

**ANÁLISIS EXERGOAMBIENTAL BASADO EN ACV COMPARATIVO ENTRE
UN SISTEMA DE GENERACIÓN BASADO EN GASIFICACIÓN DE BIOMASA Y
OTRO CONVENCIONAL CON BASE EN DIESEL PARA DOS LOCALIDADES
ZNI EN COLOMBIA**

CHRIS LAFFAILLE MOLINA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA**

2022

**ANÁLISIS EXERGOAMBIENTAL BASADO EN ACV COMPARATIVO ENTRE
UN SISTEMA DE GENERACIÓN BASADO EN GASIFICACIÓN DE BIOMASA Y
OTRO CONVENCIONAL CON BASE EN DIESEL PARA DOS LOCALIDADES
ZNI EN COLOMBIA**

CHRIS LAFFAILLE MOLINA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

DIRECTOR:

PhD (C) CARLOS A. DÍAZ GONZÁLEZ

INGENIERO MECÁNICO

CODIRECTOR:

PhD (C) OMAR ÁVILA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

BUCARAMANGA

2022

Nota de aceptación

PhD©. Carlos Alirio Díaz González
Director

Pendiente
Evaluador

Bucaramanga, ____ de diciembre de 2022

RESUMEN

El análisis de ciclo de vida y análisis exergoambiental son llevados a cabo para definir y relacionar los impactos ambientales causados por la generación de energía eléctrica. En este trabajo se comparan dos sistemas de generación, el primero es un motor de combustión interna impulsado por combustible diésel y el segundo es un motor funcional con base en la gasificación de biomasa y su condensación. Con la ayuda del software Simapro para el ACV, y del EES para el desarrollo de los balances exergoambientales por cada hora de producción, se obtienen indicadores que relacionan el impacto ambiental con la energía producida, la eficiencia en el motor y los componentes que conforman los sistemas para cada escenario propuesto en ambas localidades de las ZNI.

INTRODUCCIÓN

A inicios del 2022 la generación de energía en Colombia estuvo alrededor de los 202,48 GWh/día, de los cuales el 78,34% de la generación, es decir 158,61 GWh/día promedio, fue producto de recursos renovables para el país, principalmente por la parte hidráulica, y el resto de la producción fue generada por recursos no renovables, equivalentes a 23,86 GWh/día promedio [1]. A pesar de los datos de generación en el país, hay zonas a las que su consumo de energía se ve limitado, que se llaman las Zonas No Interconectadas (ZNI) en Colombia. Estas zonas se caracterizan por sus altos niveles de pobreza y por su sistema de generación poco confiable, también por su mayor impacto ambiental debido a lo considerable de sus gases efecto invernadero (GHG) [2].

Según datos del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) hay 1702 localidades rurales en Colombia que forman parte de las Zonas No Interconectadas, siendo alrededor del 52% del territorio nacional y más o menos unos 193.871 suscriptores que sólo pueden acceder al servicio entre cuatro y doce horas al día [3]. La razón de los límites de energía de estas localidades tiene que ver con su lejanía a las zonas urbanas y la dispersión de las viviendas, lo que, económicamente hablando, vuelve muy costoso y compleja su conexión con el Sistema Interconectado Nacional (SIN), por lo que funciona con sistemas aislados [2]. Según el IPSE, la capacidad operativa de las ZNI es de 280,38 MW, donde sólo 14,1 MW son generados a partir de fuentes renovables, mientras que la mayor cantidad provienen de pequeños generadores Diesel, que para una planta eléctrica que trabaje unas 7 horas diarias, lo que vendría siendo 7 horas de energía a la localidad (normalmente desde las 17:00 hasta las 23:00), se tendrían que utilizar en promedio unos 36 galones de Aceite Combustible Para Motores (ACPM), lo que equivaldrían a unos 320.00 COP diarios y 9'600.000 COP mensuales [4], sin contar con su transporte y almacenamiento, para poder mantener la planta en funcionamiento, lo que se traduce en un costo unitario de energía mayor al que se paga en las zonas que sí están interconectadas.

Las zonas no interconectadas, por el hecho de ser zonas mayormente rurales, abarcan una gran diversidad de cultivos y sembradíos, ya que en algunos sectores es la principal fuente de trabajo, junto a la ganadería [5]. De la amplia cantidad de cultivos se pueden obtener diferentes tipos de biomasa con un potencial energético considerable. Dicha biomasa se podría obtener principalmente de residuos agroindustriales, que se pueden considerar como materiales en estado sólido o líquido obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero sí se pueden aprovechar o transformar para obtener otro producto con valor económico, comercial o social, que en este caso sería, energía. Cada zona tiene sus principales cultivos y porcentajes de cosechas, los cuales no son los mismos para cada sector, ya que depende principalmente de la posición geográfica de estos y de sus condiciones ambientales.

Una forma de aprovechar esta biomasa es a partir de su gasificación y la obtención de gas de síntesis, que es el combustible gaseoso que se genera después de someter la biomasa en un proceso químico de alta temperatura. Dicho gas se puede condensar y que sirva como un

combustible, ya que sus principales componentes son carbonos e hidrógeno [6], que, tras un proceso de condensación, se pueda utilizar en los motores de combustión interna. Este proceso puede servir como una alternativa al uso del combustible diésel.

Una forma de verificar si la alternativa puede resultar factible, es evaluar el sistema mediante un análisis exergoambiental, donde se comparan ambos métodos de generación de energía para identificar y evaluar, mediante indicadores, los impactos ambientales y la relación con generación de energía [7]. En este trabajo se hace dicho análisis en 2 localidades de Zonas No Interconectadas de Colombia, seleccionadas por sus características de prestación de servicios y por su potencial bioenergético. También se evalúan 3 escenarios en los que se toma en cuenta la demanda actual, un aumento en el consumo energético y un aumento tanto en el consumo energético como en el rango de horas del servicio.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se realiza como continuación del proyecto de grado desarrollado por el estudiante Lora, K. en la Universidad Autónoma de Bucaramanga [8]. Se tiene en cuenta las localidades seleccionadas en el trabajo anteriormente mencionado y después de un proceso de optimización se define que las zonas seleccionadas para el estudio de este trabajo son las localidades de San Onofre y de Unión Chogorodo, debido a que ambos territorios tienen un buen margen de potencial biomásico para abastecer de energía a su población, sin necesidad de generar más zonas de plantación. Los resultados de este trabajo servirán para generar conciencia en el mal servicio de energía que tienen ambas localidades y sus similares, además de aportar una opción que puede ser beneficiosa a largo plazo para las localidades seleccionadas.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis exergoambiental con base en análisis de ciclo de vida comparativo y focal de sistemas de generación de energía basados en gasificación de biomasa en dos localidades no interconectadas seleccionadas de acuerdo con su tamaño y disponibilidad de biomasa.

Objetivos específicos:

- Desarrollar el ACV para las localidades seleccionadas en los diferentes escenarios.
- Integrar el ACV con los datos exergéticos en un análisis exergoambiental de cada localidad en cada escenario.
- Evaluar los escenarios propuestos que permiten determinar indicadores de comparación entre el combustible y las localidades.

CONTENIDO

1. Marco teorico	11
1.1. Gasificación	11
1.1.1. Según su agente gasificante.....	11
1.1.2. Según su diseño	11
1.1.3 Gasificador tipo downdraft.....	12
1.2 Gas de síntesis	13
1.2.2. Aplicación del syngas.....	13
1.3. Ciclo del carbono	14
1.4. Exergía.....	14
1.4.1 Diferencias entre energía y exergía	15
1.4.2 Análisis exergético	15
1.5. Análisis de ciclo de vida.....	17
1.5.1 Simapro.....	17
1.5.2 Objetivo y alcance de estudio	17
1.5.3 Inventario del análisis de ciclo de vida (ICV).....	18
1.5.4. Análisis de ciclo de vida	18
1.5.4.1. Metodología IPCC	19
1.5.5. Interpretación de la resultados	19
1.6. Análisis exergoambiental.....	19
1.6.1. Métricas del análisis exergoambiental.....	20
2. Localidades seleccionadas	21
3. Escenarios propuestos para el análisis	22
3.1 Curvas de carga para cada localidad	23
4. Sistema seleccionado con proceso de gasificación.....	26
4.1. Parámetros de la gasificación.....	27
4.2. Parámetros del sistema de refrigeración.....	27
4.3. Parámetros del sistema de combustión.....	27
5. Sistema convencional.....	28
6. Mexcla de biomasa seleccionada	28
7. Metodología del ACV	30

7.1.	Objetivo y alcance del ACV desarrollado	30
7.2.	ICV desarrollado	30
7.2.1	Selección de la composición de los materiales para cada componente	32
7.3.	Evaluación de impactos	33
7.4.	Interpretación de los resultados.....	33
8	Balance exergoambiental desarrollado.....	35
8.1.	Flujo del impacto ambiental de cada componente en el sistema	36
8.2.	Balance exergoambiental en el gasificador	36
8.2.1.	Balance exergoambiental para el gasificador mezcla 2.....	37
8.3.	Balance exergoambiental en el sistema de refrigeración.....	37
8.4.	Balance exergoambiental en el sistema de combustión.....	37
9.	Resultados del análisis exergoambiental	38
10.	Conclusiones	49
11.	Referencias	50
12.	Anexos.....	55

1. MARCO TEÓRICO

1.1 GASIFICACIÓN

La gasificación es la ruta termoquímica para la conversión de un combustible sólido en gaseoso usando una variedad de aplicaciones [9]. La gasificación es una tecnología clave para el uso de biomasa, ofrece una alta flexibilidad en los tipos de materia prima usadas como en los productos obtenidos. Todos los tipos de biomasa se pueden convertir en syngas debido a sus componentes principales, como el hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano. La gasificación de la biomasa es realizada por la oxidación parcial del contenido de carbono a altas temperaturas, usando un oxidante que puede ser aire, oxígeno puro y vapor de agua [10]. Los gasificadores se pueden caracterizar de distintas formas.

1.1.1 SEGÚN EL AGENTE GASIFICANTE

Gasificador con aire: Preferiblemente aire caliente, el cual produce un gas pobre con un poder calorífico no mayor del 25% del poder calorífico del gas natural, normalmente en valores de 4 a 7 MJ/m³ [11]

Gasificador con oxígeno: En este caso la calidad del gas de síntesis es mayor debido a la ausencia de gases inertes como el nitrógeno que se encuentran en el aire. El poder calorífico se encontrará en un 25% y un 40% del poder calorífico del gas natural, con unos valores de 10 a 18 MJ/m³ [12]. Lo mismo aplicaría para el caso con gasificación de vapor de agua, solo que sería enriquecido en hidrógeno y monóxido de carbono.

1.1.2 SEGÚN SU DISEÑO

Los gasificadores tienen dos diseños principales, los de lecho fijo y los de lecho fluidizado. Los gasificadores de lecho fijo se caracterizan por ser reactores con flujo contracorriente, donde la materia prima entra por la parte de arriba y el agente gasificante ingresa por la parte de abajo [13], como se muestra en la *figura 1*. Por el otro lado, los gasificadores de lecho fluidizado es donde la entrada del combustible es de forma diagonal y la entrada del gas oxidante es por el fondo (*figura 2*) [14]. Estos diseños tienen subcategorías donde el comportamiento de los elementos varía dependiendo de su cantidad y forma de entrar, donde se obtienen diferentes resultados. En la tabla 1 se enlistan los resultados de los tipos de gasificadores más comunes obtenido de [15], [16], [17] y [18].

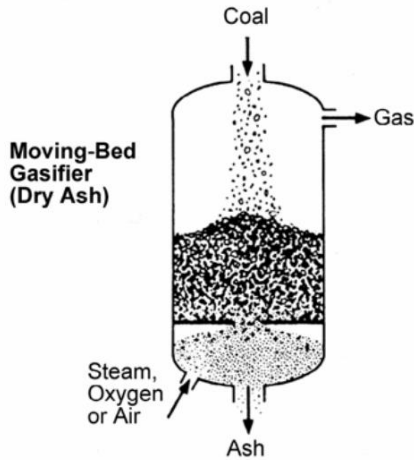


Figura 1. Reactor de lecho fijo [13]

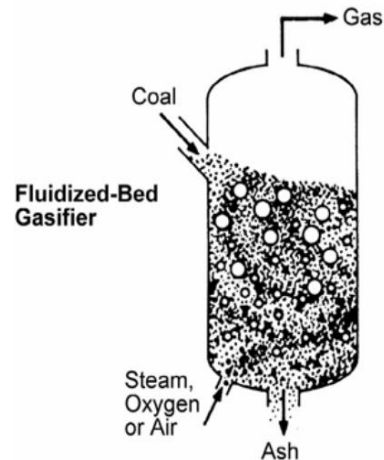


Figura 2. Reactor de lecho fluidizado [13]

Tabla 1

Desempeño de los tipos de gasificadores más usados

Tipo de gasificador	Temperatura [°C]	Eficiencia del gas [%]	Cenizas convertidas [%]	Contenido de alquitrán [g/m ³]
Lecho fluidizado	800-900	>70	<70%	10-40
Lecho fluidizado circulante	750-850	50-70	70-95	5-12
Lecho fijo downdraft	900-1050	30-60	<85	0,015-0,5
Lecho fijo updraft	950-1150	20-60	40-85	30-150

Nota: Realizada de [15], [16], [17] y [18]

1.1.3 GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT

Este tipo de gasificador es un modelo de los diseños de gasificadores de lecho fijo. Son los más utilizados para la generación de potencia a pequeña escala debido a su relativamente baja eficiencia térmica [19]. El proceso en este tipo de gasificador se puede separar en cuatro formas: el proceso de secado, el proceso de pirólisis, el proceso de oxidación y el proceso de reducción. Cada proceso se realiza en una zona distinta del gasificador como se muestra en la figura 3. Una cualidad importante de estos gasificadores es la baja cantidad de alquitranes formados en el gas producido [20] lo cual lo convierte en un gasificador ideal cuando se desea un gas limpio, a pesar de sus complicaciones con biomásas con alto contenido en humedad y cenizas.

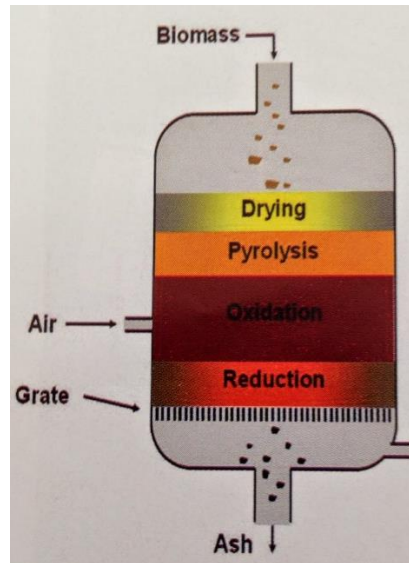


Figura 3. Procesos en gasificador tipo downdraft [21]

1.2 GAS DE SÍNTESIS

Debido a que se requiere una caída en el uso de los combustibles fósiles, hay un nuevo interés despertado en el uso de la gasificación para obtener este gas a modo de sustitución de este. El gas de síntesis o también conocido como syngas es un combustible obtenido de la gasificación de biomasa, desechos orgánicos o carbón. Su composición puede variar dependiendo de varios factores, como la materia prima, presión, temperatura y el agente oxidante con el que se realice el proceso, de igual manera, sus componentes suelen ser principalmente hidrógeno y monóxido de carbono [18]. El gas de síntesis también se puede modificar, mediante la aplicación de catalizadores para la formación de otros tipos de combustibles, como metanol, hidrógeno o combustibles sintéticos como gasolina y diésel a través del proceso Fischer-Tropsch [22].

1.2.1 APLICACIÓN DEL SYNGAS

Para que el gas de síntesis sea utilizado en escalas industriales o en servicios domésticos, es necesario que su poder calorífico sea superior a 11MJ/m³ y que cuente con un elevado contenido de hidrocarburos [22].

La elaboración de syngas se puede aplicar también en la producción de hidrogeno. Un gran requerimiento para facilitar esta producción es que la relación H₂/CO del gas de síntesis sea muy elevada [23] para que la separación de estos componentes se realice con mayor eficiencia.

1.3 CICLO DEL CARBONO

El carbono es un elemento extremadamente común en la tierra y se puede encontrar en las cuatro esferas mayores del planeta: la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera, y la litosfera. Existe en las partes vivas y no vivas del planeta, como un componente de los organismos, los gases atmosféricos, el agua y las rocas [24]. El carbono se mueve de un lugar a otro mediante procesos distintos, que difieren en su cantidad de tiempo, de dióxido de carbono y de método de transporte. El método más importante es la fotosíntesis, donde hay un flujo de carbono de la atmósfera a las plantas y de regreso a la atmósfera [25].

Este ciclo es la diferencia principal entre la generación de energía mediante la gasificación de biomasa y mediante el uso de combustibles fósiles, según la IEA bioenergy [24]. El dióxido de carbono expulsado por la biomasa es un CO₂ que absorbió las plantas anteriormente y al liberarlo vuelven al mismo ciclo del carbono, este tipo de ciclo al ocurrir de forma más inmediata se le considera el ciclo del carbono biogénico. Mientras que el CO₂ expulsado gracias a combustibles fósiles, es un carbono que estaba encerrado debajo del suelo durante millones de años y al ser liberado aumenta los valores de CO₂ en la atmósfera y biosfera, este ciclo al ocurrir en una forma lenta, que requiere millones de años, es denominado el ciclo del carbono fósil [26].

1.4 EXERGÍA

La exergía es un término que usualmente es confundida con la energía, para diferenciarlas se puede decir que “la exergía es trabajo o capacidad de trabajo, mientras que la energía es movimiento o capacidad de movimiento, no necesariamente relacionada a un trabajo” [27].

Para hablar un poco de la definición histórica de la exergía, se puede empezar diciendo que está relacionada con la segunda ley de la termodinámica. Gibbs, conocido como el padre conceptual de la exergía, fue el primero en usar definiciones como “energía disponible” o “trabajo disponible” para referirse a esa “capacidad de trabajo” que había en los sistemas [28]. Décadas después de los estudios de Gibbs, en una reunión científica de 1953, Rant, sugirió denominar a esos conceptos que Gibbs se refería, como “exergía”. Rant explicó que la palabra energía proviene del griego *en* y *ergon*, que significan juntas trabajo interno, pero con el prefijo *ex*, implicaba una cantidad externa en vez de una interna. Tomó 50 años para que el nombre propuesto por Rant se convirtiera en una palabra aceptada a nivel mundial, dejando atrás todos los términos de: energía disponible, trabajo disponible, trabajo potencia, energía útil, entropía potencial y reemplazándolos por exergía [27].

Szargut, en los 80's, [29] propuso dos definiciones de la exergía moderna, más acercada a las definiciones de eficiencia que se conocen en estos días, que son:

1. “La exergía es la cantidad de trabajo obtenido cuando la materia es llevada a un estado de equilibrio termodinámico con los componentes en común del entorno natural por medio de procesos reversibles, donde la interacción involucrada es solo con los componentes mencionados de la naturaleza.”

2. “La exergía es el trabajo axial o la energía eléctrica necesaria para producir un material en su estado especificado a partir de materiales en común con el medio ambiente en una forma reversible, siendo el calor intercambiado sólo con el medio ambiente a temperatura T_0 .”

Teniendo en cuenta que en la mayoría de las definiciones de la exergía moderna se menciona el equilibrio con el entorno, es necesario definir un estado de referencia ambiental [30], comúnmente un estado cero, definido por $T_0 = 298,15 \text{ K}$ y $P_0 = 101,325 \text{ kPa}$

1.4.1 DIFERENCIAS ENTRE ENERGÍA Y EXERGÍA

Mencionado anteriormente, la energía no es lo mismo que la exergía por varios aspectos. Más que todo físicos, se simplificó una tabla de [31] donde se resaltan 4 diferencias importantes:

Tabla 2

Diferencias entre energía y exergía

Energía	Exergía
Depende de los parámetros de flujo de masa o flujo de energía solamente y es independiente de los parámetros ambientales	Depende de ambos parámetros, flujo másico o flujo de energía y de los parámetros ambientales
Se define como movimiento o capacidad para producir movimiento	Se define como trabajo o capacidad para producir trabajo.
Siempre se conserva en un proceso, por lo tanto, no puede ser destruida o producida	Siempre se conserva en procesos reversibles, pero es consumida en procesos irreversibles
En un estado de equilibrio con el ambiente de referencia, su valor es diferente de 0.	En un estado de equilibrio con el ambiente de referencia, su valor es igual a 0.

Nota: Recuperada de [31]

1.4.2 ANÁLISIS EXERGÉTICO

La exergía se puede transferir de cuatro formas: exergía cinética, debido a la velocidad del sistema medida en relación con el medio ambiente; exergía potencial, debido a la altura del sistema medida en relación con el medio ambiente; exergía química, debido a la desviación de la composición química con la del medio ambiente; la exergía física, debido a la desviación de la temperatura y presión del sistema con las del medio ambiente [32]. La exergía específica de una corriente se puede considerar como la suma de todos los tipos de exergía.

