

Evaluación Financiera De Un Sistema De Producción De Hidrogeno Verde A Nivel  
Industrial, Por Medio De Microvoltrolosis Y Gravedad Elemental.

Yuri Daniela Colorado Bautista

Trabajo De Grado En La Modalidad De Investigación Para Optar Al Título De Ingeniera  
De Petróleos

Director

German González Silva, Ph.D.

Codirector

Oscar Vanegas Angarita, Ing.

Universidad Industrial De Santander  
Facultad De Ingenierías Físico-Químicas  
Escuela De Ingeniería De Petróleos  
Bucaramanga

2025

*A Dios, mi guía y fortaleza, le dedico este trabajo con un corazón lleno de gratitud. Este logro es un reflejo de su infinita gracia, y me siento profundamente agradecida por cada paso que me permite dar*

*A el Apóstol de Jesucristo Naason Joaquín García por ser mi padre en la fe , quien me ayudó con su enseñanza y su ejemplo a seguir , quien me enseñó a enfrentar los desafíos con perseverancia y mantener la confianza en Dios*

*A mis amados padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor, sacrificio y enseñanzas han sido fundamentales en mi camino académico y personal.*

## **AGRADECIMIENTOS**

E A mi director de proyecto, German Gonzáles Silva y codirector Oscar Vanegas quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su guía, apoyo y dedicación durante todo este proceso. Sus conocimientos, paciencia y compromiso han sido fundamentales para que este proyecto se haga realidad.

A mi familia, a quienes debo todo lo que soy, por su amor incondicional y por su apoyo constante a lo largo de este proceso. Gracias por su comprensión en los momentos de incertidumbre y por ser siempre mi fuente de fuerza y motivación.

A el señor Carlos Labrador , quien ha sido una pieza fundamental en el desarrollo de este trabajo.

## Tabla De Contenido

Introducción .....	3
1. Objetivos.....	4
1.1 objetivos específicos .....	4
2. Justificación .....	5
3. Alcance.....	6
4. Marco Teórico.....	7
4.1 Hidrogeno .....	7
4.2 Formas de producción de hidrogeno.....	7
4.2.1 Reformado de bioalcoholes.....	8
4.2.2 Hidrógeno biológico .....	8
4.2.3 Producción a partir de agua.....	9
4.2.4 Producción de hidrogeno .....	11
4.3 Corriente continua.....	12
4.4 Corriente semi alterna o corriente alterna rectificada .....	12
5. Estudio de mercado.....	13
5.1 Evaluación financiera.....	14
5.1.1 Valor Presente Neto (VPN) .....	16
5.1.2 La tasa Interna de Retorno (TIR) .....	16
5.1.3 La relación beneficio costo (R B/C) .....	17
5.2 Evaluación económica y social .....	18
5.2.1 Impactos del proyecto .....	18
5.3 Evaluación ambiental.....	18

5.3.1	Evaluación del impacto ambiental (EIA).....	19
6.	Metodología del proyecto .....	20
7.	Análisis de mercados .....	23
7.1	El producto (hidrogeno).....	23
7.2	El transporte del hidrógeno.....	25
7.3	Métodos de separación y purificación del hidrógeno .....	26
7.3.1	Materiales absorbentes.....	27
7.3.2	Membranas.....	28
7.3.3	Separación criogénica.....	29
7.4	Tecnologías de Almacenamiento y Transporte del Hidrógeno.....	29
7.4.1	Almacenamiento de Hidrógeno .....	30
7.4.2	Gas en Alta Presión.....	30
7.4.3	Líquido (H2 criogénico) .....	31
7.4.4	Hidruros Metálicos.....	31
7.5	Infraestructura para la producción de hidrogeno .....	31
8.	Oferta.....	33
8.1	Oferta de hidrogeno verde en Colombia.....	33
8.1.1	Situación actual.....	34
8.1.2	Oferta del hidrogeno en Colombia actualmente .....	34
9.	Demanda.....	36
9.1	Demanda nacional y exportación de hidrogeno.....	36
9.1.1	Situación futura.....	37
9.2	Situación actual.....	38

9.3	Mercado Externo.....	39
9.3.1	Demanda del hidrogeno mundial .....	39
9.3.2	Situación actual de la producción de hidrógeno .....	41
9.3.3	Perspectivas de la producción de hidrógeno con bajas emisiones hasta 2030.....	42
9.3.4	Enfoques gubernamentales actuales .....	43
9.3.5	Agenda para la cooperación internacional .....	45
10.	Análisis del proyecto .....	47
10.1	Identificación de ubicación.....	47
10.1.1	Ubicación .....	48
10.1.2	Cercanía al mar .....	50
10.2	Dimensión de la planta.....	51
10.3	Dimensionamiento del reactor .....	51
10.4	Aspectos a tener en cuenta como volumen a producir.....	53
10.5	Cálculo de electricidad necesaria.....	54
10.6	Cálculo de agua.....	55
10.7	Cálculo de cantidad de reactores a utilizar .....	57
10.8	Dimensionamiento de la planta fotovoltaica.....	57
10.8.1	Cálculo de energía fotovoltaica .....	58
10.9	Dimensión de almacenamiento de hidrogeno .....	65
10.9.1	Dimensión del almacenamiento a alta presión.....	66
10.10	Dimensionamiento de las instalaciones .....	68
10.11	Dimensión de área del terreno .....	70
11.	Plan del proyecto .....	72

11.1	Diagrama de Gantt .....	72
12.	Impuestos .....	81
13.	Viabilidad económica .....	83
13.1	CAPEX .....	83
13.2	OPEX .....	84
13.3	Flujo de caja.....	86
13.4	VPN.....	92
13.5	TIR .....	92
13.6	Relación beneficio costo.....	93
14.	Matriz ambiental .....	94
14.1	Identificación de los impactos ambientales .....	94
15.	Conclusión .....	109
	Referencias bibliográficas.....	111
	Apéndices.....	118

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	Equivalencias caudal de hidrogeno -producción eléctrica.....	24
<b>Tabla 2</b>	Comparativa de hidrogeno con otros combustibles .....	24
<b>Tabla 3</b>	matriz de decisión de zona.....	50
<b>Tabla 4</b>	Energía en Kwh necesaria por fuentes renovables .....	59
<b>Tabla 5</b>	Energía en kwh necesaria por fuentes fotovoltaicas .....	60
<b>Tabla 6</b>	Matriz de decisión de paneles solares .....	63
<b>Tabla 7</b>	Especificaciones de panel escogido .....	64
<b>Tabla 8</b>	.....	72
<b>Tabla 9</b>	CAPEX .....	84
<b>Tabla 10</b>	OPEX.....	86
<b>Tabla 11</b>	Flujo de caja en año cero .....	87
<b>Tabla 12</b>	Flujo de caja en el año cero continuaciones.....	88
<b>Tabla 13</b>	.....	91

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b>	Partes del estudio de mercados.....	13
<b>Figura 2</b>	Etapas de la evaluación financiera .....	14
<b>Figura 3</b>	Componentes del flujo de caja .....	15
<b>Figura 4</b>	Pasos de la metodología del proyecto .....	21
<b>Figura 5</b>	Métodos de separación del hidrogeno .....	27
<b>Figura 6</b>	Principales aplicaciones futuras y actuales del hidrogeno .....	37
<b>Figura 7</b>	Promedio anual de radiación recibida durante el día (kwh/m2 por día) para los departamentos del país .....	49
<b>Figura 8</b>	Esquema general de los reactores.....	52
<b>Figura 9</b>	Esquema general de reactores (otro Angulo) .....	53
<b>Figura 10</b>	Entrada de datos al software PVGIS .....	61
<b>Figura 11</b>	Visualización de datos software PVGIS .....	62
<b>Figura 12</b>	Panel solar .....	64
<b>Figura 13</b>	Tanques de almacenamiento de hidrogeno .....	67
<b>Figura 14</b>	Distribución de las zonas.....	71
<b>Figura 15</b>	Aspectos más importantes de la matriz ambiental .....	95
<b>Figura 16</b>	Forma de evaluación .....	96
<b>Figura 17</b>	División de la etapa operativa del impacto ambiental.....	98
<b>Figura 18</b>	Matriz ambiental con subcomponente fauna.....	100
<b>Figura 19</b>	Matriz ambiental con subcomponente fauna.....	102
<b>Figura 20</b>	Matriz ambiental con subcomponente suelo .....	103

<b>Figura 21</b> Matriz ambiental con subcomponente agua .....	104
<b>Figura 22</b> Matriz ambiental con subcomponente atmosfera.....	105
<b>Figura 23</b> Matriz ambiental con subcomponente sociocultural .....	106
<b>Figura 24</b> Amortización total por año.....	89
<b>Figura 25</b> Flujo de caja por año .....	90

## Lista De Ecuaciones

<b>Ecuación 1</b>	Valor Presente Neto .....	16
<b>Ecuación 2</b>	Tasa interna de retorno .....	17
<b>Ecuación 3</b>	Relación beneficio costo .....	17
<b>Ecuación 4</b>	Cantidad de kilos de hidrogeno para auto generación .....	54
<b>Ecuación 5</b>	Cálculo de la electricidad necesaria .....	55
<b>Ecuación 6</b>	Energía para autogeneración .....	55
<b>Ecuación 7</b>	Energía de origen fotovoltaica .....	55
<b>Ecuación 8</b>	Cantidad de agua necesaria al día .....	56
<b>Ecuación 9</b>	Cantidad de reactores .....	57
<b>Ecuación 10</b>	Electricidad necesaria de origen fotovoltaica .....	59
<b>Ecuación 11</b>	Kg de hidrogeno por tanque .....	66
<b>Ecuación 12</b>	Cantidad de tanques necesarios .....	66
<b>Ecuación 13</b>	Tanques necesarios totales .....	67

## **Lista De Apéndices**

Los apéndices están disponibles en el Repertorio Institucional

## **Resumen**

**Título:** Evaluación Financiera De Un Sistema De Producción De Hidrogeno Verde A Nivel Industrial, Por Medio De Microvoltrolosis Y Gravedad Elemental.

**Autor:** Yuri Daniela Colorado Bautista

**Palabras Clave:** Evaluación financiera, hidrógeno verde, energías renovables, rentabilidad, inversión.

Este proyecto de grado tiene como objetivo principal realizar una evaluación financiera detallada de la viabilidad de una planta de hidrógeno verde por medio de microvoltrolosis y gravedad elemental en Colombia , utilizando energía solar fotovoltaica para su producción.Dado el creciente interés por alternativas sostenibles y la transición energética, el estudio busca determinar la rentabilidad económica y las condiciones financieras necesarias para la implementación de este tipo de proyectos en Colombia .El proyecto cuenta con una vista a las formas y tecnologías de producción, transporte y almacenamiento de hidrogeno verde , un análisis de mercado detallado donde habla de la oferta y demanda del hidrogeno en Colombia , un análisis del proyecto donde profundiza la ubicación , el tipo de almacenamiento ,la forma de producción y dimensionamiento de toda la planta .La evaluación financiera considera una serie de factores clave, como el costo de capital, el financiamiento de la inversión inicial, los costos operativos y de mantenimiento, los ingresos potenciales provenientes de la venta de hidrógeno y las posibles subvenciones o incentivos fiscales que el gobierno colombiano pueda ofrecer. Finalmente se realizó una evaluación ambiental con el fin de evaluar el impacto medioambiental del proyecto

El resultado de esta evaluación proporcionará a los inversores una perspectiva clara sobre la rentabilidad de la planta de hidrógeno verde por medio de micrivoltrolosis y gravedad elemental en Colombia y los posibles desafíos financieros que podrían enfrentar.

## Abstract

**Title:** Financial Evaluation Of A Green Hydrogen Production System At Industrial Level, Through Microvoltrolosis And Elemental Gravity.

**Author:** Yuri Daniela Colorado Bautista

**Key Words:** Financial evaluation, green hydrogen, renewable energies, profitability, investment.

The main objective of this degree project is to perform a detailed financial assessment of the feasibility of a green hydrogen plant by means of microvoltrolosis and elemental gravity in Colombia, using solar photovoltaic energy for its production, given the growing interest in sustainable alternatives and energy transition, the study seeks to determine the economic profitability and financial conditions necessary for the implementation of this type of project in Colombia. The project includes an overview of the forms and technologies of production, transportation and storage of green hydrogen, a detailed market analysis of the supply and demand of hydrogen in Colombia, a project analysis of the location, the type of storage, the form of production and sizing of the entire plant, the financial evaluation considers a number of key factors, such as the cost of capital, the financing of the initial investment, operating and maintenance costs, the potential revenue from the sale of hydrogen and possible subsidies or tax incentives that the Colombian government may offer. Finally, an environmental assessment was conducted to evaluate the environmental impact of the project.

The outcome of this assessment will provide investors with a clear perspective on the profitability of the green hydrogen plant through micrivoltrolosis and elemental gravity in Colombia and the potential financial challenges they may face.

