron a resolver nuestras dudas durante este proceso de memoria, en especial al docente Mag. Diego Soto el cual fue una fuente de motivación, inspiración y un pilar fundamental en la realización de este proyecto a una alternativa de energía renovable.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS.....	9
SIGLA Y SIMBOLOGÍA.....	10
CAPITULO 1.....	12
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPITULO 2.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.3 ANTECEDENTES	14
2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	15
2.5 RESTRICCIONES DEL PROYECTO	15
2.6 MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN	15
CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO.....	17
3. ENERGÍA	17
3.1 CLASIFICACIÓN DE ENERGÍAS	19
3.1.1 Energía no Renovable	20
3.1.2 Energía Renovable	20
3.2 BIOMASA.....	21
3.2.1 Tipos de Biomasa	22
3.2.2 Conversión de la biomasa en energía	23
3.2.2.1 Métodos Termoquímicos	23
3.2.2.2 Métodos Bioquímicos	23
3.2.3 Energías obtenidas de la Biomasa	24
4. BIOGÁS	24
4.1 PROCESOS DE BIODIGESTIÓN	27
4.1.1 Digestión aeróbica	27
4.1.2 Digestión anaeróbica	28

4.1.3	Fermentación anaeróbica.....	29
4.2	TECNOLOGÍA DE BIODIGESTORES.....	29
4.3	COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO	30
4.3.1	Reactor.....	30
4.3.2	Entrada del afluente.....	31
4.3.3	Salida del afluente.	31
4.3.4	Extracción de lodos.	31
4.3.5	Sistema de gas.	31
4.3.6	Cúpula de gas.	32
4.3.7	Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.....	32
4.3.8	Apagallamas.	33
4.3.9	Válvulas térmicas.	33
4.3.10	Separadores de sedimentos.....	33
4.3.11	Purgadores de condensado.	33
4.3.12	Medidores de gas.....	33
4.3.13	Manómetros.....	34
4.3.14	Reguladores de presión	34
4.3.15	Almacenamiento del gas.	34
4.3.16	Quemador de los gases sobrantes.....	34
4.3.17	Muestreador.....	35
4.4	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL DIGESTOR.....	35
4.5	TIPOS DE BIODIGESTORES	35
4.6	BIODIGESTOR SEGÚN SU TIPO DE CARGA.....	37
4.7	BIODIGESTORES SEGÚN SU METODO DE CONSTRUCCION.....	38
5.	BIOABONO	40
6.	METODOLOGÍA AHP.....	40
6.1	PASOS PRINCIPALES DEL MÉTODO AHP	41
7.	TABLA COMPARATIVA BIOGÁS VS OTRAS FUENTES	48
8.	AUTOCAD.....	49
9.	INVENTOR	49

10. TINKERCAD.....49

11. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....50

11.1 ¿QUIÉN VENDRÍA SIENDO ÉL SEA? 50

11.2 ¿CUÁL ES EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL?

51

11.2.1 Diferencias del procedimiento de evaluación entre una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA).....51

11.2.2 Contenidos comunes de una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA) 52

11.2.3 Contenidos mínimos de una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA) 52

11.2.4 Diagrama de flujo de un estudio de impacto ambiental 53

11.2.5 Diagrama de flujo de una declaración de impacto ambiental.....53

CAPITULO 4: DISEÑO SOLUCIÓN.....55

12. SELECCIONAR LA UBICACIÓN DEMOGRÁFICA PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR POR METODOLOGÍA AHP 55

13. CUANTIFICAR LA CANTIDAD Y DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS, PRINCIPALMENTE RESIDUOS ORGANICOS.....60

14. ESTUDIAR Y SELECCIONAR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LA FEMETACION ANAERÓBICA.....61

15. ESTUDIAR EL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL BIODIGESTOR 64

16. DISEÑAR EL PROTOTIPO DEL BIODIGESTOR.....65

17. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL BIODIGESTOR 69

17.1 CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO.....69

17.2 FLUJO DE CAJA.....70

17.2.1 Flujo de caja Leña 70

17.2.2 Flujo de caja Gas Licuado 71

17.2.3 Flujo de Caja Biogás 72

17.3 COMPARACIÓN DE VALOR ACTUAL DE COSTOS (VAC) 73

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES.....74

BIBLIOGRAFIA.....75

ANEXOS 77

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 BIODIGESTOR DE DOMO FLOTANTE 38

FIGURA 4.2 BIODIGESTOR DE ESTRUCTURA SOLIDA FIJA..... 39

FIGURA 4.3 BIODIGESTOR BALÓN DE PLÁSTICO O TIPO SALCHICHA 40

FIGURA 6.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA..... 41

FIGURA 11.1 INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN SEIA..... 51

FIGURA 11.2 DIAGRAMA DE FLUJO EIA 53

FIGURA 11.3 DIAGRAMA DE FLUJO DIA 54

FIGURA 12.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA..... 55

FIGURA 12.2 ESCALA SUBYACENTE 55

FIGURA 13.1 CENSO AGROPECUARIO 2020-2021 60

FIGURA 13.2 EXISTENCIA ANIMAL DE CAPRINOS..... 61

FIGURA 16.1 P&ID DEL BIODIGESTOR 65

FIGURA 16.2 PROTOTIPO BIODIGESTOR INVENTOR 67

FIGURA 16.3 PROTOTIPO BIODIGESTOR RENDER 67

FIGURA 16.4 CONEXIONADO SENSOR ULTRASÓNICO..... 68

FIGURA 17.1 CUBICACIÓN DE CAÑERÍAS Y TUBOS..... 70

INDICE DE TABLAS

TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIOGÁS 25

TABLA 4.2 ESQUEMA DE REACCIONES DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA 27

TABLA 4.3 COMPARATIVA DE LOS TIPOS DEL BIODIGESTOR 37

TABLA 6.1 COMPARACIÓN POR PARES CRITERIOS VS CRITERIOS..... 42

TABLA 6.2 CÁLCULO DE PRIORIDAD EN PCM 43

TABLA 6.3 PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DE PRIORIDAD PCM 43

TABLA 6.4 COMPARACIÓN POR PARES CRITERIOS VS CRITERIOS..... 43

TABLA 6.5 RANKING DE PRIORIDAD 44

TABLA 6.6 VALORES DE PRIORIDAD DE CADA ALTERNATIVA..... 45

TABLA 6.7 INDICE DE CONSISTENCIA EN PCM 46

TABLA 7.1 PROPIEDADES BIOGÁS VS OTRAS FUENTES 49

TABLA 11.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL DIA Y EIA..... 51

TABLA 11.2 ARTÍCULOS DE LA LEY 19.300 MEDIO AMBIENTE 52

TABLA 11.3 CONTENIDOS MÍNIMOS DE UN DIA Y EIA 53

TABLA 12.1 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES CRITERIOS..... 56

TABLA 12.2 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES EMPRENDIMIENTO REGIONES VS REGIONES..... 56

TABLA 12.3 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES RAZA ANIMAL REGIONES VS REGIONES 56

TABLA 12.4 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES TECNOLOGÍA REGIONES VS REGIONES 57

TABLA 12.5 MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES CLIMA REGIONES VS REGIONES 57

TABLA 12.6 PCM MÉTODO POTENCIA 57

TABLA 12.7 PCM 58

TABLA 12.8 RESUMEN DE MATRIZ DE ITERACIONES..... 58

TABLA 12.9 VECTORES PRIORITARIOS DE CADA PCM 58

TABLA 12.10 VALORES DE PRIORIDAD 59

TABLA 12.11 VALORES DE RI 60

TABLA 14.1 RANGOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA 61

TABLA 14.2 SOLIDOS TOTALES DENTRO DE LAS EXCRETAS ANIMALES..... 62

TABLA 14.3 DATOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 63

TABLA 16.1 CÓDIGO DE CONEXIONADO ARDUINO 69

TABLA 17.4 FLUJO DE CAJA LEÑA	71
TABLA 17.5 COSTOS ANUALES GAS LICUADO	72
TABLA 17.6 FLUJO DE CAJA GAS LICUADO	72
TABLA 17.7 COSTO ANUAL BIOGÁS.....	72
TABLA 17.8 FLUJO DE CAJA BIOGÁS	72
TABLA 17.9 COMPARATIVA VAC	73

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
CAD	Software de diseño asistido por computador
CI	Índice de consistencia
COVA	Cara volumétrica de alimentación
CR	Ratio de consistencia
CSG	Geometría solida constructiva
DBO5	Demanda bioquímica de oxigeno
ECC	Efectos, características o circunstancias
EPDM	Etileno propileno dieno tipo M
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
FRP	Polímeros reforzados con fibras
GLP	Gas licuado de petróleo
GN	Gas Natural
LPDE	Polietileno de baja densidad
PAC	Participación ciudadana
PCM	Matriz de Comparación por Pares
PLADECO	Plan de desarrollo comunal
PVC	Policloruro de vinilo
RAE	Real Academia Española
RI	Índice de aleatorio de CI
RSEIA	Reglamento del sistema de evaluación medio ambiental
SEA	Servicio de evaluación medio ambiental
SEIA	Sistema de evaluación de impacto ambiental
STL	Archivo para impresión 3D (Estereolitografía)
SV	Solidos volátiles
SVG	Gráficos vectoriales escalables
TRH	Tiempo de retención hidráulico

USDZ	Archivo ZIP
UV	Radiación ultravioleta
VCO	Velocidad de carga orgánica
VAC	Valor Actual de Costos
2D	Acrónimo de 2 Dimensiones
3D	Acrónimo de 3 Dimensiones

SIMBOLOGÍA

CO ₂	Dióxido de Carbono
kg	Kilo gramo
m ³	Metro cúbico
N	Newton
s ²	Segundo al cuadrado
H	Hidrogeno
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
V	Volumen
w	Peso en <i>Newton</i> de algo
γ	Gamma
kWh	Kilovatio hora
L	Litros
atm	Atmósfera
mol	moles
pH	Potencial de hidrógeno
C ₂ CL ₄	Tetracloroetileno
CV	Cloruro de vinilo
HDPE	Polietileno de alta densidad
cm	centímetros
°C	Celsius
bar	Unidad de presión
cc	Centímetro cubico

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Las primeras menciones sobre el biogás se remontan al año 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica, siendo chinos e hindús los precursores de los digestores hoy conocidos como biodigestores, que son los distintos sistemas diseñados para la producción de biogás. En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la india y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

La actividad agropecuaria y el manejo adecuado de residuos rurales pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetal (biomasa) en distintas formas de energía. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible y/o electricidad. De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola (bioabono) y al mismo tiempo, producir energía gaseosa (biogás).

Uno de los sistemas más utilizados para la producción de biogás es el biodigestor, un dispositivo que permite controlar y acelerar el proceso de digestión anaeróbica de manera eficiente. Los biodigestores son estructuras diseñadas para crear condiciones óptimas de temperatura, humedad y mezcla para el desarrollo de bacterias que descomponen la materia orgánica y generan el biogás como subproducto.

Estos sistemas ofrecen múltiples beneficios como obtener un combustible limpio y renovable, sino que también contribuyen a la digestión adecuada de los residuos orgánicos, evitando su acumulación y reduciendo los impactos ambientales negativos.

Desde una perspectiva de los países desarrollados y en desarrollo, la biotecnología anaeróbica contribuye a cumplir tres necesidades básicas:

- a) Mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación.
- b) Generación de energías renovables para actividades domésticas.
- c) Suministrar materiales estabilizados (bioabono) como biofertilizantes para los cultivos.

Por lo tanto, la biotecnología anaeróbica juega un importante papel en el control de la contaminación y para la obtención de valiosos recursos; energía y productos con valor agregado.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el diseño de un Biodigestor para la producción de biogás y bioabono por método de fermentación anaeróbica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar la ubicación demográfica para la instalación del biodigestor por metodología AHP.
- Cuantificar la cantidad y disponibilidad de materias primas, principalmente residuos orgánicos.
- Estudiar y seleccionar residuos orgánicos para la fermentación Anaeróbica.
- Estudiar el impacto ambiental que generan los biodigestores.
- Diseñar el prototipo del Biodigestor.
- Evaluación económica del Biodigestor.

CAPITULO 2

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.3 ANTECEDENTES

Los sistemas productivos del mundo viven un desafío importante de sustentabilidad y giro hacia energías más limpias. La digestión anaerobia es una tecnología que puede atenuar el impacto que producen los sistemas pecuarios en el medio, además de generar un nuevo recurso, el biogás, junto con otros beneficios ambientales, económicos y sociales.

La actividad agropecuaria está siendo impulsada desde los gobiernos como parte de la estrategia para la reducción de la pobreza. El desarrollo agropecuario descontrolado implica ampliación de frontera agrícola, nuevos asentamientos humanos en zonas de colonización, mal uso de agroquímicos y contaminación, mal manejo de los residuos orgánicos, potencialmente contaminantes de acuíferos y ecosistemas, deforestación por consumo de leña tanto para cocinar como para usos productivos (secado de café, quesos, yogures, secado de frutas, etc.).

El consumo de leña en los hogares para cocinar, además de deforestación, implica problemas respiratorios, cáncer, irritación de ojos, y otras enfermedades, principalmente en mujeres y niños. Además, son estos dos grupos sobre los que recae la carga de trabajo de búsqueda y recogida de leña. Por todo esto, el desarrollo agropecuario debe ir acompañado de sensibilización, capacitación, promoción de tecnologías y normativas que permitan un desarrollo productivo sustentable.

Una familia que pueda disponer de unos 20 kg de estiércol fresco al día ya sea de dos o tres vacas, o de varios cerdos, o unas decenas de ovejas, y que tenga acceso a agua, aunque no sea potable, durante la mayor parte del año, puede introducir un biodigestor de bajo costo en su modo de producción obteniendo:

- Energía
- Rendimiento de cultivos y conservación de suelos

- Salud familiar
- Tecnología sustentable
- Bajo costo de inversión

2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este estudio se realizará un prototipo de biodigestor por degradación anaeróbica para la obtención de biogás y bioabono, utilizando desechos fecales ganaderos como combustible; en ausencia de oxígeno dentro del biodigestor se genera un ambiente biológico activo que por acción de microorganismos (bacterias) provocan la fermentación anaeróbica, obteniendo como resultado biogás (metano y dióxido de carbono), además de líquidos lixiviados¹ que se pueden utilizar como fertilizantes (bioabono).

2.5 RESTRICCIONES DEL PROYECTO

- Se considerará solo como combustible el purín (fecales ganaderas + agua).
- En este estudio se diseñará un prototipo de biodigestor anaeróbico y no su fabricación.

2.6 MOTIVACIÓN O JUSTIFICACIÓN

Hoy en día es imperativo encontrar nuevas formas de aprovechar los desechos orgánicos generados por humanos y animales, reduciendo las emisiones de efecto invernadero e implementando nuevas tecnologías como el biodigestor para la obtención de biogás (energías renovables).

Se estima que diariamente en Chile se generan más de 60.000 m^3 de purines provenientes de las industrias ganaderas, avícolas y porcinas, que pueden liberar altas concentraciones de metano al medio ambiente. Sin embargo, también pueden ser una fuente de generación de energía —al convertirlas en biogás—, con lo que no solo se minimiza su impacto en el entorno, sino que se transforman en una solución para requerir menos combustibles fósiles y generar ahorros económicos. (Millar, 2021)

¹ Lixiviados: sustancia líquida, densa y que produce mal olor.

Uno de los enfoques principales de este proyecto es poder facilitar energía renovable no convencional (ERNC) con el fin de la reducción de costos para las zonas rurales y/o donde abundan los criaderos de animales, así cubriendo las necesidades más básicas; calefacción, cocina, entre otros, generando una conciencia ecológica respecto a las formas alternativas de obtención de energía.

CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO

3. ENERGÍA

La energía es la capacidad de que poseen los cuerpos para poder efectuar un trabajo a causa de su constitución (energía interna), de su posición (energía potencial) o de su movimiento (energía cinética).

Aunque la energía puede cambiar de forma en los procesos de conversión energética, la cantidad de energía se mantiene constante conforme con el principio de conservación de la energía que establece que “la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma”. Por consiguiente, la energía total de un sistema aislado se mantiene constante y en el universo no puede existir creación o desaparición de energía, sino transferencia de un sistema a otro o transformación de energía de una forma a otra.

Thomas Young introdujo a principio del siglo XIX el concepto de energía de un sistema como la capacidad que tiene el sistema de realizar un trabajo. Posteriormente, se estableció la equivalencia entre calor y trabajo, de modo que podemos ampliar la definición de energía como *la capacidad que tiene un sistema de realizar trabajo o transferir calor*. En esencia, esta definición simple puede manifestarse de muchas formas:

- Energía térmica

La energía térmica también está asociada con el movimiento, pero en este caso es el movimiento de los objetos a nivel atómico. La energía térmica se deriva de la energía cinética de átomos o moléculas dentro de un sistema. En otras palabras, los átomos y moléculas de todas las sustancias están en movimiento constante a cualquier temperatura por encima del cero absoluto, y esto es cierto incluso para los sólidos. La energía térmica de un material, medida por su temperatura, está relacionada con el movimiento de los átomos y las moléculas dentro de ese material: los materiales calientes contienen moléculas que se mueven muy rápidamente, mientras que los materiales más fríos tienen moléculas que se mueven más lentamente.

- Energía química

La energía química también está relacionada con los átomos y las moléculas, pero es una función de su estructura e interacción en contraposición a su movimiento. Como se describe en nuestro módulo Enlace químico, los átomos y las moléculas pueden unirse entre sí como resultado de su estructura electrónica. Similar a cuando levantamos o dejamos caer un objeto dentro de un campo de fuerza gravitacional, la unión de dos átomos representa una interacción dentro de un campo de fuerza electromagnético. Y esta interacción da como resultado un cambio de energía. En algunos casos, los cambios químicos requieren la entrada de energía, mientras que en otros casos los cambios

químicos emiten energía en forma de calor, energía mecánica (como durante una explosión) o energía eléctrica (como en una batería).

- Energía nuclear

Los átomos también contienen energía almacenada en función de sus estructuras internas. Dentro del núcleo del átomo, la fuerte fuerza nuclear mantiene unidos a los protones y neutrones. La ruptura o formación de estas interacciones nucleares puede absorber o liberar energía nuclear. Estos procesos pueden ocurrir naturalmente, como cuando un elemento radiactivo como el uranio se desintegra. De hecho, el calor de los elementos radiactivos naturales de la corteza terrestre contribuye sustancialmente a la producción de calor en el núcleo de la Tierra. También pueden ser estimulados para que ocurran artificialmente, y la energía nuclear liberada por estos procesos radiactivos estimulados es lo que impulsa a las plantas de energía nuclear.

- Energía electromagnética

Otra forma de energía se asocia con partículas incluso más pequeñas que los átomos. La energía electromagnética es causada por el movimiento de los fotones, que son paquetes de energía que se comportan como partículas y como ondas. Los fotones componen todas las formas de radiación electromagnética con las que estamos familiarizados, como la luz visible, infrarroja y ultravioleta, las ondas de radio y las microondas, así como aquellas con las que podríamos estar menos familiarizados, como la radiación gamma. La energía electromagnética a menudo provoca cambios en el nivel de energía de los electrones dentro de los átomos o en el movimiento de átomos y moléculas. Por ejemplo, las moléculas de agua pueden absorber la radiación de microondas, lo que hace que vibren, aumentando su energía térmica y calentando la comida en el proceso. Y las ondas ultravioletas pueden dañar las moléculas de la propia piel, provocando quemaduras solares incluso en ausencia de energía térmica.

- Energía eléctrica

La energía eléctrica también se basa en el movimiento de partículas asociadas a los átomos, pero en este caso es el flujo de electrones dentro de un sistema. La energía eléctrica se puede generar de varias formas. Por ejemplo, ciertas reacciones químicas, como las que tienen lugar en las baterías, hacen que fluyan los electrones. Además, mover físicamente un conductor como un metal en un campo magnético puede generar corriente eléctrica. Y la luz también puede estimular el flujo de electrones en ciertos materiales, como las células fotovoltaicas. Una vez que se genera la corriente eléctrica, puede fluir a través de materiales que tienen electrones adheridos "suelos", específicamente metales, lo que los convierte en buenos conductores de electricidad.

3.1 CLASIFICACIÓN DE ENERGÍAS

La energía se puede obtener de dos tipos de fuentes; renovables y no renovables. La energía renovable proviene de fuentes ilimitadas, principalmente la tierra y el sol; su disponibilidad no disminuye con el pasar del tiempo. Además, se puede obtener de los residuos orgánicos (biomasa).

Por el contrario, las energías no renovables dependen del aprovechamiento energético que brindan recursos naturales limitados, estos provienen de yacimientos de minerales (uranio-plutonio) y combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural. Ver figura 3.1.1.