Por lo menos la exergía cinética (e_k) y la exergía potencial (e_p) se podrían considerar como una forma de energía mecánica [33], por lo que, pueden ser transformadas directamente en trabajo, sin tener en cuenta parámetros de presión y temperatura, siendo algo así:

$$e_k = \frac{1}{2}v^2 \quad (\text{e. 1})$$

$$e_p = gz \quad (\text{e. 2})$$

Para la definición de la exergía física, se tiene en cuenta la primera y segunda ley de la termodinámica para una máquina térmica, integrando los términos de exergía mecánica (asociada a la presión del sistema), de exergía térmica (asociada con la temperatura del sistema) sistema y el estado de referencia junto a las irreversibilidades del proceso, como se expresa en [34]. Dejando una ecuación final de:

$$e_{ph} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{e. 3})$$

El comportamiento químico de la exergía se puede considerar como el más importante para algunos procesos. Se puede definir según [Libro] que “es la máxima cantidad de trabajo que se puede obtener de una sustancia cuando se lleva del estado de referencia al estado muerto por medio de procesos que involucran transferencia de calor e intercambio de sustancias sólo con el medio”. La exergía química de un sistema se puede dividir [35] en:

- Exergía reactiva, que está asociada en los cálculos con reacciones químicas
- Exergía no-reativa, asociada en los cálculos con procesos no reactivos, tales como expansión, compresión, mezclado y separación.

Se puede expresar:

$$e_{ch} = \sum_{i=1}^N y_i e_i^0 + G - \sum_{i=1}^N y_i G_i \quad (\text{e. 4})$$

Donde la y_i es la fracción de masa molar, e_i^0 es la exergía química estándar y G_i es la energía libre de Gibbs para el componente i .

Entonces para la definición de un análisis exergético, sumando todos los componentes, quedaría así:

$$e_{total} = e_{ch} + e_{ph} + e_k + e_p \quad (\text{e. 5})$$

Como en este proyecto, los componentes de exergía cinética y potencial son despreciados junto al componente de la exergía química no reactiva, debido a que el sistema se encuentra estático y tampoco está en un estado de expansión, reducción, mezcla o separación. Por lo que la ecuación para el análisis exergético de cada corriente resultaría:

$$e_{total} = (h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0) + \sum_{i=1}^N y_i e_i^0 \quad (\text{e. 6})$$

1.5 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta para evaluar, de la forma más objetiva posible las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental [36]. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; y reciclado y disposición del residuo [37].

Básicamente, el ACV consta de cuatro pasos (i) definición del objetivo y del alcance, (ii) la identificación de los flujos de entrada y salida a través del inventario de ciclo de vida (ICV), (iii) evaluación del impacto del ciclo de vida y (iv) interpretación de los resultados [38].

1.5.1 SIMAPRO

Es un software líder en análisis de ciclo de vida (ACV) que mide la sustentabilidad de los productos en el diseño para el medio ambiente, así como la sustentabilidad de sus metas ambientales. Está equipado con muchos datasets de Inventario de Ciclo de Vida (ICV), incluyendo la reconocida base de datos ecoinvent v3, la nueva base de datos específica para la industria: Agri-footprint y la base de datos ELCD [39]. Las características especiales de Simapro le permiten construir modelos complejos de una manera sistemática y transparente. También ofrece la posibilidad de hacer modelaciones que incluyan cálculo de incertidumbre, visión de los procesos unitarios, asignación en procesos con salidas múltiples, análisis de puntos débiles y tratamiento de residuos.

1.5.2 OBJETIVO Y ALCANCE DE ESTUDIO

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo. Un objetivo podría ser por ejemplo comparar dos o más productos diferentes que cumplen las mismas funciones, para aplicar la información que se obtenga en la comercialización o en la reglamentación del uso de alguno de ellos [40].

También en esta fase se establece la unidad funcional, que es parte fundamental para el análisis, debido que describe también la función principal del sistema analizado [41]. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función [42]. Por ejemplo, no es válido comparar dos kilos de pintura diferentes que no sirvan para realizar la misma función, cubrir un área equivalente con una duración similar.

Debido a su naturaleza global un ACV completo puede resultar extenso. Por esta razón se deberán establecer unos límites que deberán quedar perfectamente identificados [41]. Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto.

1.5.3 INVENTARIO DEL ANÁLISIS CICLO DE VIDA

En el inventario es donde se recolectan y cuantifican las entradas y salidas de materia y energía correspondientes al sistema producto durante su ciclo de vida.

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional [43]. De una forma genérica denominaremos estos efectos ambientales como «carga ambiental». Ésta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, etc. Cuando se trabaje con sistemas que impliquen varios productos, en esta fase se procederá a asignar los flujos de materia y energía, así como las emisiones al medio ambiente asociadas a cada producto o subproducto [44].

1.5.4 ANÁLISIS DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

La estructura de esta fase viene regida por la normativa ISO 14042, la cual hace distinción entre elementos obligatorios y elementos opcionales [41].

Los elementos considerados obligatorios son:

- Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos
- Asignación de los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.
- Modelización mediante los factores de la caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto [45].

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

- Normalización: se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto a un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.
- Agrupación, clasificación y posible catalogación de los indicadores.

- Ponderación: consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.
- Análisis de calidad de los datos: ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considerará obligatorio en análisis comparativos.

1.5.4.1 METODOLOGÍA IPCC

Es la integración de un grupo gubernamental expertos sobre el cambio climático que aportan nuevos conocimientos científicos que pueden utilizarse para producir información (informes de evaluación, informes especiales o metodológicos, entre otros) [26] y servicios climáticos destinados a ayudar a la sociedad a actuar y afrontar los desafíos del cambio climático. Estos informes proporcionan una evaluación completa de las bases físicas del cambio climático que considera las nuevas evidencias del pasado, el presente y el futuro cambio climático previsto basadas en numerosos análisis científicos independientes de las observaciones del sistema climático, archivos paleoclimáticos, estudios teóricos sobre los procesos climáticos y simulaciones que usan modelos climáticos [46].

1.5.5 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación de impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones [44]. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cual representa un mejor comportamiento ambiental [41].

1.6 ANÁLISIS EXERGOAMBIENTAL

Este análisis es llevado a cabo para evaluar el desempeño ambiental, combinando conceptos de exergía y ambientales [47]. La metodología consiste en tres partes: análisis exergético, análisis ambiental, usando el ACV, y finalmente, la evaluación de los impactos ambientales considerando los flujos de exergía a través de cada subsistema, lo que se consideraría como variables exergoambientales [48].

El balance exergoambiental se podría asociar fácilmente con el balance exergoeconómico, ya que ambos se rigen por el enfoque Specific Exergy Costing (SPECOC) [49]. El balance exergoambiental de cada componente de puede expresar como:

$$\sum_{in} \dot{B}_{in,k} + \dot{Y}_k + \dot{B}_{pf,k} = \sum_{out} \dot{B}_{out,k} \quad (e. 7)$$

$$\dot{B}_j = b_j \dot{E}_j \quad (\text{e. 8})$$

Donde se puede entender que \dot{B}_{pf} es el valor correspondiente a la formación de partículas y \dot{B}_j es la tasa de impacto ambiental asociada a la corriente de exergía, b es el impacto ambiental por unidad de exergía y \dot{E} es el flujo de exergía de la corriente.

Los valores \dot{Y}_k son la tasa de impacto ambiental relacionada al total de ciclo de vida del componente en el que se realiza el balance. Dicho valor se puede descomponer en tres fases: construcción, incluyendo manufactura, materiales, transporte e instalación, operación y mantenimiento, y residuos.

$$\dot{Y}_k = \dot{Y}_{k,CO} + \dot{Y}_{k,OM} + \dot{Y}_{k,RE} \quad (\text{e. 9})$$

Debido a la falta de información de las fases para el total de la tasa de impacto ambiental del componente, se podría estimar de la siguiente forma [50]

$$\dot{Y}_k = \frac{w_k b_{m,k}}{H_k} \quad (\text{e. 10})$$

Donde w_k es el peso del componente en kg, $b_{m,k}$ es el impacto ambiental específico del componente y H_k es el producto entre la vida útil del componente y sus horas de trabajo anuales.

Según Meyer [51], otra forma de obtener el valor es teniendo en cuenta que las tasas de impacto ambiental de operación y mantenimiento, y de los residuos, $\dot{Y}_{k,OM}$ y $\dot{Y}_{k,RE}$ respectivamente, son significativamente menores que la tasa de impacto por construcción, $\dot{Y}_{k,CO}$, y se pueden despreciar.

1.6.1 MÉTRICAS DE DESEMPEÑO EXERGOAMBIENTAL

Para el desarrollo de un análisis exergoambiental completo y explicar de forma más sencilla los impactos ambientales en diferentes escenarios. Las métricas más utilizadas son la diferencia de impacto exergoambiental relativo (r_b), el factor exergoambiental (f_b) y el índice de impacto exergoambiental por desecho de exergía (\dot{B}_{wE}). [52]

El impacto exergoambiental relativo muestra cómo reducir el impacto ambiental con menos esfuerzo. Los valores altos de r_b reflejan que en el motor es donde se tiene el mayor impacto ambiental, mientras que valores negativos, demuestran que el mayor impacto ambiental son productos del combustible.

$$r_b = \frac{b_w - b_f}{b_f} \quad (\text{e. 11})$$

b_w es el impacto ambiental específico del producto del motor mientras que b_f es el impacto exergoambiental específico del combustible.

Por otro lado, el factor exergoambiental es la relación entre el impacto ambiental de un componente o de los materiales relacionados a un sistema, con el impacto ambiental total del componente o sistema evaluado.

$$f_b = \frac{\dot{Y}_{total}}{\dot{Y}_{total} + \dot{B}_{wE}} \quad (\text{e. 12})$$

Los valores de f_b menores a 0,3 demuestran que, en el índice de impacto ambiental de ese sistema o componente, es más importante la tasa de destrucción de exergía, así que, para mejorar los valores de eficiencia en el sistema, hay que disminuir esa destrucción de exergía [53]. En cambio, si los valores de f_b son mayores a 0,7, lo que afecta más al sistema son los impactos ambientales de los componentes [52].

$$\dot{B}_{wE} = b_f \dot{E}_{wE} = b_f (\dot{E}_D + \dot{E}_L) \quad (\text{e. 13})$$

La tasa de impacto ambiental por desecho de exergía se puede expresar como arriba. Para su desarrollo hay que tener en cuenta los flujos de exergía destruida \dot{E}_D y los flujos de pérdida de exergía \dot{E}_L .

2. LOCALIDADES SELECCIONADAS

Para la selección de las localidades a trabajar, primero se investigó la distribución del número de localidades entres los departamentos, dando un total de 19 departamentos en el que la mayor cantidad de localidades se encuentra en Nariño con 626, seguido por el Chocó con 500, y la mayor cantidad de suscriptores también se divide entre estos dos departamentos, superando los 100.000 en su combinación [3].

Tabla 3

Localidades por departamento con sus suscriptores totales

Departamento	Localidades	Suscriptores totales
Nariño	626	50.496
Chocó	500	50.971
Cauca	139	13.359
Valle del Cauca	111	8.654
Guainía	57	8.282
Córdoba	42	1.896
Amazonas	39	11.815
Caquetá	36	2.619
Antioquia	34	4.014
Vaupés	30	2.736
La Guajira	22	250
Magdalena	20	397
Putumayo	18	4.328
Vichada	9	9.362
Guaviare	9	820

Atlántico	6	79
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	2	22.673
Meta	1	703
Bolívar	1	417
Total	1795	193.871

Nota: Recuperado de [3]

Según la investigación en la Superintendencia de Servicios, se pudo obtener una información de los datos sobre la generación de las localidades del Chocó [54], también se identificó que cuales localidades son capaces de soportar un alto potencial energético de biomasa [55]. Teniendo en cuenta el trabajo considerado como previo a este [8], se seleccionan las localidades de Unión Chogorodo y San Onofre para el desarrollo del trabajo, ya que cumplen con las características de ser zonas no interconectadas y tener un alto potencial de biomasa, como se explica en la *tabla 4*.

Tabla 4

Características de las localidades seleccionadas

Localidad	Usuarios	Departamento	Rango horario	Pot. Prom actual [kW]	Margen de potencial	Energía facturada [kWh/día]
Unión Chogorodo	E1 167	Chocó	17:00 – 00:00	41,78	Alto	427,52
San Onofre	34	Chocó	17:00 – 22:00	6,87	Alto	38,08

Recuperada de [8]

3. ESCENARIOS PROPUESTOS PARA LOS ANÁLISIS

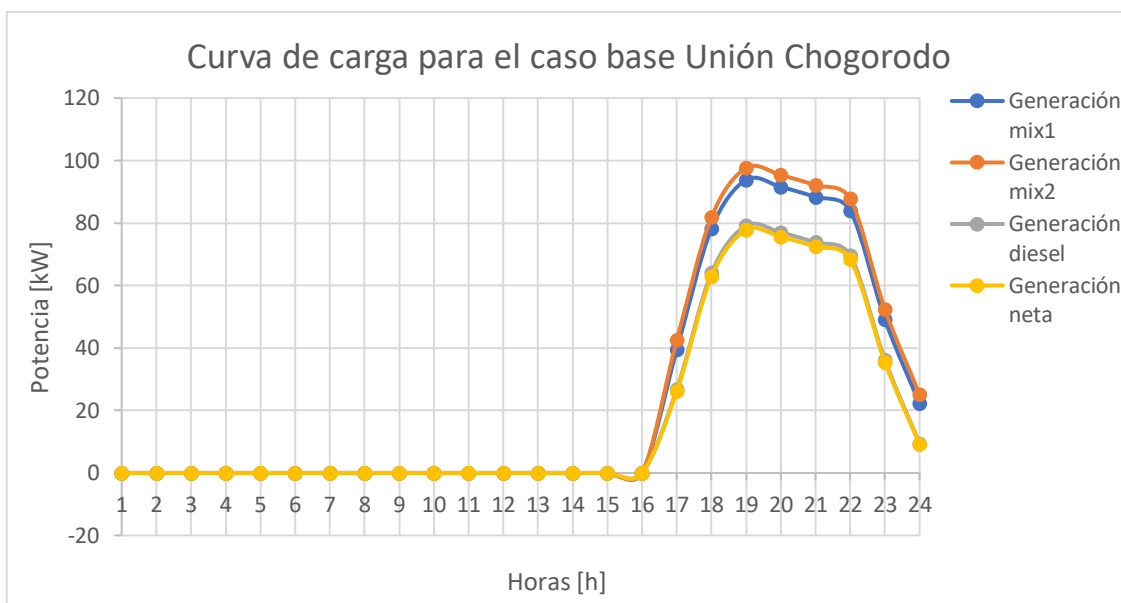
- Escenario base: El sistema genera la energía eléctrica requerida para cubrir la demanda promedio diaria de cada localidad, en base a las horas y al rango de prestación del servicio.
- Escenario 1: Se estima el aumento de carga debido a la adquisición de nuevos electrodomésticos por parte de los usuarios de cada localidad, manteniendo el mismo rango horario de prestación del servicio del escenario base.
- Escenario 2: Teniendo como base la curva de carga construida en el escenario 1 (demanda base más aumento en consumo por adquisición de electrodomésticos), se plantea el aumento del rango de prestación del servicio para cada localidad.

3.1 CURVAS DE CARGA PARA CADA LOCALIDAD

Considerando los escenarios alternos ya mencionados, junto con el caso base, se puede decir que cada localidad tendrá tres curvas de cargas distintas, Para la realización de las gráficas 1-6 se tomaron en cuenta datos de [8] donde se identificó la demanda para cada localidad y se asumieron valores para el aumento de la generación de energía y del rango horario para los escenarios mencionados.

Gráfica 1

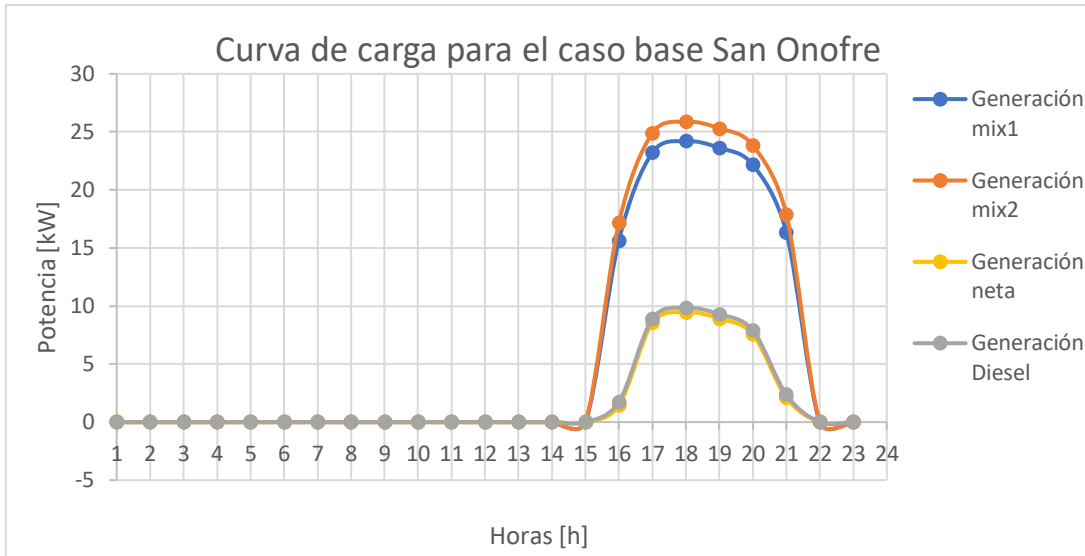
Demanda energética actual para Unión Chogorodo con la estimación de biomasa



Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

Gráfica 2

Demanda energética actual para San Onofre con la estimación de biomasa

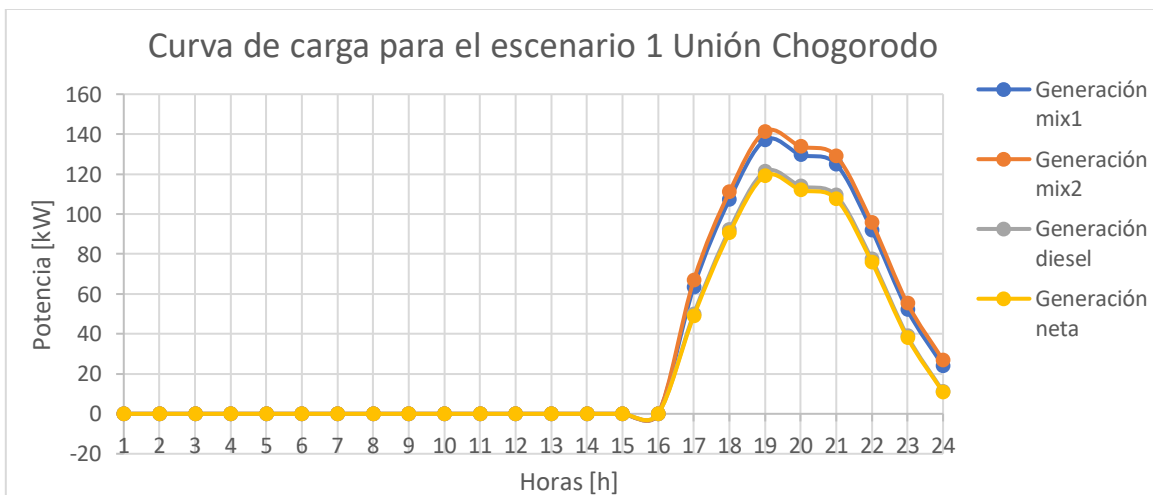


Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

Las curvas de la demanda con la biomasa siempre tendrán una potencia mayor considerable a la neta, debido al autoconsumo de energía de los componentes y como en la configuración del sistema con biomasa hay más componentes, mayor será la energía que necesita para el funcionamiento de la planta.