## Introducción

La urgente necesidad actual de reducir los niveles de gases contaminantes en la atmósfera, los cuales son los principales contribuyentes al efecto invernadero, el calentamiento global, los cambios en los regímenes climáticos y la contaminación que afectan severamente a la humanidad, esto ha generado en los ambientes académicos y de investigación la meta de buscar nuevas soluciones que contribuyan a la reparación de la capa de ozono intentando no disminuir la producción de energía ya que puede tener un impacto significativo en el mundo del desarrollo económico, la cultura, la investigación y la tecnología. Una solución es la producción de hidrógeno verde por medio de determinadas técnicas, esta nueva idea puede proveer una mejora económica en lo que a energía se refiere.

La generación de hidrogeno verde por medio de hidrolisis es un proceso que genera muchos gastos económicos por lo tanto su rentabilidad es baja o casi nula por esta razón es de gran importancia buscar otras formas de generar hidrogeno de manera renovable. La microvoltrolisis y gravedad elemental es una forma de generar hidrogeno verde, pero a diferencia de la hidrolisis la microvoltrolisis y gravedad elemental necesita una menor cantidad de energía para generar la misma cantidad de hidrogeno.

## 1. Objetivos

Evaluar financieramente la producción de hidrógeno verde a nivel industrial, por medio de microvoltrolisis y gravedad elemental, con energía continua y semialterna.

### 1.1 objetivos específicos

1. Realizar un estudio de mercados para el hidrogeno verde en Colombia, determinando sus destinos, usos y la ubicación geográfica para el montaje de una planta a nivel industrial.
2. Cuantificar el plan de inversiones, producción, costos, capital de trabajo e impuestos para el montaje de una planta de producción de hidrógeno verde por microvoltrólisis y gravedad elemental, a nivel industrial en Colombia.
3. Evaluar financiera, económica y ambientalmente la construcción de una planta industrial en Colombia, para la producción de hidrogeno verde por medio de microvoltrolisis y gravedad elemental.

## **2. Justificación**

El cambio climático es un objetivo el cual parte de la colaboración de múltiples actores que deben estar bajo el mismo eje central, tanto en concordancia como en coherencia, para que se pueda llegar a un probable fin de la descarbonización en Colombia, la cual tiene como objetivo buscar nuevas formas de generar energía limpia. Pese a esto, las formas de energía renovable no son financieramente viables y esto es especialmente un lastre para llevar a cabo un proyecto de esta dimensión, ya que todo intento conlleva a una inversión elevada y una alta tasa de riesgo, situación que no genera un entorno llamativo y/o confiables para los posibles inversionistas. Este proyecto aporta al avance de la descarbonización en Colombia por medio de la producción hidrógeno verde (que pretende económicamente sostenible), por lo que se evaluará la factibilidad de crear una planta de hidrógeno verde en el país, misma que beneficiará a la población colombiana en su búsqueda de generar nuevas energías y mitigar la generación de gases de efecto invernadero.

### **3. Alcance**

Para la creación de cualquier empresa, es de vital importancia realizar la planeación estratégica de un proyecto productivo, puesto que provee un entorno realista que estudia la viabilidad y rentabilidad de un proyecto. En este orden de ideas, el proyecto tiene como finalidad realizar una evaluación financiera, tomando en cuenta variables como el estudio de mercados influyentes, la evaluación económica general y las matrices de impacto social y ambiental.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Hidrogeno**

"El hidrógeno es el elemento más abundante del planeta y se encuentra principalmente en el agua y en los compuestos orgánicos" (Dawood, Anda y Shafiullah 2020). lastimosamente es muy difícil encontrarlo de manera pura en el ambiente por lo que se requieren procesos para su separación. Por otra parte, como vector energético "El hidrógeno está ganando cada vez más reconocimiento en todo el mundo como solución energética exclusiva y combustible potencial, ya que ofrece soluciones libres de carbono" (Ishaq, Dincer, y Crawford, 2022). ya que "El principal inconveniente de consumir estos recursos tradicionales (combustibles fósiles) son las emisiones de CO<sub>2</sub> y el aumento del calentamiento global" (Zhang, Dincer y Ibrahim 2017). Las emisiones de carbono (CO<sub>2</sub>) más de 40 mil millones de toneladas por año, en su mayoría derivadas de la quema de combustibles fósiles y "Dado que los combustibles fósiles representan actualmente el 80% de la producción primaria mundial, cumplir el objetivo de cambio climático de la COP21 requeriría una reducción del 60% en las emisiones de carbono tanto del sector energético como del industrial" (SafariI, Dincer 2020) , en consecuencia encontrar un combustible amigable con el medio ambiente se está volviendo una necesidad urgente, por lo que se abre paso a energías renovables entre ellas el hidrogeno verde.

### **4.2 Formas de producción de hidrogeno**

Gasificación de biomasa: "los combustibles procedentes de biomasa residual renovable son alternativas adecuadas a los combustibles fósiles convencionales. La biomasa residual o lignocelulósica es una fuente potencial de energía renovable para satisfacer la creciente demanda energética" (Balat y Kirtay,2010).

“Los componentes de la biomasa de lignocelulosa pueden descomponerse en moléculas simples durante la gasificación de agua supercrítica (SCWG) para producir gas de síntesis o gas de síntesis” (Shakya, Musgrave 2005). “El gas de síntesis ( $H_2 + CO$ ) es el principal producto del SCWG de biomasa y puede utilizarse como combustible limpio o en la producción de combustible diésel mediante tecnologías de conversión de gas a líquido (GTL), como la catálisis de Fisher-Tropsch o la fermentación del gas de síntesis.” (Balat y Kirtay, 2010).

#### **4.2.1 Reformado de bioalcoholes**

Mediante reformado electroquímico con etanol no se desprende oxígeno durante el funcionamiento de la celda de electrolisis “En consecuencia, no es necesario separar los compartimentos del ánodo y del cátodo mediante una membrana que impida el cruce y la mezcla de gases y toda la celda puede presurizarse de forma segura, simplificando el diseño y la construcción.” (Miller, Lavacchi 2020). “Este concepto fue demostrado recientemente por primera vez utilizando una celda de autoclave electroquímica por Pagliaro” (Pagliaro, Bellini 2020). “Esta celda optimizó el funcionamiento a alta temperatura (150 °C) y la auto presurización del  $H_2$  producido a partir del reformado electroquímico del etanol mientras toda la celda estaba encerrada dentro del recipiente presurizado” (Miller, Lavacchi 2020), con este método se logra que el reformado de etanol consuma el 50% de la energía necesaria para la electrolisis.

#### **4.2.2 Hidrógeno biológico**

“Los procesos biológicos brindan la oportunidad de producir hidrógeno a partir de biorrecursos renovables y económicos como la biomasa y la energía solar a través de diversos procesos como la fotólisis directa/indirecta, la foto fermentación, la fermentación en oscuridad y la fermentación con gas  $CO$ ” (Akhlaghi, Najafpour 2020) algunos de estos procesos son como primero la biofotólisis directa; para este método se usan cianobacterias o microalgas para producir

biohidrógeno a partir de agua. “En el proceso de biofotólisis directa, el fotosistema absorbe la energía luminosa y transporta electrones a la ferredoxina. Este fenómeno resulta de la reducción de agua” (Rahman, Masdar, 2016).

El segundo método es la biofotólisis indirecta el cual es un proceso que se desarrolla en dos etapas. En el primer paso, el sistema fotosintético produce una gran cantidad de biomasa para aumentar la cantidad de carbohidratos. En el segundo paso, los carbohidratos ricos en biomasa se utilizan como fuente de carbono. (Akhlaghi, Najafpour2020).

El tercer método es la fermentación oscura, se cree que oscura es un método más eficaz y factible porque puede utilizar desechos orgánicos como sustrato, que puede lograr el doble objetivo de tratar los desechos y producir energía limpia simultáneamente (Wang, Chang 2018).

Otro método es la foto fermentación, este es un proceso interesante ya que una fuente de producción de carbono se convierte en una fuente de producción de biohidrógeno “Las bacterias sintetizan enzimas nitrogenasa o hidrogenasa. Especialmente la nitrogenasa es la principal enzima responsable de la formación de hidrógeno. El método se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas. La nitrógenoasa en condiciones anaeróbicas utiliza electrones y ATP (trifosfato de adenosina) y produce hidrógeno y ADP (difosfato de adenosina)” (Akhlaghi, Najafpour2020).

El siguiente método es la electrolisis microbiana. Las celdas de electrolisis microbiana (MEC) producen hidrógeno en el cátodo asociado con la oxidación de materia orgánica en el ánodo. (Rousseau, Etcheverr 2020).

#### **4.2.3 Producción a partir de agua**

La molécula de agua se puede disociar a partir de distintos tratamientos fisicoquímicos como la electrolisis. Los sistemas de electrolisis se clasifican en función de su electrolito:

**Electrolizadores Alcalinos (AKE):** los electrolizadores que realizan el proceso de electrólisis del agua están compuestos por un ánodo y un cátodo separados por un electrolito. En el caso del electrolizador alcalino, el electrolito se basa en una solución líquida que puede ser hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) (David, 2019).

**Electrolizadores de Membrana de Intercambio de Protones (PEM):** un electrolizador PEM es un convertidor de energía electroquímica que utiliza electricidad para oxidar el agua, produciendo oxígeno y protones en el lado del ánodo. A medida que se produce oxígeno, este sale del dispositivo mientras los protones atraviesan la membrana y los electrones circulan por un circuito externo. En el lado del cátodo, los electrones reducen los protones, produciendo hidrógeno. Este método tiene problemas por la degradación de del rendimiento y el rápido envejecimiento de sus componentes (Falcão, Pinto 2020).

**Electrolizadores de Oxido Sólido (SOEC)** revisar el progreso en la tecnología de electrolizadores de óxido sólido para dividir agua y/o dióxido de carbono en combustibles químicos. Estos dispositivos, que dependen de la conducción de óxido entre el cátodo y el ánodo (Hauch, Kungas 2020).

**Fotocatálisis** que se describe como una reacción de catálisis foto inducida. (Saravanan, Gracia, Stephen. (2017). Se puede dividir en dos categorías, procesos homogéneos y heterogéneos. En una fotocatalisis homogénea, los catalizadores son principalmente complejos metálicos, como hierro, cobre y otros complejos de metales de transición. (Huang, Nguyen,2020). En comparación con la fotocatalisis homogénea, la fotocatalisis heterogénea tiene varios beneficios, como ser estable, reutilizable y más fácil de separar de una mezcla de reacción (Shu-Na Zhao, Wang,2018).

#### **4.2.4 Producción de hidrogeno**

La mayoría de los investigadores en el campo de la producción de hidrógeno han considerado algunos de los aditivos energéticos del proceso como energía catalítica para aumentar la eficiencia del proceso (Dawood, Anda y Shafiullah,2020). Además, “la literatura ha considerado algunos tipos de energía secundaria como la radiación, el plasma y la energía biológica entre las principales categorías de energía para la producción de hidrógeno” (Dawood, Anda y Shafiullah,2020).

La electrólisis es un método típico que utiliza una corriente eléctrica para separar el agua en oxígeno e hidrógeno y crea hidrógeno verde sin emisiones directas de dióxido de carbono. Se usan fuentes de energía renovables para producir la electricidad que se necesita.

Los investigadores y las empresas están prestando cada vez más atención a la mejora de la generación de hidrógeno verde, ya que el hidrógeno verde producido mediante diversos enfoques tiene cero emisiones netas de gases (Shiva, Lim 2022).

El hidrógeno no es sólo una fuente de energía primaria, es un vector de energía que puede utilizarse directamente en vehículos de pila de combustible y en el sector industrial. Además, el hidrógeno también se puede utilizar como materia prima en las industrias química y petroquímica para producir amoníaco y combustibles sintéticos (Jovan, Dilan 2020).

El hidrógeno verde es visto como un combustible con gran potencial para impulsar el desarrollo sostenible y la transición energética en el futuro. Esto se debe a que puede generarse a partir de agua y energías renovables mediante la electrólisis, un proceso que no emite gases de efecto invernadero. Por lo tanto, se promueve cada vez más el hidrógeno verde para abordar los problemas del cambio climático y afrontar los desafíos globales del carbono neto cero. “Además,

se espera que la demanda mundial de hidrógeno verde y sus aplicaciones aumente exponencialmente durante la próxima década. Afortunadamente, a nivel mundial ya hay algunos proyectos en marcha para producir hidrógeno verde a partir de fuentes de energía renovables como la eólica y la solar” (IEA,2021).

### **4.3 Corriente continua**

“La corriente continua (CC o DC) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual es desde el polo negativo de la fuente al polo positivo; se caracteriza por su tensión, porque, al tener un flujo de electrones prefijado pero continuo en el tiempo, proporciona un valor fijo de esta” (Henao,2014).

### **4.4 Corriente semi alterna o corriente alterna rectificada**

La corriente alterna rectificada se refiere a la conversión de corriente alterna a continua la cual se realiza con ayuda de rectificadores con diodos y también con rectificadores a base de tiristores (Fraile,2016).