Figura 3.1 Tipos de Fuentes Energéticas

Fuente <https://www.enestadocrudo.com/fuentes-energia-renovables/>

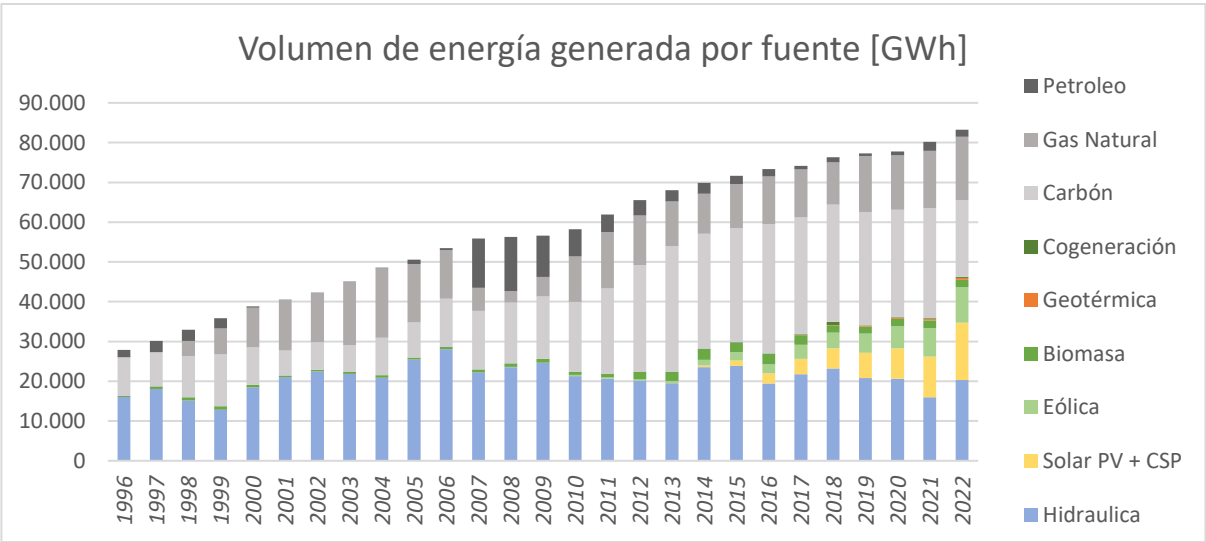


Figura 3.1.1 Balance Histórico 1996 a 2022 de las fuentes de energía en Chile

Fuente <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>

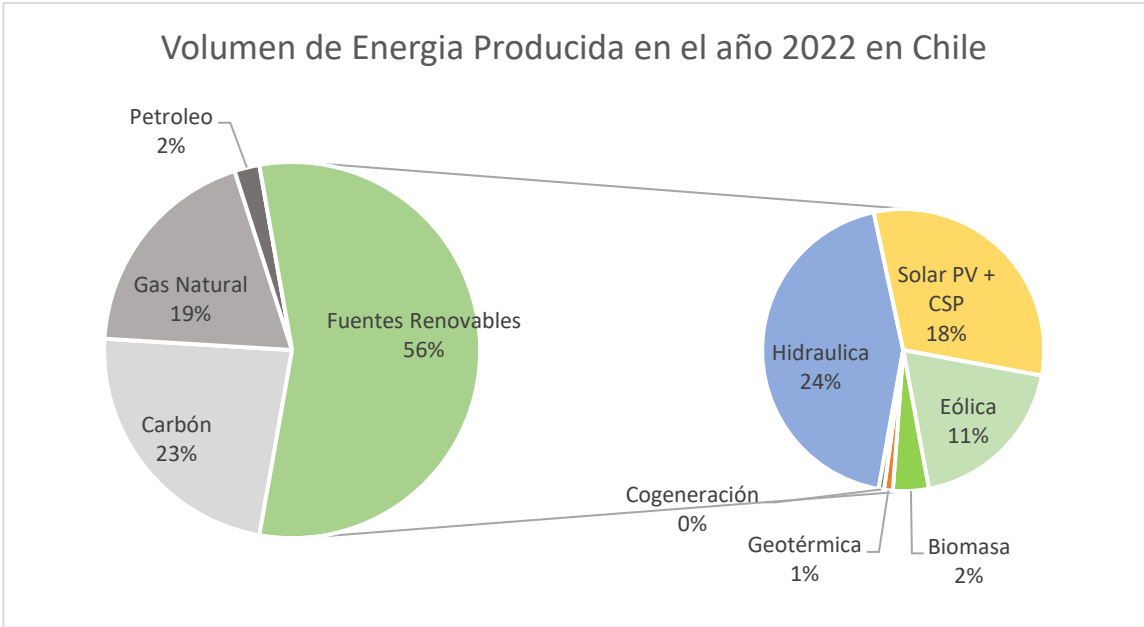


Figura 3.1.2 Energía Generada en el año 2022

Fuente <http://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile>

3.1.1 Energía no Renovable

Son aquellas fuentes de energía de uso limitado, que una vez consumido se agota el abastecimiento. En general, el ritmo de uso es mayor a su regeneración. Entre las fuentes de energías no renovables están:

- Combustibles fósiles: es biomasa de tiempos milenarios sometida a procesos de transformación por presión y temperatura. Se considera combustibles fósiles al carbón, al petróleo y al gas natural y licuado del petróleo.
- Energía nuclear o atómica: esta energía proviene del proceso de fisión nuclear del núcleo de uranio. Al momento de la división del núcleo se libera una gran cantidad de energía en forma de radiación y calor utilizada para generar electricidad o energía termonuclear.

3.1.2 Energía Renovable

Son aquellas energías cuya renovación es mayor a la cadencia de uso. No obstante, si el ritmo de uso también puede sobrepasarse tal como es el caso de la sobre utilización de biomasa (leña) para generar calefacción. La regeneración de estas energías puede ser natural o artificial.

Las energías provenientes de fuentes renovables son:

- **Energía hidráulica:** el agua que desciende de las montañas formando cursos de agua como ríos está sometida al efecto de energía potencial gravitatoria. El movimiento del agua río abajo genera energía cinética, esta energía potencial se transforma en energía hidroeléctrica al pasar por turbinas de generación eléctrica.
- **Energía marítima:** el movimiento de las aguas marinas de océanos y mares son un almacén interminable de energía cinética, y que, utilizando la tecnología apropiada, es posible transformarla en energía eléctrica.
- **Energía eólica:** la energía se obtiene de grandes masas de aire que se desplazan por la superficie del planeta producto de la acción del Sol. La energía cinética de las masas de aire se convierte en energía mecánica para luego transformarse en energía eléctrica en una turbina eólica.
- **Biomasa:** es la energía del Sol almacenada en la materia orgánica. Como es sabido, las plantas y algunos microorganismos tiene la capacidad de guardar esta energía en forma química mediante el proceso de la fotosíntesis. El proceso básicamente utiliza luz solar, agua y el CO_2 troposférico², para formar moléculas orgánicas compuestas de carbono, hidrogeno y oxígeno.
- **Energía solar:** esta energía proveniente de radiación electromagnética del Sol, en forma de luz y calor, puede aprovecharse por medio de células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, que convierten en energía eléctrica o térmica.
- **Energía geotérmica:** esta energía aprovecha las altas temperaturas que emergen desde las capas interiores del planeta. Esta energía se manifiesta normalmente como géiseres, fumarolas, pozos de lodo hirviendo, volcanes y fuentes termales. El calor obtenido es utilizado para generación de electricidad o bien como energía térmica.

3.2 BIOMASA

La RAE señala dos definiciones:

1. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

$$w = m * g$$

γ = Peso específico en newtons sobre metro cúbico

w = Peso en N

V = Volumen de la sustancia en m^3

m = Masa en kg

g = Gravedad en m/s^2

² Perteneciente o relativo a la troposfera

3.2.1 Formula de Biomasa

2. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Esta fuente de energía proveniente del Sol de manera indirecta se designa como energía renovable y heterogénea³, implica la utilización de materia orgánica, normalmente de origen vegetal y animal para la producción de energía; mecánica, eléctrica y térmica.

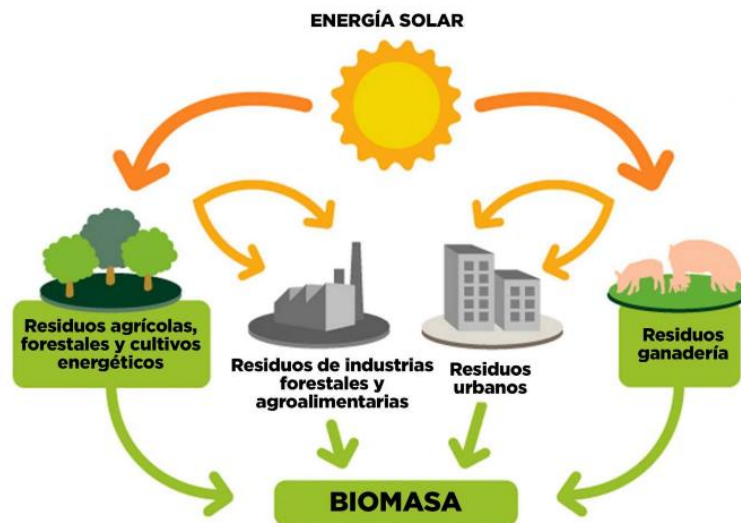


Figura 3.2 Esquema Biomasa

Fuente <https://deshollinsegovia.com/que-es-biomasa/>

3.2.1 Tipos de Biomasa

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

- **Biomasa natural:** es aquella generada de forma espontánea en la naturaleza sin intervención humana. También, se incluyen los residuos que se generan a partir de la poda de un bosque.
- **Biomasa residual:** son los residuos orgánicos que proviene de las actividades de humanas. Estos residuos pueden ser:
 - Seca: se deriva de la actividad agrícola y forestal, pero también de la industria agroalimentaria y de la transformación de la madera. Algunos ejemplos de este tipo de residuos son el serrín, las cascara de frutos secos, paja o la poda de los árboles frutales, pellet, ente otras.
 - Húmeda: se crea a partir de vertidos biodegradables, como las aguas residuales urbanas e industriales y residuos ganaderos. En este grupo se incluye la basura orgánica domestica o los excrementos animales de las granjas.

³ Compuesto de partes de diversa naturaleza

- **Biomasa producida:** resulta de cultivos donde hay una producción a gran escala de materia biodegradable, con el fin de aprovecharla para obtener energía. Es decir, que se transforman especies vegetales química y biológicamente para que actúen como combustible. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son el etanol o el metanol.

3.2.2 Conversión de la biomasa en energía

Actualmente existen diferentes formas y procesos para transformar la biomasa en energía aprovechable, pero son dos métodos los más utilizados

3.2.2.1 Métodos Termoquímicos

Es la manera de utilizar el calor para transformar la biomasa. Los residuos con mejor rendimiento son los de menor humedad (madera, pellet, paja, cascaras, etc.). Se utilizan para:

- **Gasificación:** existe cuando hay un proceso de combustión y se producen diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H) y metano (CH_4), en diferentes proporciones. La temperatura de la gasificación puede estar entre 700 y 1500 °C, además una saturación de oxígeno entre un 10 a 50%. Se producen dos procedimientos de gasificación distintos uno del otro, dependiendo la utilización de aire u oxígeno. Por un lado, el **gasógeno** (gas pobre) y por otro el **gas de síntesis**. Este último es de gran importancia por transformarse en combustibles líquidos (metanol y gasolinas). Actualmente se están haciendo grandes esfuerzos para ir mejorando continuamente este proceso de gasificación con oxígeno.
- **Pirólisis:** se trata de descomponer la biomasa utilizando el calor a unos 500 °C sin la presencia de oxígeno (combustión incompleta). De este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, dióxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. Este método se utilizaba hace años para la obtención de carbón vegetal.
- **Combustión:** consiste en la quema de biomasa con mucho aire (20 a 40% superior al teórico) a una temperatura entre 600 a 1300 °C. Es el método más básico para recuperar la energía de la biomasa, se obtienen gases calientes para producir calor y electricidad.

3.2.2.2 Métodos Bioquímicos

Implica la utilización de diferentes microorganismos que degradan las moléculas, se utilizan para biomasa residual de alto contenido en humedad. Se destacan dos métodos más utilizados:

- **Fermentación alcohólica:** es una técnica que consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentran en las plantas, en este método se consigue un alcohol (etanol) el cual es utilizado en la industria.
- **Fermentación metánica:** es la digestión anaeróbica de la biomasa, donde la materia orgánica se descompone y se crea el biogás y bioabono.

3.2.3 Energías obtenidas de la Biomasa

Si se aplican diferentes tecnologías a los tipos de biomasa, el resultado es energía que se pueden usar de diferentes formas.

- **Energía térmica:** se genera a partir de sistemas de combustión directa (calderas, estufas, hornos o chimeneas). Los usos más frecuentes se aplican a la calefacción, procesos de secado y cocción de alimentos.
- **Energía eléctrica:** se obtiene a partir de biomasa seca que se quema en calderas para producir vapor; este vapor se impulsa turbinas generando energía cinética y se transforma en electricidad.
- **Biocombustible:** es una alternativa a los combustibles tradicionales de transportes, se genera a partir de cultivos agrícolas alimentarios (aceites vegetales), residuos de cultivos, las industrias alimentarias, residuos urbanos y cultivos agroforestales.

Existen dos tipos de biocombustibles:

- **Bioetanol:** como sustituto de la gasolina, en la actualidad se obtiene de cultivos tradicionales como el maíz, la remolacha, la caña de azúcar y ciertos cereales.
- **Biodiesel:** deriva de grasas como aceites vegetales, grasa animales y grasas de cocina recicladas, y puede mezclarse con el diésel obtenido a partir del petróleo.
- **Producción de biogás:** Está formado principalmente por metano y dióxido de carbono que se ha obtenido a partir de la descomposición de materia orgánica de forma anaerobia (sin la presencia de oxígeno).

Se obtiene a partir de residuos ganaderos, agroindustriales, lodos de depuradores de agua y residuos domésticos. Se genera energía térmica y eléctrica.

Además, se obtiene como subproducto el biofertilizante, también conocido como líquidos lixiviados.

4. BIOGÁS

El biogás es un combustible renovable, limpio, versátil y económico, que se produce por medio de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos. Son varias las fuentes

disponibles para la producción de esta bioenergía; residuos sólidos domiciliarios o urbanos, purines animales, desechos de cultivos agrícolas, entre otros.

Ese tipo de energía renovable no convencional (ERNC) se produce mediante un proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica. Este proceso se lleva a cabo de un biodigestor, que no es otra cosa que un contenedor cerrado donde se deposita la materia orgánica.

En la tabla 4.1 se presentan las propiedades específicas del biogás.

Composición	55 – 70% metano (CH_4) 30 – 45% dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 $kWh\ m^{-3}$
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 $L\ petróleo/m^3\ biogás$
Límite de exposición	6 – 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH_4 mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 $kg\ m^{-3}$
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 $kg\ kmol^{-1}$

Tabla 4.1 Características generales del biogás

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

El proceso de obtención del biogás consiste en cuatro etapas. En cada etapa intervienen diversos macroorganismos, principalmente bacterias, capaces de descomponer la materia orgánica en moléculas y compuestos de diversa índole, liberando gases como el hidrógeno o el metano. Las etapas son:

- 1. Hidrólisis:** es el primer paso de la fermentación anaeróbica, consiste en la degradación de macromoléculas -proteínas, lípidos y carbohidratos- (despolimerización), en monómeros y dímeros, obteniendo compuestos orgánicos solubles. Los agentes encargados en la degradación son las enzimas hidrolíticas⁴. Tratamiento químicos, mecánicos y térmicos han sido probados para acelerar el proceso de hidrólisis. La efectividad en la hidrólisis varía según la materia prima, los carbohidratos se acidifican⁵ entre 31 - 65%, las proteínas entre 20 – 45% y los

⁴ Enzimas que aceleran las reacciones en las que una sustancia se rompe en componentes más simples por reacción con moléculas de agua.
⁵ Acidificar: hacer que descienda el pH de un recurso natural determinado, como agua o suelo, por la incorporación de sustancias ácidas.

lípidos entre 14 – 24%. Esta etapa es crítica, puesto que puede ser afectada por factores externos como el pH, la temperatura, la composición bioquímica del sustrato, entre otros.

2. **Acidogénesis:** este paso es el más rápido, por medio de la utilización de microorganismos obtenidos de la hidrólisis se transforman en ácido acético, hidrogeno, dióxido de carbono s y otros ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Cuando se produce la acidificación, los carbohidratos tienen un paso intermedio donde se transforman en ácido pirúvico, y dependiendo de los microorganismos que actúen, estos se transformaran en ácido acético, propiónico, butírico u otro.
3. **Acetogénesis:** es la tercera etapa, donde los productos obtenidos en la acidogénesis son transformados, principalmente, a dióxido de carbono, hidrógeno y ácido acético, aunque también se generan ácidos propiónicos, butírico y valérico. Esta degradación se lleva a cabo gracias a distintos microorganismos, los más importantes son *Syntrophobacter wolinii* y *Sytrophomonos wolfei*.
4. **Metanogénesis:** es la última etapa del proceso de fermentación, en ella actúan microorganismos que son muy específicos, miembros del dominio Archaea, que son intermedios entre los eucariontes y procariontes. Son pocos los compuestos que son transformados a metano en esta etapa, ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno, son los principales. Las más importantes formas para la transformación metanogénica es la reacción acetoclástica y la reducción de dióxido de carbono. Alrededor del 70% del metano se obtiene desde ácidos grasos volátiles (ácidos propiónico y butírico) y el otro 30% desde la metanogénesis del dióxido de carbono e hidrógeno.

En la Tabla 4.2 se muestran las 4 etapas de descomposición a base de materia orgánica (proteínas, lípidos y carbohidratos) para la obtención de biogás y los productos intermedios generados, además se aprecian las poblaciones bacterianas que actúan en la descomposición.

Población bacteriana responsable del proceso, según números en tabla:

- Bacterias fermentativas (1)
- Bacterias acetogénicas que producen hidrógeno (2)
- Bacterias homoacetogénicas (3)
- Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas (4)
- Bacterias metanogénicas acetoclásticas (5)

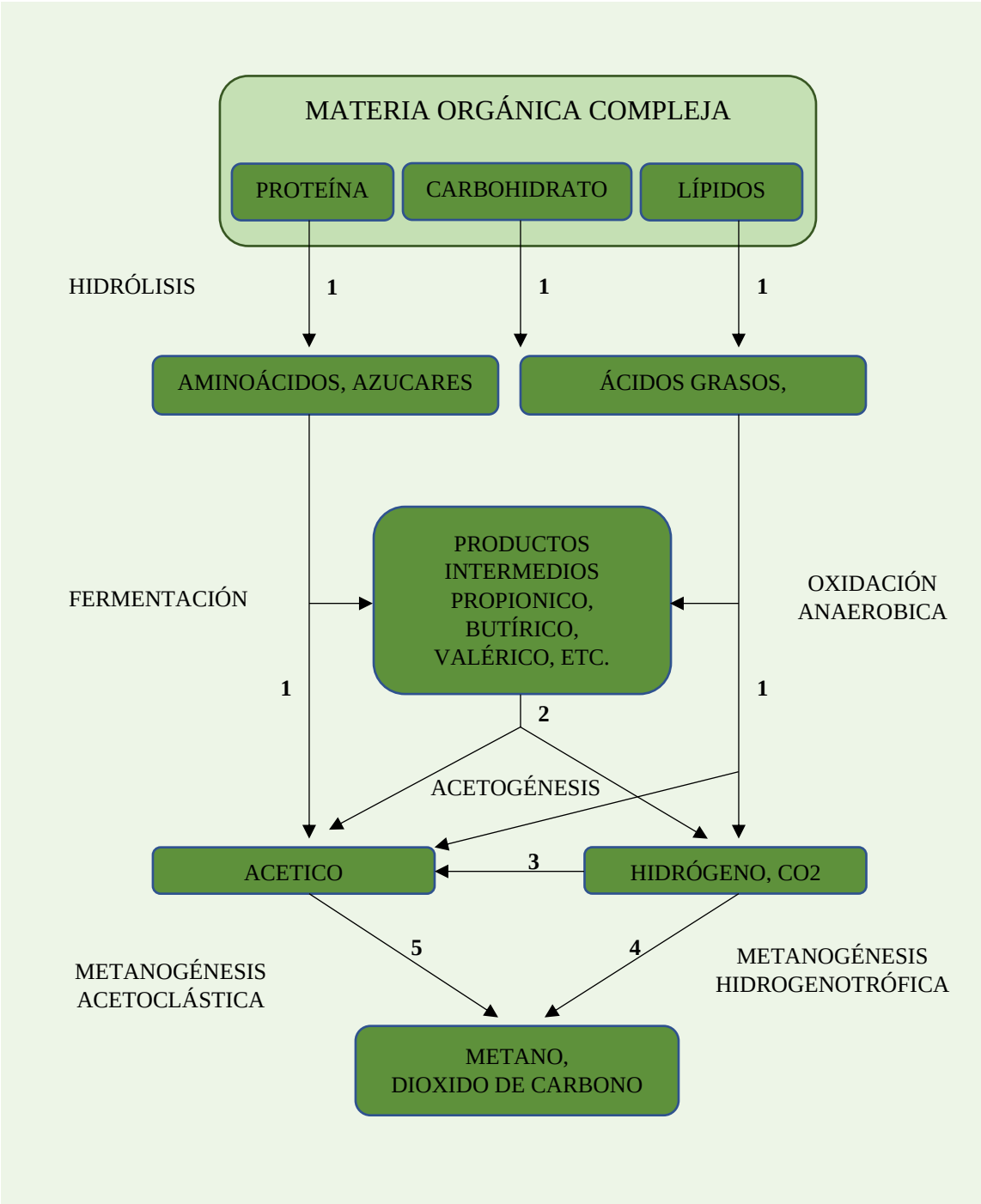


Tabla 4.2 Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica

Fuente Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991

4.1 PROCESOS DE BIODIGESTIÓN

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de las vías de descontaminación y eliminación de residuos.

4.1.1 Digestión aeróbica

La digestión aeróbica es un proceso en el cual los lodos (residuos orgánicos) son tratados en presencia de oxígeno por microorganismos, principalmente bacterias y protozoos. A diferencia de la digestión anaeróbica, que ocurre en ausencia de oxígeno, la digestión aeróbica utiliza el oxígeno para descomponer la materia orgánica y convertirla en productos finales inocuos y materia celular.

Inicialmente, el proceso de digestión aeróbica no fue ampliamente aceptado debido a que se desconocían sus principios fundamentales y porque requería un suministro de aire adicional, lo que aumentaba los costos de tratamiento.

En contraste, en la digestión anaeróbica se genera metano que puede utilizarse como fuente de energía. Sin embargo, la digestión aeróbica tiene la ventaja de simplificar las operaciones de disposición de los lodos en comparación con la relativa complejidad operativa de la digestión anaeróbica.