Gráfica 3

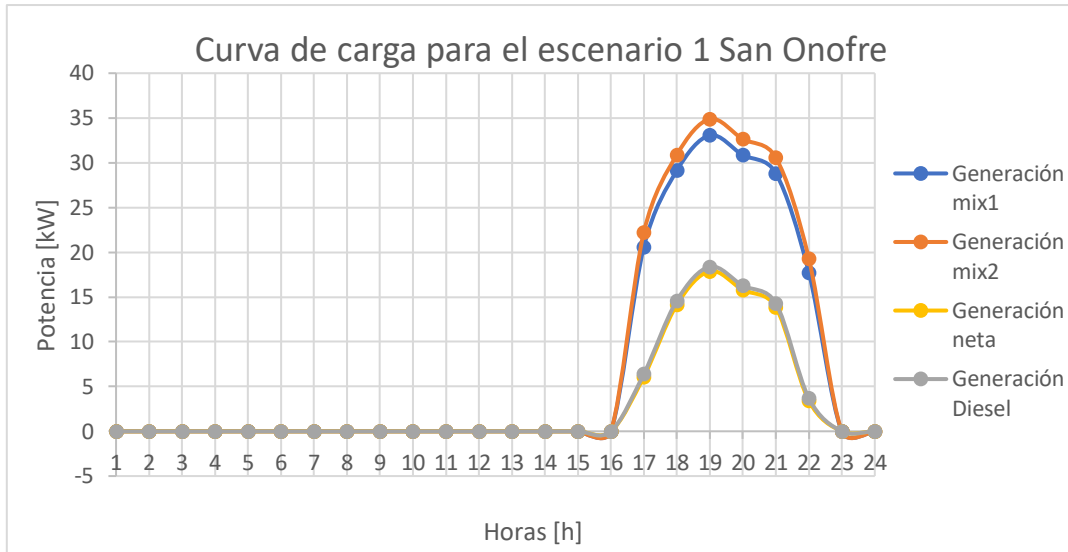
Demanda energética estimada para el escenario 1 en Unión Chogorodo



Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

Gráfica 4

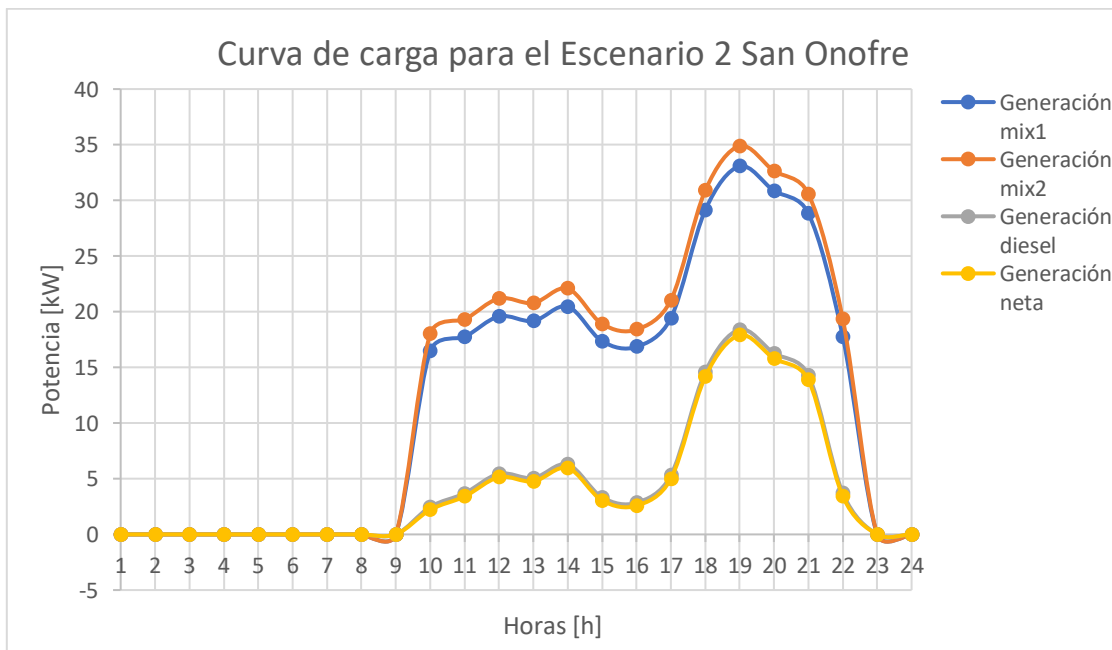
Demanda energética estimada para el escenario 1 en San Onofre



Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

Gráfica 5

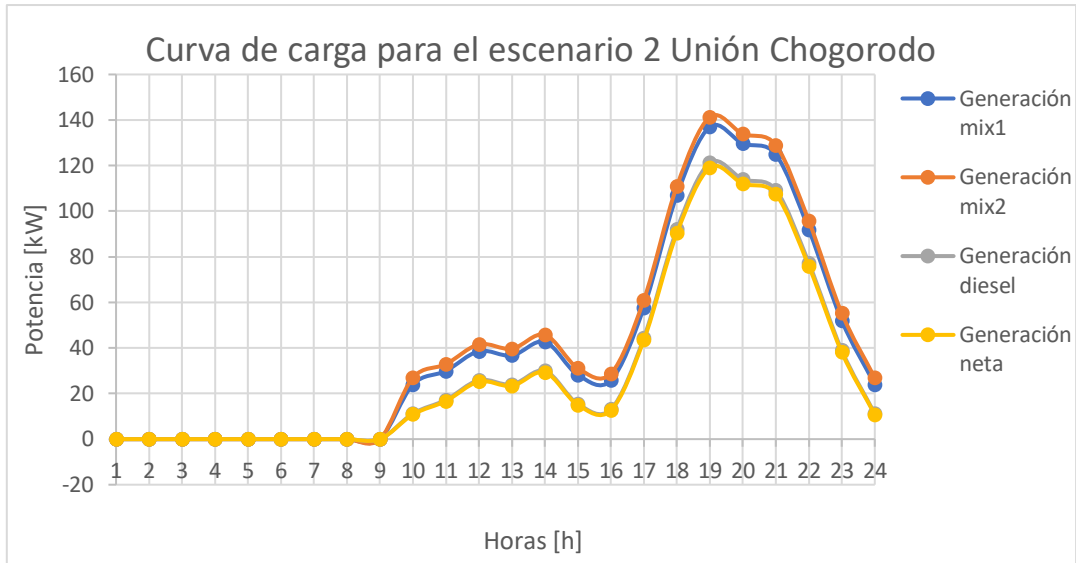
Demanda energética estimada para el escenario 2 en San Onofre



Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

Gráfica 6

Demanda energética estimada para el escenario 2 en Unión Chogorodo

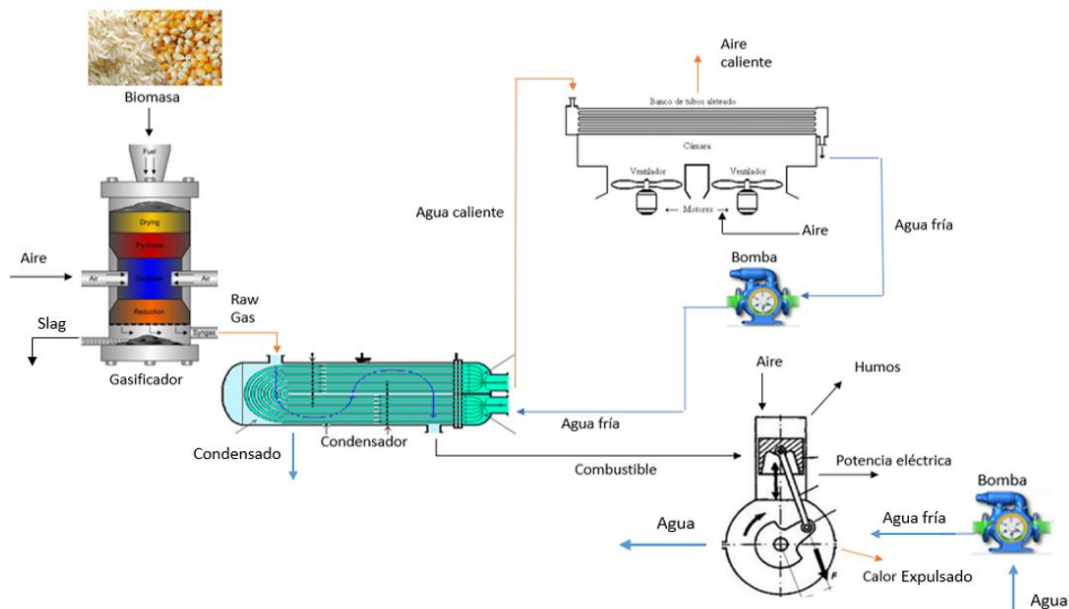


Nota: Gráfica realizada con los datos calculados en [8]

4 SISTEMA SELECCIONADO CON PROCESO DE GASIFICACIÓN

Figura 4

Sistema de generación con base en gasificación de biomasa



Nota: Realizado por el autor

El gasificador es tipo downdraft, por lo tanto, las entradas de este son la mezcla de biomasa por la parte superior y el aire por los extremos. Las salidas del gasificador son el flujo de slag y el gas de síntesis bruto. El gas pasará por un sistema de enfriamiento, el cual consta de dos intercambiadores de calor, el primero es un condensador de tubos y el segundo es un evaporador con ventiladores, donde ayudarán al circuito del agua de enfriamiento a completar su labor de refrigerante, el agua es impulsada por una bomba que consume energía eléctrica suministrada por el mismo sistema. Al licuarse el combustible ya es apto para funcionar con el motor de combustión interna que está acoplado a un generador eléctrico, el motor incluye un sistema de refrigeración que funciona impulsado por una bomba que trabaja de forma constante. Las salidas del sistema son el aire caliente expulsado del evaporador, el calor en el gasificador y motor, los humos del motor y la potencia eléctrica generada.

4.1 PARAMETROS DE LA GASIFICACIÓN

La simulación de gasificación que se realiza en ambas localidades cuenta con el mismo tipo de gasificador con diferencia en que para la localidad de San Onofre tiene un tamaño menor que en Unión Chogorodo, debido a la diferencia del flujo de biomasa que hay entre las dos. La temperatura de operación varía por localidad y mezcla de biomasa, para la localidad de San Onofre el valor promedio de temperatura que alcanza en la mezcla 1 y mezcla 2 está en 563,3 °C y 351,6 °C, respectivamente. Mientras que para la localidad de Unión Chogorodo estos valores aumentan ligeramente siendo 575°C y 402,9°C. La presión no varía mucho, asumiendo que son valores atmosféricos para cada localidad.

4.2 PARÁMETROS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

El sistema de refrigeración del combustible consta de un condensador, un evaporador y una bomba que impulsa al agente refrigerante que, para este proyecto, es el agua. El sistema de refrigeración no varía para ninguna condición, lo único que cambia son sus horas de uso dependiendo de la localidad y el escenario. El flujo del agua que hace el ciclo de refrigeración se mantiene en 2 kg/s donde adquiere la cantidad calor suficiente para dejar el combustible a una temperatura de 60°C. Por otro lado, el flujo de aire que se utiliza para enfriar el agua de nuevo se mantiene para todos los escenarios de 4 kg/s, lo suficiente para hacer retomar al agua el valor de 50°C con el que ingresa de nuevo al condensador.

4.3 PARAMETROS DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

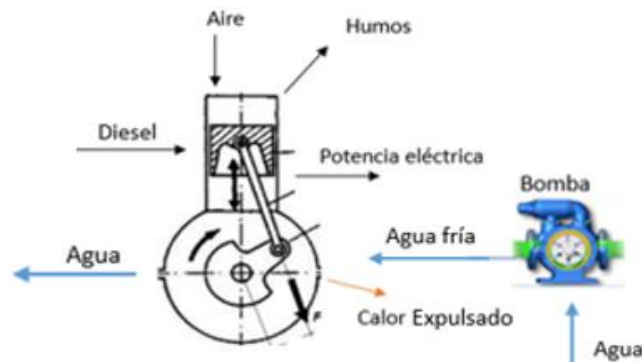
El sistema de combustión interna cuenta con un motor generador el cual está siendo refrigerado por una corriente de agua. La corriente de agua siempre va a ser la misma, de 2 kg/s a temperatura ambiente y es suficiente para recibir 73,36 kW de calor del motor para cualquier escenario. El motor cambia de tamaño según la localidad en la que se realice la

simulación debido a la cantidad de potencia requerida y la temperatura promedio de los humos está en un rango de 400°C a 500°C. La eficiencia en los escenarios de San Onofre disminuye considerablemente en comparación con la eficiencia en Unión Chogorodo.

5. SISTEMA CONVENCIONAL SIN PROCESO DE GASIFICACIÓN

Figura 5

Sistema de generación convencional



Nota: Realizado por el autor

En este caso se mantiene solamente el motor de combustión interna junto a su sistema de refrigeración, debido a que el combustible no requiere pasar por ningún proceso y ya estaría apto para hacer funcionar la planta. Las salidas siguen siendo las mismas y la relación con el aire es mucho mayor.

6. BIOMASAS SELECCIONADAS

Los cultivos más comunes en el departamento del Chocó son el arroz, la caña, el maíz, plátano y palma [54], teniendo en cuenta que cada localidad tiene su capacidad de cultivos diferente, se realizarán mezclas distintas de biomásas para cada una. En las localidades seleccionadas hay pocos cultivos de Palma, que llegan a ser despreciables, y en Unión Chogorodo la disponibilidad de caña tampoco es suficiente como para tenerla en cuenta.

El PCI de las fuentes de biomasa disponibles varía con respecto a su tipo de residuo [56], por lo que es importante tener en cuenta cuál fuente de biomasa aporta más energéticamente y en qué tipo. Las hojas secas de maíz son las que mayor aporta, mientras que el raquis de plátano ofrece el menor valor.

Tabla 5

Principales residuos de cultivos y su poder calorífico inferior

Fuente de biomasa	Tipo de residuo	PCI [kJ/kg]
Arroz	Tamo	13.033
	Cascarilla	15.085
Caña	Bagazo	18.656
	Hojas secas	16.776
	Rac	15.424
Maíz	Rastrojo	14.356
	Tusa	14.193
	Cáscara	15.972
	Hojas secas	17.894
Plátano	Raquis	7.569
	Vástago	8.507

Nota: Realizado de [56]

El plátano a pesar de su bajo aporte energético es el que ocupa una mayor disponibilidad en todas las localidades, por tal motivo se incentiva el uso de este con el fin de maximizar en la generación.

Se aclara que el porcentaje de humedad de cada mezcla debe ser menor al 25%, por lo que primero se señalan las mezclas con biomasa seca y luego cierto porcentaje de esa mezcla se combina con el plátano para elaborar la mezcla de biomasa húmeda.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de cada localidad, en [8] se plantean las mezclas de biomasa para el sistema.

Tabla 6-7

Mezclas de biomasa para la simulación

Mezcla	Mezcla de Biomasa para la Unión Chogorodo		
	Arroz	Maíz	Plátano
Mix 1	72.94%	27.06%	-
Mix 2	60%		40%

Nota: Recuperado de [8]

Mezcla	Mezcla de Biomasa para San Onofre			
	Arroz	Maíz	Caña AR	Plátano
Mix 0	56.11%	43.89%	-	-
Mix 1	74.32%		25.58%	-
Mix 2	55%			45.00%

Nota: Recuperado de [8]

7. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

7.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DESARROLLADO.

El objetivo de este ACV es comparar el método de generación de energía convencional en las ZNI, de un motor de combustión interna que funciona con diésel, y el método generación de energía del mismo motor de combustión interna impulsado por un combustible producto de la gasificación de biomasa. El motivo es obtener los valores de impacto ambiental de los sistemas de generación, para cada mezcla de biomasa distinta y cada escenario planteado, y concluir cuál de los dos es el más contaminante y en cual escenario.

Los escenarios alternativos son dos: el primero con un aumento en la curva de carga y el segundo, manteniendo ese aumento, con un rango de horario del suministro energético ampliado. El flujo de referencia es el del combustible y la unidad funcional es 1 kWh de energía producida en cada localidad.

Las bibliotecas seleccionadas son U.S. Life Cycle Inventory (USLCI), Ecoinvent 3 y Agri-footprint 5.

7.2 INVENTARIO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Para el desarrollo de los inventarios en cada localidad, los datos obtenidos para la generación diaria de los 3 escenarios planteados se convirtieron a valores por unidad funcional, de esta forma facilita la comparación entre los sistemas y localidades, además de facilitar el manejo de los datos. Debido a lo extenso de los inventarios, se pueden encontrar en los anexos [A-1; A-6]. Para entender mejor los procesos y los materiales que iban en el inventario se realizaron los diagramas de entradas y salidas para cada sistema (figura 6 y 7).

En la parte de los procesos se tomaron algunos de referencia, como los residuos de los cultivos para las mezclas de biomasa, donde la totalidad del impacto ambiental es atribuido a la salida principal (el producto cosechado) mientras que el residuo no tiene ninguna carga ambiental, Otros fueron creados a partir de copias de algunos procesos, pero adaptados a los sistemas propuestos.

Figuras 6-7

Diagramas de entradas y salidas para el sistema de gasificación de biomasa y el del motor convencional respectivamente

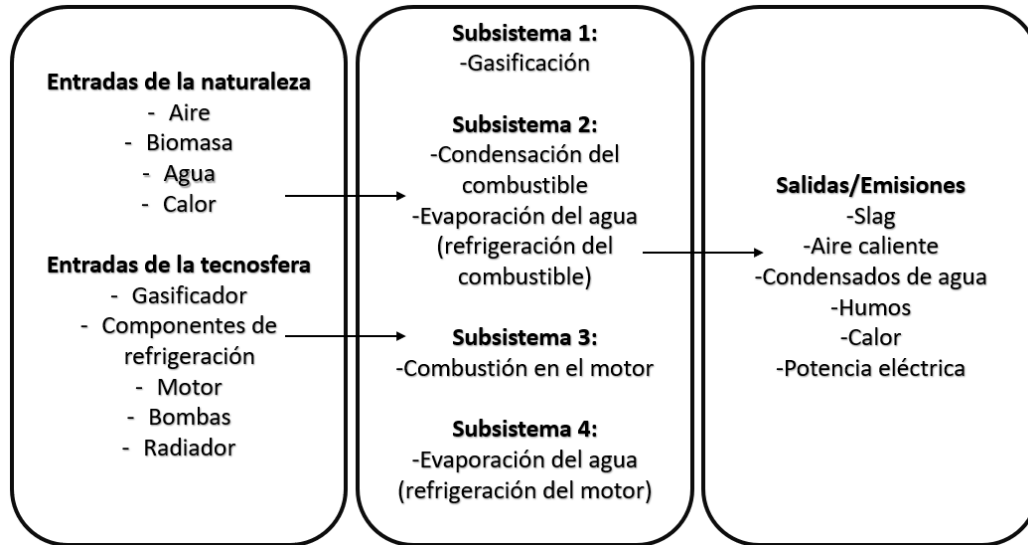


Figura 6: Diagrama de entradas y salidas para el ACV del sistema con gasificación de biomasa

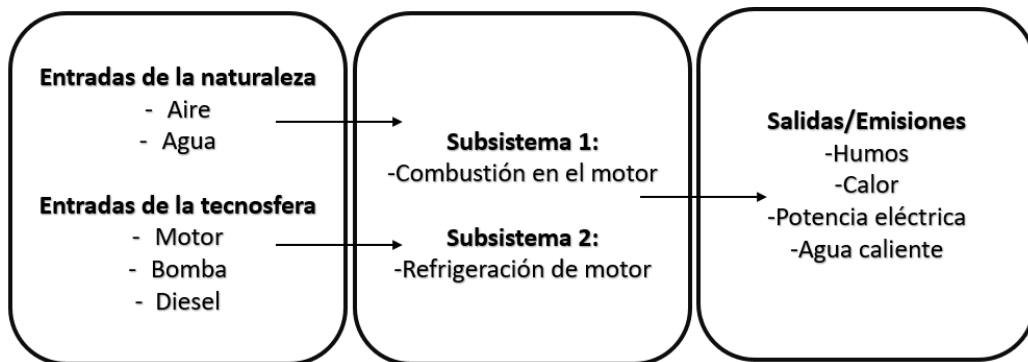


Figura 7: Diagrama de entradas y salidas para el ACV en el sistema convencional

La realización de las etapas del producto cuenta con 6 montajes, uno para cada localidad y mezcla de combustible, donde cada montaje tiene tres categorías: una por cada escenario. Los materiales y procesos para considerar el análisis están en la tabla 1.

Los datos correspondientes al flujo del sistema se obtuvieron de [8] mientras que los datos correspondientes a los materiales de los componentes del sistema, debido a la poca información que hay de estos, se aplicaron los siguientes factores.

7.2.1 SELECCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS MATERIALES PARA LOS COMPONENTES DE CADA SISTEMA

Como no hay información exacta de la cantidad de materiales necesaria para la fabricación de algunos componentes, se realizó una serie de estimaciones para obtener los valores que se ingresaron en el software Simapro.

A partir de [57] se obtuvo la composición en materiales dada en porcentajes para un motor/generador, un bomba y evaporador, de [53] se recuperó la composición del condensador, y, [58] se asumió que por el tamaño del HRSG su composición puede ser similar a la de un gasificador.

Tabla 8

Composición de materiales para los componentes del sistema.