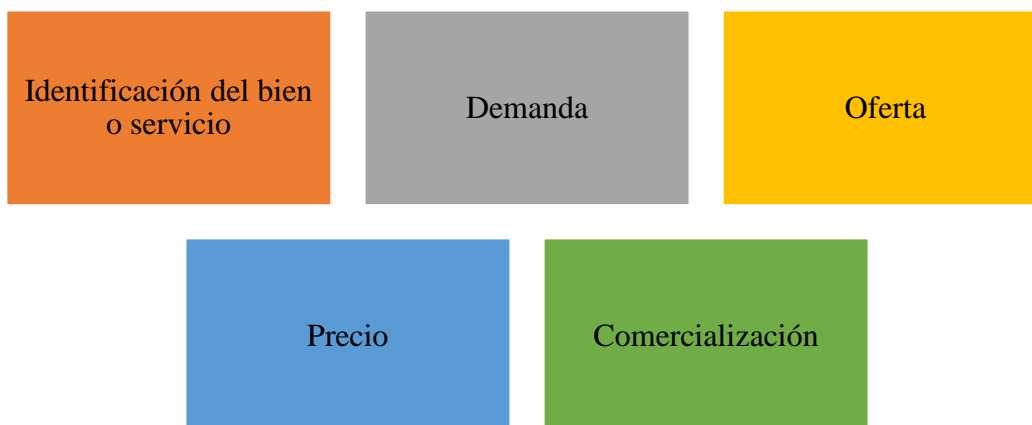
## 5. Estudio de mercado

“Conviene desde un principio clarificar la noción de mercado en una perspectiva amplia. Es preciso, entonces, incluir en ella todo el entorno que rodeará a la empresa: llámense consumidores, usuarios, proveedores, competidores y toda suerte de limitaciones de tipo político, legal, económico o social” (Villarroel,2013).

En la Figura 1 se presentan las partes primordiales de un estudio de mercados y el orden de su realización, es decir, en primer lugar, se debe identificar el bien o servicio a presentar, posteriormente se analiza la demanda y la oferta para así definir el precio y finalmente la comercialización del bien o servicio.

### Figura 1

*Partes del estudio de mercados*



Como primer elemento esta la identificación del producto o servicio, para un estudio de mercado es de vital importancia identificar el producto o servicio se ofrecerá, es decir, saber que es, como se usa y su función. posteriormente la demanda la cual consiste en un estudio de mercados se refiere a la cantidad de un bien o servicio que los consumidores desean adquirir a un

determinado precio (Ureña, 2009). También se puede describir como la cantidad de un producto o servicio que los consumidores están dispuestos a comprar a determinados precios. El estudio de la demanda busca mostrar la existencia de personas que consumen o necesitan el producto en una región geográfica.

El siguiente paso para seguir es la identificación de la oferta que, en un estudio de mercados se refiere a la disponibilidad de productos o servicios para su venta.” (Buenaño,2022). Los precios como siguiente paso afectan los niveles de venta y en las utilidades del proyecto ya que las cantidades vendidas están en función del precio de venta y por último la comercialización que es la actividad que permite al productor que su producto llegue al consumidor. En este caso la comercialización del hidrogeno se realiza mediante tanques los cuales almacenaran el hidrogeno.

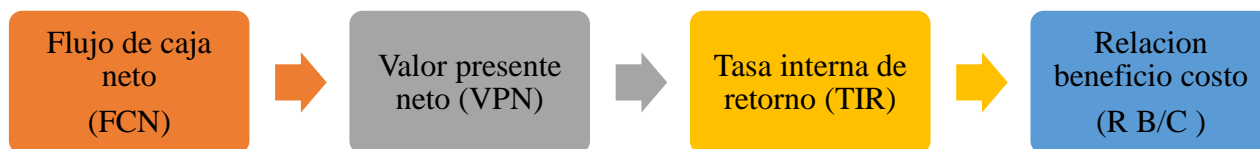
## **5.1 Evaluación financiera**

La evaluación financiera se realiza para examinar y evaluar la viabilidad económica y financiera de un proyecto, inversión o empresa en su conjunto. Esta evaluación proporciona información crucial que ayuda a los inversionistas, gerentes y otras partes interesadas a tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos financieros y la implementación de estrategias empresariales.

En la Figura 2 se puede observar las etapas de una evaluación financiera y su orden, como primer lugar realizar un flujo de caja para posteriormente calcular los indicadores de evaluación financiera como lo son calcular el valor presente neto, la tasa interna de retorno y la relación veneficio costo.

### **Figura 2**

*Etapas de la evaluación financiera*

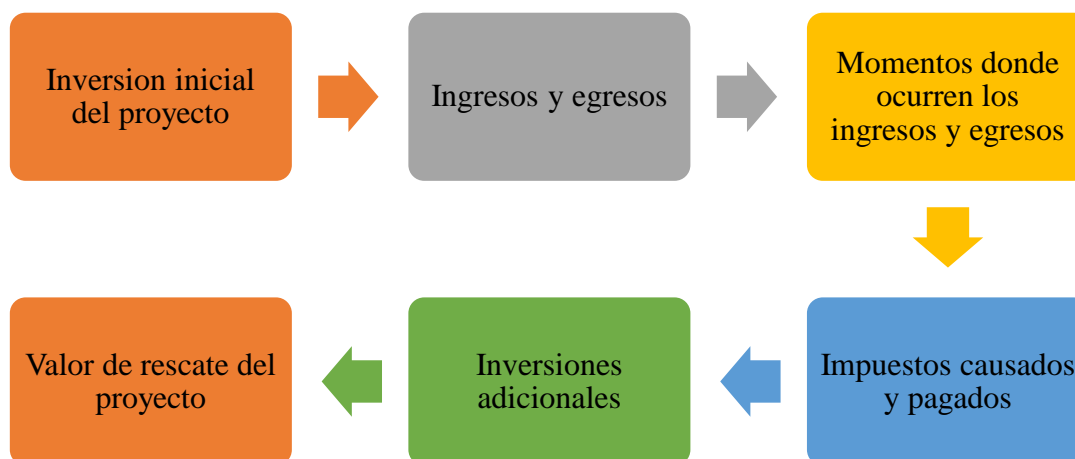


“El flujo de caja del proyecto incluye los ingresos y los egresos cuando se presenta la entrada y salida de efectivo, también se incluyen reembolsos, impuestos, depreciación, amortización y el valor rescate del proyecto” (Murcia, Díaz, 2009).

El flujo de caja de un proyecto de inversión privada se compone con algunos elementos como los que se pueden apreciar en el la Figura 3 los cuales tiene como primer lugar saber la inversión inicial del proyecto, para posteriormente calcular los ingresos y egresos del proyecto , al igual que tener claro en qué momentos ocurren estos ingresos y egresos y por cuanto tiempo; algo esencial es tener en cuenta en el flujo de caja los impuestos que se causan y se pagan durante la duración del proyecto para posteriormente presupuestar un rubro para inversiones adicionales y un valor de rescate del proyecto , entre otros.

### **Figura 3**

*Componentes del flujo de caja*



A continuación, se describirán los indicadores de evaluación financiera:

### 5.1.1 Valor Presente Neto (VPN)

Es el equivalente en pesos actuales de la diferencia entre todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto (Murcia, Díaz, 2009), es decir, traer todos los valores futuros del proyecto a un valor presente para calcular el valor presente neto, en la siguiente ecuación se explica cómo se calcula este indicador de evaluación financiera Valor presente neto (VPN).

#### Ecuación 1

*Valor Presente Neto*

$$VPN(i) = VP_{\text{ingresos}} - VP_{\text{egresos}}$$

### 5.1.2 La tasa Interna de Retorno (TIR)

“Es la tasa de descuento, actualización o equilibrio que aplicada al flujo de caja produce un valor presente neto igual a cero. el TIR como indicador muestra la rentabilidad del proyecto

bajo el supuesto de que todos los ingresos son reinvertidos directa y automáticamente a la misma tasa” (Murcia, Díaz, 2009). El TIR se calcula de la siguiente manera, donde  $F_n$  se refiere al flujo de caja en un periodo determinado  $n$ ,  $i$  se refiere a el valor de la inversión inicial, en la siguiente ecuación el resultado es cero, esto indica que para un inversionista el proyecto luce indiferente ya que ganaría lo mismo en otro proyecto con la misma tasa de recuperación, por lo que entre mayor sea el valor del TIR más atractivo será el proyecto para los inversionistas.

### **Ecuación 2**

*Tasa interna de retorno*

$$\sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

#### **5.1.3 La relación beneficio costo (R B/C)**

“Este indicador consiste en la separación de ingresos y egresos del proyecto y su relación. en este caso se suman los ingresos y egresos en cada periodo, se recalculan sus valores presentes y se calcula la razón entre ellos” (Murcia, Díaz, 2009). este valor representa la relación entre cada peso invertido con cada peso ganado, en la siguiente ecuación se representa que la relación beneficio costo es igual a la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el vapor presente de los egresos Relación beneficio costo.

### **Ecuación 3**

*Relación beneficio costo*

$$\frac{RB}{C} = \frac{VP_{ingresos}}{VP_{egresos}}$$

## **5.2 Evaluación económica y social**

“En la evaluación económica se busca determinar la rentabilidad o el impacto que sobre el bienestar social a nivel nacional o regional ejerce el proyecto, sin considerar los efectos distributivos de la ejecución de las inversiones con el fin de medir su efecto sobre la economía nacional” (Murcia, Díaz, 2009).

Para una buena evaluación económica y social se requiere identificar ciertos aspectos importantes como los impactos del proyecto en la comunidad, cuantificación de los impactos y beneficios del proyecto

### **5.2.1 Impactos del proyecto**

La ejecución de un proyecto genera diversos efectos que impactan a sus usuarios, a la organización responsable del mismo y a la comunidad en general. El objetivo principal de la evaluación económica es predecir los diferentes resultados del proyecto, determinar quién ganará o perderá con ellos, prever el tipo de efecto que tendrán y medirlo.

## **5.3 Evaluación ambiental**

La Declaración de Río adoptada en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo es ampliamente conocida como la Cumbre de la Tierra., los países participantes se comprometieron a desarrollar instrumentos que evalúen la variable ambiental de cualquier organización que genere algún tipo de impacto” (Tener, H. y Neves, M.2021).

### ***5.3.1 Evaluación del impacto ambiental (EIA)***

“Es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos de la ejecución de un determinado proyecto sobre el medio ambiente.

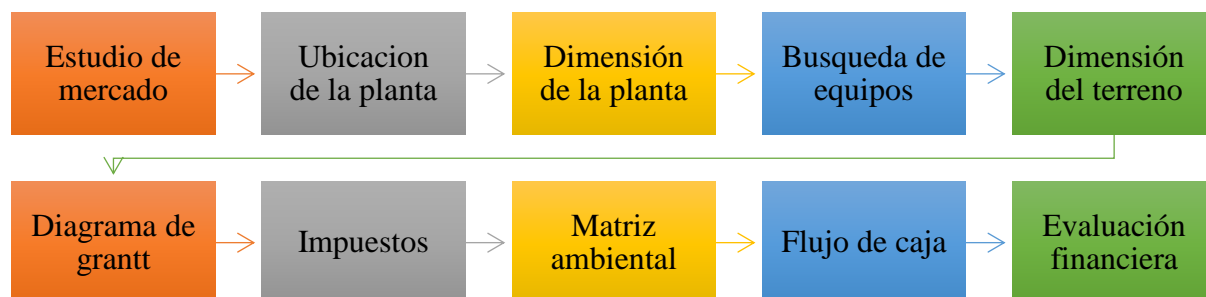
La evaluación del impacto ambiental es responsabilidad del proponente del proyecto, y por lo tanto deben estimar los recursos necesarios para realizarlo, para esto debe plantear un estudio de línea base el cual se refiere a un diagnóstico de la situación a fecha del estudio, que se realiza para determinar las condiciones ambientales de un área geográfica antes de ejecutarse el proyecto.” (Murcia, Díaz, 2009).

## 6. Metodología del proyecto

La metodología que se aplicara en el proyecto es importante tenerla clara para lograr cumplir con los objetivos y el buen desarrollo del proyecto; como se ve en la figura 4 el primer paso después de la revisión bibliográfica es hacer un estudio de mercado para saber cómo se encuentra actualmente el mercado del hidrogeno posteriormente se realiza la búsqueda de una zona con ciertas condiciones para la creación de la planta , teniendo ya el lugar se realiza la dimensión de la planta con los valores de hidrógeno necesarios a producir; posteriormente se realiza la búsqueda de los equipos necesarios para la planta para realizar el flujo de caja , al tener claro la cantidad y el espacio que necesitan los equipos se procede a hacer la dimensión total del terreno , para mayor claridad del tiempo requerido para ejecutar el proyecto se realiza un diagrama de Gantt con el propósito de calcular el tiempo aproximado de construcción de la planta , teniendo claras las actividades del diagrama de Gantt se realiza una búsqueda de los impuestos que se tendrán que pagar para el funcionamiento de la planta además de plantear una matriz ambiental para el inicio del proyecto , al tener todos los costos de la planta listos , se realiza el flujo de caja finalmente se realiza la evaluación financiera en dado caso la evaluación financiera de resultados donde se observe que el proyecto no es atractivo financieramente se realiza una nuevo cotización de equipos hasta lograr un buen resultado.