El proceso de digestión aeróbica implica aireación prolongada de los lodos en un tanque separado y descubierto. Durante este proceso, la materia orgánica biodegradable se somete a una oxidación directa y la materia celular se autooxida. En las etapas iniciales, cuando los microorganismos tienen acceso ilimitado a sustrato (materia orgánica), se producen rápidamente, consumiendo oxígeno para asimilar la materia orgánica y sintetizar nueva masa celular.

Conforme avanza la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento bacteriano disminuye. Las fuentes de carbono orgánico vuelven limitantes y, como resultado, también disminuye la tasa de consumo de oxígeno. Cuando la cantidad de materia orgánica disponible apenas es suficiente para mantener la subsistencia de los microorganismos, estos comienzan a autooxidarse a través de su metabolismo endógeno.

La digestión aeróbica presenta varias ventajas, como facilidad de operación del sistema, una menor inversión de capital en comparación con la digestión anaeróbica, la reducción de olores desagradables, la disminución de los coliformes fecales y organismos patógenos, y la producción de un sobrenadante clarificado con baja DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), pocos sólidos y bajo contenido de fósforo. Sin embargo, también tiene algunas desventajas, como los altos costos de operación debido al consumo de energía, la falta de criterios claros para el diseño y dificultad para separar los lodos digeridos aeróbicamente mediante centrifugación y filtración al vacío.

4.1.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual los materiales orgánicos, como residuos animales y vegetales, se descomponen por medio de bacterias en ausencia de oxígeno. Este proceso se lleva a cabo en reactores llamados biodigestores anaeróbicos.

Durante la digestión anaeróbica, las bacterias presentes en el biodigestor anaeróbico forman un consorcio, que consiste en diferentes tipos de bacterias que trabajan en conjunto para descomponer los sustratos orgánicos. Estas bacterias son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores, como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

El objeto principal de la digestión anaeróbica es convertir los materiales orgánicos en biogás, que es una mezcla de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), junto con trazas de otros elementos, de esta manera el biogás producido puede ser utilizado como fuente de energía renovable.

En la digestión anaeróbica, más del 90% de la energía disponible en los sustratos orgánicos se transforma en metano, mientras que solo se consume alrededor del 10% de la energía en el crecimiento bacteriano. Esto es mucho más eficiente que los procesos aeróbicos, donde se consumió aproximadamente el 50% de la energía en el crecimiento bacteriano.

Los microorganismos metanogénicos son los responsables de la producción de metano durante la digestión anaeróbica. Estos microorganismos actúan como enzimas respiratorias, y junto con las bacterias no metanogénicas, forman una cadena alimentaria similar a las cadenas enzimáticas de las células aeróbicas.

Es importante tener en cuenta que el biogás generado durante la digestión anaeróbica puede estar contaminado con diferentes componentes, lo cual puede complicar su manejo y aprovechamiento. Por lo tanto, se requieren procesos adicionales para purificar y utilizar eficientemente el biogás generado.

El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación o respiración anaeróbicas dependiendo del tipo de aceptores de electrones (oxígeno, nitrato, hierro [III], manganeso [IV], sulfato, dióxido de carbono, o incluso, en algunos microorganismos solventes clorados, tales como el tetracloroetileno [C_2Cl_2], y cloruro de vinilo [C_2H_3Cl]).

4.1.3 Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones.

4.2 TECNOLOGÍA DE BIODIGESTORES

Los biodigestores son una tecnología que permite transformar los residuos orgánicos en un combustible como el biogás y un fertilizante como el digestato. Los residuos orgánicos pueden ser de todo tipo, como estiércoles de animales, purines, basura

orgánica de mercados, mataderos, aguas servidas domiciliarias, residuos de cocina y procesos de transformación alimentaria (suero de leche, industria vitivinícola, cervecera, etc.). A lo largo del trabajo se le denominará biomasa al residuo orgánico que hace ingreso al biodigestor o no antes de su pretratamiento.

El biogás es un gas combustible que tiene entre un 50 % y un 80 % de metano (CH_4) y entre un 30 % y 40 % de dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y otros elementos traza. De éstos, solo el metano es combustible. El metano producido en el biodigestor es similar al que se distribuye hoy como gas natural y es similar al propano o butano de los cilindros de gas. El digestato se produce tras el paso de sustratos por un biodigestor, tiene una parte líquida y otra sólida que conserva todos los nutrientes de los residuos orgánicos originales (del estiércol, por ejemplo), pero cambia en su forma química pasando de orgánica a mineral. Esto hace que los nutrientes del digestato, una vez aplicados al suelo, puedan ser directamente asimilables por plantas. Además, el digestato lleva consigo fitohormonas (vitaminas) y microorganismos que complementan su aporte a las propiedades físicas y químicas del suelo.

Existen diferentes tecnologías de biodigestores, con aspiraciones a ser más pequeños y en general más eficientes para degradar sustratos. Se pueden encontrar diversos tipos de diseño y conceptos de plantas de biogás o biodigestores, que son implementadas según el contenido de humedad con el que operen (fermentación en seco o húmedo), su número de fases (de una o dos fases), según el rango de temperatura en el que opera (psicrofílico, mesofílico o termofílico), su capacidad de aceptar carga orgánica (alta o baja) o bien según su mecanismo o ausencia de agitación (mezcla completa, flujo pistón o convencional). Todas estas características pueden estar combinadas. Puede existir, por ejemplo, un biodigestor húmedo, de dos fases, mesofílico de mezcla completa.

4.3 COMPONENTES DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO

Los principales componentes de un digestor anaeróbico lo constituyen un reactor o contenedor de las materias primas a digerir; un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas.

4.3.1 Reactor

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente pueden ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es

impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE, concreto hasta acero inoxidable.

4.3.2 Entrada del afluente.

Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante⁶ se extrae por el lado contrario.

4.3.3 Salida del afluente.

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción de este. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un afluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

4.3.4 Extracción de lodos.

Las tuberías de extracción de lodos suelen estar colocadas sobre bloques a lo largo del suelo inclinado del digestor. El lodo se extrae por el centro del reactor. Estas tuberías tienen, por lo general, 15 cm de diámetro o van equipadas con válvulas tapón para evitar obstrucciones, y se utilizan para llevar periódicamente el lodo del digestor a un sistema de evacuación de lodos.

4.3.5 Sistema de gas.

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características de la materia prima. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico (dióxido de carbono). El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases.

Debido a la presencia de metano (60%), el gas digestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro.

El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o el quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Apagallamas.

⁶ Sobrenadante: se mantiene encima del agua

- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes.

4.3.6 Cúpula de gas.

Habitualmente, la parte superior del digestor, llamada domo o cúpula o campana de gas se utiliza para almacenar el biogás que se genera. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. En los tanques de cubierta fija, puede haber también un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o negativa (vacío) creada por la extracción del lodo o del gas. Si la presión de gas sube por encima de los 30 cm de columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmósfera, sin levantar la cubierta. Si se extrae el lodo o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua, permitiendo la entrada del aire en el tanque. Sin el cierre de agua el vacío aumentaría enormemente y destrozaría el tanque. La tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el digestor puede también proteger a éste de las pérdidas del cierre de agua, si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del digestor, el gas puede volver al tanque a través de la misma conducción.

4.3.7 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.

La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocada sobre la misma tubería, pero cada una trabaja independientemente.

La válvula de seguridad consta de un plato cargado de arandelas de peso calibrado. La combinación de estos pesos junto con el peso del plato debe igualar la presión de gas en el tanque (normalmente entre 15 y 20 cm de columna de agua). Si la presión de gas en el estanque excede este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un par de minutos. Ello debe ocurrir antes de que se rompa el cierre de agua. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva cuando la extracción del gas sea demasiado lenta.

La válvula rompedora de vacío funciona de manera idéntica, excepto en que alivian las presiones negativas para evitar el colapso del tanque.

4.3.8 Apagallamas.

El apagallamas típico es una caja rectangular que contiene aproximadamente de 50 a 100 placas de aluminio corrugado con agujeros taladrados. Si se ocasionara alguna llama en la tubería del gas, se enfriaría por debajo del punto de ignición al pasar a través de los deflectores, pero el gas podría seguir pasando con poca pérdida de carga.

- Para evitar explosiones deben instalarse apagallamas:
- Entre las válvulas de seguridad y rompedora de vacío y la cúpula del digestor.
- Después del purgador de sedimentos, en la tubería de gas del digestor.
- En el quemador de gas en el exceso.
- Delante de cada caldera, horno o llama.

4.3.9 Válvulas térmicas.

Se trata de otro dispositivo de proyección instalado cerca de una fuente de llama y cerca de la cúpula de gas. Este tipo de válvulas son redondas, con un plato de cierre unido del accionamiento, por un muelle vástago. El vástago que apoya sobre un disco fusible que mantiene el plato unido. Si la llama genera el calor suficiente, el elemento fusible se funde y el muelle acciona el vástago hasta que el plato asienta, para cortar el paso del gas.

4.3.10 Separadores de sedimentos.

Un separador de sedimentos es un recipiente de 30 a 40 cm de diámetro y 60 a 90 cm de longitud. Está situado, generalmente, en la parte superior del digestor, cerca de la cúpula de gas, y está equipado también con un deflector⁷ interior perforado, y un drenaje de condensados cerca del fondo. Las entras por la parte superior del tanque, desciende, atraviesa el deflector, vuelve a subir y sale por la parte superior. La humedad del gas y todos los trozos grandes de incrustaciones quedan retenidos aquí antes de entrar en el sistema de gas.

4.3.11 Purgadores de condensado.

El gas del digestor está bastante húmedo y en su recorrido desde el tanque caliente hasta zonas de temperaturas más bajas el agua se condensa. Debe recogerse los puntos bajos del sistema, ya que de lo contrario impedirá que el gas circule, causando daño en algunos equipos como los compresores, e interfiriendo en la posterior utilización del gas. Estos purgadores disponen generalmente de una capacidad de 1/4 o medio litro de agua.

4.3.12 Medidores de gas.

⁷ Dispositivo que sirve para cambiar o desviar la dirección de la corriente de un fluido.

Los medidores de gas pueden ser diversos tipos, como fuelles, diagramas de flujo en paralelo, molinetes y placas de orificios de presión diferencial.

4.3.13 Manómetros.

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

4.3.14 Reguladores de presión

Se instalan, generalmente, antes y después del quemador de gases en exceso. Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor. Normalmente se taran a 20 cm de columna de agua, ajustando la tensión del muelle sobre el diafragma. Si la presión de gas en el sistema es inferior a 20 cm de columna de agua, el regulador se abre ligeramente, dejando que el gas pase al quemador. Si la presión continúa aumentando, el regulador se abre aún más para compensar.

Los reguladores de gas están también situados en otros puntos del sistema, para regular la presión de gas en las calderas, calentadores y motores.

4.3.15 Almacenamiento del gas.

El gas producido en la digestión anaeróbica se puede almacenar en un gasómetro que separado del digestor, o bien en el mismo digestor en la parte superior de éste.

- Gasómetros a presión. El gas que se produce en el digestor es enviado por medio de compresores a depósitos donde queda almacenado a presión. Posteriormente, es extraído de estos depósitos y enviado a las instalaciones de utilización o de quemado. La presión de almacenamiento es, aproximadamente, de 3,4 atm, Lo que permite disminuir el volumen de gas a una tercera parte de lo que ocupa en el digestor.
- Gasómetros de cubierta flotante. Almacenan el gas variando su altura. En estos gasómetros los gases se mantienen a una presión baja aproximada de 200 mm de columna de agua. Consisten en una campana flotante, similar a la cubierta flotante de un digestor primario. Una serie de ruedas permiten que la cubierta pueda deslizarse libremente hacia arriba o hacia abajo, según la cantidad de gas almacenado. Estas ruedas deslizan sobre unos perfiles de acero que actúan como guías de la campana.

4.3.16 Quemador de los gases sobrantes.

La antorcha o quemador de gases se utiliza para eliminar los gases en exceso del sistema de digestión. Va provisto de una llama piloto de quemado continuo, para que cualquier exceso de gas que pase por el regulador se queme.

4.3.17 Muestreador

El muestreador consiste en una tubería de 8 o 10 cm de diámetro con una tapa de cierre con bisagras que penetra en el tanque de digestión, a través de la zona de gas, y que está siempre sumergida unos 30 cm en el lodo del digestor. Esto permite la toma de muestras del lodo del digestor, sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor.

4.4 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL DIGESTOR

El digestor puede funcionar a cualquier temperatura, sin embargo, el tiempo que tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. A medida que aumenta la temperatura, disminuye el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del lodo. En general, los digestores modernos funcionan en un rango de temperatura en medias, entre 35 y 37°C, que corresponde a rango mesofílico.

Los digestores se pueden calentar de diversos modos, aunque las instalaciones actuales están dotadas, en general, de digestores que se calientan por medio de la recirculación de lodos del digestor a través de un intercambiador exterior de agua caliente. El gas del digestor se usa como combustible en la caldera, cuya temperatura óptima de operación es de 60 a 80°C. El agua caliente se bombea desde la caldera al intercambiador de calor, donde cede su calor al lodo recirculante. En algunos equipos la caldera y el intercambiador de calor están combinados y el lodo pasa también a través del equipo.

4.5 TIPOS DE BIODIGESTORES

1. Biodigestor de mezcla completa

Los biodigestores de mezcla completa son de tecnología conocida y altamente utilizada en países como Alemania. Usualmente son tanques verticales construidos en acero o concreto con doble cubierta para acumular el biogás. Se denominan de mezcla completa, pues tienen como componente esencial la agitación interna de los líquidos del biodigestor. Esta agitación se genera de diferentes formas, desde recirculación de biogás, recirculación de digestato o con agitadores de paletas horizontales o verticales. Su principio de funcionamiento se basa en el proceso de agitación, que obliga el contacto del sustrato con los microorganismos, lo que aumenta el proceso de degradación. Esto evita que se formen sedimentos o sólidos flotantes, por lo que también evita la necesidad de separar sólidos antes del biodigestor. Su operación típica es en un rango de temperatura mesofílica por lo que se debe agregar calor externo. Para efectos del tamaño del biodigestor, la variable “tiempo de retención hidráulico (TRH)” es usualmente alta (de 20 hasta 40 días), con una

carga orgánica volumétrica de alimentación (COVA) de 1 a 4 kg SV/m³ día. Algo importante es que este tipo de biodigestores operan con mezclas de sustrato y agua que contenga entre 2% a 12% de sólidos totales. Su diseño permite la co-fermentación, o sea el agregar otros residuos orgánicos aprovechables como residuos agrícolas para aumentar la producción de biogás.

2. Biodigestor de flujo pistón

El biodigestor de flujo pistón se construye en tanques horizontales en concreto con cubiertas dobles o sencillas de geomembrana para acumular el biogás, o bien en acero. Se denominan de flujo pistón, pues el sustrato que ingresa es empujado en forma de pistón o tapón por el sustrato del día siguiente, por lo que también son denominados de flujo continuo. En otras palabras, el sustrato no es mezclado (a diferencia del biodigestor de mezcla completa) al interior del biodigestor, sino que se mueve a lo largo del sistema casi como paquetes que se van empujando. Esto se logra únicamente con sustrato “espeso” o con sólidos totales superiores al 10%, por lo que este modelo no tiene problema de sedimentación o flotación en su interior y no requiere de separación de sólidos fibrosos antes de la entrada al biodigestor. Su operación típica es en un rango de temperatura mesofílica por lo que se debe agregar calor externo. Esto también ayuda a mejorar la viscosidad del sustrato para fluir fácilmente por el interior del reactor. Para efectos del tamaño del biodigestor, la variable “tiempo de retención hidráulico (TRH)” es usualmente alta (de 20 hasta 40 días, dependiendo de la temperatura), con una carga orgánica volumétrica de alimentación (COVA) alta de 2 a 6 kg SV/m³ día. Algo importante es que este tipo de biodigestores operan con sustratos que contengan sólidos totales superiores a 10%. Su diseño no permite la co-fermentación, o sea agregar otros residuos orgánicos aprovechables (como residuos agrícolas) para aumentar la producción de biogás.

3. Biodigestor convencional (laguna cubierta)

El biodigestor convencional es tecnológicamente simple. No utiliza sistema de sedimentación ni calefacción. Esto hace que su principio de funcionamiento sea la sedimentación, reteniendo sólidos por largos periodos dentro del sistema. Al no promover activamente el contacto de microorganismos con el sustrato y normalmente operar a temperatura ambiente, tiende a ser un sistema de baja eficiencia. Un ejemplo, es el sistema de laguna cubierta, es decir, lagunas profundas impermeabilizadas y recubiertas de forma hermética con geomembrana de diferentes plásticos, como polietileno de alta (HDPE) y baja densidad (LPDE), además de etileno propileno dieno tipo M (EPDM) y policloruro de vinilo (PVC). Una de las complicaciones que pueden surgir de estos sistemas es el cierre de la geomembrana utilizada, éste es uno de los puntos débiles de este tipo de

tecnología, y en los puntos en donde con frecuencia ocurren filtraciones de biogás una vez transcurrido ciertos periodos de tiempo.

En la tabla 4.5.1 se presenta una comparación resumida de los tipos de biodigestores mencionados.

Características	Convencional	Mezcla Completa	Flujo Pistón
Tanque de Fermentación	Laguna profunda, recubierta con geomembrana, biodigestor prefabricado o biodigestor tubular	Taque vertical en concreto o acero. Instalado enterrado/encima del suelo	Tanque horizontal en concreto instalado enterrado en el suelo
Nivel tecnológico	Bajo	Alto	Medio
Calor adicional	No	Si	Si
Solidos totales de la mezcla	0,5 – 3%	3 – 10%	>11%
TRH	40 – 100 días	25 días	25 días
VCO	0,1 a 1 [<i>kg SV/m³ * d</i>]	1 a 4 [<i>kg SV/m³ * d</i>]	2 a 6 [<i>kg SV/m³ * d</i>]
Clima idóneo	Clima caliente a templado, entre 15 – 25°C	Cualquier clima (tienen calefacción adicional)	Cualquier clima (tienen calefacción adicional)
Ventajas	Sistema de bajo coto ⁸ con facilidades de instalación y operación	Sistema compacto de alta eficiencia, para manejar sustratos solidos	Sistema compacto de alta eficiencia, para manejar sustratos solidos
Desventajas	Aplicable únicamente a climas calientes y tiende a requerir grandes tamaños	Altos costos de implementación y requerimiento de capacitación técnica para operación y mantenimiento	Costos de implementación: medio y monitoreo de formación de fibra flotante necesaria

Tabla 4.3 Comparativa de los tipos del biodigestor

Fuente: Elaboración propia

4.6 BIODIGESTOR SEGÚN SU TIPO DE CARGA

Los biodigestores se pueden clasificar según su método de carga en dos tipos:

a) Biodigestor tipo batch o discontinuo

Este tipo de biodigestor es cargado con material en un solo lote, por lo que también se llama comúnmente biodigestor tipo lote. Cuando la producción de gas decae bajo un

⁸ Terreno cercado o delimitado de forma visible que está reservado para uso y aprovechamiento particular.

cierto nivel después de un período de fermentación, este es vaciado por completo para volver a ser cargado con material fresco.

b) Biodigestor tipo continuo

En este biodigestor, se agrega material continuamente y el efluente se descarga la misma cantidad en que se ingresa material. El proceso se caracteriza por una fermentación constante, una producción uniforme de gas, facilidad y control. Se aplican zonas en donde el material residual es abundante.

c) Biodigestor tipo semi continuo

Se cargan en lapsos cortos de 12 horas, una vez al día, o cada 3 días, se utiliza cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales, son el hindú, el chino y el taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, como si se quiere aprovechar más el gas o el bio fertilizante, si se quiere usarlo para fines sanitarios o de producción, diversas ventajas que veremos más adelante.

4.7 BIODIGESTORES SEGÚN SU METODO DE CONSTRUCCION

- Biodigestor de domo flotante

Biodigestor del domo flotante (hindú). Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero, pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible normalmente varía entre 4 a 8 cm de columna de agua. El reactor se alimenta continuamente a través de una tubería de entrada.

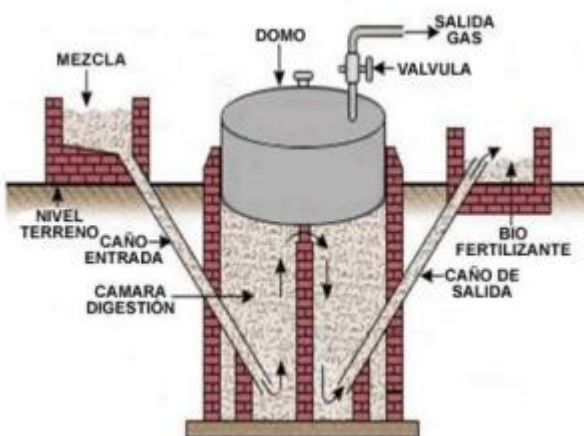


Figura 4.1 Biodigestor de domo flotante

Fuente: <http://mecanotecnia.blogspot.com/2010/04/>

- Biodigestor de estructura solida fija (chino)

Consiste en una cámara de gas comúnmente construida de ladrillos, piedra o concreto el cual es fijo. La estructura interna está constituida por capas para aislar la cámara. La construcción de estos digestores es compleja, por lo que se requiere de personal altamente capacitado. El gas producido durante el proceso de fermentación es almacenado bajo el domo por lo que se generan grandes fuerzas estructurales, es por este motivo que su diseño es generalmente semiesférico con el fin de evitar concentración de tensiones.

Este tipo de digestor debe ser embutido bajo tierra para contrarrestar las presiones internas, que pueden llegar sobre los 0.15 bar (0.148 atm).

Estos reactores son factibles económicamente por sobre los 5 m³ de capacidad y se conocen de hasta 200 m³, siendo este tipo de planta son lo más difundidos en China, con alrededor de cinco millones de plantas pequeñas.