Componente	Material	Porcentaje
Evaporator	Steel	100%
Condenser	Steel	100%
Pump	Steel	35%
Motor/Generator	Cast Iron	65%
	Steel	20%
	Cast Iron	60%
	Copper	15%
Gasifier	Aluminium	5%
	Steel	20%
	Cast Iron	80%

Nota: Recuperado de [53] [57] [58]

Para el motor generador y la bomba se usó de referencias [59] y [60] donde se menciona el peso del componente y su potencia. Se trabajó con estos valores debidos a su similitud con los resultados de las simulaciones obtenidas en [8]

El peso del gasificador se asumió a partir del peso del HRSG [58] considerando que su uso de materiales es similar y que es un sistema térmico. Con el peso del motor ya asumido, se realizó una conversión lineal entre el sistema de generación y un sistema de calor.

$$m_{gasificador} = m_{gasificador_{ref}} \left(\frac{m_{motor}}{m_{motor_{ref}}} \right) \quad (e \ 16)$$

En el condensador se utilizó de referencia la diferencia de impactos ambientales entre el intercambiador de calor y el generador de vapor [48] el cual se asumió como el impacto de un gasificador. Mediante una relación lineal con el gasificador se obtuvo el resultado.

$$m_{condensador} = m_{gasificador} \left(\frac{\dot{Y}_{condensador}}{\dot{Y}_{gasificador}} \right) \quad (e. \ 17)$$

$$m_{condensador} = m_{evaporador} \quad (\text{e. 18})$$

El evaporador y condensador, al ser ambos intercambiadores de calor de un mismo sistema de refrigeración, se asumieron de pesos iguales.

Con el valor de cada material correspondiente para cada componente, se asumió que el ciclo de vida de cada uno de estos sería de 20 años, para que tenga relación con el método de impacto de Simapro. Para reducir el valor de los materiales a valores por kWh y poder así ser usados en el inventario, se realizó la siguiente ecuación que aplica para cada componente.

$$m_{material_{kWh}} = \left(\frac{m_{material}}{20_{años} * 365_{días} * 24_{horas}} \right) * \left(\frac{horas\ de\ trabajo}{kWh\ diarios} \right) \quad (\text{e. 19})$$

Hay que tener en cuenta que para ambas localidades tanto el sistema de refrigeración del combustible como el sistema de refrigeración del motor son iguales, por lo tanto, su masa se mantiene igual. Para el gasificador y el motor, el tamaño si cambia, por lo que para el caso en San Onofre el motor se estima de la referencia [61] y el gasificador se escala de nuevo con la nueva relación con el motor sumido.

7.3 EVALUACIÓN DE IMPACTO

Como el impacto en el que se enfoca el proyecto es en el impacto ambiental, el método de evaluación de impacto seleccionado fue el IPCC GWP del 2013. Se utilizaron de periodos de tiempo distinto, uno a 20 años y el otro a 100 años. El método de impacto con el periodo de 100 años también fue seleccionado porque toma en cuenta la retoma de CO₂ y separa las emisiones de CO₂ en fósiles y biogénicas.

La configuración del cálculo es básica, con una categoría donde los productos, separados por combustible y localidad, se comparan en cada escenario planteado.

7.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados son en unidades de kgCO₂-eq por unidad de energía generada. Por evaluación se obtuvo 3 resultados para cada combustible, uno por el IPCC GWP a 20 años y dos por el IPCC GWP a 100 años (para impactos de cambio climático fósiles y biogénicos).

Tabla 9

Resultados del ACV comparativo para los sistemas en los escenarios propuestos en la localidad de Unión Chogorodo.

Unión Chogorodo					
Caso base					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,00127	0,00127	1,08
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,00108	0,000108	1,06
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	3,81	4,39	0,00163
Escenario 1					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,000904	0,000893	0,981
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,000769	0,0000759	0,961
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	3,2	3,64	0,00148
Escenario 2					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,0014	0,00138	1,2
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,00119	0,00117	1,17
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	3,98	4,56	0,00181

Nota: Datos obtenidos por ACV en Simapro

Tabla 10

Resultados del ACV comparativo para los sistemas en los escenarios propuestos en la localidad de San Onofre.

San Onofre					
Caso base					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,00692	0,00649	2,25
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,00606	0,006	2,21
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	8,56	12,2	0,00338
Escenario 1					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,00243	0,00302	1,65
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,00206	0,00256	1,62
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	5,82	7,77	0,00248
Escenario 2					
Categoría de impacto	Daño del impacto	Unidad	Mix1	Mix2	Diesel
IPCC GWP 20a	Cambio climático	kg CO2eq	0,004	0,00422	2,21
IPCC GWP 100a	Cambio climático - fósil	kg CO2eq	0,00313	0,00359	2,17
(include CO2 uptake)	Cambio climático - biogénico	kg CO2eq	7,63	10,7	0,00325

Nota: Datos obtenido por ACV en Simapro

Para los resultados obtenidos en los sistemas con biomasa gasificada como combustible, los resultados de impacto de cambio climático, tanto fósiles como con el método a 20 años, son valores cercanos a 0, debido que la energía que consume los mismos componentes proviene de un combustible que no tiene ningún impacto atribuido. Mientras que en los resultados del impacto de cambio climático biogénico se obtienen valores significativos, debido a que el CO₂ liberado tanto en la gasificación como en la combustión, es un dióxido de carbono biogénico, que entra en el ciclo del carbono rápido, ya que el combustible proviene de residuos de cultivos y el proceso de absorción y emisión del CO₂ a través de las plantas es uno de los más rápidos, por lo que se consideran emisiones que no suman una carga adicional al ciclo del carbono actual.

Mientras que los resultados obtenidos en el sistema que funciona con diésel pasan lo contrario: los impactos de cambio climático fósiles y con el método a 20 años, son mayores, mientras que los impactos de cambio climático biogénicos no son tan relevantes.

8 BALANCE EXERGOAMBIENTAL EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN

El fin del balance exergoambiental es encontrar el flujo de los impactos ambientales de cambio climático que hay en cada corriente de los sistemas. Para el desarrollo se requiere tener en cuenta el funcionamiento de cada componente importante del sistema y también asunciones según los criterios de resultados, para tener resolución de las ecuaciones. Se tienen en cuenta las entradas y salidas del flujo de exergía, acompañadas de su impacto ambiental específico, sumado a la tasa de impacto ambiental que tiene cada componente en el sistema. Para entender mejor las corrientes de cada sistema se realizó el diagrama de flujo de cada sistema:

Figuras 8-9

Diagramas de flujo para el sistema con gasificación de biomasa y para el sistema de motor convencional respectivamente

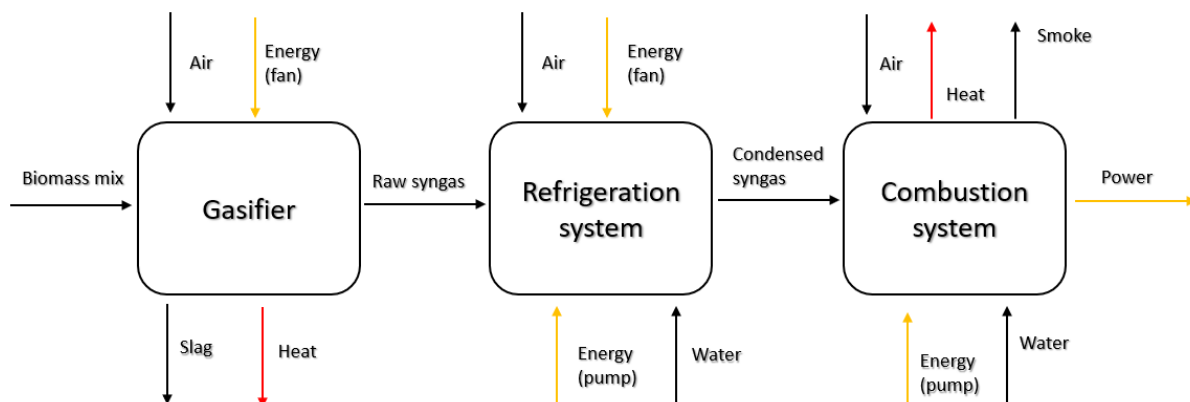


Diagrama de flujos para el sistema con gasificación

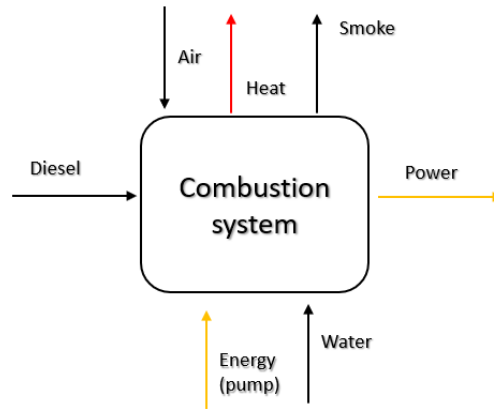


Diagrama de flujos para el sistema convencional

Donde claramente el diagrama de flujos del sistema convencional es más sencillo debido a que sólo depende de un subsistema en el montaje.

8.1 FLUJO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE CADA COMPONENTE EN EL SISTEMA.

Para este trabajo, el \dot{Y} solo es conformado por la parte construcción \dot{Y}_{CO} , el cual se puede dividir en $\dot{Y}_{materiales}$, $\dot{Y}_{manufactura}$ y $\dot{Y}_{transporte}$. Los impactos a partir de los materiales se obtienen gracias al ACV que se realiza a los materiales seleccionados en el inventario, como el impacto de resultado que entrega el software está con base en un tiempo de vida útil de 20 años, la conversión para pasarlo a segundos es:

$$\dot{Y}_{materiales} = \frac{Y_{Simapro}}{20 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \quad (\text{e. 20})$$

En [54] se muestran los impactos que hay por materiales y por manufactura en cada componente, sacando una relación de impacto para cada componente, se puede sumar a los resultados obtenidos anteriormente para obtener un Y_{total} más acertado.

$$\dot{Y}_{total} = \dot{Y}_{materiales} \left(1 + \left(\frac{\dot{Y}_{manufactura_{ref}}}{\dot{Y}_{materiales_{ref}}} \right) \right) \quad (\text{e. 21})$$

8.2 BALANCE EXERGOAMBIENTAL EN EL GASIFICADOR

Se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema.

$$b_{air}\dot{E}_{air} + b_{bm}\dot{E}_{bm} + b_w\dot{W}_{gsf} + \dot{Y}_{gsf} = b_{slag}\dot{E}_{slag} + b_{sg}\dot{E}_{sg} + b_{heat}Q_{gsf} \left(1 - \frac{T_0}{T_{out}}\right) \quad (e.22)$$

Donde se asumen que el impacto ambiental específico del aire y de la biomasa son cero ($b_{air}; b_{bm} = 0$) ya que sus emisiones de CO2 son nulas, y el impacto ambiental del slag y del calor se asumen cero para atribuirle todo el impacto al syngas [58] ($b_{slag}; b_{heat} = 0$). Quedando así el balance simplificado:

$$b_w\dot{W}_{gsf} + \dot{Y}_{gsf} = b_{sg}\dot{E}_{sg} \quad (e. 23)$$

8.2.1 BALANCE EXERGOAMBIENTAL EN EL GASIFICADOR PARA LA MEZCLA 2

Como en la mezcla 2, antes del proceso de gasificación de la biomasa hay un tratado para los residuos de plátano mediante el uso de un molino, el cual consume energía eléctrica producida por la misma central, se toma en cuenta como una entrada de energía en el balance, resultando de la siguiente forma:

$$b_w(\dot{W}_{gsf} + \dot{W}_{molino}) + \dot{Y}_{gsf} = b_{sg}\dot{E}_{sg} \quad (e. 25)$$

8.3 BALANCE EXERGOAMBIENTAL EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración para la condensación del syngas es realizado mediante dos procesos, la evaporación del agente refrigerante y la condensación del gas de síntesis. Por lo tanto, van a haber dos análisis que tomar en cuenta. El primero será el análisis exergoambiental en el evaporador:

$$b_{air}\dot{E}_{air_{in}} + b_{ag}\dot{E}_{ag_{in}} + b_w(\dot{W}_{b_{hx}} + \dot{W}_{v_{hx}}) + \dot{Y}_{ev} + \dot{Y}_{b_{hx}} = b_{ag}\dot{E}_{ag_{out}} + b_{air}\dot{E}_{air_{out}} \quad (e. 26)$$

Mientras que para el proceso de condensación sería así:

$$b_{sg}\dot{E}_{sg} + b_{ag}\dot{E}_{ag_{in}} + b_w\dot{W}_{b_{hx}} + \dot{Y}_{cond} + \dot{Y}_{b_{hx}} = b_{ag}\dot{E}_{ag_{out}} + b_{fuel}\dot{E}_{fuel} \quad (e. 27)$$

Teniendo en cuenta que la entrada del agua al condensador es la misma salida del agua del evaporador ($\dot{B}_{ag_{in}} = \dot{B}_{ag_{out}}$) y que los impactos ambientales del aire son considerados cero ($b_{air} = 0$), se podrían unir ambas ecuaciones dando un resultado así:

$$b_{sg}\dot{E}_{sg} + b_w(2\dot{W}_{b_{hx}} + \dot{W}_{v_{hx}}) + \dot{Y}_{cond} + \dot{Y}_{ev} + 2\dot{Y}_{b_{hx}} = b_{fuel}\dot{E}_{fuel} \quad (e. 28)$$

8.4 BALANCE EXERGOAMBIENTAL EN EL SISTEMA DE COMBUSTIÓN

En el sistema de combustión, además de encontrarse el motor, también hay una bomba que impulsa agua para la refrigeración de este, por lo tanto, habría que tener en cuenta el balance en ambos componentes. Para el balance en la bomba, la ecuación sería la siguiente:

$$b_{ag_{in}} \dot{E}_{ag_{in}} + b_w \dot{W}_{b_m} + \dot{Y}_{b_m} = b_{ag_{out}} \dot{E}_{ag_{out}} \quad (\text{e. 29})$$

Mientras que para el balance en el motor quedaría:

$$b_{ag_{in}} \dot{E}_{ag_{in}} + b_{fuel} \dot{E}_{fuel} + b_{air} \dot{E}_{air} + \dot{Y}_m = b_{hs} \dot{E}_{hs} + b_w \dot{W}_m + b_{ag_{out}} \dot{E}_{ag_{out}} \quad (\text{e. 30})$$

Se pueden unir ambas ecuaciones teniendo en cuenta que el flujo de agua que sale de la bomba es el mismo que refrigera el motor ($\dot{B}_{ag_{out_b}} = \dot{B}_{ag_{in_m}}$), el impacto ambiental específico de la corriente de aire se puede asumir como cero ($b_{air} = 0$) ya que no hay ningún proceso anterior a él, y también por los criterios de deducción se puede asumir que los impactos ambientales específicos de los humos y de la salida de agua son iguales a 0, por la asignación total a la salida del motor ($b_{hs}; b_{ag_{out_m}} = 0$), quedando entonces la ecuación en el sistema de combustión así:

$$b_{fuel} \dot{E}_{fuel} + b_w \dot{W}_{b_m} + \dot{Y}_m + \dot{Y}_{b_m} = b_w \dot{W}_m \quad (\text{e. 31})$$

Es necesario mencionar que los flujos de exergía y trabajo se encontraron en [8] y que el dato para el impacto ambiental específico del diésel se obtuvo a partir de [62] que es calculado para un poder calorífico inferior de 44000 [kJ/kg].

9 RESULTADOS DEL ANÁLISIS EXERGOAMBIENTAL

El desarrollo de estos balances se realizó con la ayuda del software EES, donde se hizo el balance para cada hora de operación de los sistemas. Las tablas se pueden ver en el anexo [A-7; A-24] donde se muestran los resultados de cada escenario, mezcla y localidad. De una forma más sintetizada, se muestran los resultados totales en las siguientes tablas, donde aparecen los impactos ambientales por día y por kWh producido.

Tablas 11-13

Resultados de los impactos ambientales totales por mezcla de combustible en cada localidad y para cada escenario propuesto

	UC CB M1	UC E1 M1	UC E2 M1	SO CB M1	SO E1 M1	SO E2 M1	Unidad
$\dot{B}_{día}$	0,000216	0,000203	0,000438	0,000248	0,000146	0,000460	kgCO2-eq/s
$B_{día}$	0,778691	0,731411	1,578388	0,891831	0,524076	1,656481	kgCO2-eq
<i>Energía</i>	546,55	729,9	950,08	125,2	160,22	286,63	kWh
$\dot{B}_{energía}$	0,001425	0,001002	0,001661	0,007123	0,003271	0,005779	kgCO2-eq/kWh

Nota: Resultados obtenidos del balance en EES

	UC CB M2	UC E1 M2	UC E2 M2	SO CB M2	SO E1 M2	SO E2 M2	Unidad
$\dot{B}_{día}$	0,000218	0,000203	0,000433	0,000267	0,000155	0,000495	kgCO2-eq/s
$B_{día}$	0,784240	0,731508	1,560016	0,959769	0,559740	1,783296	kgCO2-eq
<i>Energía</i>	574,46	759,88	1000,85	134,96	170,54	307,99	kWh
$\dot{B}_{energía}$	0,001365	0,000963	0,001559	0,007112	0,003282	0,005790	kgCO2-eq/kWh

Nota: Resultados obtenidos del balance en EES

	UC CB DSL	UC E1 DSL	UC E2 DSL	SO CB DSL	SO E1 DSL	SO E2 DSL	Unidad
$\dot{B}_{\text{día}}$	0,111	0,142	0,212	0,021	0,029	0,052	kgCO ₂ -e/s
$B_{\text{día}}$	400,257	512,980	761,982	76,860	102,628	188,666	kgCO ₂ -e
Energía	435,865	613,79	745,09	40,067	73,681	101,674	kWh
$\dot{B}_{\text{energía}}$	0,91831	0,83576	1,02267	1,91828	1,39286	1,85559	kgCO ₂ -e/kWh

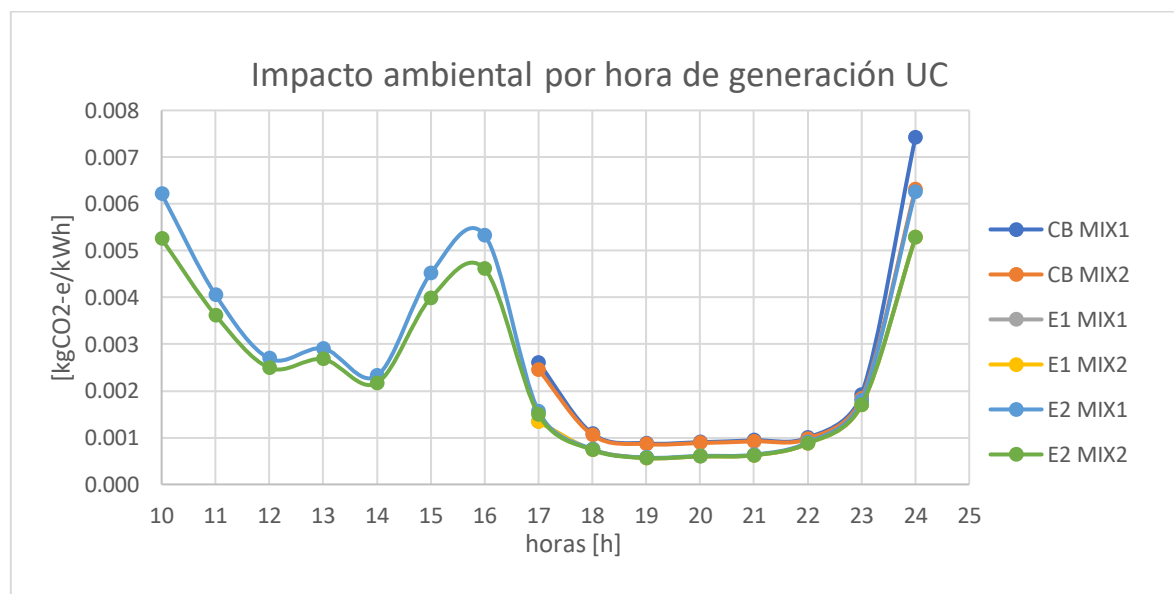
Nota: Resultados obtenidos del balance en EES

Como se puede observar en las tablas de arriba, los mayores impactos ambientales son proporcionados por el sistema que funciona con combustible diésel y que opera en la localidad de San Onofre. También se muestran tendencias similares en cada localidad, sin importar su combustible y que el valor que indica siempre un menor impacto de los tres escenarios se encuentra en el escenario 1.