## Figura 4

### *Pasos de la metodología del proyecto*



En el estudio de mercado se trataron temas importantes como la oferta y la demanda logrando así conocer el mercado actual del hidrogeno verde a nivel nacional e internacional. Para la ubicación de la planta se realiza una matriz de decisión con el fin de encontrar el lugar más adecuado para la creación de la planta donde se tenga facilidad de materia prima, buena radiación solar entre otros factores. Posteriormente se realiza la dimensión de la planta donde se hacen cálculos de la cantidad de agua, electricidad y reactores a usar para producir la cantidad de hidrogeno necesaria. En la búsqueda de equipos se realiza una búsqueda de proveedores nacionales e internacionales para obtener valores reales para el flujo de caja todo teniendo claro que equipos requiere la planta. Se realiza la dimensión del terreno al tener claro la cantidad de equipos necesarios a usar en el proyecto. En el diagrama de Gantt se observa la planeación de la construcción de la planta con tareas claras y un tiempo determinado para realizarlas, teniendo en cuenta que si alguna de las tareas se atrasa puede retrasar el proyecto. Los impuestos son una parte importante de cualquier proyecto los impuestos son obligatorios en Colombia y cada industria tiene diferentes impuestos. En la matriz ambiental es importante tener claro el impacto ambiental y social que tienen los proyectos a la naturaleza y la comunidad por lo que se desarrolló una matriz

que representara los retos que tiene una industria creciente en el país. Después se realiza el flujo de caja y se realiza al tener todos los costos y gastos claros se realiza el flujo de caja el cual hacía una dimensión de las ganancias recibidas por el proyecto, en este proyecto se hace un flujo de caja para proyecto, no para inversionistas. Finalmente, la evaluación financiera determina que tan atractivo se ve el proyecto para los inversionistas y por lo tanto la viabilidad del proyecto.

## 7. Análisis de mercados

El estudio de mercado es una investigación objetiva para recopilar, analizar y mostrar información sobre un mercado en específico. Su principal objetivo es suministrar información del mercado, en este caso del hidrogeno y sus potenciales clientes o prospectos, lo que permite a la organización o empresa para tomar decisiones acerca de la venta o promoción de un producto o servicio. El análisis de mercado involucra la recopilación de datos diversos, como la demanda del producto o servicio, los precios, la oferta y el estudio de la estrategia de comercialización. Es aconsejable que al final del análisis de mercado se presente una conclusión que resuma los resultados obtenidos.

### 7.1 El producto (hidrogeno)

El hidrógeno es el elemento más común en el universo, también es una componente muy importante para las moléculas biológicas y materiales sintéticos. El hidrogeno es conocido por su capacidad de producción de energía, pero tiene muchas otras propiedades útiles. El hidrogeno tiene un numero atómico de 1,01. Por esta causa es el gas más ligero que existe lo que lo hace útil para aplicaciones como globos aerostáticos, además de que la ligereza del hidrogeno lo hace un combustible eficiente para vehículos porque suministra mayor energía por unidad de masa que otros combustibles (Nicolin, 2023).

Una propiedad interesante del hidrogeno es su alta capacidad calorífica, lo que significa que puede contener mucha más energía térmica en un volumen menor, por esto se utiliza como refrigerante en la tecnología avanzada, como tecnología aeroespacial y producción de semiconductores. Para la industria energética le hidrogeno tiene un gran potencial por sus propiedades. En la Tabla 1 se puede ver las equivalencias de caudal de hidrogeno dependiendo de sus características.

**Tabla 1***Equivalencias caudal de hidrogeno -producción eléctrica*

$H_2$ (kg/h)	$H_2$ gas (Nm/h)	$H_2$ liquido (l/h)	Energía (kwh)
1	11.12	14.12	33.33
0.0899	1	1.270	3.00
0.0708	0.788	1	2.359
0.0300	0.333	0.424	1

*Nota:* Tabla tomada de ARIEMA y están basadas en el poder calorífico inferior.

**Tabla 2***Comparativa de hidrogeno con otros combustibles*

Hidrogeno	Gasolina	Gasóleo	Gas natural	Metano	Metanol
1 kg	2.78 kg	2.80 kg	2.54-3.14 kg	2.40 kg	6.90 kg
1litro (liquido)	0.268 litros	0.236 litros	----	----	0.431 litros
1 litros (gas)	0.0965 litros	0.850 litros	0.3-0.35 litros	0.240 litros	0.191 litros

*Nota:* Tabla tomada de ARIEMA, todos los gases comprimidos a 350 bares.

Además de todo lo anterior el hidrógeno puede formar enlaces químicos muy fuertes con otros elementos, Por esta razón se emplea en la fabricación de productos químicos como el amoníaco para fertilizantes, y el ácido clorhídrico para la elaboración de plásticos y materiales sintéticos.

El hidrogeno también puede combinarse con elementos complejos, como el agua que consiste en la unión de hidrógeno y agua, también se puede combinar con el carbono y formar compuestos orgánicos, como hidrocarburos.

## **7.2 El transporte del hidrógeno**

En el transporte de hidrogeno se debe considerar lo más apropiado para transportar, el transporte en estado líquido, gaseoso o con fluidos transportadores.El hidrogeno para un industrial se transporta como gas a baja presión (0.69-2,07 MPa) o en líquido a lastas presiones (2,07 – 34,47MPa) por medio de camiones cisterna, tanques criogénicos y barco o ferrocarril.

Transporte por carretera: este tipo de transporte se hace con camiones cisterna con hidrogeno comprimido o liquido; estos camiones pueden transportar 360kg de hidrogeno comprimido o 4300kg de hidrogeno líquido, también existe la distribución en botellas y esta permite el suministro de hidrogeno en diferentes cantidades y purezas (Gonzales,2010).

Transporte en ferrocarril: este tipo de transporte usa cisternas de ferrocarril al igual que los camines cisterna, la diferencia es que el transporte por ferrocarril las cisternas con más voluminosas alcanzando una capacidad entre 2.900 – 9.100 kg de hidrogeno.

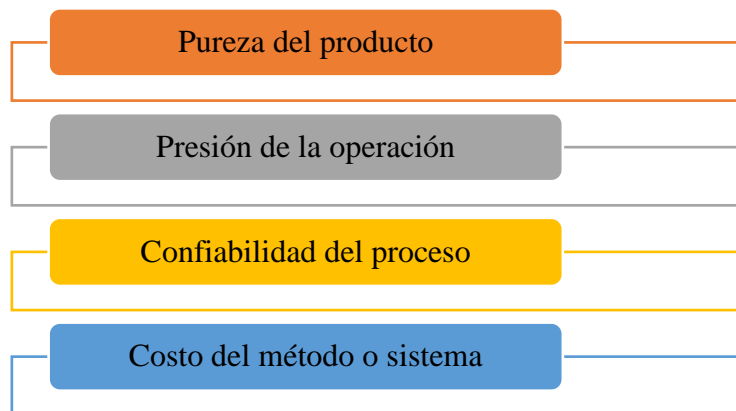
Transporte marítimo: implica el uso de buques de carga con 70 toneladas de hidrógeno, empleados para desplazar grandes cantidades de este elemento desde lugares lejanos.

En cuestión del hidrogeno gaseoso puede transportarse usando infraestructuras como las del sector gas, mediante inyección de hidrogeno verde; también se puede transportar usando las

infraestructuras que manejan amoniaco. Estos métodos de transporte aprovechan las instalaciones ya existentes, lo que conlleva la ventaja adicional de reducir los costos. Hasta el momento, el método más económico para producir hidrógeno es a través de plantas de reformado de metano y vapor de agua, distribuyéndose luego a través de tuberías dedicadas para el hidrógeno gaseoso. En lugares donde no existen redes de tuberías para el hidrógeno, es posible transportarlo en forma gaseosa o licuada de manera móvil desde las plantas de producción hasta las estaciones de distribución. Sin embargo, la limitación del sistema de transporte móvil radica en su alcance, y actualmente en Colombia no se cuenta con estos métodos de transporte. Además, a través de las redes de tuberías es posible distribuir el hidrógeno en estado criogénico o gaseoso. El transporte en forma líquida resulta bastante complejo y poco viable en trayectos largos, ya que requiere un aislamiento completo de la tubería para mantener el hidrógeno a temperaturas criogénicas. Por otro lado, el transporte en forma gaseosa es más sencillo y viable mediante tuberías, aunque se debe considerar que el diseño debe resistir altas presiones y que los equipos auxiliares sean compatibles con el hidrógeno. En cualquier caso, ya sea en estado líquido o gaseoso, la tubería debe ser resistente a la interacción con el hidrógeno para evitar cualquier fuga o desgaste debido al cambio en las propiedades mecánicas por la interacción entre el acero y el hidrógeno. (Porto,2021).

### **7.3 Métodos de separación y purificación del hidrógeno**

Actualmente, hay varias formas de limpiar y separar el hidrógeno. Dado que los flujos de gas en síntesis varían en composición, impurezas y presiones, la elección del mejor método dependerá del uso que se le dará al hidrógeno. Algunos aspectos a tener en cuenta al seleccionar el método adecuado de purificación para el hidrógeno son la pureza la presión de operación, además de la confiabilidad del proceso y el costo del método o sistema que se utilizó con se muestra en la Figura 5 .

**Figura 5***Métodos de separación del hidrogeno*

Al separar el hidrógeno del gas de síntesis, es común emplear materiales absorbentes o membranas especiales para llevar a cabo la separación de estos elementos.

Otra tecnología popular es por medio de la separación criogénica, es decir, condensación parcial, la cual consiste en disminuir la temperatura en la mezcla hasta llegar al punto donde las impurezas se licuan y queda el hidrogeno puro.

**7.3.1 Materiales absorbentes**

Esta tecnología se basa en que las moléculas se unen físicamente en el corriente gas y hay un metal con propiedades absorbentes. La interacción entre el gas y el material absorbente depende del tipo de material utilizado y la composición del gas, así como de la presión parcial de la mezcla gaseosa y la temperatura a la que opera.

El hidrógeno es un componente altamente volátil y con baja polaridad, a diferencia del nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, derivados del hidrocarburo y vapor de agua, los cuales generalmente se mencionan como impurezas en el gas, en síntesis, estos compuestos o elementos tienen una alta polaridad lo cual los hace muy absorbibles lo cual fomenta la absorción

de este tiempo de separación ya que depende de las diferencias de fuerzas de unión al material absorbente.

Por esto, las impurezas pueden absorberse de la corriente de hidrógeno, lo que resulta en obtener hidrógeno de alta pureza. para liberar los lechos de absorción se hace una despresurización, en este proceso una parte del hidrogeno puede perderse, aun así, la tasa de recuperación del método de absorción es de 80% de efectividad.

La absorción se realiza cambiando la presión hasta alcanzar las presiones parciales de las impurezas y poder absorberlas, esto a temperatura constante, como no es necesario enfriar o calentar se logra hacer la absorción en minutos, por lo tanto, reduce considerablemente los costos.

Las presiones utilizadas en el proceso de absorción suelen estar en un rango de 10 a 40 bares hasta alcanzar la carga de equilibrio. Cuando el sistema no tiene más capacidad de absorción, el material absorbente se debe regenerar, esto se logra bajando suavemente la presión, pero debe ser superior a la presión atmosférica. al terminar la regeneración, la presión se sube de nuevo a la presión de absorción y el proceso nuevamente comienza. este proceso de absorción es cíclico y produce hidrógeno a 99.9% de pureza (Park et al., 2020).

### **7.3.2 Membranas**

Para la purificación y producción de hidrogeno, principalmente se usan membranas inorgánicas, los tipos más usados Los materiales utilizados incluyen metales de fase densa, aleaciones metálicas y membranas cerámicas porosas. Este método de separación se lleva a cabo a través de membranas que separan los gases aprovechando la diferencia en las tasas de difusión a través de ellas. Gases como el hidrógeno se difunde más rápidamente y pasan a través de la membrana, mientras que los gases con tasas de difusión más lentas no logran atravesarla, lo que resulta en una corriente de salida de baja presión para el hidrógeno.

La separación de hidrógeno a través de membranas no implica piezas móviles, lo que garantiza una alta confiabilidad. Estas membranas se fabrican en módulos pequeños, por lo que se requiere agregar más módulos para aumentar la capacidad de separación. Esto resulta en un costo proporcional a la capacidad, lo que hace que sea más competitivo en capacidades bajas.

El diseño de este tipo de sistemas conlleva una compensación entre el área de superficie y la caída de presión, así como la recuperación de la corriente de hidrogeno y su pureza. El sistema de separación por membrana produce hidrogeno de 99.9998% de pureza y una recuperación mayor al 85% (Cechetto et al.,2021).

### ***7.3.3 Separación criogénica***

La separación criogénica implica enfriar el gas para condensar las impurezas de la corriente gaseosa. Este proceso puede incluir etapas de evaporación o destilación, según el nivel de pureza requerido. Las unidades criogénicas tienen la ventaja de poder separar múltiples productos en una sola corriente de gases de alimentación. La tasa de recuperación suele estar alrededor del 95% con una pureza superior al 98%.

El método de separación criogénica se aplica al hidrogeno gracias a que las impurezas gaseosas como los hidrocarburos, e dióxido de carbono, monóxido de carbono y el vapor de agua tienen su punto de condensación a temperaturas más altas que el hidrogeno (Bellera,2017).

## **7.4 Tecnologías de Almacenamiento y Transporte del Hidrógeno**

El hidrógeno se ha posicionado como una fuente de energía prometedora en la transición hacia un futuro más sostenible. Sin embargo, su almacenamiento y transporte eficientes son fundamentales para su viabilidad a gran escala. Las tecnologías de almacenamiento y transporte

del hidrógeno juegan un papel importante en la expansión de su uso en sectores como la movilidad, la industria y la generación de energía.