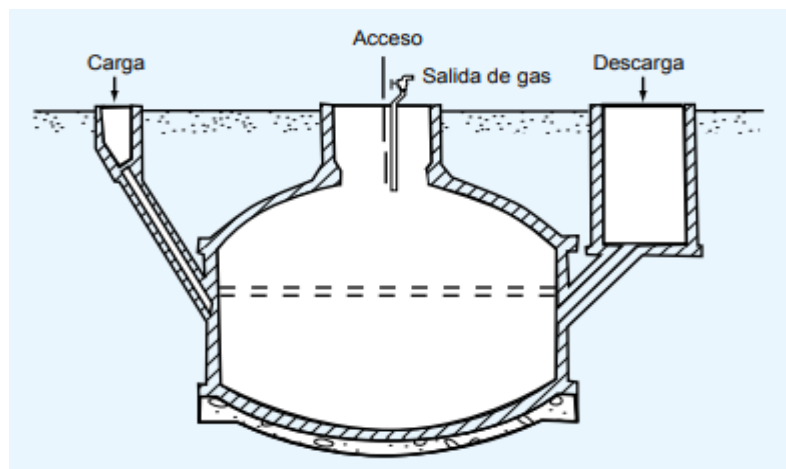


Figura 4.2 Biodigestor de estructura solida fija

Fuente: (Varnero, 2011)

- Biodigestor balón de plástico o tipo salchicha

Este tipo de biodigestor consta de una bolsa situada en la parte superior del digestor y es en donde se almacena el gas. La presión del gas se logra básicamente por la elasticidad del globo o adicionando pesos sobre este. El plástico de la bolsa debe ser resistente al clima y a la radiación UV, por lo que se recomienda el uso de plástico reforzado o caucho sintético. Materiales como PVC y polietileno han sido aplicados con éxito. Sin embargo, la vida útil de estas estructuras, generalmente, no excede los 2 a 5 años, por lo que este tipo de planta es recomendable solamente cuando existe la posibilidad de reparación localmente.

Esta tecnología es recomendable como una alternativa transitoria, cuando se requiere una solución rápida para la utilización de la materia prima y generación de biogás.

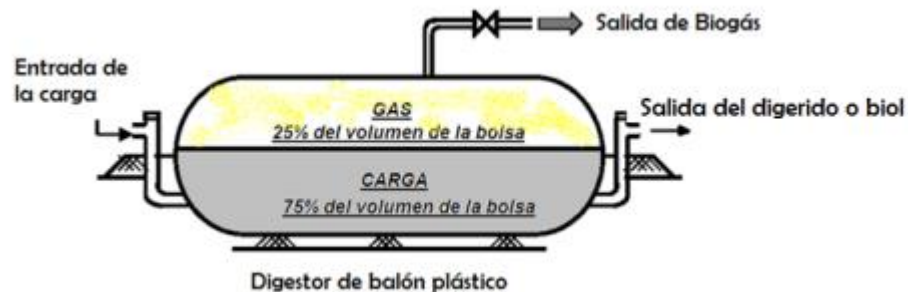


Figura 4.3 Biodigestor balón de plástico o tipo salchicha

Fuente: <https://revistas.uautonoma.cl/index.php/scr/article/download/1490/1130/7224>

5. **BIOABONO**

Se define por su aporte de elementos minerales, especialmente nitrógeno. Como subproducto después de la generación de biogás, se obtiene materia orgánica estabilizada rica en elementos minerales. En función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica, también conocida como bioabono puede presentarse de dos formas:

- Biofertilizante en forma líquida: proveniente de digestores continuos con una alta tasa de carga y un bajo contenido de solidos totales (inferior al 12%), el inconveniente de este es su comercialización por el estado físico de su presentación.
- Biofertilizante en forma sólida: proveniente de digestores batch o semi continuos con buen poder fertilizante, que luego de ser secado se puede comercializar sin problemas.

En general todos los productos orgánicos obtenidos, independientemente del proceso utilizado para su estabilización, son buenos acondicionadores o mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, porque aportan niveles interesantes de materia orgánica estabilizada. Presentan una textura física particular, de baja densidad (del orden de 0,5 gr/cc) y baja resistencia mecánica; por lo tanto, la incorporación de estos sustratos orgánicos en el suelo permite mejorar la estructura de este, reduciendo problemas de compactación y susceptibilidad de erosión; además, incrementa la capacidad de retención de agua, así como el intercambio gaseoso, favoreciendo el desarrollo radicular.

6. **METODOLOGÍA AHP**

El proceso de análisis jerárquico (AHP) fue desarrollado por Thomas L. Saaty en el año 1980, este método está diseñado para resolver problemas complejos que involucran múltiples criterios.

Una ventaja del método AHP es que está diseñado para manejar situaciones en las que los juicios subjetivos de los individuos constituyen una parte importante del proceso de decisión.

Básicamente el método AHP es un método de desglosar una situación compleja y no estructurada en sus componentes (meta, criterios, alternativas);

- Organizar estas partes o elementos en un orden jerárquico.
- Asignar valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada elemento.
- Sintetizando los juicios para determinar que variables tienen la máxima prioridad y sobre las se debe actuar para influir en el resultado de la situación.

6.1 PASOS PRINCIPALES DEL MÉTODO AHP

1. Desarrollar una representación gráfica del problema en términos del objetivo general, los criterios y las alternativas de decisión (es decir, la jerarquía del problema).

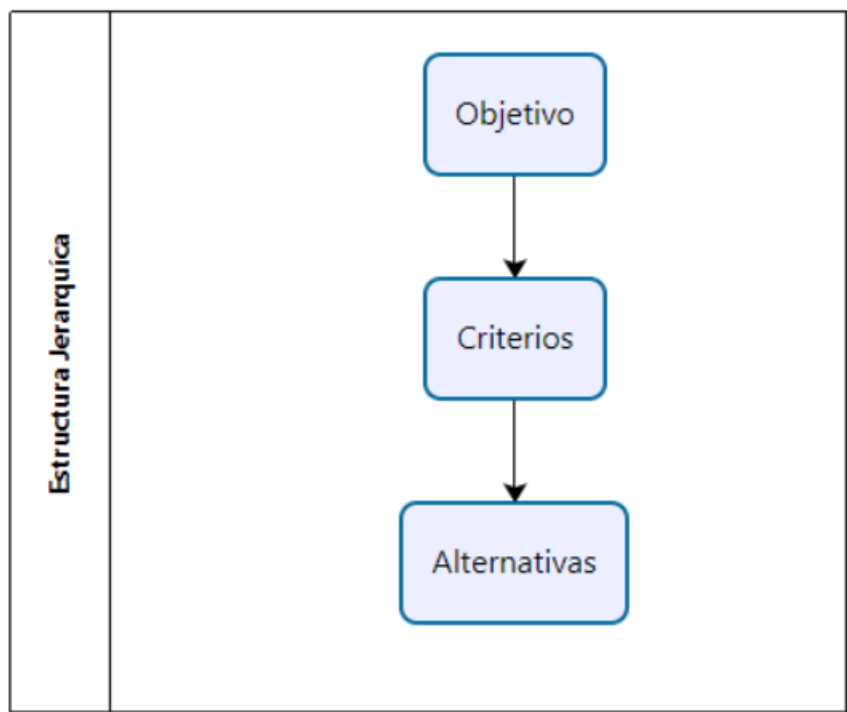


Figura 6.1 Estructura Jerárquica

Fuente: Elaboración Propia

2. Especificar juicios de expertos sobre la importancia relativa de cada criterio en términos de su contribución al logro de la meta general. Asimismo, indicar una preferencia o prioridad para cada alternativa de decisión en términos de como contribuye a cada criterio. Estos juicios se ensamblan en las denominadas matrices de comparación por pares (PCM).

Comodidad	Toyota	Peugeot	Honda
Toyota	1	2	8
Peugeot	½	1	6
Honda	1/8	1/6	1

Tabla 6.1 Comparación por Pares Criterios vs Criterios

3. La información sobre importancia relativa y preferencias incorporadas en las PCM se sintetizan obteniendo el denominado vector de prioridad.

Una vez que se ha desarrollado la matriz de comparaciones por pares (PCM), se puede calcular la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan, es decir, la información sobre importancia relativa y preferencias incorporadas en las PCM se sintetiza obteniendo el denominado **vector de prioridad**.

- El procedimiento matemático exacto requerido para calcular las prioridades implica el cálculo de valores y vectores propios, a través del llamado vector de Perron.

Procedimiento para calcular prioridades

- El vector Perron de una PCM, M , se puede calcular fácilmente, por ejemplo, mediante el método de potencia.
- ✓ Paso 0: Proporcionar una inicialización w_0 del vector Perron.
- ✓ Paso 1: Multiplicando M por w_i para obtener la siguiente iteración $w_{i+1} = Mw_i$.
📈 Esto hace que w_i crezca sin límite
- ✓ Paso 2: Normalizar w_{i+1} tal que $1^T * w_{i+1} = 1$.
- ✓ Paso 3: Ir al paso 1 y repita hasta lograr convergencia.

Salida:

$w = \lim_{i \rightarrow \infty} w_i$ es el vector propio de Perron y $\lambda = 1^T * w$

Ejemplo de cálculo de prioridad

- ✓ Paso 0: Una vez que la PCM esté lista, proporcione una inicialización del vector Perron.

Comodidad	Toyota	Peugeot	Honda	W_0
Toyota	1	2	8	1
Peugeot	1/2	1	6	1
Honda	1/8	1/6	1	1

- ✓ Paso 1: La prioridad global para cada alternativa se obtiene sumando los productos de cada prioridad de los criterios por la prioridad de alternativa de la alternativa con respecto a ese criterio. Esto es más fácil hacerlo con matrices.
- ✓ Paso 2: Jerarquizando estos valores de prioridad, tendremos el ranking AHP de las alternativas de decisión.
 - Ejemplo:
 - Paso 0: Clasificación de prioridad – 0

Comodidad				Color						
	Toyota	Peugeot	Honda		Toyota	Peugeot	Honda			
Toyota		1	2	8	Toyota		1	1/3	1/4	
Peugeot		Criterio	Comodidad	Tecnología	Color	Audio		1	1/2	
Honda			Comodidad	1	3	2	2	2	1	
			Economía	1/3	1	1/4	1/4			
			Color	1/2	4	1	1/2	Peugeot	Honda	
Tecnología	Toyota		Audio	1/2	4	2	1	1/3	4	
Toyota										
Peugeot		4	1	1/3		Peugeot		3	1	7
Honda		6	3	1		Honda		1/4	1/7	1

Figura 6.2 Comparación por Pares Criterios y Alternativas

- Paso 1: Calcular el vector de prioridad para cada matriz – 1

	Color	Tecnología	Comodidad	Audio		Objetivo
Toyota	[0,123]	[0,087]	[0,595]	[0,265]	Color	[0,398]
Peugeot	[0,320]	[0,274]	[0,340]	[0,655]	Tecnología	[0,085]
Honda	[0,557]	[0,639]	[0,065]	[0,080]	Comodidad	[0,218]
	W_{Color}	$W_{Tec.}$	$W_{Com.}$	W_{Audio}	Audio	[0,299]
						W_{Crit}

Tabla 6.5 Ranking de prioridad

- Paso 2: Ranking de prioridad – 2
- ✓ Paso 1: Sumar el producto de la prioridad del criterio (con respecto al objetivo general) multiplicando por la prioridad de la alternativa de decisión con respecto a ese criterio.

$$[W_{color} | W_{Tec.}|W_{Com.}|W_{Audio}] * [W_{Crit}] = \begin{bmatrix} 0,123 & 0,087 & 0,595 & 0,265 \\ 0,320 & 0,274 & 0,340 & 0,655 \\ 0,557 & 0,639 & 0,065 & 0,080 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,398 \\ 0,085 \\ 0,218 \\ 0,299 \end{bmatrix}$$

$$[W_{color} \mid W_{Tec.} \mid W_{Com.} \mid W_{Audio} \mid] * [W_{Crit}] = \begin{bmatrix} 0,314 \\ 0,421 \\ 0,265 \end{bmatrix}$$

✓ Paso 2: Jerarquizar (ordenar) los valores de prioridad.

Alternativa	Prioridad
Peugeot	0,421
Toyota	0,314
Honda	0,265
Total	1,000

Tabla 6.6 Valores de prioridad de cada alternativa

- La consistencia es crucial, la calidad de la decisión final se relaciona con la consistencia de los juicios que el tomador de decisiones demostró durante la serie de comparaciones por pares.

Consistencia – 1

- Una consideración importante en términos de la calidad de la decisión final se relaciona con la consistencia de los juicios que el tomador de decisiones demostró durante la serie de comparaciones por pares.
 - Debe tenerse en cuenta que la consistencia perfecta es muy difícil de lograr y que se espera que exista cierta falta de consistencia en casi cualquier conjunto de comparaciones por pares...
 - Ejemplo:

Ejemplo: Inconsistencia

Preferencias: Si, $A \Rightarrow B$ (2); $B \Rightarrow C$ (6) entonces, $A \Rightarrow C$ (debería ser 12) (aquí es 8)

➤ Inconsistencia

Comodidad	Toyota	Peugeot	Honda
Toyota	1	2	8
Peugeot	½	1	6
Honda	1/8	1/6	1

Figura 6.3 Inconsistencia en la PCM

➤ Consistencia: $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$, para $i, j, k = 1, \dots, n$.

Equivalentemente

- $\exists w \in \mathbb{R}_n^+ : a_{ij} = w_i / w_j$;
- $\exists w \in \mathbb{R}_n^+ : J(x) * x^T = M$, donde $(J(x))_i = 1/x_i$;
- $rango(M) = 1$;
- $\lambda_{max} = n$.

Consistencia – 2

- Para manejar la pregunta de consistencia, el método AHP proporciona un método para medir el grado de consistencia entre los juicios por pares proporcionados por el tomador de decisiones.

Ratio de consistencia

- El método AHP proporciona una medida de la consistencia de los juicios de comparación por pares al calcular un ratio de consistencia (Saaty, 1977).
 - El ratio está diseñado de tal manera que los valores de la ratio superior a 0,10 son indicativos de juicios inconsistentes.
 - El cálculo matemático del ratio de consistencia es el siguiente:

Procedimiento: Estimación del índice de consistencia

Paso 1: Utilice, por ejemplo, el método de potencia, como ya se explicó, para calcular el vector propio de Perron y su valor propio correspondiente $\lambda_{max} = 1^T * w$.

Paso 2: Calcule el índice de consistencia: $CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ donde n es el número de ítems a comparar.

Paso 3: Calcule el ratio de consistencia: $CR = \frac{CI}{RI}$

RI es el índice aleatorio, que es el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente. Se puede demostrar que RI depende del número de elementos que se comparan con el índice aleatorio.

Índice aleatorio

- El índice de aleatorio (RI) es el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente.
 - RI depende del número de elementos que se comparan (es decir, el tamaño de la matriz de comparación por pares) y toma los siguientes valores:

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
<i>RI</i>	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	...

Tabla 6.7 Índice de consistencia en PCM

Ejemplo: Verificación de consistencia

Paso 1: Dada la PCM, calcule el valor propio de Perron λ_{max} .

Para la matriz Comodidad, $\lambda_{max} = 3,018295$.

Paso 2: Calcular el índice de consistencia (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,018295 - 3}{3 - 1} = 0,009147$$

Paso 3: Calcular el ratio de consistencia (CR).

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,009147}{0,58} = 0,01577 \leq 0,10$$

→ El grado de consistencia exhibido en la matriz de comparación por pares para comodidad es aceptable.

Dos puntos para tener en consideración:

- Si el grado de consistencia es aceptable, el proceso de decisión puede continuar.
- Si el grado de consistencia es inaceptable, el tomador de decisiones debe reconsiderar y posiblemente revisar los juicios de comparación por pares antes de proceder con el análisis.

Como se indica en el paso 5 de los principales pasos del método AHP la consistencia es crucial y debe mejorarse por cualquier medio, si es necesario, ante eso nace el punto de la mejora de consistencia.

Mejora de consistencia

- En la toma de decisiones, puede ser importante saber qué tan buena es nuestra consistencia, porque es posible que no queramos que la decisión se base en juicios con una consistencia tan baja que parezcan aleatorios.
- ¿Qué tan perjudicial es la inconsistencia?
 - Por lo general, no podemos estar completamente seguros de nuestros juicios. De modo que se insistiría en forzar la consistencia a la matriz de comparación por pares (excepto las que están en diagonal).
 - Mientras haya suficiente consistencia para mantener la coherencia entre los objetos de nuestra experiencia, la consistencia no necesita ser perfecta.
 - ♦ Cuando integramos nuevas experiencias en nuestra conciencia, las relaciones anteriores pueden cambiar y se pierde cierta consistencia.
 - ♦ Es útil recordar que la mayoría de las ideas nuevas que afectan nuestras vidas tienden a reorganizar algunas de nuestras

preferencias, lo que nos hace inconsistentes con nuestros compromisos anteriores.

- ♦ Sin embargo, una mayor inconsistencia indica falta de información o falta de comprensión.

7. **TABLA COMPARATIVA BIOGÁS VS OTRAS FUENTES**

Propiedad/Energía	Biogás	Madera Seca	GLP
Composición	Principalmente metano (CH ₄), dióxido de carbono (CO ₂) y trazas de otros gases.	Composición variable, pero principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno.	Mezcla de propano (C ₃ H ₈) y butano (C ₄ H ₁₀), con trazas de otros compuestos.
Contenido Energético- Poder Calorífico	Variable, pero típicamente 6.0 – 6.5 kWh m ⁻³	Variable, pero típicamente 4.44 - 5.55 kWh m ⁻³ .	Variable, pero típicamente 6.94 - 7.78 kWh m ⁻³ .
Equivalente de Combustible	1 m ³ biogás ≈ 0.642 litros de petróleo.	Depende del tipo y humedad de la madera.	1 m ³ GLP ≈ 0.714 litros de petróleo.
Sostenibilidad Ambiental	Considerado renovable si se produce a partir de residuos orgánicos.	Renovable, pero la tala puede tener impactos ambientales.	Fuentes no renovables, emite CO ₂ durante la combustión.
Almacenamiento y Manejo	Requiere infraestructura para recolección y tratamiento de residuos.	Requiere espacio para almacenamiento y secado.	Almacenamiento en tanques presurizados.
Emisiones de CO ₂	Emite CO ₂ durante la combustión, pero se considera neutral en términos de ciclo de carbono si se gestiona de manera sostenible.	Emite CO ₂ durante la combustión, pero se considera neutral en términos de ciclo de carbono si se gestiona de manera sostenible.	Emite CO ₂ durante la combustión.

Aplicaciones Comunes	Calefacción, generación eléctrica, cocina.	Calefacción, cocina, generación eléctrica.	Calefacción, cocina, agua caliente, aplicaciones industriales.
----------------------	--	--	--

Tabla 7.1 Propiedades Biogás vs otras fuentes

8. AUTOCAD

Es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentos, etc. Incluye características para automatizar tareas y aumentar la productividad, como la comparación de dibujos, el recuento, la adición de objetos y la creación de tablas. También incluye siete conjuntos de herramientas específicas de la industria para el diseño eléctrico, el diseño de plantas, los dibujos de diseño arquitectónico, el diseño mecánico, la cartografía 3D, la adición de imágenes escaneadas y la conversión de imágenes ráster. AutoCAD permite a los usuarios crear, editar y anotar dibujos mediante dispositivos de escritorio, web y móviles.

9. INVENTOR

El software CAD 3D Inventor brinda herramientas de diseño mecánico 3D, documentación y simulación de productos de calidad profesional.

- Combinación potente de capacidades de diseño paramétrico, directo, de formas libres y basado en reglas.
- Herramientas integradas para chapas de metal, diseño de estructuras, tubos y tuberías, cables y arneses, presentaciones, renderización, simulación, diseño de mecanizado y mucho más.
- Capacidades de definición basada en modelos para integrar la información de manufactura directamente en el modelo 3D.

10. TINKERCAD

Es un programa de diseño y modelado 3D online que facilita la creación de proyectos de animación digital a una variedad de usuarios. Además, está construido en una geometría solida constructiva (CSG), permitiendo que cualquier usuario pueda crear modelos complejos mediante combinaciones de objetos simples.

Estas son algunas de las características más importantes de la aplicación Tinkercad:

- Crear diseños en 3D utilizando la pantalla táctil en tu iPad.
- Puedes ver tus diseños en 3D con realidad aumentada desde la aplicación.

- Utiliza código Arduino a través de Tinkercad Codeblocks.
- Compatible con Apple Pencil.
- Importa Archivos STL 3D a la aplicación para diseñarlos.
- Exporta y descarga archivos USDZ, SVG y modelos STL.

11. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El SEIA es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto si:

- Cumple con la legislación ambiental vigente
- Se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tiene como función principal administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

El SEIA entró en vigor el 3 abril de 1997. A más de dos décadas de su aplicación, el SEIA ha permitido que el país haya logrado un cambio sustancial en la forma de construir el futuro, al poder prevenir los impactos que pueda generar las inversiones públicas y privadas, o hacer que, cuando se generan impactos adversos significativos, exista una mitigación.

11.1 ¿QUIÉN VENDRÍA SIENDO ÉL SEA?

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) es un organismo público funcionalmente descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio. Él SEA fue creado por la Ley N°20.417, publicada en el Diario Oficial el 26 de enero de 2010, que modificó la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Su función central es tecnificar y administrar el instrumento de gestión ambiental denominado “Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” (SEIA), cuya gestión se basa en la evaluación ambiental de proyectos ajustada a lo establecido en la norma vigente, fomentando y facilitando la participación ciudadana en la evaluación de los proyectos.

Este Servicio cumple la función de uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite.

La tecnificación del sistema apunta a establecer criterios comunes para evaluar cada tipo de proyecto, con el objeto de asegurar la protección del medio ambiente de manera eficiente y eficaz.