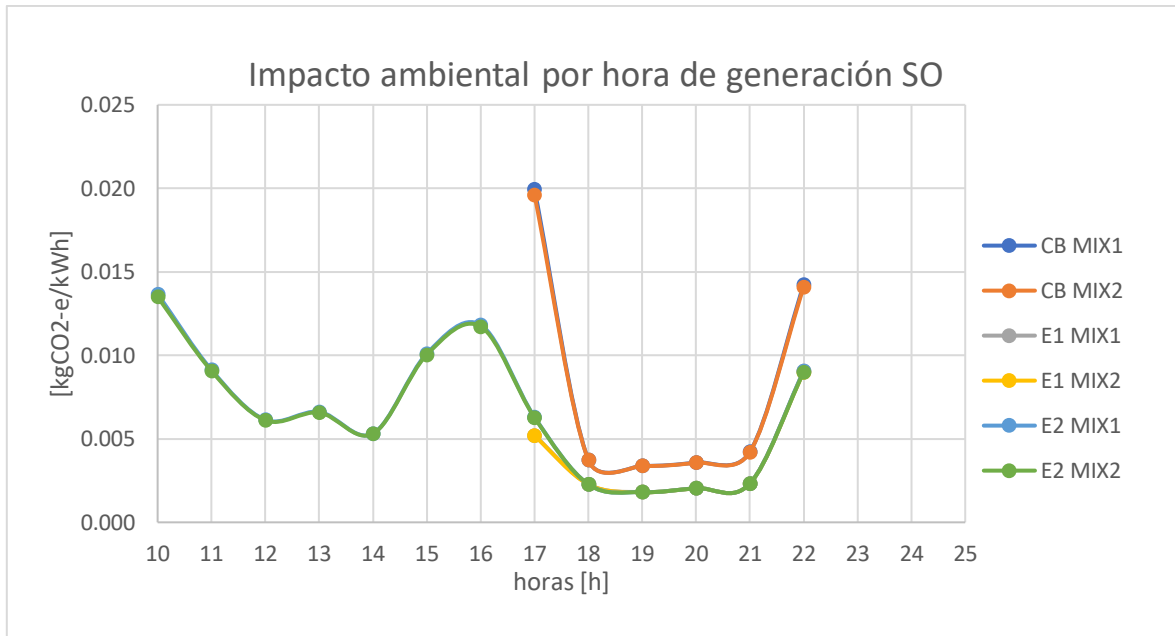
Otra forma de ver estos resultados es con el impacto ambiental por generación que hay en las horas de operación de ambas localidades, así como se muestran en las gráficas 7-9 donde los sistemas impulsados por biomasa se separan en localidades, mientras que los sistemas impulsados por diésel se juntan en una gráfica ambas localidades debido a la diferencia en la escala que hay en los resultados.

Gráficas 7-9

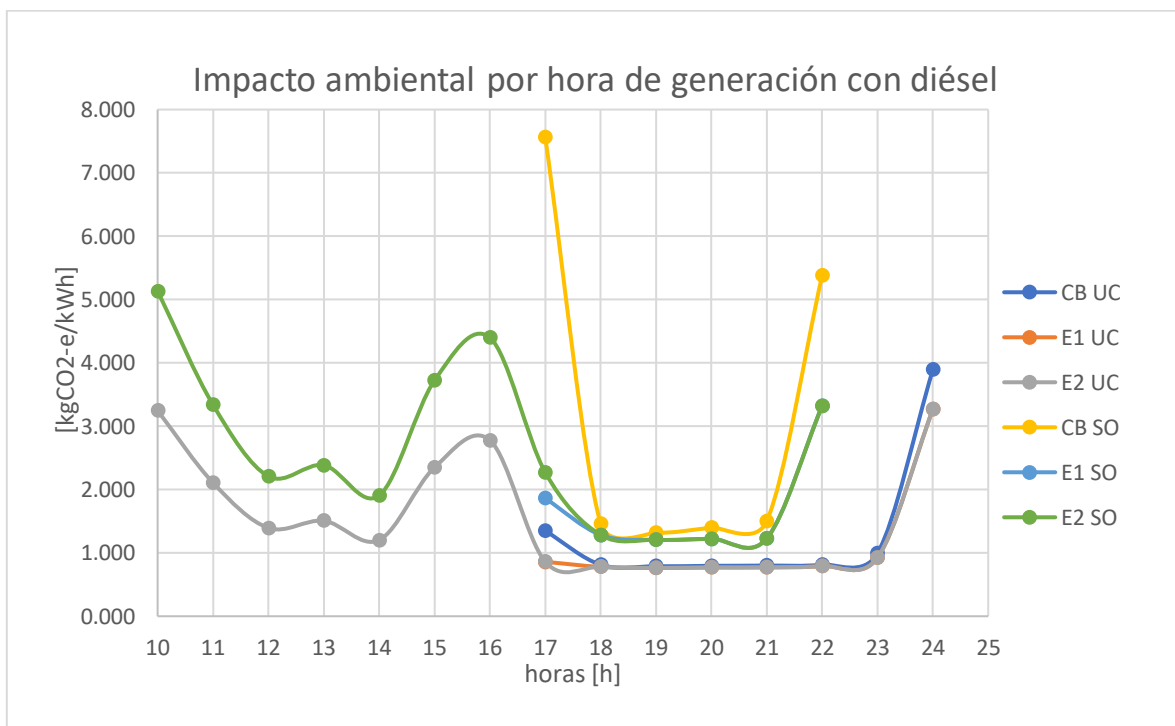
Impacto ambiental por kWh generado en cada hora de trabajo para cada localidad



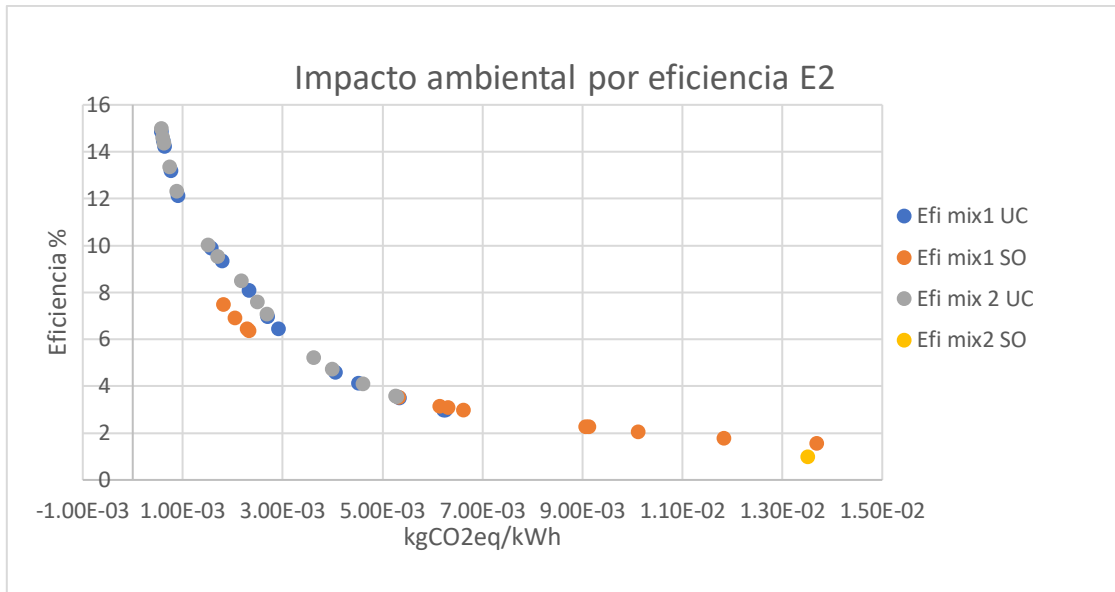
Resultados del análisis exergoambiental del impacto por hora de la generación en la localidad de Unión Chogorodo impulsado por biomasa



Resultados del análisis exergoambiental del impacto por hora de la generación en la localidad de San Onofre impulsada por biomasa



Resultados del análisis exergoambiental del impacto por hora para ambas localidades impulsadas por diésel

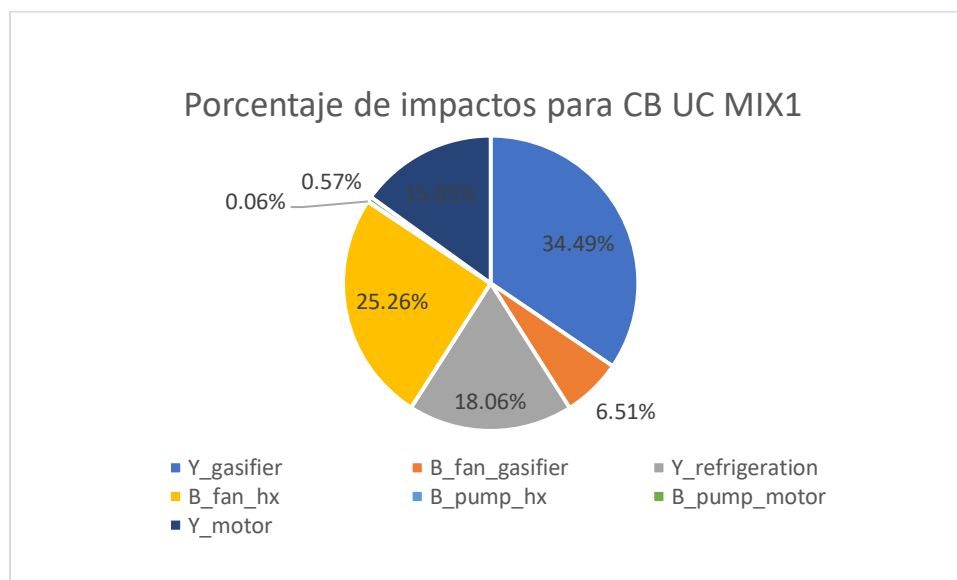


Resultados del análisis exergoambiental del impacto por eficiencia del mismo escenario 2 para ambas localidades

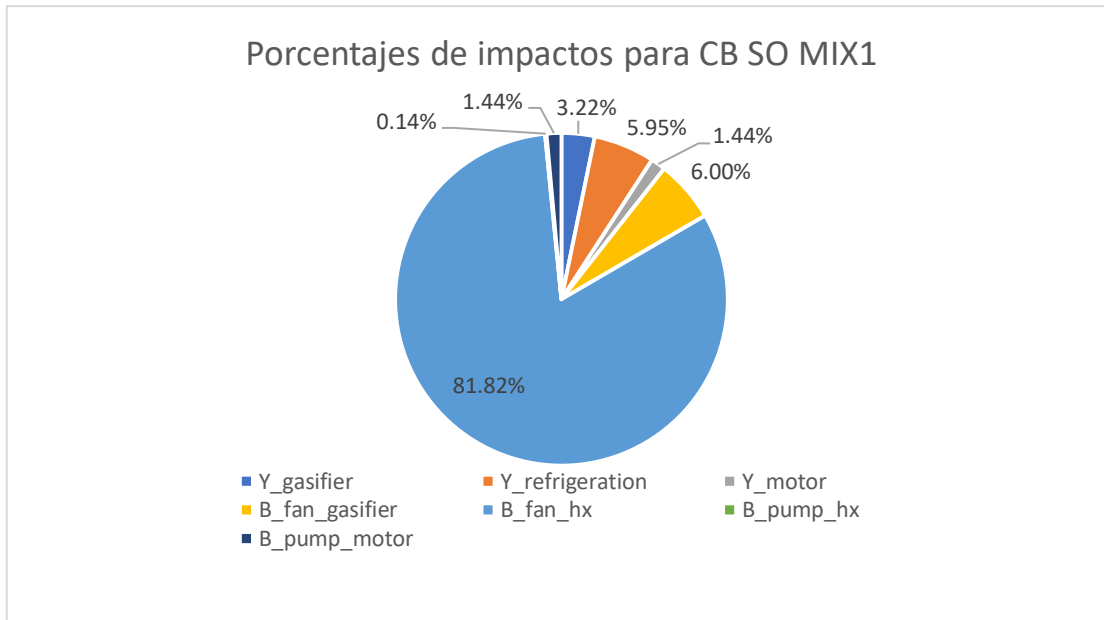
También se dividió los impactos que conforman al impacto total en cada localidad y escenario para las mezclas de biomasa y así identificar qué corriente exergoambiental es la que genera la mayor parte de los impactos.

Gráficas 14-25

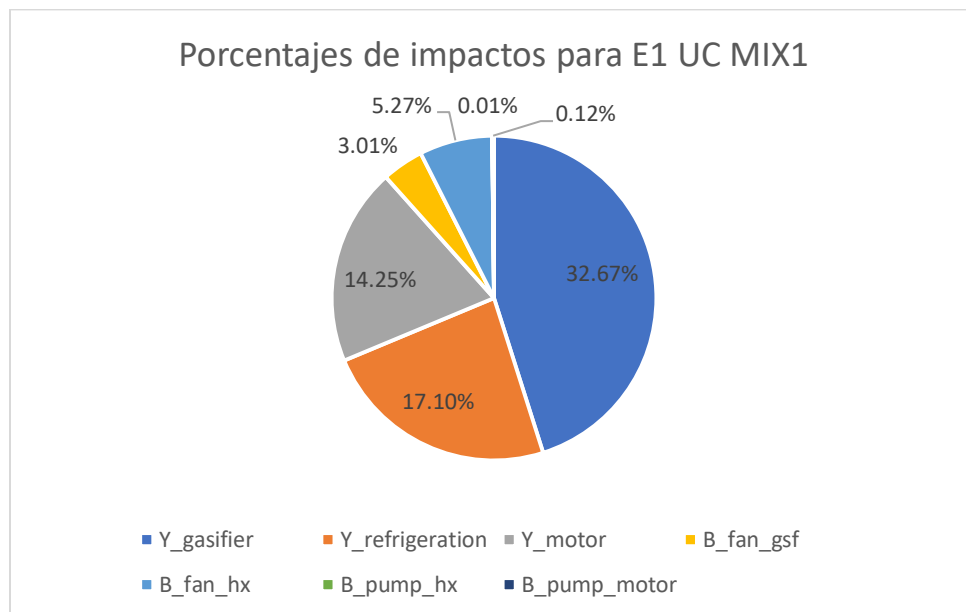
Tasas de impacto ambiental de cada corriente exergoambiental y de los componentes que conforman al sistema para cada escenario en ambas localidades,



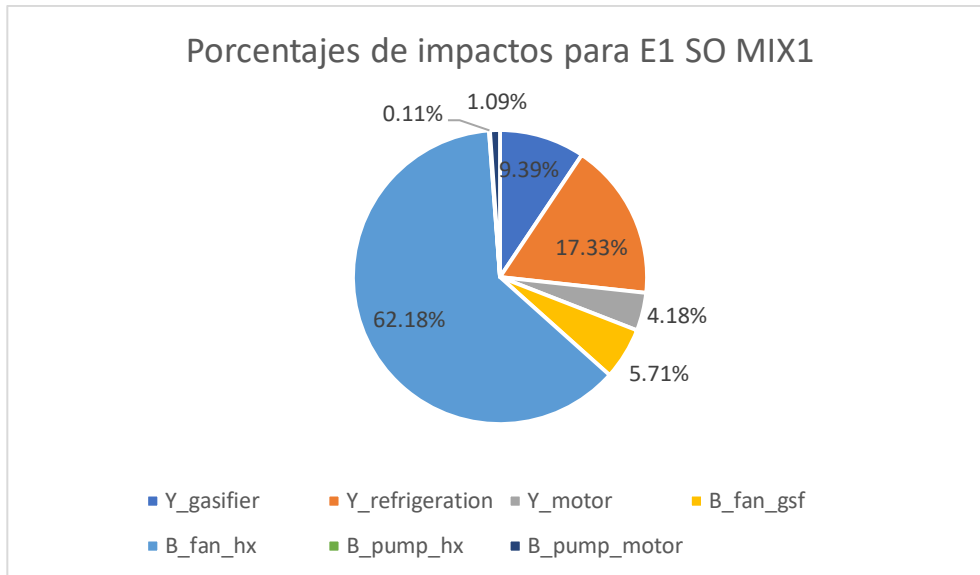
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema CB UC MIX1



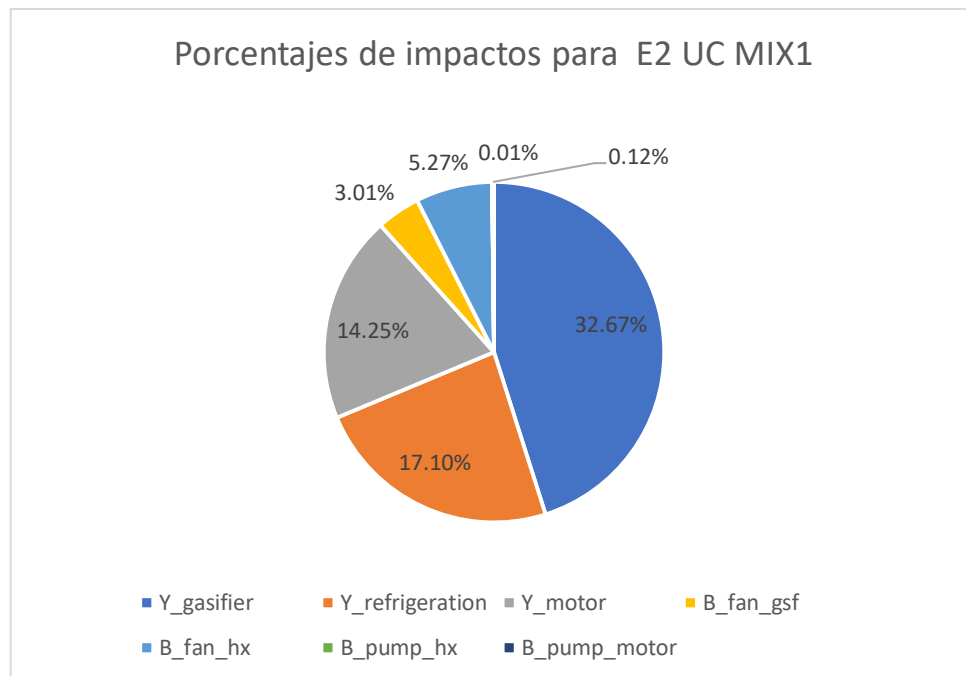
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema CB SO MIX1



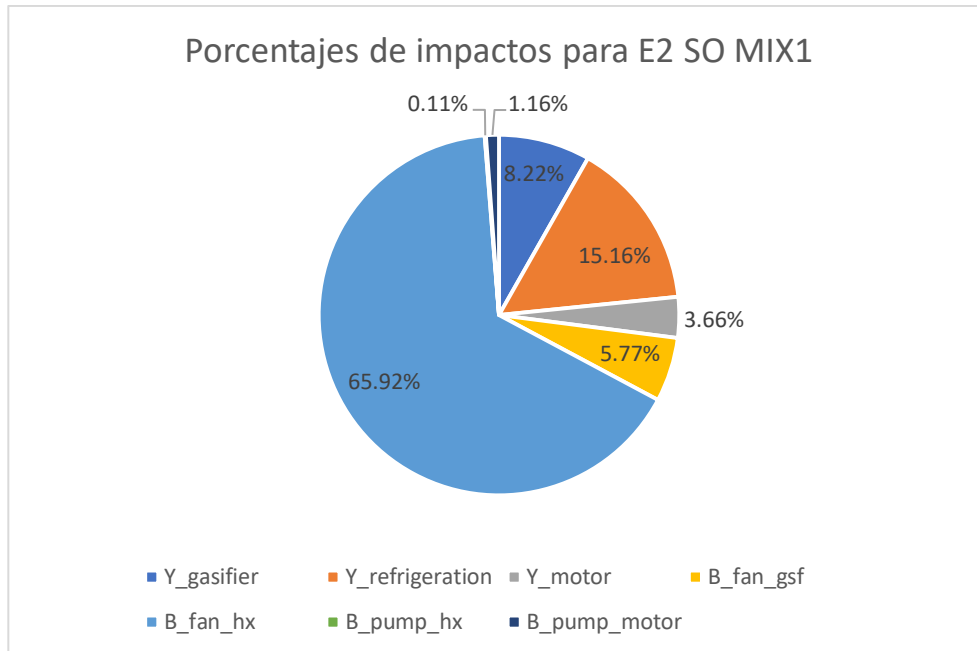
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E1 UC MIX1