#### ***7.4.1 Almacenamiento de Hidrógeno***

El gran desafío del hidrogeno es el almacenamiento Como tiene la densidad más baja y el segundo punto de ebullición más bajo de los elementos y sustancias existentes, el hidrogeno es difícil de almacenar, ya sea en forma de gas o líquido. como líquido requiere almacenamiento criogénico y como gas requiere grandes volúmenes de almacenamiento y presiones.

Debido a la baja densidad de energía del hidrógeno tanto en estado líquido como gaseoso, se requiere un mayor volumen de hidrógeno para lograr la misma cantidad de energía que con otros combustibles. Esto resulta en que el tamaño del tanque necesario para almacenarlo sea mayor. A pesar de su baja densidad energética volumétrica, el hidrógeno tiene una mejor relación energía/peso que cualquier otro combustible. Esta ventaja se contrarresta por el gran peso de los tanques de almacenamiento, ya que son más voluminosos y pesados que los utilizados para combustibles convencionales.

Las principales tecnologías de almacenamiento actualmente son por gas en alta presión, liquido (H<sub>2</sub> criogénico) e hidruros metálicos.

#### ***7.4.2 Gas en Alta Presión***

Similar a los cilindros de almacenamiento de gas natural comprimido, el hidrógeno se almacena a alta presión. La mayoría de estos cilindros tienen una sección de pared lateral de forma cilíndrica con cápsulas hemisféricas terminales. Este tipo de cilindro debe poseer una alta durabilidad y estar fabricado con materiales muy resistentes para garantizar su seguridad y eficacia en el almacenamiento del hidrógeno.

Es cierto, los cilindros de almacenamiento se clasifican según los materiales de construcción, ya que el proceso de compresión del gas requiere mucha energía. Conforme aumenta la presión final, se necesita más energía para comprimir el gas, por lo que es fundamental seleccionar materiales de construcción adecuados para garantizar la seguridad y eficiencia del proceso.

#### ***7.4.3 Líquido (H<sub>2</sub> criogénico)***

Para el almacenamiento en forma de gas, surgen numerosos problemas debido al volumen y peso de los cilindros o tanques necesarios. Por otro lado, a temperaturas de criogenización, el hidrógeno líquido puede ser almacenado por debajo de su punto de ebullición, que es de 253 grados Celsius o 20 Kelvin. Los tanques de hidrógeno líquido no necesitan ser tan robustos como los cilindros de gas a alta presión, lo que facilita su almacenamiento y manejo. (Griñan-Ciria 2022).

#### ***7.4.4 Hidruros Metálicos***

El sistema de almacenamiento de hidruros se basa en la capacidad de ciertos metales para absorber hidrógeno gaseoso a temperaturas moderadas y altas presiones, formando así hidruros metálicos. Estos hidruros metálicos, al calentarse a baja presión, liberan el hidrógeno en forma de gas, lo que permite un proceso reversible y seguro para almacenar y utilizar el hidrógeno según sea necesario. (Bellera,2017).

### **7.5 Infraestructura para la producción de hidrogeno**

A diferencia de otros combustibles como los hidrocarburos, el hidrogeno tiene una infraestructura limitada, lo que puede ser un límite para usarlo en algunas zonas. Para la producción de hidrogeno verde se debe tener en cuenta que existe una infraestructura especifica la cual consta con algunos elementos como fuentes de energías renovables para la producción de hidrogeno verde se precisa de energía renovable, esta energía genera electricidad y alimentará el equipo con el cual se generará el hidrogeno. El equipo y método que se va a utilizar para la producción de hidrogeno

el cual, en este caso funciona con agua electricidad y gravedad, este método es de carácter confidencial y por petición de su descubridor Carlos Manuel Labrador Acuña. no será descrito en el proyecto. Los tanques de almacenamiento, el hidrogeno producido se almacena en tanques especiales para ser usado y distribuido. Las estaciones de carga se usan cuando el hidrogeno es utilizado en los vehículos, las cuales cargaran el hidrogeno en los tanques de combustible. Para hablar de la infraestructura del transporte anteriormente se describieron las alternativas para transportar hidrogeno, y se pudo concluir que su infraestructura es limitada y necesita mayor trabajo. La investigación y desarrollo en el campo de desarrollo de combustibles alternativos se necesita investigar constantemente para encontrar la manera de reducir costos y generar combustible más amigable con el medio ambiente.

Los riesgos de seguridad: El hidrogeno por ser un elemento altamente inflamable necesita ciertas medidas de seguridad especiales, cuando se produce, se transporta y se almacena (Castiblanco, cardenas,2020), unos de los riesgos de seguridad al trabajar con hidrogeno más importantes del hidrogeno es a la inflamabilidad, ya que el hidrogeno es un elemento con un alto grado de inflamabilidad, por esta causa puede explotar fácilmente si se expone a una chispa eléctrica o el fuego; Otro riesgo importante con respecto al hidrogeno es la asfixia ya que por ser un gas ligero y en el aire puede mover al oxígeno y causar asfixia en un espacio cerrado, además de provocar náuseas y mareo, entre otros.

El hidrogeno también puede generar emisiones nocivas, como gases tóxicos y corrosivos, como en la electrolisis del agua en la que, si se usan electrodos de cloruro, pueden producir cloro o ácido clorhídrico; Por estas razones si se trabaja con hidrogeno es muy importante seguir todo el protocolo de seguridad y planes de contingencia en alguna eventualidad (linares, morzatilla,2007).

## **8. Oferta**

La oferta en hidrógeno verde se refiere a la producción y distribución de hidrógeno renovable, el cual se obtiene a través de procesos que utilizan energías renovables, como la electrólisis de agua impulsada por energía solar, eólica o hidráulica, entre otros. Su principal ventaja es que no produce emisiones de dióxido de carbono directamente durante su producción, lo que lo convierte en una alternativa sostenible para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **8.1 Oferta de hidrogeno verde en Colombia**

El hidrogeno verde en Colombia es una tecnología la cual se encuentra en sus etapas tempranas de exploración y desarrollo, lo que indica que aún no hay una gran afecta frente al hidrogeno verde, sin embargo, algunas entidades privadas y el gobierno nacional, están invirtiendo en el desarrollo de nuevos proyectos para impulsar esta industria con gran potencial.

En Colombia, el gobierno ha reconocido el hidrógeno verde como una tecnología fundamental para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar la transición energética, ya que se produce a partir de la electrólisis del agua utilizando energía renovable, como la solar o la eólica, lo que lo convierte en una fuente de energía limpia y sostenible.

El hidrógeno verde es considerado como una herramienta importante para lograr esta meta. Para apoyar el desarrollo del sector, se han implementado incentivos fiscales y otros programas de financiamiento para proyectos de hidrógeno verde en el país.

Además, varias empresas privadas en Colombia están explorando oportunidades para producir y utilizar hidrógeno verde en sus operaciones. Por ejemplo, la empresa estatal de petróleo Ecopetrol anunció recientemente planes para construir una planta de hidrógeno verde en el país, en asociación con otras empresas locales.

En conclusión, aunque la oferta de hidrógeno verde en Colombia es aún limitada, el país está haciendo esfuerzos para impulsar el desarrollo de esta tecnología como parte de su transición hacia una economía más sostenible y basada en energías renovables. podría impulsar la adopción del hidrógeno verde en diferentes sectores de la economía colombiana. Se espera que en los próximos años se produzcan avances significativos en este campo (Mercado,2023).

### ***8.1.1 Situación actual***

Actualmente en Colombia se produce en mayoría hidrogeno gris, el pues se produce a través de gas natural, sin embargo, el interés es creciente en esta tecnología y en fuentes de energía renovables lo cual lleva al gobierno nacional a crear incentivos fiscales y otros programas de financiamiento para proyectos de hidrogeno verde.

### ***8.1.2 Oferta del hidrogeno en Colombia actualmente***

Actualmente, la oferta de hidrógeno en Colombia se basa en el hidrógeno gris, que se produce a partir de gas natural utilizando procesos que generan emisiones de dióxido de carbono. No obstante, hay un creciente interés en el desarrollo de la producción y oferta de hidrógeno verde, el cual se genera a partir de fuentes renovables de energía, como la solar o la eólica, y no emite dióxido de carbono.

En relación con la oferta de hidrógeno verde en Colombia, esta sigue siendo limitada debido a la novedad de la tecnología y a la falta de infraestructura necesaria para su producción y distribución. No obstante, existen algunos proyectos en desarrollo en el país para la producción y uso de hidrógeno verde.

Uno de los proyectos más destacados está en marcha la edificación de una instalación para la producción de hidrógeno verde en la ciudad de Medellín, que se espera que entre en operación en el 2023. La planta será operada por un consorcio liderado por EPM (Empresas Públicas de Medellín) y contará con una capacidad de producción de 12 toneladas de hidrógeno verde al día.

Además, otras empresas y entidades en Colombia están explorando oportunidades para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde, como Ecopetrol y Grupo Energía Bogotá, que están evaluando la posibilidad de producir hidrógeno verde utilizando energía renovable.

En resumen, aunque aún es limitada, la oferta de hidrógeno verde en Colombia está en crecimiento y se espera que en los próximos años se desarrollen más proyectos y se amplíe su uso en diferentes sectores de la economía.

## **9. Demanda**

La demanda de hidrógeno verde se refiere a la necesidad de hidrógeno renovable producido a partir de energías renovables y sin emisiones de CO<sub>2</sub>, la cual se espera que aumente en los próximos años en diferentes sectores y aplicaciones como en las refinerías, en el transporte y en otras industrias.

### **9.1 Demanda nacional y exportación de hidrogeno**

El hidrogeno se usa para actividades industriales, como la refinación y en la industria química. Colombia, como productor de hidrogeno gris consume la mayoría este hidrogeno en procesos de refinería, el restante de la demanda se divide entre la producción de fertilizantes y producción de vidrio flotado, aceites para alimentación, etc.

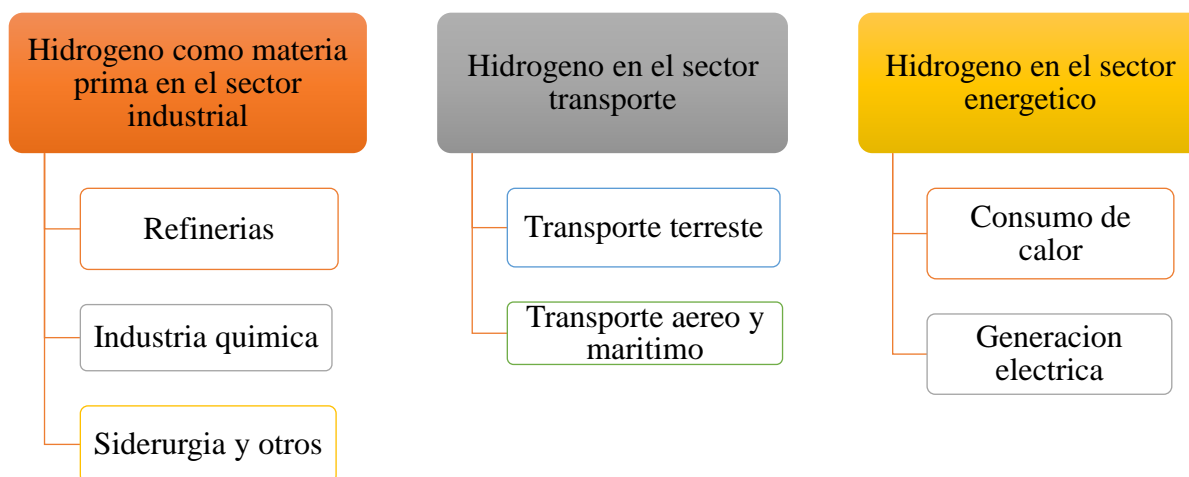
El hidrogeno verde ofrece la posibilidad de contribuir al sector transporte y de generación eléctrica formando así un nuevo mercado energético y abriendo las puertas a la exportación en países de Latinoamérica donde hay gran demanda de hidrogeno de bajas emisiones.

Algunas de las aplicaciones del hidrogeno se especifican en la Figura 6 , como el hidrogeno como materia prima en el sector industrial para hidrotratamiento y craqueo en las refinerías , síntesis del amoniaco y metanol en la industria química y como agente reductor en la siderurgia y otros procesos; por otra parte el hidrogeno en el sector transporte se en vehículos con pilas de combustible o derivados para el transporte terrestre y derivados del hidrogeno para el transporte aéreo y marítimo; en el sector energético el hidrogeno se usa para el transporte dedicado para el calor industrial y residencial y para generación eléctrica con el almacenamiento de energía y

generación de electricidad en pilas de combustible y turbinas de gas , cabe resaltar que la demanda actual solo abarca al hidrogeno como materia prima en el sector industrial.