11.2 ¿CUÁL ES EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL?

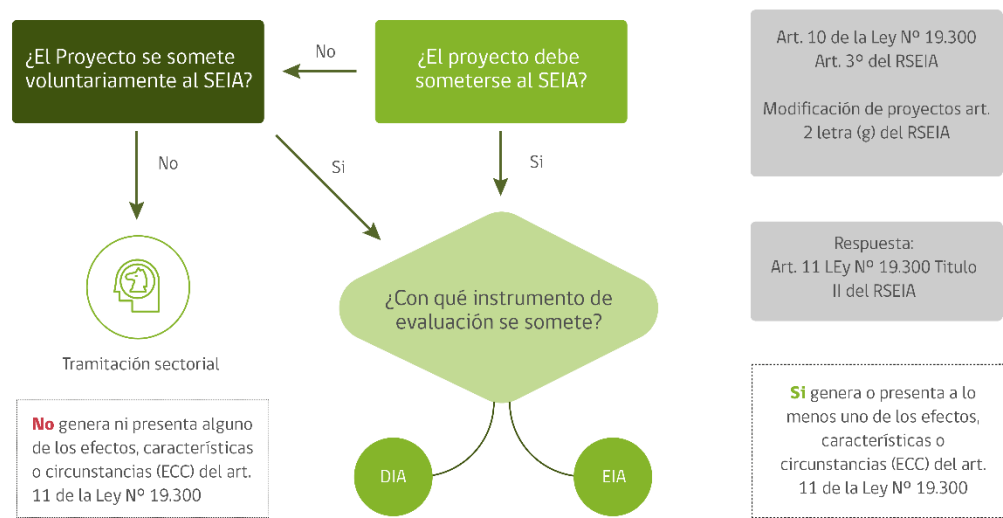


Figura 11.1 Instrumentos de Evaluación SEIA

Fuente: <https://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia-0>

11.2.1 Diferencias del procedimiento de evaluación entre una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA)

Materia	DIA	EIA
Plazo de evaluación	60 días	120 días
Ampliación del plazo de evaluación	30 días	60 días
Participación ciudadana (PAC)	Solo si el proyecto genera cargas ambientales y la PAC es solicitada	Siempre
Consulta indígena	No aplica	Aplica cuando hay impacto significativo a grupos humanos pertenecientes a pueblos indígenas
Recurso de reclamación	Ante director ejecutivo del SEA	Ante comité de ministros

Tabla 11.1 Procedimiento de Evaluación del DIA y EIA

11.2.2 Contenidos comunes de una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA)

Referencia en el RSEIA	
Artículo 12	Indicación si se trata o no de una modificación de proyecto
Artículo 13	Indicación de la relación del proyecto con políticas, planes y programas de desarrollo regional o PLADECO
Artículo 14	Indicación el proyecto se va o no a ejecutar por etapas
Artículo 15	Indicación de la relación del proyecto con políticas y planes evaluados estratégicamente
Artículo 16	Indicación de la gestión, pacto o faena mínima que dé cuenta el inicio de la ejecución del proyecto de modo sistemático y permanente
Artículo 17	Información de negociaciones del titular con interesados, realizadas antes o durante la evaluación del proyecto

Tabla 11.2 Artículos de la ley 19.300 Medio Ambiente

11.2.3 Contenidos mínimos de una declaración de impacto ambiental (DIA) y un estudio de impacto ambiental (EIA)

EIA (Referencia art. 18 del RSEIA	DIA (Referencia art. 19 del RSEIA
Descripción del proyecto	Descripción del proyecto
Determinación y justificación del área de influencia (AI) y su descripción general	Determinación y justificación del área de influencia (AI) y su descripción general
Descripción detallada del AI-línea de base- Predicción y evaluación de impactos ambientales	
Antecedentes que justifiquen la inexistencia de ECC art. 11 Ley	Antecedentes que justifiquen la inexistencia de ECC art. 11 Ley
Descripción de los efectos del art. 11 ley que da origen al EIA	
Plan de medidas de mitigación, reparación o compensación	
Plan de prevención de contingencias el plan de emergencias	Plan de prevención de contingencias y plan de emergencias, cuando corresponda

Plan de seguimiento de las variables ambientales	
Plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable: normativa y permisos ambientales sectoriales	Plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable: normativa y permisos ambientales sectoriales
Descripción de compromisos ambientales voluntarios, si se contemplan	Descripción de compromisos ambientales voluntarios, si se contemplan

Tabla 11.3 Contenidos mínimos de un DIA y EIA

11.2.4 Diagrama de flujo de un estudio de impacto ambiental

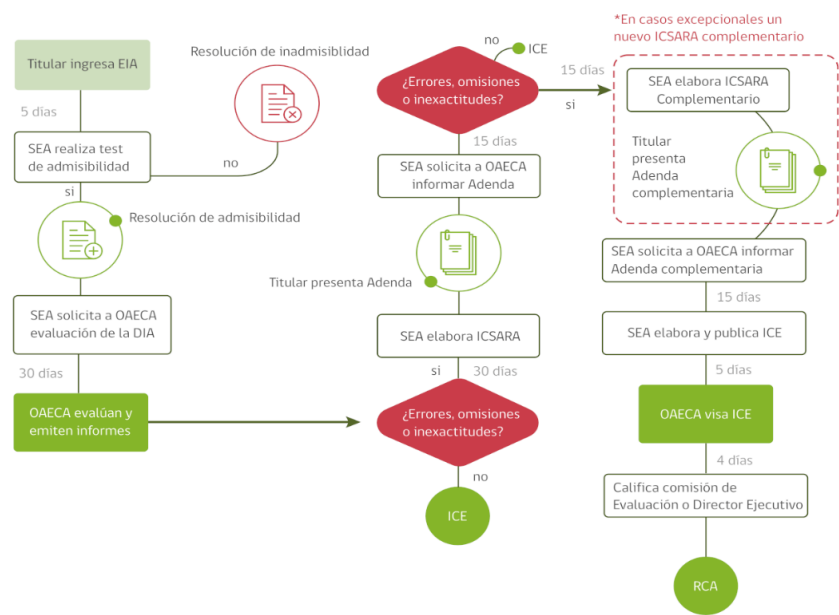


Figura 11.2 Diagrama de flujo EIA

Fuente: <https://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia-0>

11.2.5 Diagrama de flujo de una declaración de impacto ambiental

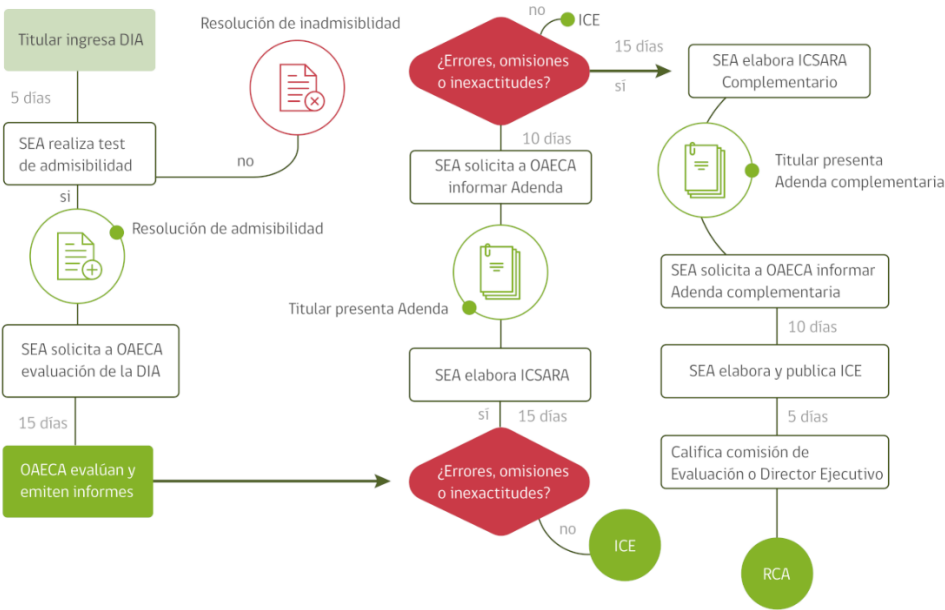


Figura 11.3 Diagrama de flujo DIA

Fuente: <https://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia-0>

CAPITULO 4: DISEÑO SOLUCIÓN

12. SELECCIONAR LA UBICACIÓN DEMOGRÁFICA PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR POR METODOLOGÍA AHP

La selección demográfica es importante para la instalación del Biodigestor propuesto, dado que influye la tecnología y la materia prima que se utilizara para dicho equipo.

El primer paso que se realizará es desarrollar la representación gráfica del problema, en este caso es la **selección demográfica** junto a los **criterios** y **alternativas**, se puede apreciar a continuación.

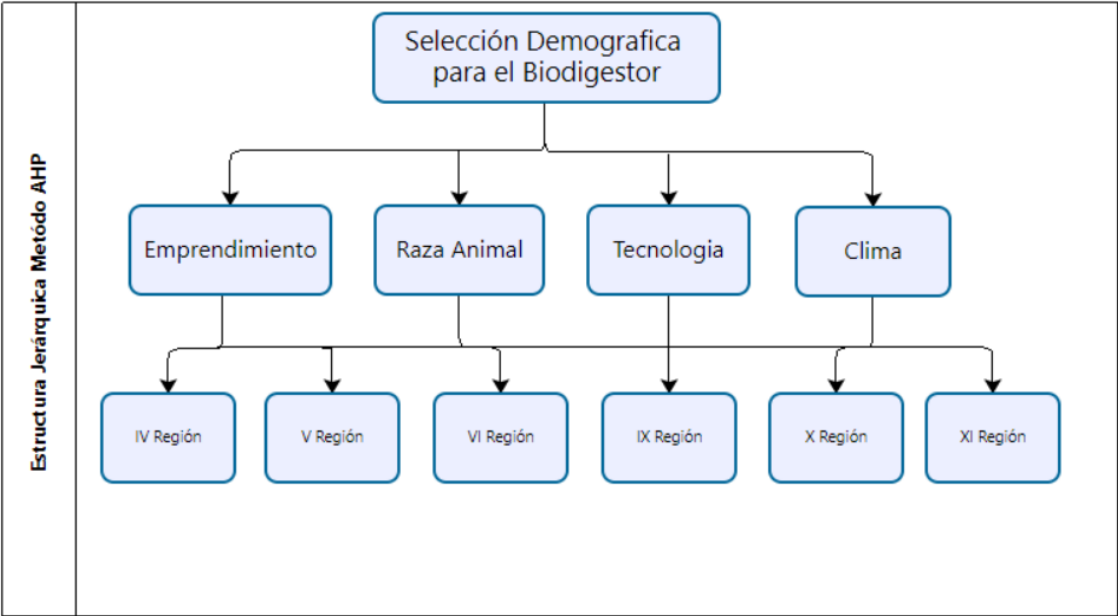


Figura 12.1 Estructura Jerárquica

Fuente: Elaboración Propia

Este método AHP emplea una escala subyacente con valores del 1 al 9 para calificar las preferencias relativas de dos elementos (ver Figura 10.2), en una encuesta comparando entre si cada criterio, luego en cada criterio se comparan entre si cada alternativa.

Juicio verbal de preferencia	Valoración Numerica
Extremadamente preferida	9
(Valor intermedio)	8
Muy fuertemente preferida	7
(Valor intermedio)	6
Fuertemente preferida	5
(Valor intermedio)	4
Moderadamente preferida	3
(Valor intermedio)	2
Igualmente preferida	1

Figura 12.2 Escala Subyacente

Fuente: Elaboración Propia

Los números pares como el 2, 4, 6 y 8 son valores intermedios para la escala, ahora se pueden usar decimales para una discriminación más fina.

Cabe mencionar que las personas encuestadas son expertos en el área del biogás y su profesión Ingenieros Agrónomo.

Las comparaciones se organizan en una *Matriz M* llamada de comparación por pares (PCM)

Criterio	Emprendimiento	Raza animal	Tecnología	Clima
Emprendimiento	1	3	5	5
Raza animal	1/3	1	3	3
Tecnología	1/5	1/3	1	3
Clima	1/5	1/3	1/3	1

Tabla 12.1 Matriz de Comparación por pares Criterios

Fuente: Elaboración Propia

Luego de la comparación de los criterios entre sí, se procede a realizar la comparación de cada una de las alternativas entre sí, bajo cada criterio;

- Criterio 1: Emprendimiento

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	7	5	5	5	6
V	1/7	1	3	3	4	4
VI	1/5	1/3	1	6	5	5
IX	1/5	1/3	1/6	1	2	2
X	1/5	1/4	1/5	1/2	1	1
XI	1/6	1/4	1/5	1/2	1	1

Tabla 12.2 Matriz de Comparación por pares Emprendimiento Regiones vs Regiones

Fuente: Elaboración Propia

- Criterio 2: Raza Animal.

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	4	3	5	5	5
V	1/4	1	2	3	5	4
VI	1/3	1/2	1	3	4	4
IX	1/5	1/3	1/3	1	2	2
X	1/5	1/5	1/4	1/2	1	1
XI	1/5	1/4	1/4	1/2	1	1

Tabla 12.3 Matriz de Comparación por pares Raza Animal Regiones vs Regiones

Fuente: Elaboración Propia

- Criterio 3: Tecnología.

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	3	3	7	8	8
V	1/3	1	2	6	6	6

VI	1/3	1/2	1	5	6	6
IX	1/7	1/6	1/5	1	3	3
X	1/8	1/6	1/6	1/3	1	1
XI	1/8	1/6	1/6	1/3	1	1

Tabla 12.4 Matriz de Comparación por pares Tecnología Regiones vs Regiones

Fuente: Elaboración Propia

- Criterio 4: Clima.

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	4	4	8	8	8
V	1/4	1	2	5	6	6
VI	1/4	1/2	1	5	5	5
IX	1/8	1/5	1/5	1	2	2
X	1/8	1/6	1/5	1/2	1	1
XI	1/8	1/6	1/5	1/2	1	1

Tabla 12.5 Matriz de Comparación por pares Clima Regiones vs Regiones

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, ya con la elaboración de las matrices donde se establece la comparación por pares (PCM) se sintetiza obteniendo el denominado vector de prioridad a través de un procedimiento matemático llamado vector de Perron:

- El vector Perron de una PCM, M , se puede calcular fácilmente, por ejemplo, mediante el método de potencia.
- ✓ Paso 0: Proporcionar una inicialización W_0 del vector de Perron.

Criterio	Emprendimiento	Raza animal	Tecnología	Clima
Emprendimiento	1	3	5	5
Raza animal	1/3	1	3	3
Tecnología	1/5	1/3	1	3
Clima	1/5	1/3	1/3	1

$W_0 =$

1
1
1

Tabla 12.6 PCM método potencia

- ✓ Paso 1: Multiplicar M por w_i para obtener la siguiente iteración $w_{i+1} = Mw_i$

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14 \\ 7,33333333 \\ 4,53333333 \\ 1,86666667 \end{bmatrix}$$

- ✓ Paso 2: Normalizar w_{i+1} tal que $1^T * w_{i+1} = 1$.

$$1^T * w_1 = \sum w_1^{(i)} = 27,7333333 \Rightarrow w_1 = \begin{bmatrix} 0,50480769 \\ 0,26442308 \\ 0,16346154 \\ 0,06730769 \end{bmatrix}$$

- ✓ Paso 2.1: Repetir hasta lograr convergencia

M				
1	3	5	5	
1/3	1	3	3	
1/5	1/3	1	3	
1/5	1/3	1/3	1	

Tabla 12.7 PCM

w0	w1	...	...	...	w27	Vector propio (prioridades)
1	0,50480769	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949	
1	0,26442308	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24761	
1	0,16346154	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12926	
1	0,06730769	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364	
Mw0	Mw1	...	...	...	Mw27	
14	0,50480769	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949	
7,33333333	0,26442308	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24761	
4,53333333	0,16346154	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12926	
1,86666667	0,06730769	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364	
Σ 27,7333333	4,44230769	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	Valor propio máximo(λ _{max})

Tabla 12.8 Resumen de Matriz de Iteraciones

La tabla representada a continuación es un extracto de la tabla completa de iteración de criterios que se encontrara en Anexos.

Ranking de Prioridad:

- ✓ Paso 2.2: Calcular el vector de prioridad para cada matriz

$\begin{bmatrix} IV \\ V \\ VI \\ IX \\ X \\ XI \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,501342647 \\ 0,18765096 \\ 0,164735167 \\ 0,061871583 \\ 0,043427964 \\ 0,040971679 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,43238125 \\ 0,21658457 \\ 0,17002174 \\ 0,07934705 \\ 0,04997002 \\ 0,05169538 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,43205542 \\ 0,24711077 \\ 0,18773856 \\ 0,0647644 \\ 0,03416543 \\ 0,03416543 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,48633187 \\ 0,22073863 \\ 0,16509966 \\ 0,05409664 \\ 0,03686659 \\ 0,03686659 \end{bmatrix}$	Emprendimiento	$\begin{bmatrix} 0,54949368 \\ 0,247606762 \\ 0,12925528 \\ 0,0736443 \end{bmatrix}$ W_{Crit}
	$W_{Emprendimiento}$	$W_{Raza\ animal}$	$W_{Tecnología}$	W_{Clima}	Raza Animal	
					Tecnología	
					Clima	

Tabla 12.9 Vectores prioritarios de cada PCM

- ✓ Paso 2.3: Sumar el producto de la prioridad del criterio (con respecto al objetivo general) multiplicando por la prioridad de la alternativa de decisión con respecto a ese criterio.

$$[W_{Empr.} \mid W_{RA.} | W_{Tec.} | W_{Clima.} |] * [W_{Crit}]$$

$$\begin{bmatrix} 0,501342647 & 0,43238125 & 0,43205542 & 0,48633187 \\ 0,18765096 & 0,21658457 & 0,24711077 & 0,22073863 \\ 0,164735167 & 0,17002174 & 0,18773856 & 0,16509966 \\ 0,061871583 & 0,07934705 & 0,0647644 & 0,05409664 \\ 0,043427964 & 0,04997002 & 0,03416543 & 0,03686659 \\ 0,040971679 & 0,05169538 & 0,03416543 & 0,03686659 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,54949368 \\ 0,247606762 \\ 0,12925528 \\ 0,0736443 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,474206 \\ 0,204937 \\ 0,169044 \\ 0,066000 \\ 0,043367 \\ 0,042445 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 47\% \\ 20\% \\ 17\% \\ 6,60\% \\ 4,3\% \\ 4,2\% \end{bmatrix}$$

✓ Paso 2.4: Jerarquizar (ordenar) los valores de prioridad.

Alternativas	Prioridad en %
IV V VI IX X XI	47% 20% 17% 6,60% 4,3% 4,2%
Total	100%

Tabla 12.10 Valores de prioridad

Por último, se procede al desarrollo del procedimiento donde se estima el índice de consistencia de tal manera que los valores de la ratio de consistencia no sean mayores a 0,10 porque si son superiores a esa cantidad son indicativos de juicios inconsistentes. El cálculo matemático de la ratio de consistencia es el siguiente:

- ✓ Paso 1: Utilice, por ejemplo, el método de potencia, como ya se explicó, para calcular el vector propio de Perron su valor propio correspondiente $(\lambda_{max}) = 1^T * w$.
- ✓ Paso 2: Calcule el índice de consistencia (CI) para la matriz de **Criterios**, $(\lambda_{max}) = 4,19806793$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,19806793 - 4}{4 - 1} = 0,066022643$$

- ✓ Paso 3: Calcular el ratio de consistencia (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Antes de comenzar a calcular el CR se debe saber que por tabla es como se consigue el valor de RI, donde RI depende del número de elementos que se comparan (es decir, el tamaño de la matriz de comparación por pares) y toma los siguientes valores:

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
<i>RI</i>	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	...

Tabla 12.11 Valores de *RI*

Ya conociendo el valor que puede tomar *RI* se puede comenzar a calcular:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,066022643}{0,90} = 0,07336 \leq 0,10$$

- El grado de consistencia exhibido en la matriz de comparación por pares **Criterios** es aceptable.
- Se usa el valor de 0,90 por el hecho de que en la matriz de **Criterios** hay una cantidad de 4 elementos.

Dado los resultados de las matrices e iteraciones calculas a través de la metodología AHP obtuvimos que la alternativa más apta para la construcción de un biodigestor es la cuarta región.

13. CUANTIFICAR LA CANTIDAD Y DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS, PRINCIPALMENTE RESIDUOS ORGANICOS

En el año 2020 a 2021 se realizó el VIII censo agropecuario y forestal, del cual rescatamos los datos de cabezas de animales por cada región de nuestro país. Dado que en el objetivo anterior se obtuvo como resultado la 4ta región, en la cual enfocaremos nuestro biodigestor. A continuación, se muestra los grupos con mayor registro de animales a nivel nacional y por regiones.