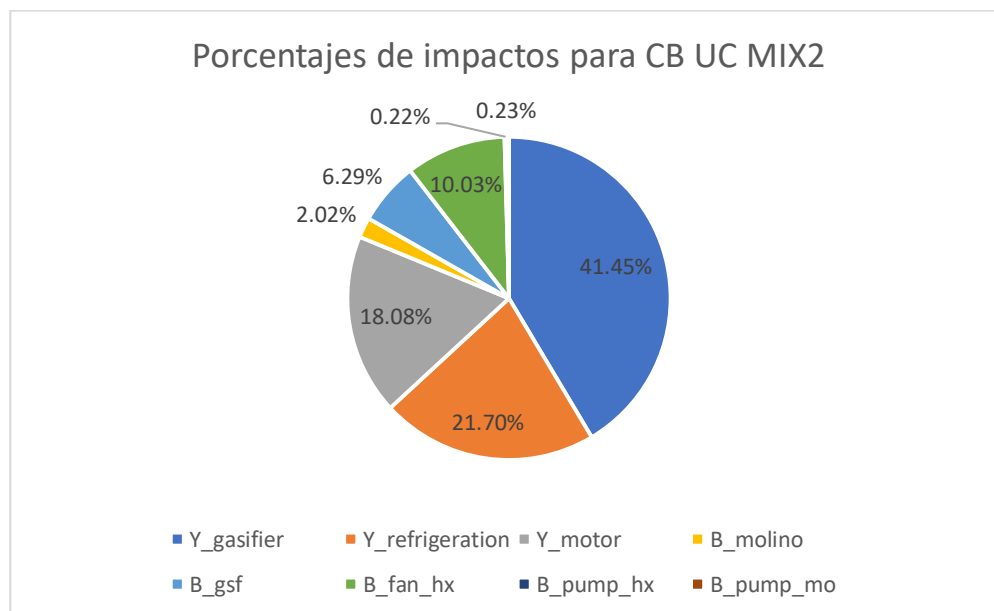
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E1 SO MIX1



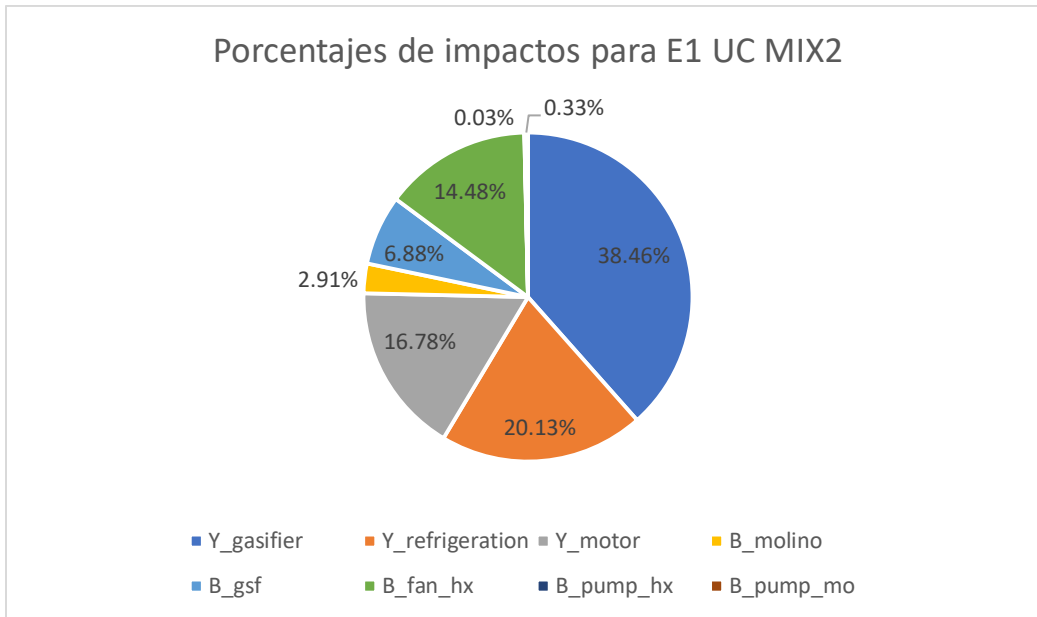
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E2 UC MIX1



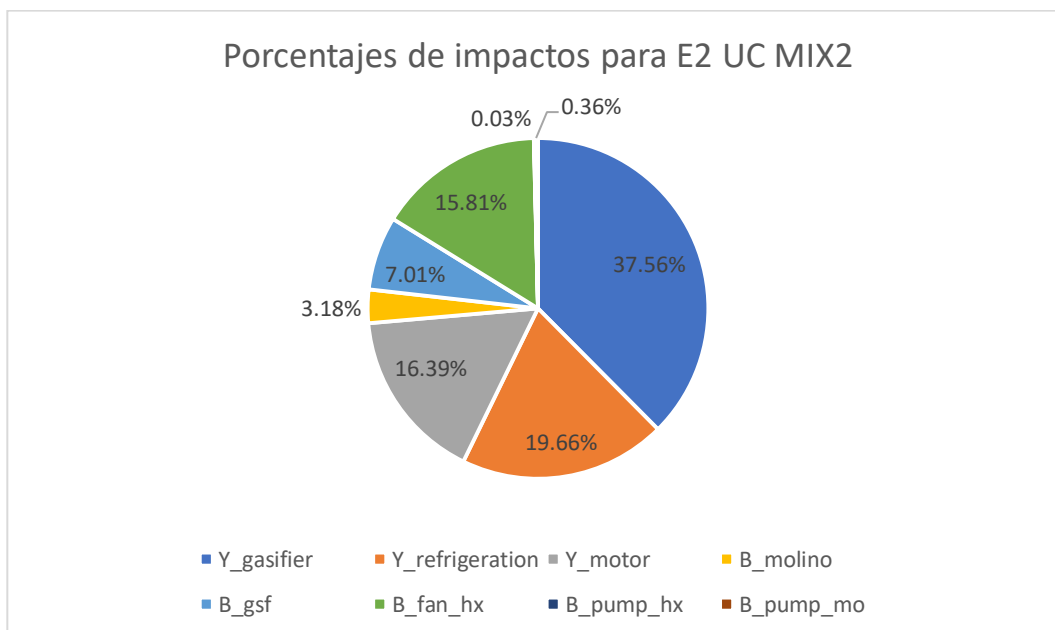
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E2 SO MIX1



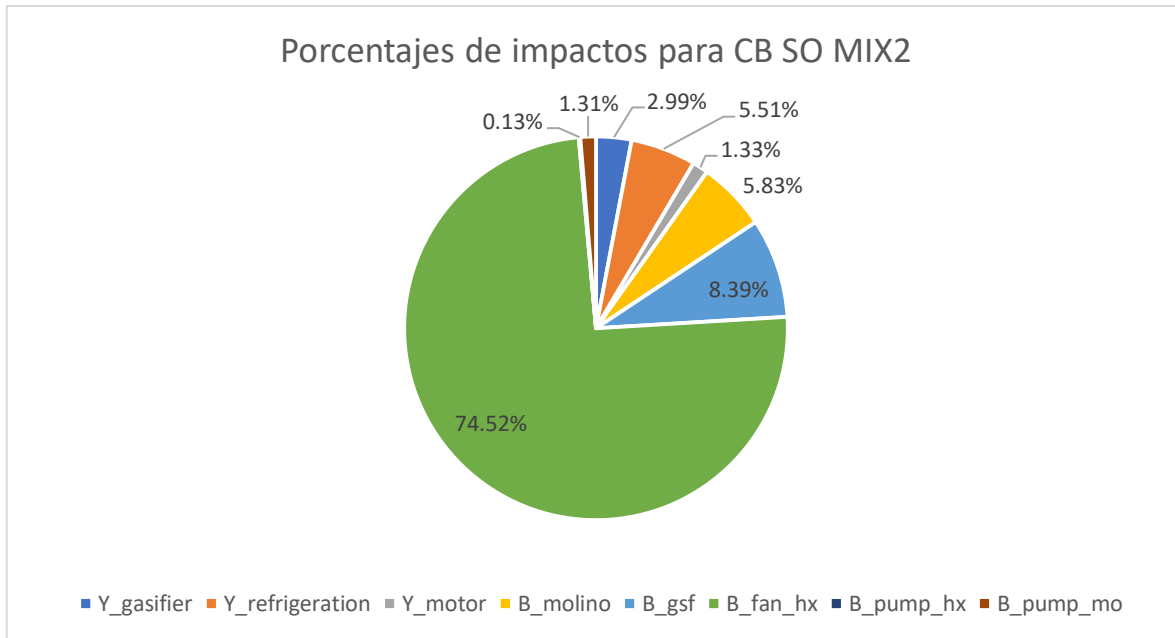
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema CB UC MIX2



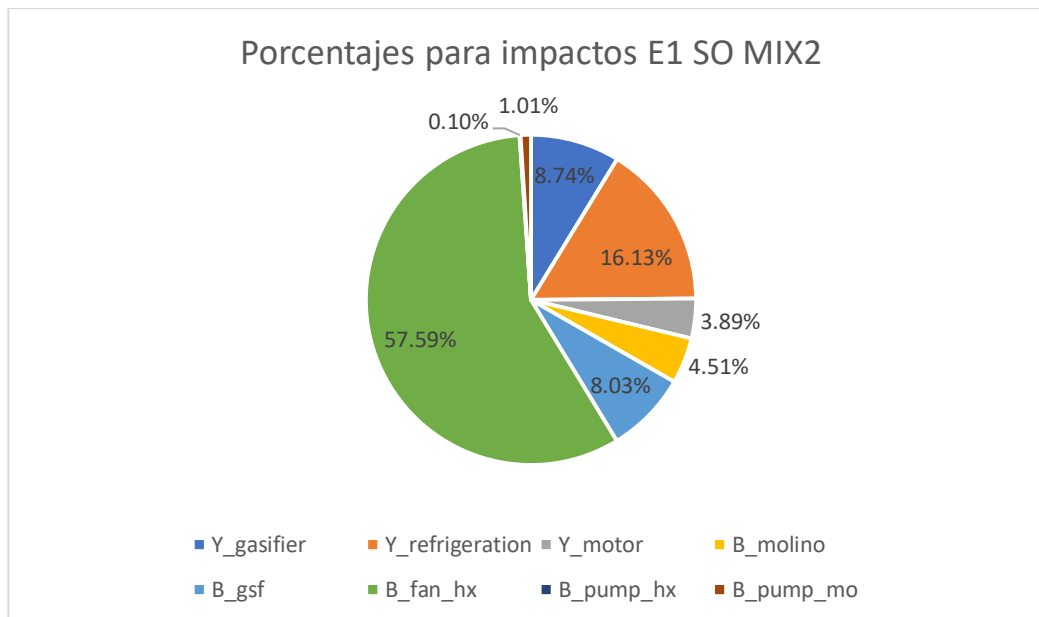
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E1 UC MIX2



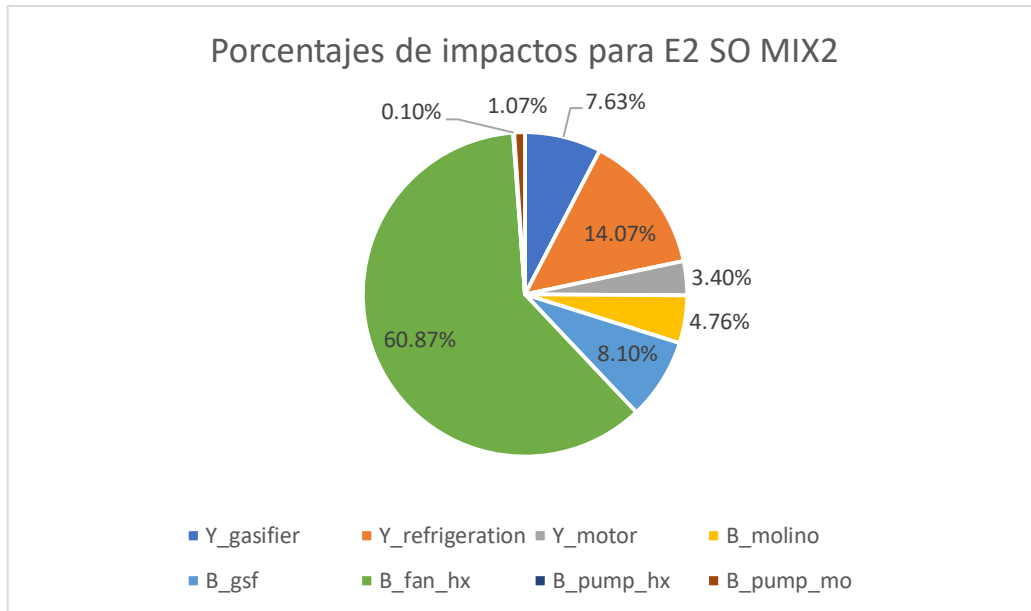
Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E2 UC MIX2



Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema CB SO MIX2



Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E1 SO MIX2



Porcentajes de las tasas de impacto ambiental en el sistema E2 SO MIX2

Cabe aclarar que las gráficas anteriores se realizaron con datos de la primera hora de generación diaria para cada escenario en ambas localidades. Estas tortas de porcentajes pueden variar durante el día dependiendo de la eficiencia con la que se trabaje en ese momento, a mayor eficiencia menor será el valor de los datos correspondientes a corrientes exergoambientales y aumentarán los valores de impactos ambientales de los componentes. De igual manera, la distribución de los impactos se mantiene de la misma forma.

10. CONCLUSIONES

- El impacto ambiental total generado por la central de generación impulsada por diésel es mayor que el impacto generado por la central de generación impulsada por biocombustible, debido a que el impacto ambiental específico asociado al diésel influye bastante los cálculos, mientras que, en el caso del biocombustible, las únicas entradas de impacto ambiental tomadas en cuenta provienen de la fabricación de los componentes que conforman la central, por tal motivo la diferencia entre el impacto ambiental ocasionado por las mezclas de biomasa 1 y 2 no es significativa.
- De los tres escenarios analizados se logró determinar, para todos los tipos de combustible, una tendencia que indica que el escenario con menos impactos ambientales es el 1, donde se aumenta solamente la demanda de energía. Esta mejora en los impactos ambientales se debe a que el motor trabaja en un estado de mayor eficiencia. El escenario 2 para la central de generación en Unión Chogorodo es el que aporta una mayor cantidad de dióxido de carbono al ambiente debido a la estimación en el aumento de horas, esto permite que el motor trabaje más horas con una mayor ineficiencia y aumente su impacto ambiental. Por otro lado, el escenario 2 en San Onofre no es tan contaminante como su caso base, por el hecho que en las horas agregadas, la diferencia que hay entre los valores de potencia anteriormente planteada, no es mucha, por lo que no permite que la eficiencia decaiga tanto como lo hace el caso de Chogorodo.
- Los indicadores de impactos ambientales en la localidad de San Onofre son mayores a los obtenidos en la localidad de Unión Chogorodo debido a dos razones importantes. La primera es que la eficiencia eléctrica en la localidad de San Onofre disminuye comparada con la de Unión Chogorodo y, la segunda, es porque los impactos por los sistemas de refrigeración influyen más en San Onofre, debido a que consume la misma cantidad de energía y tienen el mismo tamaño para ambas localidades, pero al producir menos energía que en Unión Chogorodo, los impactos se acentúan
- La localidad con un mayor impacto ambiental por generación es la de San Onofre, donde se encuentra el indicador de mayor impacto de todo el análisis, siendo 1,91 kgCO₂eq/kWh para el caso base con el combustible diésel, mientras que el menor impacto se encuentra en la localidad de Unión Chogorodo para el escenario 1 con el valor de 0,000963 kgCO₂eq/kWh.
- Según el diagrama de torta se puede definir que el mayor portador de impactos ambientales para la central en Unión Chogorodo es la construcción del gasificador, que abarca más del 40% del total de los impactos en la generación de energía, mientras que, en la central ubicada en San Onofre, el mayor impacto es proporcionado por la corriente de exergía del ventilador del evaporador, el cual aporta más del 50% en todos los escenarios. La razón principal de la magnitud del impacto es el efecto de haber implementado el mismo sistema de refrigeración que en la localidad de Unión Chogorodo, ya que el consumo de energía que este requiere es mayor.

11 REFERENCIAS:

- [1] Zapata, J. (2022, febrero 10) La generación de energía en enero fue de 6276,74 GWh, XM de <https://www.xm.com.co/noticias/4630-la-generacion-de-energia-en-enero-fue-de-627674-gwh>
- [2] Ministerio de Minas y Energía (2021, marzo 18) *Procedimiento y criterios para la distribución y giro de subsidios para el servicio público de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas – ZNI* [Archivo PDF]. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/es/servicio-al-ciudadano/foros/distribuci%C3%B3n-y-giro-subsidios-servicio-p%C3%BAblico-de-energ%C3%ADa-el%C3%A9ctrica-zni/>
- [3] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020, septiembre) *Zonas No Interconectadas - ZNI: Informe sectorial de la prestación del servicio de energía eléctrica 2020* [Archivo PDF]. Recuperado de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_sectorial_diagnostico_zni_2020_v2%20%281%29.pdf
- [4] *Colombia Diesel prices, 25-Apr-2022*. (2022, abril 25), *GlobalPetrolPrices*. de https://www.globalpetrolprices.com/Colombia/diesel_prices/
- [5] Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte M. (2010) Anexo E Potencial energético departamental. *Atlas del potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (155-171)*. Recuperado de: <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2413>
- [6] Cabera, G., Madriñan, S. & Muñoz, D. *Caracterización del gas de síntesis obtenido a partir de algarrobo y bagazo de caña*. Extraído de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a19.pdf>
- [7] Lopez, E. (2020, mayo 26). *Análisis exergoambiental de la combustión en una turbina de gas*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalaca, Iztapalaca.
- [8] Lora, K. (2021) *Optimización termoeconómica del desempeño de un sistema de generación de potencia basado en gasificación de biomasa y motor de combustión interna* [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga.
- [9] Gómez-Barea, A., Leckner, B., Villanueva Perales, A., Nilsson, S., & Fuentes Cano, D. (2013). Improving the performance of fluidized bed biomass/waste gasifiers for distributed electricity: A new three-stage gasification system. *Applied Thermal Engineering*, 50(2), 1453–1462. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.025>
- [10] Heidenreich, S., & Foscolo, P. U. (2015). New concepts in biomass gasification. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 46, pp. 72–95). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.06.002>

- [11] A. V. Bridgwater. (1995). The technical and economic feasibility of biomass gasification for power energy . *Fuel*, 74(5), 631–653.
- [12] Schuster, G., Löffler, G., Weigl, K., & Hofbauer, H. (2001). Biomass steam gasification – an extensive parametric modeling study. *Bioresource Technology*, 77(1), 71–79. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00115-2)
- [13] Phillips Jeffrey. (n.d.). 1.2.1 Different Types of Gasifiers and Their Integration With Gas Turbines. In *EPRI / Advanced Coal Generation*.
- [14] Gómez-Barea, A., Leckner, B., Villanueva Perales, A., Nilsson, S., & Fuentes Cano, D. (2013). Improving the performance of fluidized bed biomass/waste gasifiers for distributed electricity: A new three-stage gasification system. *Applied Thermal Engineering*, 50(2), 1453–1462. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.025>
- [15] Meng, X., de Jong, W., Fu, N., & Verkooijen, A. H. M. (2011). Biomass gasification in a 100 kWth steam-oxygen blown circulating fluidized bed gasifier: Effects of operational conditions on product gas distribution and tar formation. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2910–2924. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.03.028>
- [16] Sheth, P. N., & Babu, B. V. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *Bioresource Technology*, 100(12), 3127–3133. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.024>
- [17] Seggiani, M., Vitolo, S., Puccini, M., & Bellini, A. (2012). Cogasification of sewage sludge in an updraft gasifier. *Fuel*, 93, 486–491. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.054>
- [18] Göransson, K., Söderlind, U., He, J., & Zhang, W. (2011). Review of syngas production via biomass DFBGs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.032>
- [19] Patra, T. K., & Sheth, P. N. (2015). Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 583–593. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.012>
- [20] Sheth, P. N., & Babu, B. V. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *Bioresource Technology*, 100(12), 3127–3133. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.024>
- [21] Tecnologías de gasificación (2014). *Energías Alternativas* de <https://tecnologiayenergiaverde.blogspot.com/2014/09/tecnologias-de-gasificacion.html>
- [22] Bailera, M. (2023). Comparing different syngas for blast furnace ironmaking by using the extended operating line methodology. *Fuel*, 333, 126533. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126533>
- [23] Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies. (2010). *Focus on Catalysts*, 2010(7), 8. [https://doi.org/10.1016/S1351-4180\(10\)70287-7](https://doi.org/10.1016/S1351-4180(10)70287-7)