## Figura 6

*Principales aplicaciones futuras y actuales del hidrogeno*



*Nota:* Figura tomada y adaptada de la ruta de hidrogeno en Colombia

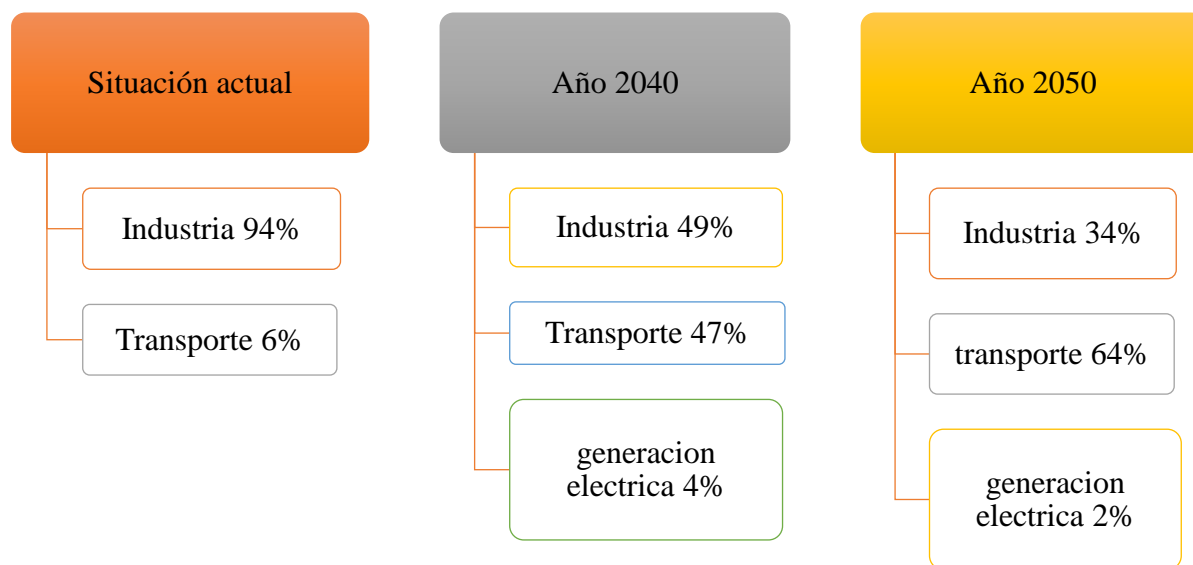
### **9.1.1 Situación futura**

Se espera que en los próximos años los nuevos usos del hidrogeno provoquen en Colombia el aumento exponencial de la demanda. Se espera que a corto plazo haya un crecimiento exponencial de la demanda de hidrogeno verde con un pronosticado de 120kt en el 2030, en los cuales se incluye la producción de hidrogeno gris y nuevos usos. Se espera que se desarrolle en primer lugar en la industria con el fin de la descarbonización, por otra parte, es pereque que el sector transporte comiencen en el 2026, especialmente en autobuses y camiones (transporte terrestre pesado).

En el 2040, aumentara drásticamente su crecimiento casi tanto como en el sector industrial. en esa época se pronostica que se empezará a usar el hidrogeno para producción de electricidad y en otras industrias, entre 2040 y 2050 se fortalecerá el uso de hidrogeno verde con una demanda interna de 1850 kt aproximadamente. en este escenario el principal protagonista es el sector transporte ya que ocupara un 64 % de la demanda total como se ve en la ...., este aumento se dará a la entrada del hidrogeno en transporte aéreo y marítimo además de la demanda en el transporte de carretera, por otra parte, el sector menos beneficiado será el sector eléctrico ya que representara el 2% de la demanda total de hidrogeno equivalente a 37kt en 2050 (HRHC,2021).

## **9.2 Situación actual**

Colombia está en una etapa inicial en cuanto al desarrollo del hidrógeno como recurso energético. Aunque se reconoce su potencial, aún se requieren inversiones significativas, políticas claras y proyectos piloto para impulsar su adopción a gran escala. Se debe tener en cuenta que Ecopetrol cuenta con un proyecto piloto de generación de hidrogeno verde por medio de electrolisis y hay muchos proyectos de hidrogeno verde en creación y análisis de viabilidad. (HRHC,2021).

**Figura 7***Situación actual y futura del hidrogeno*

### 9.3 Mercado Externo.

El mercado externo de hidrógeno verde se refiere a la demanda y oferta de hidrógeno renovable en el mundo, donde se intercambian bienes y servicios entre diferentes países. Actualmente, el hidrógeno verde se produce en pequeñas cantidades ya un costo más elevado que el hidrógeno gris, el cual se produce a partir de gas natural en las refinerías.

#### 9.3.1 Demanda del hidrogeno mundial

La demanda global de hidrógeno superó los 94 millones de toneladas (Mt) en 2021, lo que representa un incremento del 5% en comparación con el año anterior y un aumento con respecto a las 91 Mt registradas en 2019, antes de la pandemia. La mayor parte del aumento se debió al uso de hidrógeno en aplicaciones tradicionales, sobre todo en productos químicos, con casi 3 Mt de aumento, y en el refinado, con cerca de 2 Mt de aumento a partir de 2020. Estos subsectores, sobre

todo el refinado, los sectores se vieron considerablemente afectados por la pandemia de Covid-19. La actividad se vio restringida debido a los cierres y a la desaceleración económica general, pero empezó a recuperarse en 2021. La mayor parte del hidrógeno suministrado se produjo a partir de combustibles fósiles, sin ningún beneficio para el cambio climático.

La demanda de hidrógeno en nuevas aplicaciones, como en la industria pesada, el transporte, la generación de energía y los sectores de la construcción o la producción de combustibles derivados del hidrógeno, fue muy reducida en 2021, alcanzando aproximadamente 40 kilotoneladas (kt) de H<sub>2</sub>, lo que equivale a alrededor del 0,04% de la demanda mundial de hidrógeno. Sin embargo, hubo un aumento significativo en el transporte por carretera, con un incremento del 60%, aunque partiendo de una base muy baja. Este aumento refleja la aceleración de los vehículos eléctricos de celda de combustible (FCEV), especialmente en camiones pesados en China. China se posiciona como el mayor consumidor mundial, con 28 Mt H<sub>2</sub>, un 5% más que en 2020. Estados Unidos ocupa el segundo lugar y Oriente Medio el tercero en consumo, con alrededor de 12 Mt H<sub>2</sub> cada uno, experimentando un aumento del 8% y 11%, respectivamente, en comparación con 2020. Europa es el cuarto consumidor, con una demanda de más de 8 Mt H<sub>2</sub> en 2021, prácticamente el mismo nivel que en 2020. India con una demanda de 8 Mt H<sub>2</sub>, un 7% superior a la del año anterior, ya que la recuperación económica aumentó en el refinado.

El Escenario de Políticas Establecidas (STEPS) de la AIE refleja la política basada en una evaluación sectorial de las políticas en vigor y las anunciadas por los gobiernos de todo el mundo. Las perspectivas del escenario STEPS sugieren que la demanda de hidrógeno podría alcanzar los 115 Mt en 2030. La mayor parte de este crecimiento correspondería a las aplicaciones tradicionales, con una pequeña demanda (menos de 2 Mt) de nuevas aplicaciones. (menos de 2

Mt) para nuevos usos o la sustitución del hidrógeno de origen fósil en usos tradicionales. Esto tendría un beneficio para alcanzar los compromisos climáticos.

El escenario de compromisos anunciados (APS) de la AIE parte del supuesto de que todos los compromisos climáticos asumidos por gobiernos de todo el mundo, incluyendo las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional y los objetivos netos cero a largo plazo, serán cumplidos en su totalidad y dentro de los plazos establecidos.

Las perspectivas de demanda de hidrógeno en el APS son de 130 Mt para 2030, de los que aproximadamente el 25 % se destinaría a nuevas aplicaciones y al uso de hidrógeno de bajas emisiones en aplicaciones tradicionales. Esto se necesitaría para estimular la demanda de hidrógeno con medidas políticas ambiciosas y concretas.

La siguiente imagen examina la situación de la demanda de hidrógeno en los sectores del refinado, la industria, el transporte, los edificios y las perspectivas de la demanda de hidrógeno hasta 2030 a nivel mundial. (GHR,2023).

### ***9.3.2 Situación actual de la producción de hidrógeno***

Toda la demanda de hidrógeno se cubre a través de la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles. En 2021, la producción mundial alcanzó los 94 millones de toneladas de hidrógeno (Mt H<sub>2</sub>), con emisiones asociadas de más de 900 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. El gas natural sin captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) es la principal fuente y representó el 62% de la producción de hidrógeno en 2021.

El hidrógeno también se produce como subproducto del reformado de nafta en las refinerías (18%) y luego se utiliza en otros procesos de refinería, como el hidrocrqueo y la desulfuración. La producción de hidrógeno a partir del carbón representó el 19% del total en 2021, principalmente

en China. Además, se emplearon cantidades limitadas de petróleo (menos del 1%) para producir hidrógeno.

La producción de hidrógeno con bajas emisiones fue inferior a 1 Mt (0,7%) en 2021, siendo casi toda generada a partir de combustibles fósiles con CCUS, con solo 35 kt H<sub>2</sub> producidas a través de la electrólisis del agua. Aunque la cantidad de hidrógeno producido mediante electrólisis del agua es muy pequeña, aumentó casi un 20% en comparación con 2020, lo que refleja el creciente despliegue de electrolizadores de agua.

La producción mundial de hidrógeno alcanzó casi 95 Mt en 2022, lo que supone un aumento del 3% respecto a 2021; Al igual que en 2021, la producción estuvo dominada por el uso ininterrumpido de combustibles fósiles.

El gas natural sin captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) representó el 62% de la producción mundial, mientras que el carbón no estabilizado, localizado principalmente en China, fue responsable del 21% de la producción mundial.

El hidrógeno, como Subproducto que se produce en las refinerías y en la industria petroquímica durante el reformado de la nafta, y a menudo se utiliza como subproducto en la industria petroquímica.

En las refinerías y en la industria petroquímica durante el reformado de la nafta.

(hidrocraqueo, desulfuración, etc.), representó el 16% de la producción mundial. (GHR,2023).

### ***9.3.3 Perspectivas de la producción de hidrógeno con bajas emisiones hasta 2030***

La cartera de proyectos de producción de hidrógeno de la AIE indica que el número de proyectos anunciados para producir hidrógeno con bajas emisiones está aumentando a un ritmo impresionante. Si todos los proyectos anunciados de hidrógeno obtenido por electrólisis del agua o de combustibles fósiles con CCUS actualmente en desarrollo, la producción anual de hidrógeno

con bajas emisiones podría alcanzar más de 24 Mt de H<sub>2</sub> en 2030. El estado actual de estos proyectos varía; algunos se encuentran en fases de planificación (68% en términos de nivel de producción), incluidos proyectos en construcción o para los que se ha realizado una FID (4%), y algunos se encuentran en fases muy tempranas (32%).

En el caso de los proyectos de electrolizadores, el porcentaje de los que se encuentran en una fase muy temprana es algo mayor (37%). En proyectos de electrolizadores se anunciaron en 2021, pero su desarrollo, pero su desarrollo requerirá tiempo y es posible que algunos nunca lleguen a realizarse.

En Australia Meridional se anunció un proyecto de electrolizadores con 6 gigavatios (GW) de suministro de electricidad renovable. se canceló en 2022 por problemas de abastecimiento de agua. No obstante, el número de proyectos previstos que llegan a las fases avanzadas de planificación debería aumentar en los años venideros. La producción prevista de los proyectos planificados de más de 24 Mt de H<sub>2</sub> en 2030 supone una gran diferencia con la producción prevista de 34 Mt de H<sub>2</sub> en la EPA, en gran parte para la producción de hidrógeno. Hidrogeno de bajas emisiones, 2020 y 2030 (GHR,2023).

#### ***9.3.4 Enfoques gubernamentales actuales***

Los gobiernos interesados en desarrollar las exportaciones o importaciones de hidrógeno se alinean estrechamente con los proyectos comerciales anunciados para el clima, muchos países importadores están desarrollando garantizar que las importaciones de hidrógeno sean bajas en emisiones. En consonancia con las preocupaciones por la seguridad energética, los importadores aspiran en gran medida a obtener un suministro diversificado de hidrógeno de bajas emisiones procedente de diversas fuentes para proteger el medio ambiente y para protegerse de posibles crisis de suministro en determinadas zonas.

Muchos gobiernos tienen previsto fomentar el comercio de hidrógeno dentro de sus actuales estructuras y los marcos de liberalización de los mercados energéticos. empresas privadas que desarrollen proyectos de exportación o importación En algunos países como Uruguay, el gobierno está adoptando un papel más activo, convocando licitaciones para los primeros proyectos de comercio de hidrógeno, mientras que los proyectos iniciados por el sector privado avanzan en paralelo.

Al elaborar los marcos para fomentar los proyectos comerciales, los gobiernos buscan dar seguridad a los promotores e inversores, establecer normativas para alinear el mercado con las prioridades nacionales y políticas para acelerar el mercado. Muchos gobiernos han fijado objetivos de exportación o importación de hidrógeno en las próximas décadas, casi todos del orden de millones de toneladas de hidrógeno al año.