VIII Censo Agropecuario y Forestal, año agrícola 2020 - 2021, INE-Chile.						
Total Nacional - Región	Existencias (Número de animales)					
	Bovinos	Ovinos	Caprinos	Porcinos	Gallinas/Pollos	Pavos
Región de Arica y Parinacota	1.011	10.175	4.151	619	1.907.903	124
Región de Tarapacá	93	11.017	6.230	915	158.905	110
Región de Antofagasta	241	5.826	3.913	499	279.220	164
Región de Atacama	2.297	3.927	19.588	561	16.941	626
Región de Coquimbo	11.594	29.727	159.837	2.674	1.195.752	11.993
Región de Valparaíso	48.165	9.029	10.194	723.798	11.805.013	2.097.384
Región Metropolitana de Santiago	60.114	12.788	10.407	643.468	18.640.947	866
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	47.619	105.387	15.887	821.050	17.906.056	3.425
Región del Maule	141.909	104.940	22.011	134.561	2.011.163	15.352
Región de Ñuble	111.048	60.157	14.028	183.306	2.094.690	14.441
Región del Biobío	164.350	46.920	13.732	35.441	1.905.741	16.724
Región de La Araucanía	368.785	220.898	29.645	77.416	829.873	41.583
Región de Los Ríos	485.638	85.294	6.538	20.935	220.103	5.270
Región de Los Lagos	774.321	227.798	9.082	42.429	390.138	12.893
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	130.832	177.934	8.175	1.361	45.425	3.051
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	126.389	1.417.421	18	432	9.694	48
Total Nacional	2.474.406	2.529.238	333.436	2.689.465	59.417.564	2.224.054

Figura 13.1 Censo Agropecuario 2020-2021

Fuente: Andrea Mejías Extracto de Censo Agropecuario 2020-2021

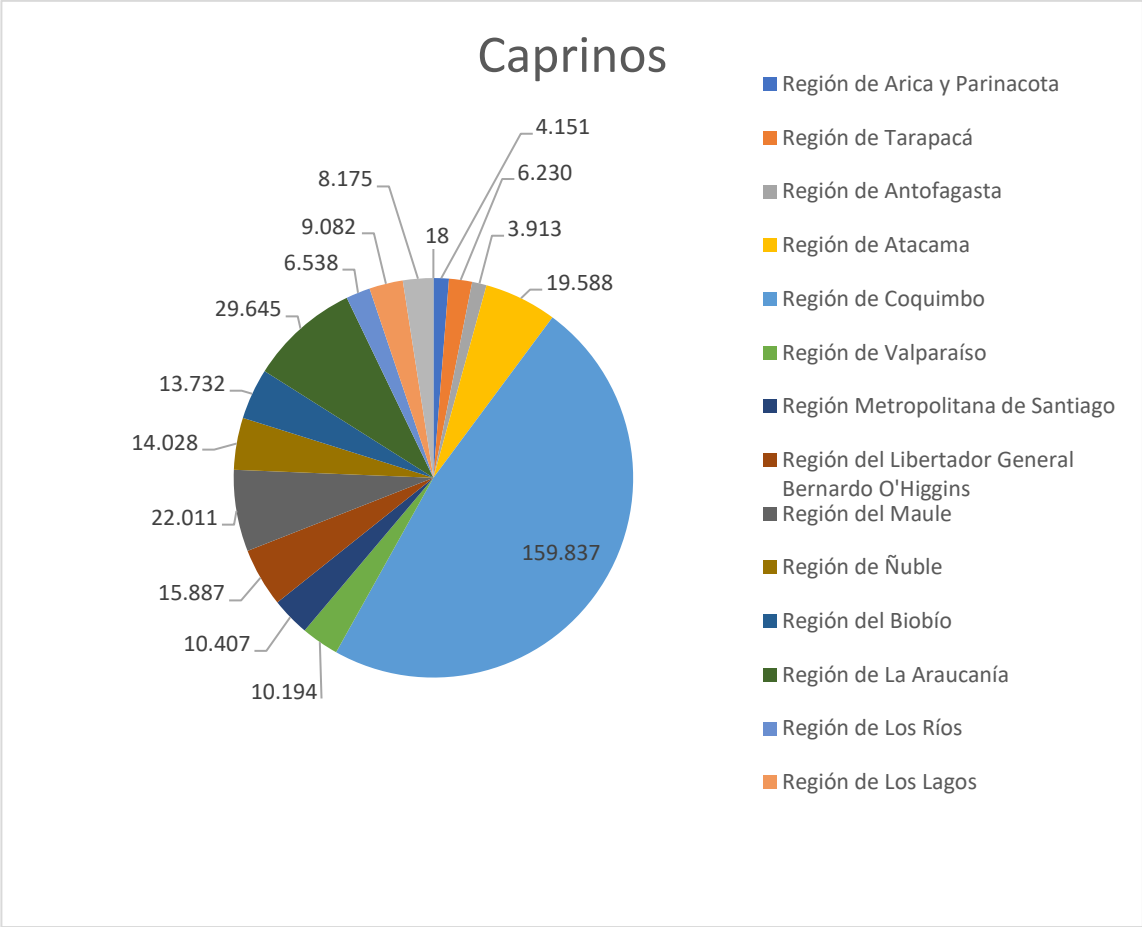


Figura 13.2 Existencia animal de Caprinos

Fuente: Elaboración Propia (extracto del VIII Censo agropecuario)

En la 4ta región es predominante la raza de Caprinos por lo cual fijaremos nuestro enfoque en su excreta o purín para la producción de biogás y bioabono.

14. ESTUDIAR Y SELECCIONAR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LA FEMETACION ANAERÓBICA

La condición climatológica de la 4ta región fluctúa entre 15 – 20°C en la época de verano y en la época de invierno es de 9 – 15 °C, con esto se generan organismos Mesophilicos en el proceso de fermentación anaeróbica, ver Tabla12.1:

Fermentación (Microorganismos)	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4 – 10°C	15 – 18°C	20 – 25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15 – 20°C	25 – 35°C	35 – 45°C	30 – 60 días
Thermophilica	25 – 45°C	50 – 60°C	75 – 80°C	10 – 15 días

Tabla 14.1 Rangos de Temperatura y Tiempo de Fermentación Anaeróbica

Fuente: Lagrange, 1979.

Ahora que se conoce el tipo de purín animal debemos calcular el porcentaje de agua vs purín caprino, para esto debemos saber cuál es porcentaje de material solido dentro de la excreta caprina, ver Tabla 12.2:

Materia prima	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovino	13,4 – 56,2
Porcinos	15,0 – 49,0
Aves	26,0 – 92,0
Caprinos	83,0 – 92,0
Ovino	32,0 – 45,0

Tabla 14.2 Solidos Totales dentro de las Excretas animales

Fuente: Varnero y Arevallo, 1991.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de solidos totales, es necesario conocer el porcentaje de solidos totales de la materia prima fresca.

En el caso del estiércol de caprino fresco, suponiendo que tiene un 83% de solidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de solidos totales, para saber cuánta agua se debe agregar por kilo de excreta fresca, se realiza el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} \% S.T. (carga diluida) &= \frac{1\text{ kg excreta fresca} * \% S.T. excreta fresca}{1\text{ kg excreta fresca} + \text{agua agregada}} \\ 0,05 &= \frac{1 * 0,83}{1 + \text{lt agua}} \\ 0,05 + 0,05\text{lt agua} &= 0,83 \\ \text{lt agua} &= \frac{0,83 - 0,05}{0,05} = \mathbf{15,6\text{ litros/kg excreta fresca}} \end{aligned}$$

Llevándolo a la práctica tendemos un bidón de 230 litros, el cual se llenará a un 70% de capacidad dedicado a la mezcla de agua con purín de caprino, para saber cuántos kilos de estiércol fresco de caprino se necesitan en base al contenedor y la proporción litro de agua por excreta fresca, se realiza el siguiente calculo:

$$\begin{aligned} \frac{\left(\frac{230\text{lt} * 70\%}{100\%}\right)}{15,6\text{ lt/kg}} &= \text{excreta fresca} \\ \mathbf{10,32\text{ kg}} &= \text{excreta fresca caprino} \end{aligned}$$

Esta relación de 1:15 estiércol-litros de agua calculada anteriormente se puede reducir si se realiza una disolución de 1:3 (estiércol-lt agua) previamente al ingreso del Biodigestor con la finalidad de reducir los tiempos de fermentación. Por ende, baja considerablemente el % de ST a un 20,8% por kilo de estiércol. Además, se debe recalcular el porcentaje de llenado al bidón de 230 m³:

$$\begin{aligned} \% S.T.(carga\ diluida) &= \frac{1\ kg\ excreta\ fresca * \% S.T.excreta\ fresca}{1\ kg\ excreta\ fresca + agua\ agregada} \\ 0,05 &= \frac{1 * 0,208}{1 + lt\ agua} \\ 0,05 + 0,05lt\ agua &= 0,208 \\ lt\ agua &= \frac{0,208 - 0,05}{0,05} = 3,16\ litros/kg\ excreta\ fresca \\ \frac{\left(\frac{230lt * 70\%}{100\%}\right)}{3,16\ lt/kg} &= excreta\ fresca \\ 50,949\ kg &= excreta\ fresca\ caprino \end{aligned}$$

Ya conociendo la cantidad total de excreta animal a utilizar para la carga de llenado del biodigestor, se requiere saber cuánto biogás se va a producir durante el proceso de fermentación. Ver Tabla 13.3

Procedencia heces	Excreta húmedo-diaria (kg)/animal	m³ de biogás /día*animal	Proporción excreta: agua	Tiempo de retención
Vaca	10	0,360	1:1	40 días
Toro	15	0,540	1:1	40 días
Cerdo	2,25	0,101	1:1-3	40 días
Gallina	0,18	0,108	1:1-8	30 días
Caballo	10	0,300	1:1-3	30 días
Caprino (50 kg)	2	0,100	1:1-3	40 días
Ternero	5	0,200	1:1	40 días
Persona Adulta	0,40	0,025	1:1	60 días

Tabla 14.3 Datos de producción de biogás

Fuente: (Guardado 2003, 22)

Se conoce que la producción de biogás después de 40 días es de 0,100 m³ por 2 kg de excreta (caprino), llevando esto al cálculo anterior de la carga inicial del biodigestor se estima que la producción de biogás sea 2,5 m³/día, para obtener esta ganancia de biogás se requiere que tengan en existencia de 25 o más caprinos.

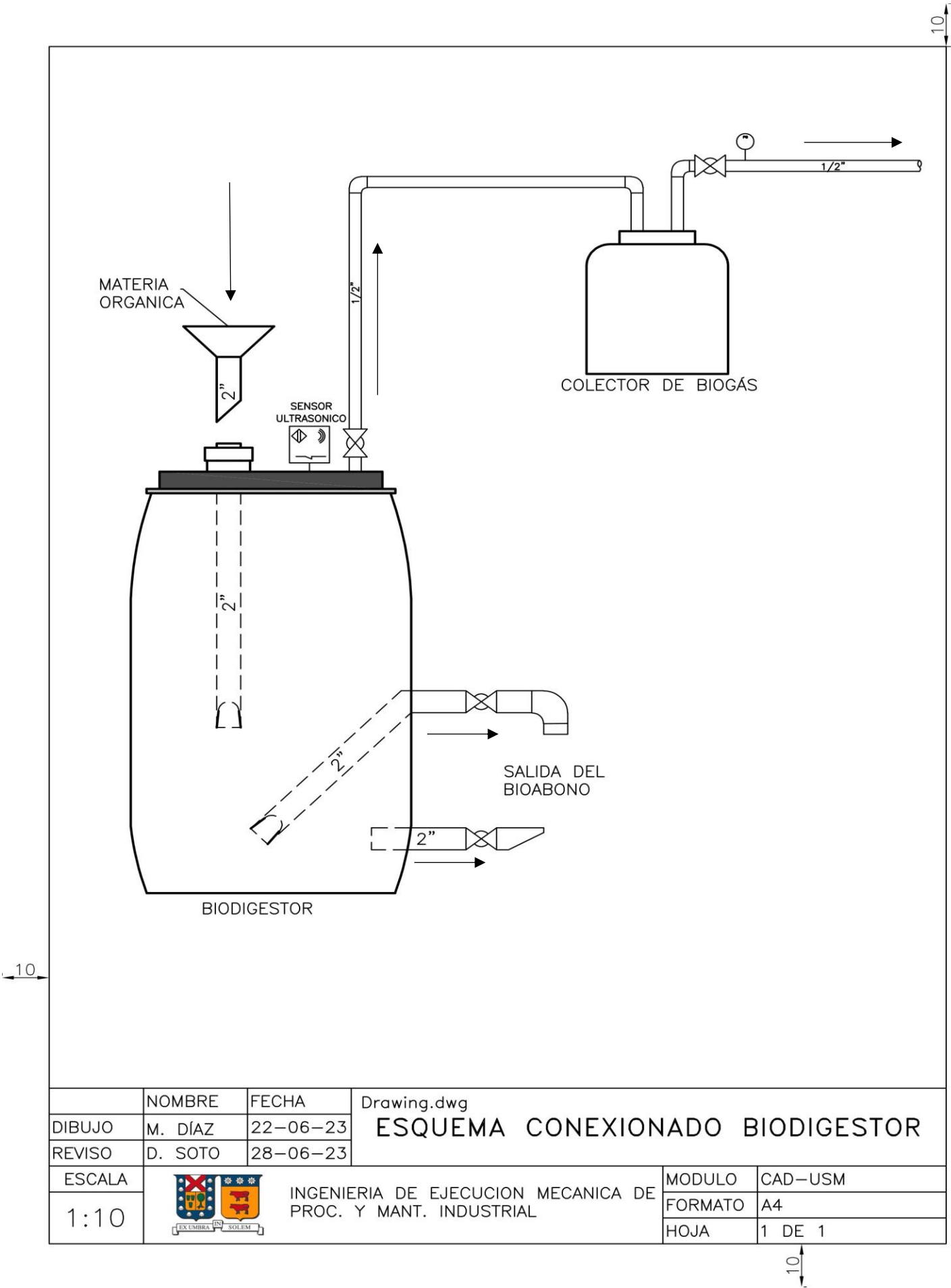
15. ESTUDIAR EL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL BIODIGESTOR

Al elegir hacer una matriz de impacto ambiental en lugar de un estudio o declaración de impacto ambiental, las razones claves que consideramos que respaldan nuestra decisión son:

1. **Enfoque más específico y centrado:** La matriz de impacto ambiental proporciona un enfoque más específico y centrado en los impactos ambientales directos e indirectos asociados con un proyecto en particular. A diferencia de una declaración o estudio de impacto ambiental más general, una matriz de impacto ambiental permite identificar y evaluar de manera más detallada los impactos específicos que pueden surgir durante diferentes etapas del proyecto.
2. **Mayor facilidad de aplicación:** La matriz de impacto ambiental suele ser una herramienta más fácil de aplicar y comprender en comparación con una declaración o estudio de impacto ambiental extenso. Al utilizar una matriz, puedes organizar los impactos ambientales en categorías claras y asignar valores numéricos o cualitativos para evaluar la magnitud y la importancia de cada impacto.
3. **Ahorro de tiempo y recursos:** Elaborar una declaración o estudio de impacto ambiental exhaustivo puede requerir una cantidad significativa de tiempo y recursos, ya que implica investigaciones detalladas, recolección de datos, análisis y redacción extensa. Al contrario, una matriz de impacto ambiental puede ser más concisa y eficiente en términos de tiempo y recursos necesarios para su desarrollo.
4. **Enfoque más práctico para proyectos de menor escala:** Si un proyecto de título tiene un alcance más limitado o se enfoca en una escala menor, como una actividad o instalación específica, una matriz de impacto ambiental puede ser más adecuada. Una declaración o estudio de impacto ambiental a gran escala podría ser desproporcionado y no proporcionar información relevante y específica para la evaluación de impactos en un proyecto más pequeño.
5. **Herramienta de toma de decisiones:** Una matriz de impacto ambiental puede ser una herramienta útil para la toma de decisiones en la planificación y ejecución de proyectos. Al evaluar y comparar diferentes impactos ambientales, puedes identificar aquellos que tienen mayor importancia de priorizar acciones para mitigar o minimizar dichos impactos. Esto puede contribuir a la implementación de medidas más efectivas de gestión ambiental en el proyecto.

Se debe tener en consideración que aquellas razones que exponemos no le quitan el mérito a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, es decir, que para un proyecto a gran escala un estudio o declaración siempre serán de uso primordial.

2. Plano Biodigestor 2D



	NOMBRE	FECHA	Drawing.dwg		
DIBUJO	M. DÍAZ	22-06-23	ESQUEMA CONEXIONADO BIODIGESTOR		
REVISO	D. SOTO	28-06-23			
ESCALA	 INGENIERIA DE EJECUCION MECANICA DE PROC. Y MANT. INDUSTRIAL		MODULO	CAD-USM	
1:10			FORMATO	A4	
			HOJA	1 DE 1	

3. Prototipo Biodigestor 3D

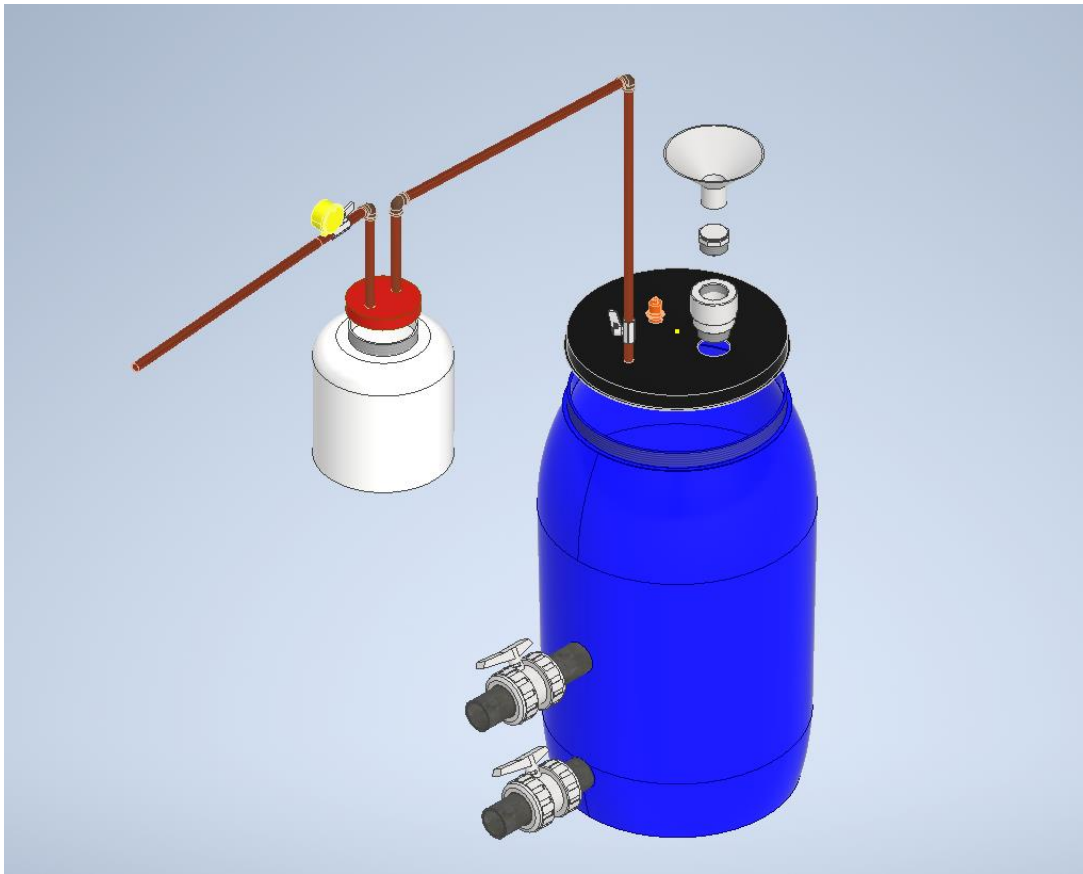


Figura 16.2 Prototipo Biodigestor Inventor

Fuente: Elaboración Propia

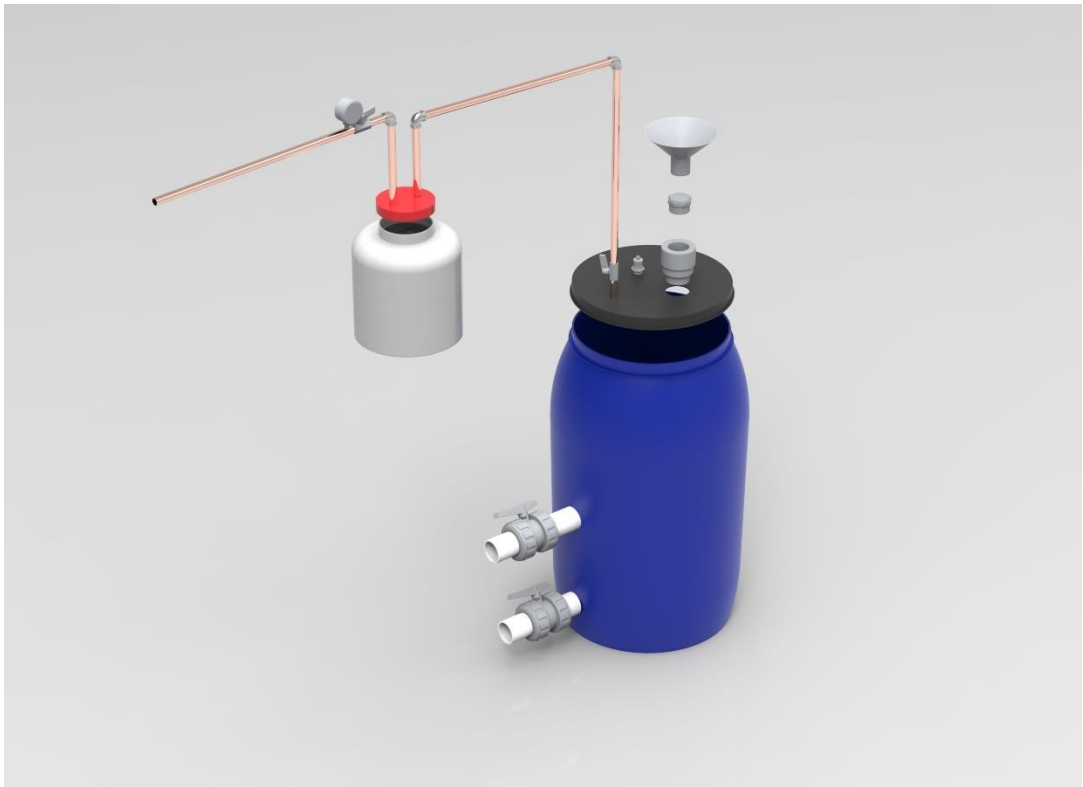


Figura 16.3 Prototipo Biodigestor Render

Fuente: Elaboración Propia

4. Conexión del Sensor Ultrasónico

En este plano se estimó que el sensor ultrasónico tenga 3 indicadores de alarmas con leds para indicar rangos cuando esté lleno, medio lleno y vacío el biodigestor.