- [24] IEA Bioenergy *Fossil vs biogenic CO₂ emissions* (2022). Recuperado de <https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/faq/woodybiomass/biogenic-co2/>
- [25] Post, W., Peng, T.-H., Emanuel, W., King, A., Dale, V., & DeAngelis, D. (1990). The Global Carbon Cycle. *American Scientist*, 78, 310–326.
- [26] Krey V., O. Masera, G. Blanford, T. Bruckner, R. Cooke, K. Fisher-Vanden, H. Haberl, E. Hertwich, E. Kriegler, D. Mueller, S. Paltsev, L. Price, S. Schlömer, D. Ürges-Vorsatz, D. van Vuuren, and T. Zwickel, (2014) *Annex II: Metrics & Methodology*. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [27] Gibbs J. A (1873). A method of geometrical representation of the thermodynamic properties of substances by means of surfaces. Connecticut Academy of Arts and Sciences
- [28] Sciubba, E., & Wall, G. (2007). A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004. In *Int. J. of Thermodynamics* (Vol. 10, Issue 1). www.icatweb.org/vol10/10.1/Sciubba
- [29] Szargut, D., Morris, D., & Steward, F. (1988). *Energy analysis of thermal chemical, and metallurgical, processes*. Hemisphere Publishing.
- [30] Wall G. Engineering Sustainability, Reviewers for 2005. Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability 2006;159:46–46.
- [31] Romero, J. C., & Linares, P. (2014). Exergy as a global energy sustainability indicator. A review of the state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 427–442. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.012>
- [32] Tsatsaronis, G., & Winhold, M. (1985). Exergoeconomic analysis and evaluation of energy-conversion plants—I. A new general methodology. *Energy*, 10(1), 69–80. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90020-9)
- [33] Rosen, M. A. (2021). Exergy analysis. In *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems* (pp. 43–60). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821602-6.00004-3>
- [34] Moran, M., & Sciubba, E. (1994). Exergy Analysis: Principles and Practice. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 116, 285–290.
- [35] Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32(4), 249–253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.07.002>
- [36] Romero, B. (2003) El análisis de ciclo de vida y la gestión ambiental. *Tendencias tecnológicas: Boletín IIE*. 91-97

- [37] Randa Group (2021). *Consultoría ambiental gestión de riesgos y previsión social*. Extraído de: <http://www.setac.org/>.
- [38] Restrepo, Á., Miyake, R., Kleveston, F., & Bazzo, E. (2012). Exergetic and environmental analysis of a pulverized coal power plant. *Energy*, 45(1), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.080>
- [39] Simapro (2022) El software líder en ACV de <https://network.simapro.com/cadis/>
- [40] Vallejo, A. (2004, enero) *Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo* [Tesis de doctorado] Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- [41] Audsley, E., Alber, S., Cowell, S., Crettaz, P., Jolliett, O., Pearce, D., Roger, E., Weidema, B., & Henk Van Zeijts, D. (n.d.). *EUROPEAN COMMISSION DG VI AGRICULTURE Community Research and Technological Development Programme in the field of “Agriculture and Agro-Industry, including Fisheries” AIR 3 HARMONISATION OF ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR AGRICULTURE Final Report Concerted Action AIR3-CT94-2028*
- [42] Castillo, S. (2016, septiembre 30) El análisis de ciclo de vida (ACV), *Gestiopolis* de <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-ciclo-vida-acv/>
- [43] Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2017). Life Cycle Assessment.
- [44] Quist, Z. (2019, mayo 3) Life Cycle Assesment (LCA) – Complete Begginer’s Guide, *Ecochain* de <https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/>
- [45] Vallejo, A. Capitulo3. Metodología del Análisis de Ciclo de Vida. Extraído de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf>
- [46] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (2013). *Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas Resumen técnico y Preguntas frecuentes*
- [47] Cavalcanti, E. J. C., Carvalho, M., & B. Azevedo, J. L. (2019). Exergoenvironmental results of a eucalyptus biomass-fired power plant. *Energy*, 189, 116188. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116188>
- [48] Restrepo, Á., & Bazzo, E. (2016). Co-firing: An exergoenvironmental analysis applied to power plants modified for burning coal and rice straw. *Renewable Energy*, 91, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.048>
- [49] Lazzaretto, A., & Tsatsaronis, G. (2006). SPECO: A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy*, 31(8–9), 1257–1289. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.03.011>
- [50] Vazini Modabber, H., & Khoshgoftar Manesh, M. H. (2021). Optimal exergetic, exergoeconomic and exergoenvironmental design of polygeneration system based on gas

Turbine-Absorption Chiller-Solar parabolic trough collector units integrated with multi-effect desalination-thermal vapor compressor- reverse osmosis desalination systems. *Renewable Energy*, 165, 533–552. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.001>

[51] MEYER, L., TSATSARONIS, G., BUCHGEISTER, J., & SCHEBEK, L. (2009). Exergoenvironmental analysis for evaluation of the environmental impact of energy conversion systems. *Energy*, 34(1), 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.018>

[52] Balli, O., Kale, U., Rohács, D., & Karakoc, T. H. (2022). Exergoenvironmental, environmental impact and damage cost analyses of a micro turbojet engine (m-TJE). *Energy Reports*, 8, 9828–9845. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.157>

[53] Huang, W., Wang, J., Lu, Z., & Wang, S. (2020). Exergoeconomic and exergoenvironmental analysis of a combined heating and power system driven by geothermal source. *Energy Conversion and Management*, 211, 112765. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112765>

[54] UPME (2017) Determinación del consumo básico de subsistencia en el sector residencial y del consumo básico en los sectores industrial, comercial y hotelero en los departamentos de Guainía, Vichada y Chocó, *Consortio Colombia.de* <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/127>

[55] Superintendencia delegada para energía y gas (2017) *Zonas No Interconectadas -ZNI. Diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica 2017*, de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Sep/diagnosticozni-superservicios-oct-2017.pdf>

[56] Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte M. (2010) Anexo A Biomasa, fuente renovable de energía. *Atlas del potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (117-129)*. Recuperado de: <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2413>

[57] Cavalcanti, E. J. C. (2017). Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 507–519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.017>

[58] Tsatsaronis, G., & Morosuk, T. (2009). A general exergy-based method for combining a cost analysis with an environmental impact analysis. Part II - Application to a cogeneration system. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings*, 8, 463–469. <https://doi.org/10.1115/IMECE2008-67219>

[59] Fiat Diesel Engine Generator Set FPT, PFS-150 *POWEMAX* de <http://www.powermax.kr/en/pf/flat-diesel-engine-generator-set/?ckattempt=1>

[60] Bomba centrifuga para agua modelo europeo, 1 HP, Expert (2022). *Truper* de https://www.truper.com/ficha_tecnica/views/ficha-print.php?id=192

[61] Fiat Diesel Engine Generator Set FPT, PFS-50 *POWEMAX* de <http://www.powermax.kr/en/pf/flat-diesel-engine-generator-set/?ckattempt=1>

[62] Emissions Factor Database. *Ecometrica* (2016) de <https://app.emissionfactors.com/>

12 ANEXOS

Tablas [A-1; A-6] Inventarios para el ACV en Simapro

Tabla A-1 Inventario del ciclo de vida Unión Chogorodo. Unidad funcional 1 kWh. Mezcla 1.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Gasificación				
<i>Inputs</i>				
Cascarilla de Arroz	1,76	1,56	1,82	kg
Residuo de maíz	0,65	0,58	0,67	kg
Aire	2,44	2,16	2,51	kg
Ventilador	0,053	0,047	0,055	kWh
Hierro	0,00019	0,00014	0,0002	kg
Acero	4,9E-05	3,66E-05	5,28E-05	kg
<i>Outputs</i>				
Syngas	4,37	3,87	4,5	kg
Slag	0,5	0,43	0,51	kg
Calor	0,043	0,04	0,041	kWh
Refrigeración				
<i>Inputs</i>				
Syngas	4,37	3,87	4,5	kg
Agua	105,4	78,9	113,6	kg
Aire	210,7	157,8	227,35	kg
Bomba	0,00032	0,00024	0,00034	kWh
Ventilador	0,145	0,11	0,157	kWh
Hierro	0,00012	9,5E-05	0,00013	kg
Acero	6,5E-07	4,8E-07	7E-07	kg
<i>Outputs</i>				
Combustible	4,37	3,87	4,5	kg
Combustión				
<i>Inputs</i>				
Combustible	4,37	3,87	4,5	kg
Aire	6,9	6,11	7,1	kg
Refrigerante	36,88	27,6	39,7	kg
Bomba	0,0032	0,0024	0,0035	kWh
Acero	1,8E-05	1,35E-05	1,94E-05	kg
Hierro	5,37E-05	4,02E-05	5,8E-05	kg
Cobre	1,32E-05	9,94E-06	1,43E-05	kg
Aluminio	4,427E-06	3,31E-06	4,77E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,78	0,82	0,77	kWh
Calor	1,55	1,51	1,64	kWh
Humos	11,27	10	11,6	Kg
O2	1,13E-05	1E-05	1,16E-05	Kg
CO2	3,03	2,68	3,12	Kg
H2O	1,24	1,1	1,3	Kg
N2	6,99	6,2	7,2	kg

Tabla A-2 Inventario del ciclo de vida Unión Chogorodo. Unidad funcional 1 kWh. Mezcla 2.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Gasificación				
<i>Inputs</i>				
Cascarilla de Arroz	1,41	1,257	1,34	kg
Residuo de maíz	0,522	0,466	0,53	kg
Residuo de plátano	1,29	1,15	1,31	kg
Molino	0,0278	0,021	0,03	kWh
Aire	2,48	2,216	2,52	kg
Ventilador	0,071	0,053	0,072	kWh
Hierro	0,00018	0,00014	0,0002	kg
Acero	4,657-05	3,52E-05	5,012E-05	kg
<i>Outputs</i>				
Syngas	5,103	4,55	5,2	kg
Slag	0,597	0,43	0,61	kg
Calor	0,029	0,04	0,028	kWh
Refrigeración				
<i>Inputs</i>				
Syngas	5,103	4,55	5,2	kg
Agua	100,27	75,8	107,9	kg
Aire	200,5	151,6	215,8	kg
Bomba	0,0003	0,00023	0,00033	kWh
Ventilador	0,138	0,104	0,15	kWh
Hierro	0,00012	9,16E-05	0,00013	kg
Acero	6,2E-07	4,68E-07	6,67E-07	kg
<i>Outputs</i>				
Combustible	5,103	4,55	5,2	kg
Motor				
<i>Inputs</i>				
Combustible	5,103	4,55	5,2	kg
Aire	7,1	6,33	7,22	kg
Refrigerante	35,1	26,5	37,76	kg
Bomba	0,0031	0,00235	0,0033	kWh
Acero	1,72E-05	1,298E-05	1,85E-05	kg
Hierro	5,11E-05	3,86E-05	5,5E-05	kg
Cobre	1,26E-05	9,55E-06	1,36E-05	kg
Aluminio	4,21E-06	3,18E-06	4,53E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,74	0,79	0,73	kWh
Calor	1,74	1,71	1,8	kWh
Humos	12,2	10,88	12,42	Kg
O2	1,24E-05	1,1E-05	1,26E-05	Kg
CO2	3,33	2,97	3,4	Kg
H2O	1,7	1,51	1,73	Kg
N2	7,16	6,4	7,3	kg

Tabla A-3 Inventario del ciclo de vida San Onofre Unidad funcional 1 kWh. Mezcla 1.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Gasificación				
<i>Inputs</i>				
Cascarilla de Arroz	1,074	0,99	1,04	kg
Residuo de maíz	0,84	0,78	0,81	kg
Residuo de caña	0,66	0,614	0,643	kg
Aire	2,53	2,36	2,46	kg
Ventilador	0,056	0,052	0,055	kWh
Hierro	0,00018	0,00014	0,00017	kg
Acero	4,53-05	3,54E-05	4,3E-05	kg
<i>Outputs</i>				
Syngas	4,68	4,35	4,55	kg
Slag	0,42	0,40	0,42	kg
Calor	0,04	0,031	0,017	kWh
Refrigeración				
<i>Inputs</i>				
Syngas	4,68	4,35	4,55	kg
Agua	345	269	326	kg
Aire	690	539	653	kg
Bomba	0,001	0,0008	0,00099	kWh
Ventilador	0,612	0,478	0,58	kWh
Hierro	0,00041	0,00032	0,00039	kg
Acero	2,13E-06	1,66E-06	2,02E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Combustible	4,68	4,35	4,55	kg
Combustión				
<i>Inputs</i>				
Combustible	4,68	4,35	4,55	kg
Aire	7,64	7,1	7,42	kg
Refrigerante	120,7	94,37	114,3	kg
Bomba	0,01	0,0084	0,01	kWh
Acero	1,75E-05	1,37228E-05	1,662E-05	kg
Hierro	5,137E-05	4,014E-05	4,86E-05	kg
Cobre	1,23E-05	9,6E-06	1,16E-05	kg
Aluminio	4,10E-06	3,2E-06	3,88E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,304	0,444	0,34	kWh
Calor	1,64	1,66	1,64	kWh
Humos	12,32	11,44	11,97	Kg
O2	1,25E-05	1,16E-05	1,21E-05	Kg
CO2	3,2	2,96	3,1	Kg
H2O	1,5	1,4	1,46	Kg
N2	7,62	7,08	7,4	kg

Tabla A-4 Inventario del ciclo de vida San Onofre. Unidad funcional 1 kWh. Mezcla 2.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Gasificación				
<i>Inputs</i>				
Cascarilla de Arroz	0,8259	0,77	0,805	kg
Residuo de maíz	0,646	0,602	0,63	kg
Residuo de caña	0,51	0,474	0,49	kg
Plátano	1,62	1,51	1,58	kg
Molino	0,044	0,035	0,042	kWh
Aire	2,66	2,47	2,6	kg
Ventilador	0,08	0,074	0,077	kWh
Hierro	0,000168	0,000133	0,00016	kg
Acero	4,208-05	3,33E-05	3,99E-05	kg
<i>Outputs</i>				
Syngas	5,6	5,28	5,53	kg
Slag	0,59	0,548	0,5727	kg
Calor	0,037	0,0303	0,016	kWh
Refrigeración				
<i>Inputs</i>				
Syngas	5,6	5,28	5,53	kg
Agua	320,1	253	304	kg
Aire	640	506,6	607,8	kg
Bomba	0,00097	0,00077	0,00092	kWh
Ventilador	0,568	0,45	0,54	kWh
Hierro	0,00038	0,00030	0,00036	kg
Acero	1,98E-06	1,56E-06	1,88E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Combustible	5,6	5,28	5,53	kg
Combustión				
<i>Inputs</i>				
Combustible	5,6	5,28	5,53	kg
Aire	7,858	7,31	7,66	kg
Refrigerante	112	88,66	106,36	kg
Bomba	0,01	0,008	0,0094	kWh
Acero	1,63E-05	1,29E-05	1,54E-05	kg
Hierro	4,76E-05	3,77E-05	4,52E-05	kg
Cobre	1,14E-05	9,03E-06	1,08E-05	kg
Aluminio	3,8E-06	3,012E-06	3,61E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,28	0,41	0,31	kWh
Calor	1,85	1,87	1,85	kWh
Humos	13,4	12,46	13,05	Kg
O2	1,36E-05	1,27E-05	1,33E-05	Kg
CO2	3,61	3,36	3,5	Kg
H2O	1,9	1,77	1,85	Kg
N2	7,87	7,33	7,68	kg

Tabla A-5 Inventario del ciclo de vida Unión Chogorodo. Unidad funcional 1 kWh. Diésel.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Combustión				
<i>Inputs</i>				
Diésel	0,285	0,268	0,317	kg
Aire	6,57	6	7,3	kg
Refrigerante	46,25	32,84	50,73	kg
Bomba	0,004	0,003	0,0045	kWh
Acero	2,264E-05	1,61E-05	2,48E-05	kg
Hierro	6,74E-05	4,78E-05	7,4E-05	kg
Cobre	1,66E-05	1,82E-05	1,82E-05	kg
Aluminio	5,55-06	3,94E-06	6,08E-06	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,98	0,982	0,98	kWh
Calor	0,842	0,85	0,97	kWh
Humos	6,862	6,25	7,61	kg
O2	0,5	0,454	0,55	kg
CO2	0,911	0,83	1,01	kg
H2O	0,46	0,423	0,51	kg
Ar	0,084	0,0767	0,093	kg
N2	4,9	4,46	5,43	kg
SO2	0,0028	0,0026	0,0031	kg

Tabla A-6 Inventario del ciclo de vida San Onofre. Unidad funcional 1 kWh. Diésel.

Sistema	Caso Base	Escenario 1	Escenario 2	Unidad
Combustión				
<i>Inputs</i>				
Diésel	0,566	0,42	0,55	kg
Aire	14,83	11,04	14,64	kg
Refrigerante	377	205	322	kg
Bomba	0,033	0,0183	0,028	kWh
Acero	5,48E-05	2,98E-05	9,79E-05	kg
Hierro	0,00016	8,72E-05	0,00029	kg
Cobre	3,84E-05	2,094E-05	7,11E-05	kg
Aluminio	1,28-05	6,97E-06	2,37E-05	kg
<i>Outputs</i>				
Energía total	1	1	1	kWh
Energía neta	0,95	0,966	0,956	kWh
Calor	1,37	1,14	1,44	kWh
Humos	15,42	11,482	15,23	kg
O2	1,32	0,988	1,312	kg
CO2	1,85	1,38	1,83	kg
H2O	0,95	0,701	0,94	kg
Ar	0,19	0,14	0,188	kg
N2	11,1	8,25	10,95	kg
SO2	0,00583	0,004	0,0057	kg

Tablas [A-7; A-24] Resultados balances exergoambientales realizados en EES

Tabla A-7 Análisis exergoambiental para el caso base, mix1 Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	7,198	8,3E-08	3,8E-08	7,2E-07	290,8	311,4	2,566	9,951	39,47
18:00	11,32	4,3E-08	2,3E-08	3,0E-07	445	476,5	3,928	9,951	78,16
19:00	12,27	3,7E-08	2,0E-08	2,4E-07	507,3	543,3	4,482	9,951	93,83
20:00	12,1	3,7E-08	2,0E-08	2,5E-07	500,3	535,8	4,419	9,951	91,56
21:00	11,84	3,8E-08	2,1E-08	2,6E-07	490,4	525,1	4,329	9,951	88,29
22:00	11,62	4,0E-08	2,2E-08	2,8E-07	470,9	504,3	4,159	9,951	83,96
23:00	9,045	7,0E-08	3,4E-08	5,3E-07	313,8	336	2,771	9,951	49,13
0:00	2,495	1,4E-07	4,9E-08	2,1E-06	290,8	311,4	2,566	9,951	22,15

$\dot{W}_{pump;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,86E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,36E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,29E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,30E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,31E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,33E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,62E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	4,57E-05

Tabla A-8 Análisis exergoambiental para el caso base, mix2 Unión Chogorodo.

Hora	Efic	b_{fuel}	b_{syngas}	b_w	\dot{E}_{fuel}	\dot{E}_{syngas}	\dot{W}_{gsf}	$\dot{W}_{fan:hx}$	\dot{W}_{motor}
[h]	[%]	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	7,844	8,13E-08	3,87E-08	6,82E-07	301,1	315,2	3,49	9,951	42,43
18:00	11,4	4,13E-08	2,29E-08	2,94E-07	477,5	499,9	5,541	9,951	81,83
19:00	12,45	3,53E-08	2,01E-08	2,39E-07	537,9	563,2	6,238	9,951	97,64
20:00	12,28	3,60E-08	2,04E-08	2,46E-07	530,6	555,5	6,152	9,951	95,35
21:00	12,03	3,70E-08	2,09E-08	2,56E-07	519,8	544,2	6,028	9,951	92,04
22:00	11,69	3,85E-08	2,16E-08	2,71E-07	505,1	528,9	5,861	9,951	87,71
23:00	9,244	6,57E-08	3,33E-08	5,11E-07	339,9	355,9	3,943	9,951	52,35
0:00	3,084	1,31E-07	5,06E-08	1,75E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	25,11

\dot{W}_{ml}	$\dot{W}_{pump:hx}$	$\dot{W}_{pump:m}$	\dot{Y}_{cond}	\dot{Y}_{evap}	\dot{Y}_{gsf}	\dot{Y}_{motor}	\dot{Y}_{pump}	\dot{B}_{total}
$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,89E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,40E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,33E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,34E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,36E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,38E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,67E-05
2	2,19E-01	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	4,40E-05

Tabla A-9 Análisis exergoambiental para el escenario 1, mix1 Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan:hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	10,36	5,34E-08	2,75E-08	3,87E-07	378,1	404,9	3,34	9,951	63,4
18:00	13,2	3,30E-08	1,85E-08	2,10E-07	548,7	587,6	4,847	9,951	107,1
19:00	14,85	2,73E-08	1,56E-08	1,59E-07	642,5	688	5,676	9,951	137
20:00	14,49	2,84E-08	1,62E-08	1,69E-07	620,1	664	5,473	9,951	129,7
21:00	14,24	2,93E-08	1,66E-08	1,77E-07	604,6	647,4	5,34	9,951	124,9
22:00	12,13	3,71E-08	2,04E-08	2,50E-07	501,8	537,4	4,429	9,951	91,93
23:00	9,349	6,55E-08	3,22E-08	4,97E-07	326,7	349,9	2,884	9,951	51,97
0:00	2,972	1,27E-07	4,59E-08	1,74E-06	290,8	311,4	2,566	9,951	23,9

$\dot{W}_{pump:hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump:m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,46E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,25E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,18E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,20E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,21E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,30E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,58E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	4,15E-05

Tabla A-10 Análisis exergoambiental para el escenario 1, mix2 Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan:hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	10,49	5,03E-08	2,72E-08	3,72E-07	407,6	426,8	4,729	9,951	66,84
18:00	13,35	3,18E-08	1,84E-08	2,05E-07	581	608,3	6,741	9,951	111
19:00	15,01	2,62E-08	1,56E-08	1,57E-07	678,9	710,9	7,858	9,951	141,3
20:00	14,62	2,74E-08	1,62E-08	1,66E-07	655,2	686	7,601	9,951	133,9
21:00	14,37	2,82E-08	1,66E-08	1,73E-07	639,3	669,3	7,417	9,951	129
22:00	12,31	3,57E-08	2,04E-08	2,43E-07	531,4	556,4	6,167	9,951	95,73
23:00	9,53	6,13E-08	3,18E-08	4,72E-07	353,3	369,9	4,099	9,951	55,24
0:00	3,566	1,16E-07	4,74E-08	1,47E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	26,87

\dot{W}_{ml} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump:hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump:m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,49E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,28E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,21E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,23E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,24E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,33E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,61E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,94E-05

Tabla A-11 Análisis exergoambiental para el escenario 2, mix1 Unión Chogorodo.