REPowerEU y los actos delegados de la Unión Europea: La Comisión Europea publicó el REPowerEU en marzo de 2022, tras la invasión rusa de Ucrania. Se trata de un plan político para reducir significativamente el consumo de combustibles fósiles en la Unión Europea, disminuir la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles de Rusia y acelerar el Pacto Verde de la UE. Junto con disposiciones sobre eficiencia energética y el aumento de otras fuentes de energía no fósiles, el plan tiene como objetivo alcanzar una producción de 10 Mt/año de hidrógeno renovable en la Unión Europea y otros 10 Mt/año que sean importados para el año 2030.

El hidrógeno renovable se define como hidrógeno electrolítico producido a partir de electricidad procedente de fuentes renovables. La Comisión Europea estableció un objetivo indicativo de importación de hidrógeno. Paralelamente al Plan REPowerEU en 2022, la Comisión Europea publicó dos proyectos de actos delegados que proponen un proceso y método de producción (PMP) para que el hidrógeno o sus derivados se contabilicen en los objetivos.

De los Estados miembros establecidos en la Directiva sobre energías renovables (RED II). Entre otros requisitos detallados, los proyectos incluyen un umbral de emisiones de 3,38 kilogramos equivalentes de dióxido de carbono por kilogramo de hidrógeno (kg CO<sub>2</sub>-eq/kg H<sub>2</sub>), que es un 70% inferior a la del comparador de combustibles fósiles predefinido, incluyendo transporte y otras emisiones no relacionadas con la producción. Los proyectos de ley también requieren que la producción de hidrógeno electrolítico utilice electricidad procedente de instalaciones de energía renovable construidas no más de 36 meses para garantizar que el uso de electricidad renovable del hidrógeno se sume a la generación existente.

La versión adoptada de estas normas será fundamental para los exportadores de hidrógeno y determinará las configuraciones de producción y el volumen de exportaciones que podrán vender a la Unión Europea.

### ***9.3.5 Agenda para la cooperación internacional***

El comercio del hidrógeno y sus derivados requerirá tecnologías configuraciones industriales y escalas de proyecto que no existen hoy en día. Varios retos centrales están claros. Entre ellos, los siguientes para la acción gubernamental y la cooperación internacional. Normas, reglamentos y certificaciones. Los gobiernos y los participantes en el mercado deben poder discernir entre hidrógeno de diferentes intensidades de emisiones u otras PPM para que el comercio de hidrógeno contribuya a la seguridad energética y a la transición hacia una energía limpia.

Los organismos pertinentes están empezando a desarrollar normas, reglamentos y certificaciones para ello, pero aún no existen normas formales. El establecimiento de tales instrumentos implica varios pasos, podría años y requiere la participación activa de los gobiernos. La claridad sobre la perspectiva de las normas de PMP será importante para que las partes interesadas puedan planificar y tomar decisiones a largo plazo.

Además de las normas de PMP, otras normativas determinarán el desarrollo de los mercados y la infraestructura del comercio de hidrógeno. Esta infraestructura, las tarifas, la planificación de sistemas, los de hidrógeno, entre otros. Un marco normativo bien diseñado puede ayudar a superar muchos de los principales retos.

## **10. Análisis del proyecto**

El análisis de un proyecto es un proceso muy estructurado que se utiliza para evaluar la viabilidad de un proyecto, con el objetivo de tomar decisiones informadas y asegurar el éxito del proyecto. El análisis de un proyecto implica la evaluación de diferentes aspectos del proyecto, en este caso la ubicación, la dimensión de la planta, la dimensión del reactor, equipos entre otros aspectos para analizar la viabilidad económica de la planta.

### **10.1 Identificación de ubicación**

Para la ubicación de esta planta de hidrogeno verde es necesario tener un lugar con ciertas características especiales para tener cercanía a la materia prima, lugar de distribución y optimización de energía solar; para poder así obtener la máxima capacidad de funcionamiento de la planta; Para esto se tendrán en cuenta aspectos como la irradiación solar, para la generación de hidrogeno verde es necesario que la energía que se utilice sea de origen verde, es decir, fuentes de energías renovables; para este proyecto se usaran paneles solares los cuales requieren buena y constante irradiación de luz solar Suministro de materia prima; el reactor necesita agua, preferiblemente con contenido de sales, lo cual hace un buen candidato de suministro de materia prima al mar ya que el agua de mar contiene 36 gramos de sal por litro. Otro aspecto importante es estar cerca al consumidor de hidrogeno verde , este puede usarse como materia prima en las refinerías de Colombia (refinería de Barrancabermeja, Cartagena, Floreña, Orito) al igual que en la industria química con la síntesis de amoniaco y metanol; para el sector transporte se espera el uso de hidrogeno verde en pilas de combustible y combustibles derivados del hidrogeno; en el sector energético puede ser usado para la generación de calor industrial o residencia, al igual que la generación de electricidad.

### ***10.1.1 Ubicación***

En el extenso territorio de Colombia, el mapa de radiación solar presenta una gran distribución geográfica que afecta en amplias áreas el clima y las condiciones del medio ambiente. El mapa refleja la intensidad de la radiación solar en watts por metro cuadrado medido, donde quede también registrado que existen notables diferencias de una región a otra.

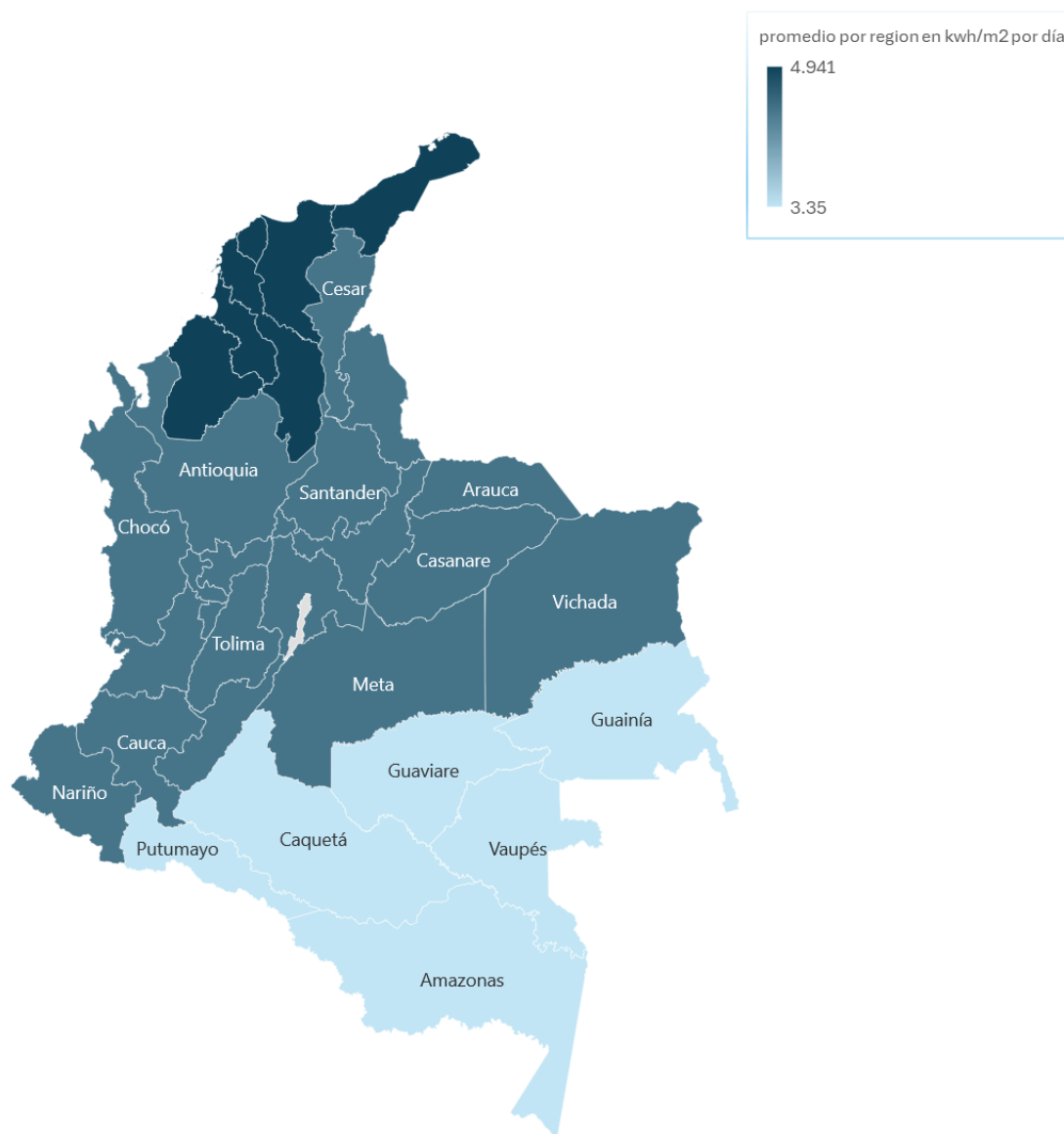
En el noroeste, las ciudades costeras de Cartagena y Barranquilla se destacan como áreas de alta radiación solar. Sus ubicaciones estratégicas en la región caribeña colombiana las exponen a largas horas de sol durante todo el año. Los cielos despejados y la proximidad al ecuador contribuyen a una intensa radiación solar que caracteriza el clima cálido y tropical de estas ciudades. La radiación solar en Cartagena y Barranquilla influyen en las actividades al aire libre, el turismo y la agricultura.

Riohacha, situada en la península de La Guajira en la región norte, también está sujeta a importantes cantidades de radiación solar. Producto: El clima seco y semiseco de la región, junto con la falta de nubosidad durante la mayor parte del año, da como resultado una exposición significativa al sol. Riohacha experimenta frecuentes días calurosos y soleados, los cuales están influenciados por el alto nivel de radiación solar que crea un clima seco y cálido en esta región; algunas partes de Colombia, como la montaña y la selva, tienen menos sol que otras, debido a la forma del terreno y las nubes. A pesar de recibir una importante radiación solar, no alcanzan los mismos niveles que las ciudades costeras del norte.

Por lo anterior se puede deducir que el mapa de radiación solar de Colombia muestra que las ciudades de Cartagena, Barranquilla y Riohacha tienen la radiación solar más intensa. Las islas caribeñas del sur del país tienen un clima cálido y soleado porque están de cara al sol y cerca del ecuador.

**Figura 8**

*Promedio anual de radiación recibida durante el día (kwh/m2 por día) para los departamentos del país*



*nota:* Datos tomados y adaptados del IDEAM.

### 10.1.2 Cercanía al mar

Para reducir costos en transporte es ideal tener cercanía a un gran cuerpo de agua preferiblemente salada, los lugares prospecto son zonas costeras por lo tanto cumplen a cabalidad este criterio de decisión; A continuación, se presenta una matriz de decisión la cual refleja los criterios para la elección del sitio más adecuado para la planta de hidrogeno.

**Tabla 3**

*matriz de decisión de zona*

Posible ubicación	Radiación solar	Suministro de materia prima	Consumidor de hidrogeno	Puntuación
peso	3	4	3	10
Cartagena	9	10	6	85
	$3*9=27$	$4*10=40$	$3*6=18$	$27+40+18$
Barranquilla	7	8	6	71
	$3*7=21$	$4*8=32$	$3*6=18$	$21+32+18$
Riohacha	8	5	7	65
	$3*8=24$	$4*5=20$	$3*7=21$	$24+20+21$

En este ámbito la selección de la ubicación correcta es una importante decisión que puede influir significativamente en la viabilidad y éxito a corto medio y largo plazo para la planta. Para abordar esto, se implementó la anterior matriz de decisión, la cual es una herramienta que evalúa múltiples criterios ponderados para hallar la mejor decisión entre múltiples alternativas.

Tras el análisis realizado, se llegaron a varias conclusiones basadas en los resultados de la matriz de decisión, se identificó que la ubicación de Cartagena ofrecía la combinación más adecuada de accesibilidad de materia prima, radiación solar y consumo de hidrogeno, minimizando costos y mejorando la capacidad de respuesta frente a la demanda del mercado.

En última instancia, la matriz permitió una evaluación integral de las ubicaciones potenciales, considerando factores importantes como la radiación solar en la zona, suministro de materia prima para la planta y consumidor de hidrogeno el cual será la refinería de Cartagena y otras entidades. basándose en estos resultados se recomendó la ubicación en Cartagena, ofreciendo un correcto equilibrio entre los aspectos que fueron evaluados y ayudando a la mejor oportunidad para el éxito del proyecto.

Ya teniendo claro que la ubicación en Cartagena es la más adecuada continuaremos con los aspectos más importantes para el desarrollo correcto de la planta de hidrogeno, como son las dimensiones de los reactores, la dimensión de la planta y la dimensión total de las instalaciones para así, poder realizar una estimación del terreno a utilizar y muchos aspectos más de los cuales se hablara más adelante.

## **10.2 Dimensión de la planta**

El dimensionamiento de una planta de hidrogeno verde es un proceso bastante complejo ya que implica determinar el tamaño y la capacidad adecuada para cubrir las necesidades de la producción de manera eficiente y rentable. Para este proceso se requieren muchos aspectos claves como la dimensión y cantidad de reactores a utilizar, dimensión de la planta fotovoltaica para la generación de energía, plan del proyecto, dimensión y cantidad de equipos como tanques de almacenamiento, compresores, entre otros.