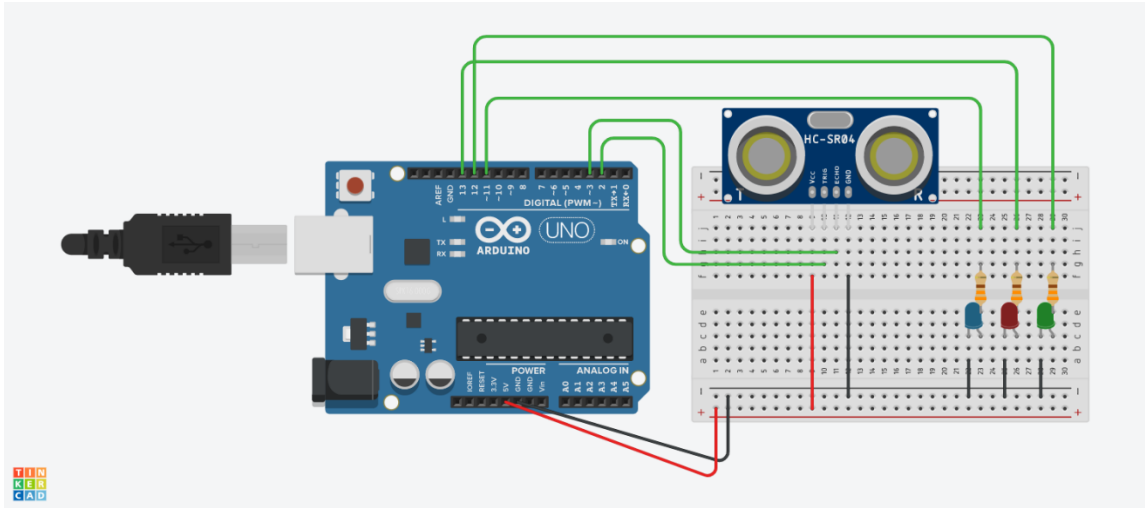


Figura 16.4 Conexión del Sensor Ultrasónico

```
const int Trigger = 2; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo = 3; //Pin digital 3 para el Echo del sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); //inicializamos la comunicación
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

void loop()
{
  long t; //tiempo que demora en llegar el eco
  long d; //distancia en centímetros

  digitalWrite(Trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us
  digitalWrite(Trigger, LOW);

  t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
  d = t/59; //escalamos el tiempo a una distancia en cm

  if(d<30){
    digitalWrite(13, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(13, LOW);
  }
  if(d>30 && d<57){
    digitalWrite(12, HIGH);
  }
}
```

```
        }
    else {
        digitalWrite(12, LOW);
    }
    if(d>58 && d<80){
        digitalWrite(11, HIGH);
    }
    else {
        digitalWrite(11, LOW);
    }

    Serial.print("Distancia: ");
    Serial.print(d);    //Enviamos serialmente el valor de la distancia
    Serial.print("cm");
    Serial.println();
    delay(100);        //Hacemos una pausa de 100ms
}
```

Tabla 16.1 Código de Conexionado Arduino

17. **EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL BIODIGESTOR**

La evaluación económica del proyecto biodigestor está enfocada al valor actual de costos (VAC) para determinar cuál es la mejor opción entre leña, gas licuado y biogás, al momento de instalar una cocina para un hogar en la cuarta región.

El VAC se define por la siguiente ecuación:

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

- C_t = Costos al final del periodo t
- I_0 = Inversion inicial
- r = tasa de descuento para cada periodo
- t = periodo en años, semestres, trimestres y mensual
- n = número de periodos

La tasa de descuento que se considera para el cálculo del VAC esta extraída del Ministerio de energía, el cual designa que debe ser superior al 7% y no sobrepasar el 10%, consideramos el 10% en el peor caso.

17.1 **CUBICACIÓN Y PRESUPUESTO**

Se realizo un levantamiento de todas las cañerías y tuberías dentro del plano 2D y 3D que se llevó a una cubicación con el fin de conocer cuantas tiras de material se necesitaran para representarlos en el presupuesto:

Material	Elemento	Largo parcial (mm)	N° Elementos	N° Piezas	Largo Total (mm)	Tubo PVC 2" SANITARIO	Cañería Cobre L 1/2"
Tubo PVC 2" SANITARIO	Entrada materia organica	657,2	1	1	657,2	657,2	
Tubo PVC 2" SANITARIO	Salida Bioabono 1	410	1	1	410	410	
Tubo PVC 2" SANITARIO	Salida Bioabono 1	255,4	1	1	255,4	255,4	
Tubo PVC 2" SANITARIO	Salida Bioabono 2	364,8	1	1	364,8	364,8	
Cañería Cobre L 1/2"	Tramo 1 B-C	682,9	1	1	682,9		682,9
Cañería Cobre L 1/2"	Tramo 2 B-C	622,2	1	1	622,2		622,2
Cañería Cobre L 1/2"	Tramo 3 B-C	200	1	1	200		200
Cañería Cobre L 1/2"	Tramo 1 C-C	237	1	1	237		237
Cañería Cobre L 1/2"	Tramo 2 C-C	6000	1	1	6000		6000
					0		
					0		
Largo Total						1687	7742,1
5% dezpunte						84	387
Total						1772	8129
Cantidad de tiras						1,77	1,35
Cantidad a comprar						2	2

Figura 17.1 Cubicación de Cañerías y Tubos

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Tubo pvc sanitario gris 50mm 1mt sin cabeza	2	tira	\$ 4.350	\$ 8.700
2	Curva pvc sanitario gris 50mm	1	C/U	\$ 890	\$ 890
3	Codo pvc sanitario gris 50mm	1	C/U	\$ 610	\$ 610
4	Valvula PVC bola cementar 50mm	2	C/U	\$ 20.390	\$ 40.780
5	Adhesivo para PVC con pincel secado rapido 240cc	1	C/U	\$ 3.690	\$ 3.690
6	Cañería 1/2" 6 m Tipo L	2	tira	\$ 30.290	\$ 60.580
7	Cod Soldar 1/2" Cobre	3	C/U	\$ 361	\$ 1.083
8	Valvula de bola 1/2" Bronce	2	C/U	\$ 2.932	\$ 5.864
9	Adhesivo epóxico metal	1	C/U	\$ 6.090	\$ 6.090
10	Teflon gas de 1/2"	2	C/U	\$ 439	\$ 878
11	Disco De Corte Diamantado Dewalt	1	C/U	\$ 17.108	\$ 17.108
12	XS1M18KP340 SCHNEIDER ELECTRIC	1	C/U	\$ 34.076	\$ 34.076
13	BIDÓN DE PLÁSTICO AZUL CON TAPA NEGRA 230 LITROS	1	C/U	\$ 137.011	\$ 137.011
14	BIDÓN DE PLÁSTICO 15 LITROS	1	C/U	\$ 50.418	\$ 50.418
15	Soplete	1	C/U	\$ 22.400	\$ 22.400
16	Filtro De Aire 1/2 Compresor Trampa De Humedad	1	C/U	\$ 29.386	\$ 29.386
17	Kit de Inicio Arduino con Arduino UNO R3 Original	1	C/U	\$ 33.590	\$ 33.590
18	Trampa de Humedad	1	C/U	\$ 29.050	\$ 29.050
Total Materiales e insumos					\$ 482.204

17.2 FLUJO DE CAJA

Datos relevantes	
Combustible \$/lt (diesel)	\$ 1.049
10lt	\$ 10.490
flete minimo	\$ 25.000
trabjo mensual trabajador	\$ 600.000
Hora de trabajo	\$ 4.773
IPC anual 2023	5,10%
IPC anual 2024	6,20%
IPC anual 2025	7,30%

17.2.1 Flujo de caja Leña

El uso diario de una cocina a leña se estimó en 4 horas de funcionamiento, el consumo de leña por hora es de 1,6 kg. Por ende, el gasto mensual de la cocina a leña es:

$$\text{Consumo diario de leña} = 4 * 1,6 \text{ kg} \Rightarrow 6,4 \text{ kg}$$

$$\text{Costo mensual de leña} = (\text{consumo diario} * \$ \text{kilo de leña}) * 30 \text{ dias}$$

$$\text{Costo mensual de leña} = (6,4 \text{ kg} * \$150) * 30 \text{ dias}$$

$$\text{Costo mensual de leña} = (\$960) * 30 \text{ dias} \Rightarrow \$28.800$$

El costo del flete es la sumatoria de:

$$\text{Flete mensual} = \text{Costo 10 lt de diesel} + \text{flete mínimo}$$

$$\text{Flete mensual} = \$10.490 + \$25.000 \Rightarrow \$35.490$$

Costos asociados a la compra de Leña COCINA				
	Mensual	Flete	Mantención	Anual
Leña	\$ 28.800	\$ 35.490	\$ 40.000	\$ 811.480

$$\text{Costo anual} = (12 \text{ meses} * (\text{Costo mensual} + \text{flete mensual})) + \text{Mantención}$$

El flujo de caja se proyectó en 3 años con una inversión inicial de \$399.990, correspondiente a la compra de una cocina a leña. En el año 2 se estima un incremento del 6,2% (IPC 2024) en comparación al costo del año 1, ocurre lo mismo en el año 3 (7,3% IPC 2025) respecto al año 2.

	LEÑA			
	AÑO			
	0	1	2	3
Costos	\$ -	\$ -811.480	\$ -861.792	\$ -921.030
Utilidad	\$ -	\$ -811.480	\$ -861.792	\$ -921.030
Inversión	\$ -399.990	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo Caja		\$ -811.480	\$ -861.792	\$ -921.030

Tabla 17.1 Flujo de Caja Leña

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

$$VAC = -399.990 + \left(\frac{(-811.480 - 861.792 - 921.030)}{(1 + 0,1)^3} \right)$$

$$VAC \text{ LEÑA} = \$ - 2.541.907,01$$

17.2.2 Flujo de caja Gas Licuado

El flujo de caja se proyectó en 3 años con una inversión inicial de \$179.990 (cocina a gas) más \$50.000 (balón de gas vacío), En el año 2 se estima un incremento del 6,2% (IPC

2024) en comparación al costo del año 1, ocurre lo mismo en el año 3 (7,3% IPC 2025) respecto al año 2.

	Costos asociados a la compra de Gas Licuado		
	Mensual	Flete	Anual
Balón de 15 kg	\$ 22.700	\$ 35.490	\$ 698.280

Tabla 17.2 Costos Anuales Gas Licuado

	GAS LICUADO			
	AÑO			
	0	1	2	3
Costos	\$ -	\$ -698.280	\$ -741.573	\$ -792.548
Utilidad	\$ -	\$ -698.280	\$ -741.573	\$ -792.548
Inversión	\$ -229.990	\$ -	\$ -	\$ -
FC	\$ -	\$ -698.280	\$ -741.573	\$ -792.548

Tabla 17.3 Flujo de Caja Gas Licuado

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

$$VAC = -229.990 + \left(\frac{(-698.280 - 741.573 - 792.548)}{(1 + 0,1)^3}\right)$$

$$VAC \text{ GAS LICUADO} = \$ - 2.073.113,44$$

17.2.3 Flujo de Caja Biogás

El flujo de caja se proyectó en 3 años con una inversión inicial de \$179.990 (cocina a gas) más \$482.204 correspondiente al presupuesto del biodigestor. Se considera 4 operaciones al mes de una hora semanal equivalente a \$4.773 hora, siempre y cuando el biodigestor lo solicite dando aviso por el sensor de nivel (ultrasónico).

	Costos asociados al uso del biodigestor		
	Mensual	Mantención	Anual
Carga del biodigestor	\$ 19.091	\$ 40.000	\$ 269.091

Tabla 17.4 Costo Anual Biogás

	BIOGÁS			
	AÑOS			
	0	1	2	3
Costos	\$ -	\$ -269.091	\$ -282.545	\$ -296.673
Utilidad	\$ -	\$ -269.091	\$ -282.545	\$ -296.673
Inversión	\$ -662.194	\$ -	\$ -	\$ -
FC		\$ -269.091	\$ -282.545	\$ -296.673

Tabla 17.5 Flujo de Caja Biogás

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$

$$VAC = -662.194 + \left(\frac{(-269.091 - 282.545 - 296.673)}{(1 + 0,1)^3} \right)$$

$$VAC\ BIOCÁS = \$ - 1.363.225,35$$

17.3 COMPARACIÓN DE VALOR ACTUAL DE COSTOS (VAC)

El objetivo del VAC es buscar la alternativa con el menor costo posible dentro del periodo evaluado (tres años), el proyecto del biogás presenta un menor VAC cotejándolo con la leña y gas licuado. Por ende, esta es la mejor opción para instalar una cocina que funcione con biogás, cabe mencionar los costos relacionados a la materia prima no existen porque se extraen directamente de los caprinos.

Comparativa Valor Actual de Costo	
Leña	\$ - 2.541.907,01
Gas Licuado	\$ - 2.073.113,44
Biogás	\$ - 1.363.225,35

Tabla 17.6 Comparativa VAC

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

La energía obtenida a partir de materia orgánica será de gran importancia en los años venideros ya que es una forma amigable de obtener biogás-bioabono, electricidad y otros tipos de energía, dado que todos los animales producen excretas, algunas con mejores características que otras para producir energía.

El biogás será la alternativa al gas licuado y GLP en el futuro dado que estos tipos de combustibles son de grado no-renovable, de uso limitado. Este tipo de fuente de energía (biogás) es amigable con el medio ambiente dado que su porcentaje de gases de invernadero producidos son inferiores a los producidos por los combustibles fósiles.

RECOMENDACIONES

Para un buen rendimiento del biodigestor se debe tener en cuenta la procedencia de la materia orgánica a utilizar, esto es de gran importancia ya que repercutirá en los cálculos relacionados con la proporción de litros de agua por kilo de excreta animal (mezcla).

En el caso de realizar modificaciones al diseño del biodigestor llevándolo a mayor escala se debe tener en cuenta; la cantidad disponible de excreta animal, la distancia del biodigestor con relación a donde será dirigido el biogás, la trazabilidad de la materia prima a él biodigestor, los tipos de materiales a utilizar y ajustarse a la normativas de seguridad en etapa de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor, de esta manera prolongamos su vida útil y confiabilidad del activo en cuestión.

BIBLIOGRAFIA

Generación eléctrica en Chile. (s. f.). Generadoras de Chile.
<https://generadoras.cl/generacion-electrica-en-chile#:~:text=A%20diciembre%20de%202022%20cuenta,9%2C8%25%20petr%C3%B3leo>

Comisión Nacional de Energía. (s. f.). Evolución de la generación bruta en Chile – Energía Abierta <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/evolucion-generacion-bruta/>

Millar, R. A. (27 de septiembre de 2021). *ElMercurio.com*.
<https://www.fraunhofer.cl/content/dam/chile/es/media-2021/csb/docs/Campo%20Mercurio%20270902021%20Biogás.pdf>

Foro Nuclear. (s. f.) Foro de la Industria Nuclear Española – ¿Qué es la energía?
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>

Carpi, A., PhD, & Hartman, Z., PhD. (2017, 12 febrero). Energía. Visionlearning.
<https://www.visionlearning.com/es/library/Fsica/24/Energa/199>

Energías renovables para un desarrollo rural sostenible. (2018). Informe especial.
<https://www.enestadocrudo.com/fuentes-energia-renovables>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile /BNC. (Agosto 2020). Energías renovables y no renovables.

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovableventajas_y_desventajas_final.pdf

Fernando. (s. f.). ¿Qué es biomasa? – DeshollinSegovia.com – Atendemos la provincia de Segovia. <https://deshollinsegovia.com/que-es-biomasa/>

Biomasa natural: cómo se obtiene y para qué se utiliza | Cuerva. (23 de marzo de 2023).
<https://cuervaenergia.com/es/comunidad/sostenibilidad/biomasa-natural/>

Central de Biomasa. (2023). Endesa.

<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa>

Smallops. (2022, 14 diciembre). ¿Qué es el biogás y cómo se produce? SMALLOPS.
<https://smallops.eu/que-es-el-biogas-y-como-se-produce/>

¿Qué es la biomasa? Ventajas y tipos | Repsol. (2023, 6 octubre). REPSOL.
<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biomasa/index.cshtml#:~:text=La%20biomasa%20es%20una%20fuente,seres%20humanos%20en%20forma%20d>

Prof. Varnero, M. (2011). Manual de Biogás.
https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/manual_de_biogas.pdf

¿Qué es el biogás y cómo se obtiene? Conoce sus ventajas | Repsol. (2023, 15 noviembre). REPSOL.

<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biogas/index.cshtml>

Chamy, R., Vivanco, E., (2007). Potencial de Biogás. Escuela de Ingeniería Bioquímica, PUCV. https://energypedia.info/images/d/dc/Potencial_Biogas_Chile.pdf

Censo agropecuario. (2007). <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

Censo agropecuario. (2021). <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>

Software Autodesk Inventor | Consulta los precios y compra Inventor 2024 Oficial. (s. f.).
<https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>

Autodesk AutoCAD 2024 | Obtener precios y suscribirte al software AutoCAD. (s. f.).
<https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST>

¿Qué es el SEIA? (s. f.). SEA Chile. <https://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia-0>

ANEXOS

En esta sección se adjuntarán toda la información adicional recopilada para resolver los objetivos específicos:

- Método AHP

ITERACIÓN CRITERIOS.					VECTOR PROPIO																										
w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	w23	w24	w25	w26	w27				
1	0,50480769	0,55194805	0,55166009	0,54933904	0,54939475	0,54950232	0,54949817	0,54949321	0,54949347	0,5494937	0,54949368	0,54949367	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,549493675	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,54949368	0,5494937				
1	0,26442308	0,25324675	0,24657534	0,2473606	0,24765839	0,24761751	0,2476042	0,2476063	0,24760689	0,24760678	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,247606762	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,24760676	0,2476068				
1	0,16346154	0,12481962	0,12781518	0,12948587	0,12931936	0,12924359	0,12925246	0,12925587	0,1292554	0,12925525	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,129255281	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,12925528	0,1292553	0,1292553	0,12926				
1	0,06730769	0,06998557	0,07394938	0,07381449	0,0736275	0,07363658	0,07364518	0,07364463	0,07364424	0,07364427	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,073644282	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,07364428	0,0736443	0,0736443	0,07364				
Mw0	Mw1	Mw2	Mw3	Mw4	Mw5	Mw6	Mw7	Mw8	Mw9	Mw10	Mw11	Mw12	Mw13	Mw14	Mw15	Mw16	Mw17	Mw18	Mw19	Mw20	Mw21	Mw22	Mw23	Mw24	Mw25	Mw26	Mw27				
14	2,45192308	2,28571429	2,30020896	2,30792264	2,30710421	2,3067557	2,30679893	2,30681458	2,30681233	2,30681164	2,30681175	2,30681178	2,30681178	2,30681177	2,30681177	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,30681175	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,30681178	2,306811775				
7,33333333	1,125	1,02164502	1,03575575	1,04037469	1,03963055	1,03942546	1,03946316	1,03947219	1,0394703	1,0394699	1,03947	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,039470008	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947001	1,03947	1,039470008				
4,53333333	0,55448718	0,52958153	0,54218714	0,54325068	0,54263361	0,54259297	0,54262235	0,54262383	0,54262243	0,54262238	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,542622449	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,54262245	0,5426224	0,542622449				
1,86666667	0,31089744	0,30639731	0,30907824	0,30929779	0,3091657	0,30915741	0,3091637	0,30916399	0,30916369	0,30916368	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,309163698	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,3091637	0,309163698				
Σ	27,7333333	4,44230769	4,14333814	4,18723009	4,20084579	4,19853408	4,19793155	4,19804814	4,19807459	4,19806876	4,19806761	4,1980679	4,19806795	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,19806793	4,1980679	4,19806793 VALOR PROPI				

CI	0,06602264
RI	0,9
CR	0,07336

Inconsistency: 0.07418		
CLIMA		0.07364
EMPRENDIM~		0.54949
RAZA ANIM~		0.24761
TECNOLOGIA		0.12926