Hora	Efic	b_{fuel}	b_{syngas}	b_w	\dot{E}_{fuel}	\dot{E}_{syngas}	\dot{W}_{gsf}	$\dot{W}_{fan;hx}$	\dot{W}_{motor}
[h]	[%]	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
10:00	2,991	1,26E-07	4,58E-08	1,73E-06	290,9	311,5	2,566	9,951	23,97
11:00	4,607	1,00E-07	4,08E-08	1,13E-06	290,9	311,5	2,566	9,951	29,92
12:00	6,964	8,39E-08	3,77E-08	7,48E-07	290,9	311,5	2,566	9,951	38,6
13:00	6,443	8,65E-08	3,82E-08	8,08E-07	290,9	311,5	2,566	9,951	36,68
14:00	8,078	7,95E-08	3,69E-08	6,45E-07	290,9	311,5	2,566	9,951	42,7
15:00	4,132	1,06E-07	4,19E-08	1,25E-06	290,9	311,5	2,566	9,951	28,18
16:00	3,493	1,16E-07	4,38E-08	1,48E-06	290,9	311,5	2,566	9,951	25,82
17:00	9,894	5,87E-08	2,96E-08	4,35E-07	352,8	377,7	3,113	9,951	57,71
18:00	13,2	3,30E-08	1,85E-08	2,10E-07	548,8	587,7	4,847	9,951	107,1
19:00	14,85	2,73E-08	1,56E-08	1,59E-07	642,6	688,2	5,675	9,951	137
20:00	14,49	2,84E-08	1,62E-08	1,69E-07	620,2	664,1	5,473	9,951	129,7
21:00	14,24	2,93E-08	1,66E-08	1,77E-07	604,7	647,6	5,339	9,951	124,9
22:00	12,13	3,71E-08	2,04E-08	2,50E-07	501,9	537,5	4,429	9,951	91,93
23:00	9,349	6,55E-08	3,22E-08	4,97E-07	326,8	350	2,884	9,951	51,97
0:00	2,972	1,27E-07	4,59E-08	1,74E-06	290,9	311,5	2,566	9,951	23,9

$\dot{W}_{pump;hx}$	$\dot{W}_{pump;im}$	\dot{Y}_{cond}	\dot{Y}_{evap}	\dot{Y}_{gsf}	\dot{Y}_{motor}	\dot{Y}_{pump}	\dot{B}_{total}
$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	4,14E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,37E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,89E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,96E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,76E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,53E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,82E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,51E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,25E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,18E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,20E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,21E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,30E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,58E-05
2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	4,15E-05

Tabla A-12 Análisis exergoambiental para el escenario 2, mix2 Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan,hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
10:00	3,586	1,15E-07	4,73E-08	1,46E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	26,94
11:00	5,221	9,49E-08	4,23E-08	1,01E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	32,89
12:00	7,607	8,09E-08	3,89E-08	6,93E-07	301,1	315,2	3,49	9,951	41,57
13:00	7,08	8,32E-08	3,94E-08	7,44E-07	301,1	315,2	3,49	9,951	39,65
14:00	8,501	7,68E-08	3,79E-08	6,02E-07	301,1	315,2	3,49	9,951	45,77
15:00	4,741	9,95E-08	4,35E-08	1,11E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	31,14
16:00	4,094	1,07E-07	4,54E-08	1,28E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	28,79
17:00	10,04	5,52E-08	2,93E-08	4,16E-07	380,4	398,3	4,415	9,951	61,06
18:00	13,35	3,18E-08	1,84E-08	2,05E-07	581	608,3	6,741	9,951	111
19:00	15,01	2,62E-08	1,56E-08	1,57E-07	678,9	710,9	7,858	9,951	141,3
20:00	14,62	2,74E-08	1,62E-08	1,66E-07	655,2	686	7,601	9,951	133,9
21:00	14,37	2,82E-08	1,66E-08	1,73E-07	639,3	669,3	7,417	9,951	129
22:00	12,31	3,57E-08	2,04E-08	2,43E-07	531,4	556,4	6,167	9,951	95,73
23:00	9,53	6,13E-08	3,18E-08	4,72E-07	353,3	369,9	4,099	9,951	55,24
0:00	3,566	1,16E-07	4,74E-08	1,47E-06	301,1	315,2	3,49	9,951	26,87

\dot{W}_{mi} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump,hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump,m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kgCO_2-e}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,93E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,31E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,88E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,95E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,76E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,45E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,69E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,54E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,28E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,21E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,23E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,24E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,33E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	2,61E-05
2	2,19E-02	2,24E-01	2,55E-06	2,55E-06	9,83E-06	4,25E-06	4,00E-08	3,94E-05

Tabla A-13 Análisis exergoambiental para el caso base, mix1 San Onofre

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	1,075	7,64E-07	6,78E-08	5,54E-06	110,2	117,8	0,937	12,78	15,65
18:00	4,547	1,49E-07	2,54E-08	1,04E-06	152,3	162,7	1,298	12,78	23,22
19:00	4,871	1,35E-07	2,41E-08	9,40E-07	157,4	168,2	1,342	12,78	24,2
20:00	4,679	1,43E-07	2,48E-08	9,96E-07	154,8	165,5	1,317	12,78	23,62
21:00	4,183	1,67E-07	2,71E-08	1,17E-06	146,6	156,7	1,248	12,78	22,16
22:00	1,501	5,50E-07	5,45E-08	3,96E-06	113,8	121,6	0,97	12,78	16,35

$\dot{W}_{pump;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	8,67E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,41E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,27E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,35E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,60E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	6,47E-05

Tabla A-14 Análisis exergoambiental para el caso base, mix2 San Onofre.

Hora	Efic	b_{fuel}	b_{syngas}	b_w	\dot{E}_{fuel}	\dot{E}_{syngas}	\dot{W}_{gsf}	$\dot{W}_{fan;hx}$	\dot{W}_{motor}
[h]	[%]	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	1,714	7,43E-07	1,26E-07	5,45E-06	122,7	127,3	1,439	12,78	17,18
18:00	4,92	1,46E-07	3,39E-08	1,04E-06	166,2	172,5	1,946	12,78	24,89
19:00	5,262	1,34E-07	3,17E-08	9,38E-07	170,5	176,9	1,994	12,78	25,87
20:00	5,063	1,41E-07	3,29E-08	9,93E-07	167,9	174,2	1,966	12,78	25,3
21:00	4,54	1,63E-07	3,68E-08	1,17E-06	161,4	167,5	1,89	12,78	23,83
22:00	2,097	5,35E-07	9,50E-08	3,92E-06	127	131,8	1,487	12,78	17,89

\dot{W}_{ml}	$\dot{W}_{pump;hx}$	$\dot{W}_{pump;m}$	\dot{Y}_{cond}	\dot{Y}_{evap}	\dot{Y}_{gsf}	\dot{Y}_{motor}	\dot{Y}_{pump}	\dot{B}_{total}
$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\left[\frac{kJ}{s}\right]$
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	9,36E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,58E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,43E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,51E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,78E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	7,00E-05

Tabla A-15 Análisis exergoambiental para el Escenario 1, mix1 San Onofre

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	3,588	2,05E-07	3,04E-08	1,45E-06	137,9	147,4	1,174	12,78	20,6
18:00	6,456	9,58E-08	1,97E-08	6,33E-07	177,9	190,1	1,514	12,78	29,13
19:00	7,482	7,87E-08	1,75E-08	5,02E-07	193,8	207,1	1,651	12,78	33,06
20:00	6,926	8,73E-08	1,86E-08	5,68E-07	185,1	197,8	1,574	12,78	30,85
21:00	6,369	9,77E-08	2,00E-08	6,46E-07	176,4	188,5	1,503	12,78	28,83
22:00	2,276	3,51E-07	4,14E-08	2,52E-06	122	130,4	1,037	12,78	17,75

$\dot{W}_{pump;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	2,98E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,84E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,66E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,75E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,86E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,46E-05

Tabla A-16 Análisis exergoambiental para el Escenario 1, mix2 San Onofre.

Hora [h]	Efic [%]	b_{fuel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_{syngas} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{fuel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{syngas} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{gsf} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{fan;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	3,994	2,00E-07	4,29E-08	1,44E-06	152,4	158,2	1,782	12,78	22,24
18:00	6,774	9,46E-08	2,43E-08	6,31E-07	191,6	198,8	2,243	12,78	30,89
19:00	7,757	7,74E-08	2,09E-08	5,01E-07	208,3	216,2	2,441	12,78	34,88
20:00	7,225	8,62E-08	2,27E-08	5,67E-07	198,9	206,4	2,329	12,78	32,63
21:00	6,691	9,63E-08	2,47E-08	6,45E-07	190,3	197,5	2,228	12,78	30,58
22:00	2,798	3,44E-07	6,59E-08	2,50E-06	135,2	140,3	1,584	12,78	19,32

\dot{W}_{ml} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;hx}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{cond} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{evap} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{gsf} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{E}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,20E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,95E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,75E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,85E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,97E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,83E-05

Tabla A-17 Análisis exergoambiental para el escenario 2, mix1 San Onofre.

Hora [h]	Efic [%]	$b_{fuel} \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$b_{synqas} \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$b_w \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$\dot{E}_{fuel} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{E}_{synqas} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{W}_{gsf} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{W}_{fan;hx} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{W}_{motor} \left[\frac{kJ}{s} \right]$
10:00	1,564	5,26E-07	5,30E-08	3,80E-06	114,8	122,7	0,9758	12,78	16,45
11:00	2,265	3,55E-07	4,17E-08	2,54E-06	121,5	129,9	1,036	12,78	17,72
12:00	3,155	2,40E-07	3,33E-08	1,71E-06	132,3	141,4	1,125	12,78	19,58
13:00	2,973	2,59E-07	3,48E-08	1,84E-06	129,7	138,6	1,105	12,78	19,17
14:00	3,527	2,09E-07	3,08E-08	1,48E-06	136,9	146,3	1,166	12,78	20,46
15:00	2,067	3,92E-07	4,42E-08	2,81E-06	119,5	127,7	1,018	12,78	17,35
16:00	1,791	4,56E-07	4,85E-08	3,28E-06	116,9	124,9	0,9946	12,78	16,85
17:00	3,088	2,47E-07	3,38E-08	1,75E-06	131,2	140,3	1,118	12,78	19,43
18:00	6,456	9,58E-08	1,97E-08	6,33E-07	177,9	190,1	1,514	12,78	29,13
19:00	7,482	7,87E-08	1,75E-08	5,02E-07	193,8	207,1	1,651	12,78	33,06
20:00	6,926	8,73E-08	1,86E-08	5,68E-07	185,1	197,8	1,574	12,78	30,85
21:00	6,369	9,77E-08	2,00E-08	6,46E-07	176,4	188,5	1,503	12,78	28,83
22:00	2,276	3,51E-07	4,14E-08	2,52E-06	122	130,4	1,037	12,78	17,75

$\dot{W}_{pump;hx} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{W}_{pump;m} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{Y}_{cond} \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$\dot{Y}_{evap} \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$\dot{Y}_{gsf} \left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ} \right]$	$\dot{Y}_{motor} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{Y}_{pump} \left[\frac{kJ}{s} \right]$	$\dot{B}_{total} \left[\frac{kJ}{s} \right]$
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	6,25E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,49E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,34E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,52E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,02E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,87E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	5,53E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,40E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,84E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,66E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,75E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,86E-05
2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,46E-05

Tabla A-18 Análisis exergoambiental para el escenario 2, mix2 San Onofre.

Hora	Efic	b_{fuel}	b_{synqas}	b_w	\dot{E}_{fuel}	\dot{E}_{synqas}	\dot{W}_{gsf}	$\dot{W}_{fan;hx}$	\dot{W}_{motor}
[h]	[%]	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$
10:00	2,153	5,14E-07	9,18E-08	3,75E-06	127,4	132,3	1,494	12,78	18
11:00	2,788	3,46E-07	6,62E-08	2,52E-06	135,2	140,3	1,582	12,78	19,29
12:00	3,597	2,35E-07	4,87E-08	1,70E-06	146,4	151,9	1,711	12,78	21,19
13:00	3,431	2,52E-07	5,15E-08	1,83E-06	143,8	149,2	1,683	12,78	20,78
14:00	3,938	2,04E-07	4,37E-08	1,47E-06	151,5	157,3	1,772	12,78	22,08
15:00	2,609	3,82E-07	7,18E-08	2,79E-06	133	138,1	1,556	12,78	18,91
16:00	2,358	4,46E-07	8,15E-08	3,26E-06	130	134,9	1,521	12,78	18,4
17:00	3,537	2,41E-07	4,98E-08	1,74E-06	145,1	150,6	1,7	12,78	21,04
18:00	6,774	9,46E-08	2,43E-08	6,31E-07	191,6	198,8	2,243	12,78	30,89
19:00	7,757	7,74E-08	2,09E-08	5,01E-07	208,3	216,2	2,441	12,78	34,88
20:00	7,225	8,62E-08	2,27E-08	5,67E-07	198,9	206,4	2,329	12,78	32,63
21:00	6,691	9,63E-08	2,47E-08	6,45E-07	190,3	197,5	2,228	12,78	30,58
22:00	2,798	3,44E-07	6,59E-08	2,50E-06	135,2	140,3	1,584	12,78	19,32

\dot{W}_{ml}	$\dot{W}_{pump;hx}$	$\dot{W}_{pump;m}$	\dot{Y}_{cond}	\dot{Y}_{evap}	\dot{Y}_{gsf}	\dot{Y}_{motor}	\dot{Y}_{pump}	\dot{B}_{total}
$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kgCO_2-e]}{kJ}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$	$\frac{[kJ]}{s}$
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	6,75E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,86E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,60E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,79E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,25E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	5,27E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	5,99E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	3,67E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,95E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,75E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,85E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	1,97E-05
1	2,19E-02	2,25E-01	2,55E-06	2,55E-06	2,79E-06	1,20E-06	4,00E-08	4,83E-05

Tabla A-19 Análisis exergoambiental para el caso base. Diesel. Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	20,53	7,28E-05	3,75E-04	136,4	26,74	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,00E-02
18:00	33,29	7,28E-05	2,26E-04	198	64,04	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,45E-02
19:00	34,2	7,28E-05	2,19E-04	237,6	79,15	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,73E-02
20:00	34,09	7,28E-05	2,21E-04	233,2	76,95	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,70E-02
21:00	33,91	7,28E-05	2,22E-04	224,4	73,77	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,64E-02
22:00	33,67	7,28E-05	2,26E-04	215,6	69,61	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,58E-02
23:00	27,79	7,28E-05	2,76E-04	136,4	36,19	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,00E-02
0:00	7,231	7,28E-05	1,08E-03	136,4	9,415	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,02E-02

Tabla A-20 Análisis exergoambiental para el Escenario 1. Diesel. Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	31,4	7,28E-05	2,39E-04	162,8	49,88	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,19E-02
18:00	34,16	7,28E-05	2,16E-04	272,8	92,01	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,99E-02
19:00	35,03	7,28E-05	2,12E-04	352	121,2	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,57E-02
20:00	34,85	7,28E-05	2,14E-04	334,4	114	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,44E-02
21:00	34,73	7,28E-05	2,14E-04	321,2	109,3	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,34E-02
22:00	33,5	7,28E-05	2,20E-04	233,2	77,31	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,70E-02
23:00	29,27	7,28E-05	2,57E-04	136,4	38,92	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	9,99E-03
0:00	8,279	7,28E-05	9,08E-04	136,4	11,17	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02

Tabla A-21 Análisis exergoambiental para el Escenario 2. Diesel. Unión Chogorodo.

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump,m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
10:00	8,333	7,28E-05	9,02E-04	136,4	11,24	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02
11:00	12,83	7,28E-05	5,86E-04	136,4	17,19	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02
12:00	19,4	7,28E-05	3,87E-04	136,4	25,87	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,00E-02
13:00	17,95	7,28E-05	4,19E-04	136,4	23,95	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,00E-02
14:00	22,5	7,28E-05	3,34E-04	136,4	29,97	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,00E-02
15:00	11,51	7,28E-05	6,53E-04	136,4	15,45	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02
16:00	9,73	7,28E-05	7,72E-04	136,4	13,09	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02
17:00	30,73	7,28E-05	2,39E-04	145,2	44,42	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,06E-02
18:00	34,16	7,28E-05	2,16E-04	272,8	92,01	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,99E-02
19:00	35,03	7,28E-05	2,12E-04	352	121,2	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,57E-02
20:00	34,85	7,28E-05	2,14E-04	334,4	114	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,44E-02
21:00	34,73	7,28E-05	2,14E-04	321,2	109,3	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	2,34E-02
22:00	33,5	7,28E-05	2,20E-04	233,2	77,31	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,70E-02
23:00	29,27	7,28E-05	2,57E-04	136,4	38,92	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	9,99E-03
0:00	8,279	7,28E-05	9,08E-04	136,4	11,17	0,2241	4,25E-06	4,00E-08	1,01E-02

Tabla A-22 Análisis exergoambiental para el caso base. Diesel. San Onofre

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	3,375	7,28E-05	2,10E-03	44	1,75	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,68E-03
18:00	18,99	7,28E-05	4,06E-04	48,4	8,908	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,62E-03
19:00	19,5	7,28E-05	3,67E-04	48,4	9,842	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,61E-03
20:00	19,21	7,28E-05	3,89E-04	48,4	9,294	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,61E-03
21:00	17,02	7,28E-05	4,17E-04	44	7,903	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,30E-03
22:00	4,751	7,28E-05	1,49E-03	44	2,37	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,54E-03

Tabla A-23 Análisis exergoambiental para el Escenario 1. Diesel. San Onofre

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump;m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
17:00	14,46	7,28E-05	5,17E-04	44	6,421	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,32E-03
18:00	21,9	7,28E-05	3,57E-04	70,4	14,6	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	5,21E-03
19:00	22,94	7,28E-05	3,35E-04	83,6	18,39	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	6,16E-03
20:00	22,28	7,28E-05	3,40E-04	74,8	16,26	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	5,52E-03
21:00	21,82	7,28E-05	3,41E-04	66	14,31	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	4,88E-03
22:00	8,331	7,28E-05	9,22E-04	44	3,7	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,41E-03

Tabla A-24 Análisis exergoambiental para el Escenario2. Diesel. San Onofre

Hora [h]	Efic [%]	b_{diesel} $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	b_w $\left[\frac{kg_{CO_2-e}}{kJ}\right]$	\dot{E}_{diesel} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{W}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	$\dot{W}_{pump,m}$ $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{motor} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{Y}_{pump} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$	\dot{B}_{total} $\left[\frac{kJ}{s}\right]$
10:00	4,976	7,28E-05	1,43E-03	44	2,472	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,53E-03
11:00	7,655	7,28E-05	9,27E-04	44	3,68	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,41E-03
12:00	11,57	7,28E-05	6,14E-04	44	5,446	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,34E-03
13:00	10,72	7,28E-05	6,63E-04	44	5,061	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,35E-03
14:00	13,42	7,28E-05	5,29E-04	44	6,279	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,32E-03
15:00	6,867	7,28E-05	1,03E-03	44	3,325	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,44E-03
16:00	5,809	7,28E-05	1,22E-03	44	2,847	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,48E-03
17:00	11,26	7,28E-05	6,31E-04	44	5,304	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,35E-03
18:00	21,23	7,28E-05	3,57E-04	70,4	14,6	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	5,21E-03
19:00	22,31	7,28E-05	3,35E-04	83,6	18,39	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	6,16E-03
20:00	21,64	7,28E-05	3,40E-04	74,8	16,26	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	5,52E-03
21:00	21,15	7,28E-05	3,41E-04	66	14,31	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	4,88E-03
22:00	7,7	7,28E-05	9,22E-04	44	3,7	0,2247	1,20E-06	4,00E-08	3,41E-03