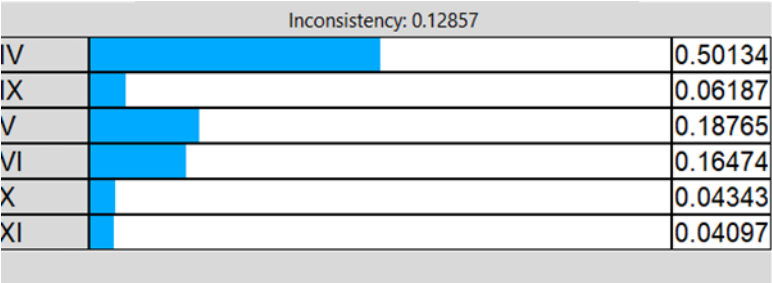
CRITERIO 1: EMPRENDIMIENTO

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	7	5	5	5	6
V	1/7	1	3	3	4	4

VI	1/5	1/3	1	6	5	5
IX	1/5	1/3	1/6	1	2	2
X	1/5	1/4	1/5	1/2	1	1
XI	1/6	1/4	1/5	1/2	1	1

ITERACIÓN CRITERIO EMPRENDIMIENTO.																				VECTOR PROPIO	
w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19		
1	0,39379243	0,50192904	0,51306303	0,50158107	0,50000944	0,50128582	0,50148972	0,50135251	0,50132647	0,50134116	0,50134442	0,50134285	0,50134245	0,50134262	0,50134267	0,50134265	0,50134264	0,50134265	0,501342647		
1	0,20562561	0,20043019	0,18566665	0,18608378	0,18784941	0,18782883	0,18763316	0,18763068	0,18765246	0,18765326	0,18765085	0,1876507	0,18765097	0,18765099	0,18765096	0,18765096	0,18765096	0,18765096	0,18765096		
1	0,238086	0,16504047	0,15725954	0,16455171	0,16557355	0,16477574	0,16464275	0,16472842	0,16474532	0,16473616	0,16473406	0,16473503	0,16473529	0,16473519	0,16473515	0,16473517	0,16473517	0,16473517	0,164735167		
1	0,07740058	0,05624085	0,06037189	0,06245949	0,062057	0,06181064	0,06184945	0,06187786	0,0618742	0,06187095	0,06187128	0,06187165	0,06187162	0,06187158	0,06187158	0,06187158	0,06187158	0,06187158	0,061871583		
1	0,04277401	0,03902912	0,04307059	0,04393861	0,04348208	0,04337214	0,04342063	0,04343402	0,04342893	0,04342731	0,04342784	0,04342803	0,04342798	0,04342796	0,04342796	0,04342796	0,04342796	0,04342796	0,043427964		
1	0,04232137	0,03733034	0,0405683	0,04138534	0,04102852	0,04092681	0,04096429	0,04097651	0,04097262	0,04097116	0,04097156	0,04097173	0,04097169	0,04097167	0,04097168	0,04097168	0,04097168	0,04097168	0,040971679		
Mw0	Mw1	Mw2	Mw3	Mw4	Mw5	Mw6	Mw7	Mw8	Mw9	Mw10	Mw11	Mw12	Mw13	Mw14	Mw15	Mw16	Mw17	Mw18	Mw19		
29	3,87840285	3,43047455	3,35964949	3,40722863	3,41668959	3,41144118	3,41027175	3,41082783	3,41097166	3,41091305	3,41089559	3,41090172	3,41090381	3,41090318	3,41090293	3,41090299	3,41090302	3,41090302	3,410903012		
15,1428571	1,54872292	1,2414161	1,24641124	1,28006762	1,28021339	1,27639607	1,27629083	1,27671342	1,27673529	1,27668865	1,27668509	1,27669021	1,27669073	1,27669017	1,2766901	1,27669016	1,27669017	1,27669016	1,276690161		
17,5333333	1,27526673	1,0514787	1,10218686	1,12827256	1,12308694	1,12000116	1,12050637	1,12086228	1,12081439	1,12077353	1,12077789	1,12078256	1,12078218	1,12078165	1,12078168	1,12078174	1,12078174	1,12078173	1,120781731		
5,7	0,43457269	0,40366238	0,4183611	0,42287682	0,42129216	0,42073795	0,42090208	0,42096771	0,42095096	0,42094324	0,42094492	0,42094582	0,42094566	0,42094555	0,42094557	0,42094558	0,42094558	0,42094558	0,420945579		
3,15	0,30157776	0,28798133	0,29430602	0,2963012	0,29561805	0,2953738	0,29544443	0,29547331	0,29546612	0,29546273	0,29546345	0,29546384	0,29546377	0,29546373	0,29546373	0,29546374	0,29546374	0,29546374	0,295463737		
3,11666667	0,28845134	0,27125036	0,27720392	0,27958183	0,27895107	0,27866427	0,2787281	0,27876156	0,27875524	0,27875135	0,27875197	0,27875241	0,27875236	0,27875231	0,27875231	0,27875232	0,27875232	0,27875232	0,278752316		
Σ	73,6428571	7,72699429	6,68626342	6,69811862	6,81432865	6,81585121	6,80261443	6,80214356	6,80360612	6,80369367	6,80353254	6,80351891	6,80353656	6,80353851	6,80353658	6,80353632	6,80353653	6,80353656	6,80353654		
																			6,803536536		

CI	0,16070731
RI	1,24
CR	0,12960267



CRITERIO 2: RAZA ANIMAL

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	4	3	5	5	5
V	1/4	1	2	3	5	4
VI	1/3	1/2	1	3	4	4
IX	1/5	1/3	1/3	1	2	2
X	1/5	1/5	1/4	1/2	1	1
XI	1/5	1/4	1/4	1/2	1	1

ITERACIÓN CRITERIO RAZA ANIMAL																VECTOR PROI
w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16
1	0,36334913	0,43596281	0,43514724	0,43224698	0,43226745	0,43238634	0,4323859	0,43238106	0,43238106	0,43238126	0,43238126	0,43238125	0,43238125	0,43238125	0,43238125	0,43238125
1	0,24091627	0,22041551	0,21559122	0,21641651	0,21662506	0,21659155	0,21658294	0,21658428	0,21658464	0,21658458	0,21658457	0,21658457	0,21658457	0,21658457	0,21658457	0,21658457
1	0,20273828	0,16890343	0,16871852	0,17006966	0,17007491	0,17001995	0,17001957	0,1700218	0,17002183	0,17002174	0,17002174	0,17002174	0,17002174	0,17002174	0,17002174	0,17002174
1	0,09268036	0,07724504	0,0788959	0,07942937	0,07936562	0,07934377	0,07934628	0,07934718	0,07934708	0,07934704	0,07934705	0,07934705	0,07934705	0,07934705	0,07934705	0,07934705
1	0,04976303	0,04783124	0,04993479	0,05005792	0,04997189	0,04996644	0,04996993	0,04997016	0,04997002	0,04997001	0,04997002	0,04997002	0,04997002	0,04997002	0,04997002	0,04997002
1	0,05055292	0,04964197	0,05171233	0,05177956	0,05169507	0,05169194	0,05169538	0,05169551	0,05169538	0,05169537	0,05169537	0,05169538	0,05169538	0,05169537	0,05169538	0,05169538
Mw0	Mw1	Mw2	Mw3	Mw4	Mw5	Mw6	Mw7	Mw8	Mw9	Mw10	Mw11	Mw12	Mw13	Mw14	Mw15	Mw16
23	2,90021064	2,69792639	2,70638276	2,71445625	2,71415533	2,71382317	2,71383431	2,71384788	2,71384747	2,71384692	2,71384693	2,71384696	2,71384696	2,71384695	2,71384695	2,71384695
15,25	1,46629805	1,33667226	1,35502603	1,36031352	1,35957833	1,35935933	1,35938855	1,35939757	1,35939641	1,35939603	1,35939608	1,3593961	1,35939609	1,35939609	1,35939609	1,35939609
12,8333333	1,12361769	1,04606007	1,06483937	1,06799827	1,06724129	1,06710936	1,06713973	1,06714521	1,06714399	1,06714377	1,06714381	1,06714382	1,06714382	1,06714382	1,06714382	1,06714382
5,86666667	0,51386695	0,489157	0,49732283	0,49838245	0,49805302	0,49800831	0,49802157	0,49802344	0,49802291	0,49802283	0,49802285	0,49802285	0,49802285	0,49802285	0,49802285	0,49802285
3,15	0,31819379	0,30959725	0,31342239	0,31380228	0,313647	0,31363084	0,31363711	0,31363779	0,31363753	0,3136375	0,31363751	0,31363752	0,31363752	0,31363752	0,31363752	0,31363752
3,2	0,3302396	0,32061803	0,32420195	0,3246231	0,32447825	0,32446041	0,32446625	0,324467	0,32446676	0,32446673	0,32446674	0,32446674	0,32446674	0,32446674	0,32446674	0,32446674
Σ	63,3	6,65242672	6,200031	6,26119532	6,27957588	6,27715321	6,27639143	6,27648752	6,27651889	6,27651508	6,27651379	6,27651394	6,27651399	6,27651398	6,27651398	6,27651398

CI	0,055302796
RI	1,24
CR	0,044599029

Inconsistency: 0.04424		
IV		0.43238
IX		0.07935
V		0.21658
VI		0.17002
X		0.04997
XI		0.05170

CRITERIO 3: TECNOLOGÍA

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	3	3	7	8	8
V	1/3	1	2	6	6	6
VI	1/3	1/2	1	5	6	6
IX	1/7	1/6	1/5	1	3	3
X	1/8	1/6	1/6	1/3	1	1
XI	1/8	1/6	1/6	1/3	1	1

ITERACIÓN CRITERIO TECNOLOGÍA																VECTOR PROI
w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16
1	0,36031914	0,42803604	0,43573986	0,43230113	0,43186804	0,43204114	0,43206485	0,43205624	0,43205495	0,43205537	0,43205544	0,43205542	0,43205542	0,43205542	0,43205542	0,43205542
1	0,25622694	0,25495065	0,24674097	0,24668469	0,2471265	0,24713264	0,24711017	0,24710965	0,24711079	0,24711083	0,24711077	0,24711077	0,24711077	0,24711077	0,24711077	0,24711077
1	0,22620035	0,19100524	0,18561315	0,18756276	0,18784569	0,18774853	0,18773319	0,187738	0,18773883	0,18773859	0,18773855	0,18773856	0,18773856	0,18773856	0,18773856	0,18773856
1	0,09019417	0,06197214	0,06361309	0,0648961	0,06482472	0,06475826	0,06476126	0,06476468	0,06476456	0,06476439	0,06476439	0,0647644	0,0647644	0,0647644	0,0647644	0,0647644
1	0,0335297	0,03201796	0,03414647	0,03427766	0,03416752	0,03415972	0,03416526	0,03416572	0,03416544	0,03416541	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543
1	0,0335297	0,03201796	0,03414647	0,03427766	0,03416752	0,03415972	0,03416526	0,03416572	0,03416544	0,03416541	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543	0,03416543
Mw0	Mw1	Mw2	Mw3	Mw4	Mw5	Mw6	Mw7	Mw8	Mw9	Mw10	Mw11	Mw12	Mw13	Mw14	Mw15	Mw16
30	2,97543539	2,71199607	2,7244373	2,73775872	2,73723804	2,73654794	2,73656797	2,7366034	2,73660272	2,7366009	2,73660092	2,73660101	2,73660101	2,73660101	2,73660101	2,73660101
21,3333333	1,77225543	1,53568818	1,55465001	1,56661909	1,56573251	1,56510958	1,56514888	1,56518107	1,56517937	1,56517771	1,56517778	1,56517787	1,56517787	1,56517786	1,56517786	1,56517786
18,8333333	1,32774743	1,15523547	1,18205329	1,19081789	1,18949884	1,18903647	1,18909935	1,18912357	1,18912059	1,18911932	1,18911946	1,18911953	1,18911952	1,18911952	1,18911952	1,18911952
7,50952381	0,43079108	0,39592072	0,40898656	0,41094603	0,41028218	0,4101752	0,41020806	0,41021384	0,41021221	0,4102119	0,41021198	0,410212	0,410212	0,410212	0,410212	0,410212
2,79166667	0,22256856	0,21252379	0,2160238	0,21659957	0,21642216	0,21639086	0,21639961	0,2164013	0,21640087	0,21640078	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008
2,79166667	0,22256856	0,21252379	0,2160238	0,21659957	0,21642216	0,21639086	0,21639961	0,2164013	0,21640087	0,21640078	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008	0,2164008
Σ	83,2595238	6,95136645	6,22388802	6,30217476	6,33934087	6,33559588	6,3336509	6,33382349	6,33392447	6,33391662	6,33391139	6,33391174	6,33391201	6,333912	6,33391198	6,33391198

CI	0,066782397
RI	1,24
CR	0,053856772

Inconsistency: 0.05343		
IV		0.43206
IX		0.06476
V		0.24711
VI		0.18774
X		0.03417
XI		0.03417

CRITERIO 4: CLIMA

ALTERNATIVAS	IV	V	VI	IX	X	XI
IV	1	4	4	8	8	8
V	1/4	1	2	5	6	6
VI	1/4	1/2	1	5	5	5
IX	1/8	1/5	1/5	1	2	2
X	1/8	1/6	1/5	1/2	1	1
XI	1/8	1/6	1/5	1/2	1	1

ITERACIÓN CRITERIO CLIMA																	VECTOR PROI	
w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16		
1	0,40486658	0,48808389	0,48953179	0,48629923	0,48619868	0,48633182	0,48633736	0,48633193	0,48633165	0,48633187	0,48633188	0,48633187	0,48633187	0,48633187	0,48633187	0,48633187		
1	0,24844085	0,22436547	0,21976355	0,22056497	0,22077754	0,22074621	0,22073711	0,22073831	0,22073869	0,22073865	0,22073863	0,22073863	0,22073863	0,22073863	0,22073863	0,22073863		
1	0,20550046	0,16563394	0,16343894	0,16506557	0,16516802	0,16510177	0,16509687	0,16509955	0,16509978	0,16509967	0,16509966	0,16509966	0,16509966	0,16509966	0,16509966	0,16509966		
1	0,06778448	0,05186487	0,05358996	0,05418419	0,05411841	0,05409327	0,05409571	0,05409677	0,05409668	0,05409663	0,05409664	0,05409664	0,05409664	0,05409664	0,05409664	0,05409664		
1	0,03670381	0,03502592	0,03683788	0,03694302	0,03686867	0,03686347	0,03686648	0,03686672	0,03686666	0,03686659	0,03686659	0,03686666	0,03686659	0,03686659	0,03686659	0,03686659		
1	0,03670381	0,03502592	0,03683788	0,03694302	0,03686867	0,03686347	0,03686648	0,03686672	0,03686666	0,03686659	0,03686659	0,03686666	0,03686659	0,03686659	0,03686659	0,03686659		
Mw0	Mw1	Mw2	Mw3	Mw4	Mw5	Mw6	Mw7	Mw8	Mw9	Mw10	Mw11	Mw12	Mw13	Mw14	Mw15	Mw16		
33	3,35016869	3,02341516	3,04046753	3,05338327	3,05282699	3,05228538	3,05230255	3,05232505	3,05232458	3,05232364	3,05232365	3,05232369	3,05232369	3,05232369	3,05232369	3,05232369		
20,25	1,54002658	1,35728968	1,37902876	1,38650815	1,38567939	1,38536067	1,38539143	1,38540489	1,38540376	1,3854032	1,38540324	1,38540326	1,38540326	1,38540326	1,38540326	1,38540326		
16,75	1,13689807	1,00942117	1,03203228	1,03727405	1,03638526	1,03615887	1,03619305	1,03620274	1,03620144	1,03620102	1,03620107	1,03620109	1,03620109	1,03620109	1,03620109	1,03620109		
5,525	0,35599632	0,33097891	0,33877346	0,3398698	0,33955705	0,33950822	0,33952058	0,33952272	0,33952223	0,33952214	0,33952216	0,33952216	0,33952216	0,33952216	0,33952216	0,33952216		
2,99166667	0,24041509	0,22751579	0,23097726	0,23153949	0,23140125	0,23137644	0,23138187	0,23138295	0,23138274	0,23138269	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827		
2,99166667	0,24041509	0,22751579	0,23097726	0,23153949	0,23140125	0,23137644	0,23138187	0,23138295	0,23138274	0,23138269	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827	0,2313827		
Σ	81,5083333	6,86391984	6,1761365	6,25225655	6,28011425	6,27725119	6,276066	6,27617135	6,27622129	6,27621748	6,27621538	6,27621552	6,2762156	6,2762156	6,2762156	6,2762156		

CI	0,055243119
RI	1,24
CR	0,044550903

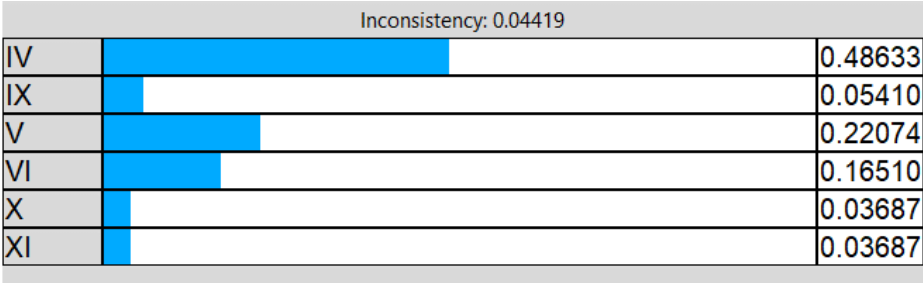
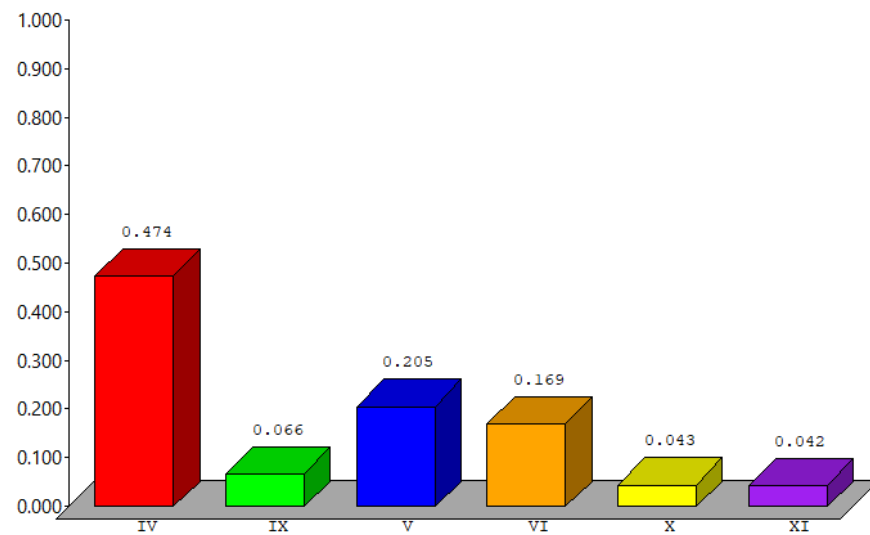


TABLA FINAL CON ITERACIONES:

	EMPREND	RAZA ANIMAL	TECNOLOGIA	CLIMA	PRIORIDAD	%
IV	0,501342647	0,432381249	0,43205542	0,48633187	0,474206	47%
V	0,18765096	0,216584572	0,24711077	0,22073863	0,204937	20%
VI	0,164735167	0,170021739	0,18773856	0,16509966	0,169044	17%
IX	0,061871583	0,079347048	0,0647644	0,05409664	0,066000	6,60%
X	0,043427964	0,049970018	0,03416543	0,03686659	0,043367	4,3%
XI	0,040971679	0,051695375	0,03416543	0,03686659	0,042445	4,2%
PONDERACION	0,54949368	0,247606762	0,12925528	0,0736443		100%



Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
IV		1.000000	0.474206	0.237103
IX		0.139180	0.066000	0.033000
V		0.432169	0.204937	0.102469
VI		0.356478	0.169044	0.084522
X		0.091453	0.043367	0.021684
XI		0.089507	0.042445	0.021222

• Matriz de Ambiental para el ESTUDIAR EL IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR EL BIODIGESTOR64

FASE DEL PROYECTO	COMPONENTE AMBIENTAL	IDENTIFICACIÓN				ETAPAS						EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO						VALORACIÓN DEL ASPECTO	
		ASPECTO AMBIENTAL		IMPACTO AMBIENTAL		Apertura de instalaciones de faenas	Operación de instalaciones de faenas	Construcción del Biodigestor	Instalación de Calferías	Instalación del Biodigestor	Construcción del Cierre perimetral	IMPACTO AMBIENTAL						SIGNIFICANCIA TOTAL DEL ASPECTO	CALIFICACIÓN DEL ASPECTO
		DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE CONTROL O INFLUENCIA SOBRE LAS ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN	CARÁCTER (+/-)							Extensión	Duración	Reversibilidad	Sinergia	R.A.	TOTAL CRITERIO IMPACTO AMBIENTAL		
CONSTRUCCIÓN	Calidad de aire	Generacion de emisiones material particulado MP10-MP2.5	bajo	Incremento temporal de los niveles de material particulado	-	X	X	X	X		X	1	1	1	1	4	16	BAJO	NO SIGNIFICATIVO
		Generacion de emisiones gases	bajo	Incremento temporal de los niveles de gases de combustión	-				X		X	1	1	1	1	4	16	BAJO	NO SIGNIFICATIVO
		Generacion de ruido	bajo	Aumento del los Decibeles que puedan generar daños a la salud humana	-	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	4	16	BAJO	NO SIGNIFICATIVO
	Calidad del suelo	Degradacion de los suelos	bajo	Contaminacion por material particulados que afectan a los microorganismos naturales presentes en el suelo	-	X	x	x	x		x	1	2	3	3	4	36	MEDIO	NO SIGNIFICATIVO
			Alto	Escombros generados por la construccion	-	x	x	x	x	x	x	1	1	2	1	4	20	MEDIO-BAJO	NO SIGNIFICATIVO

FASE DEL PROYECTO	COMPONENTE AMBIENTAL	IDENTIFICACIÓN				ETAPAS				EVALUACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO						VALORACIÓN DEL ASPECTO	
		DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD DE CONTROL O INFLUENCIA SOBRE LAS ACTIVIDADES	IMPACTO AMBIENTAL	CARÁCTER (+/-)	Llenado del biodigestor	Vaciado del biodigestor	Fermentacion	Extracción del bioabono	IMPACTO AMBIENTAL						SIGNIFICANCIA TOTAL DEL ASPECTO	CALIFICACIÓN DEL ASPECTO
										Extensión	Duración	Reversibilidad	Sinergia	R.A.	TOTAL CRITERIO IMPACTO AMBIENTAL		
Operación	Calidad del aire	Generacion de emisiones metano-dioxido de carbono	medio	Incremento temporal de los niveles de gases de combustión	-		x	x	x	1	1	1	1	4	16	BAJO	NO SIGNIFICATIVO
			bajo	Riesgo para la salud humana	-		x	x	x	1	1	1	1	1	4	BAJO	NO SIGNIFICATIVO
	Calidad del agua	Consumo de agua	bajo	Consumo excesivo de agua	-	x		x		1	3	1	1	3	18	MEDIO-BAJO	NO SIGNIFICATIVO
	Calidad del suelo	Componentes vertidos en el suelo	alto	Fertilizacion de los suelos	+		x		x	1	2	1	1	4	20	MEDIO-BAJO	BENEFICIOSO