## **10.3 Dimensionamiento del reactor**

teniendo en cuenta que la planta genera hidrogeno por medio de reactores se debe tener una estimación del espacio a ocupar y la cantidad a utilizar, la dimensión de los reactores es un aspecto fundamental en el diseño y funcionamiento de la planta, la dimensión tiene en cuenta tanto su tamaño físico y ubicación en el espacio como la capacidad de producción de hidrogeno,

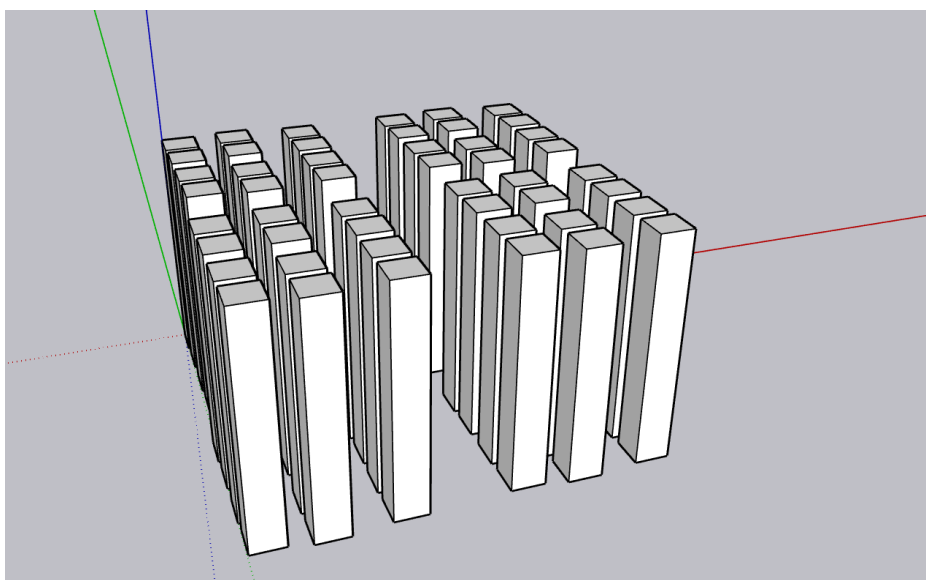
maximizando la producción que se desea. la optimización del espacio que ocuparan los reactores requiere de un equilibrio en diversos factores, como la cantidad de agua a utilizar, el número de placas necesarias, electricidad a utilizar, entre otros. por lo tanto, tener la medida y número de reactores adecuados es importante para garantizar una buena producción y óptimo rendimiento en la generación de hidrógeno.

Para el dimensionamiento del reactor es importante saber que pueden variar las dimensiones dependiendo de la cantidad de hidrógeno a producir, para facilitar de este proyecto se planteó una dimensión base de 1 m<sup>2</sup> x 6 m de alto cada reactor y cada reactor produce 16.5kg/día además de gastar 18 litros de agua por kg de hidrógeno.

En las Figura 9 y la **Figura 10** se muestra un esquema superficial de las dimensiones del reactor hechos en la herramienta ketchup con el fin de tener una percepción más real del reactor y sus dimensiones.

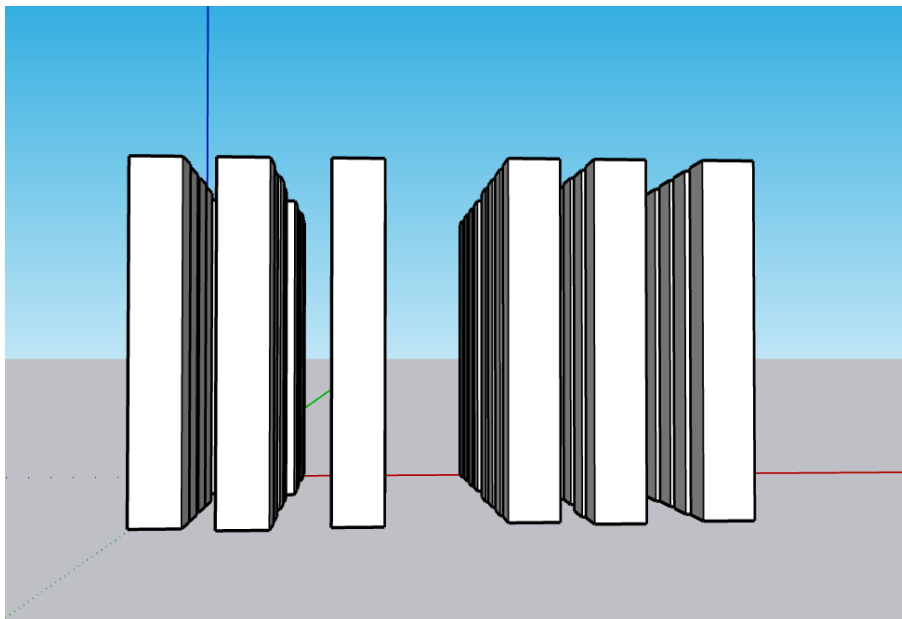
### **Figura 9**

*Esquema general de los reactores*



**Figura 10**

*Esquema general de reactores (otro Angulo)*



#### **10.4 Aspectos a tener en cuenta como volumen a producir**

Para la generación de hidrogeno verde es importante conocer la cantidad de hidrogeno que se debe producir para cubrir la demanda , con esta referencia se puede dimensionar el tamaño del reactor junto con sus componentes , para este valor se planteó como base la cantidad de hidrogeno gris que produce la refinería de Barrancabermeja , la cual es 96692 kg de hidrogeno al día, se aproxima a 100000 kg de hidrogeno al día con el fin de que la energía restante se use para auto generación , por lo que la cantidad de kilos de hidrogeno para auto generación son 3308 como se ve en la ecuación.

#### **Ecuación 4**

*Cantidad de kilos de hidrogeno para auto generación*

$$100000 - 96692 = 3308 \frac{kg}{dia} autogeneracion$$

#### **10.5 Cálculo de electricidad necesaria**

La importancia de calcular la electricidad que consumen los reactores es fundamentan en muchos aspectos. Como primer lugar, la medición de la cantidad de electricidad ayuda a la eficiencia de los recursos energéticos a utilizar, lo que trae un uso más sostenible y responsable de la electricidad. Esto, en un contexto medio ambiental es especialmente relevante al igual que reducir la huella de carbono teniendo en cuenta que la energía que se proporcionará es energía fotovoltaica, es decir, provenientes de paneles solares.

Además, conocer el consumo eléctrico es indispensable para planificar de manera correcta el suministro de energía. esto implica impedir sobre descargas en el sistema eléctrico que podrían llevar a cortes de energía e incluso daño en los reactores y equipos de la planta. asimismo, calcular esta energía consumida permite estimar costos operativos, lo que ayuda a la gestión presupuestaria de buena toma de decisiones financieras.

También, otro aspecto destacado es la seguridad. Al saber el consumo eléctrico de todos los reactores se puede determinar si su operación está dentro de los limites seguras para la infraestructura de la planta y normas asociadas a este, lo que ayuda a evitar sobrecalentamientos, cortos circuitos o incluso incendios, los cuales podrían poner en peligro la integridad física de los trabajadores y los equipos de la planta.

Teniendo claro esto, se hizo el cálculo en la ecuación de la electricidad necesaria para generar 100000 kg de hidrogeno por día, dado en unidades de kilovatios hora

**Ecuación 5***Cálculo de la electricidad necesaria*

$$\text{Electricidad} \left( \frac{\text{kwh}}{\text{dia}} \right) = \frac{100000\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{1.45\text{kwh}}{\text{kg}} = 145454.54 \frac{\text{kwh}}{\text{dia}}$$

Para la producción estimada de hidrogeno se requieren 145454.54 kwh por día los cuales serán proporcionados una parte por energía fotovoltaica otra parte por una red eléctrica que se garantice que sea de una fuente renovable y por autogeneración, en la siguiente ecuación se muestra cuanta energía se generará por autogeneración.

**Ecuación 6***Energía para autogeneración*

$$\text{Electricidad} \left( \frac{\text{kwh}}{\text{dia}} \right) = \frac{3308\text{kg}}{\text{dia}} * \frac{33.33\text{kwh}}{\text{kg}} = 110255.64 \frac{\text{kwh}}{\text{dia}}$$

Se le resta a la energía total la energía generada por 3308kg de hidrogeno.

**Ecuación 7***Energía de origen fotovoltaica*

$$145454.54 - 110255.64 = 35198.9 \frac{\text{kwh}}{\text{dia}}$$

35198.9 es el total de energía que se requiere de origen fotovoltaica y una red eléctrica que se garantice que sea de una fuente renovable.

**10.6 Cálculo de agua**

Calcular la cantidad de agua necesaria para un reactor que genera hidrogeno es importante, el agua es un recurso fundamental y de numerosos procesos en la mayoría de las industrias. Por lo

tanto, calcular y comprender adecuadamente la cantidad de agua requerida es indispensable por varias razones.

En primer lugar, la cantidad de agua para generar hidrógeno es una medida exacta, por lo tanto, la cantidad de agua a utilizar debe ser exacta ya que si se usa una menor cantidad la producción será menor a la esperada la cual aumenta los costos de producción y la gestión adecuada de los recursos, por lo tanto, calcular el agua necesaria para los reactores garantiza fiabilidad en la producción.

Además, gestionar adecuadamente el recurso hídrico contribuye a la sostenibilidad ambiental y el ahorro de recursos. El agua es un recurso limitado y preciado por lo que calcular el uso de agua adecuado evita desperdicios, además el agua es un recurso que conlleva gastos, ya sea por su adquisición, tratamiento o disposición y hacer buen uso de esta evita gastos extras en la operación; El reactor requiere 18L de agua sin tratar para producir 1kg de hidrogeno.

### **Ecuación 8**

*Cantidad de agua necesaria al día*

$$\text{cantidad de agua al dia} \left( \frac{L}{\text{dia}} \right) = \frac{18L}{kg} * \frac{100000kg}{\text{dia}} = 1800000 \frac{L H_2O}{\text{dia}}$$

En la ecuación anterior se puede observar que la cantidad de agua necesaria al día son 1800000 litros de agua al día para producir la cantidad de hidrogeno deseada; Se debe tener en cuenta que esta agua será almacenada por lo que es necesario que en el proyecto se incluyan tanques de almacenamiento de agua.

### 10.7 Cálculo de cantidad de reactores a utilizar

Es de gran importancia conocer cuántos reactores se usarán en la planta ya que de esto depende la producción y la cantidad de ingresos a obtener, por lo que se supuso que se producirán 100000kg de hidrogeno por día, para tener conocimiento de la cantidad de reactores que se necesitan para generar esta cantidad de hidrogeno por día a continuación se realizara el cálculo. Teniendo en cuenta que 1 reactor produce 16.5 kg de hidrogeno al día.

#### Ecuación 9

*Cantidad de reactores*

$$\text{cantidad de reactores} = \frac{1 \text{ reactores}}{16.5 \text{ kg}} * \frac{100000 \text{kg}}{\text{dia}} = 6060.6 \sim 6061 \text{ reactores}$$

### 10.8 Dimensionamiento de la planta fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, también conocida como energía fotovoltaica, es una forma de energía renovable la cual usa células fotovoltaicas para convertir los rayos de luz solar directamente en electricidad. este proceso se fundamenta en el efecto fotovoltaico, descubierto por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Desde ese momento esta tecnología ha experimentado distintos avances importantes, convirtiéndose una energía cada vez más significativa en el planeta.

Las células de las cuales se compone los paneles solares están hechas principal, ente de silicio, este material se considera un material semiconductor por el que se puede absorber luz solar y liberar electrones y así generando una corriente eléctrica, estas células son agrupadas en los paneles solares y estos a su vez se pueden combinar y hacer sistemas más grandes para satisfacer las necesidades eléctricas de la industria o los hogares dependiendo de la necesidad.

La energía fotovoltaica tiene varias ventajas, una de estas es su abundancia y disponibilidad en el mundo, además de su sostenibilidad ambiental y el bajo costo del mantenimiento, pero a su vez tiene ciertas desventajas como la dependencia de la luz solar ya que, por ahora, si los paneles solares no reciben luz solar directa no generan electricidad, otra de sus desventajas es el costo inicial de instalación. Aunque en los últimos usos ha disminuido el costo sigue siendo relativamente costosa frente a otras formas de generar energía.

### ***10.8.1 Cálculo de energía fotovoltaica***

Para calcular la energía fotovoltaica necesaria para la planta se usó la herramienta “PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System” PVGIS, es un software oficial de la Unión Europea, este es utilizado para realizar estudios del recurso solar y el potencial fotovoltaicos, además de realizar cálculos sobre la producción de energía fotovoltaica en el mundo.

En el software se definen algunas variables iniciales, con las que se logran obtener resultados como la producción mensual y anual de energía fotovoltaica para poder tomar decisiones sobre si es factible colocar la planta en la zona geográfica escogida anteriormente.

En este ítem se espera, con ayuda de PVGIS conocer la potencia fotovoltaica en kW, que se requieren instalar para cubrir con la demanda energética de la planta. Estos datos, es un dato inicial para introducir del PVGIS “Installed peak PV power (kWp)”, por lo que se probaron distintos valores hasta que cumpla la electricidad necesaria anual y mensual.

Después de realizar esto se debe convertir ese valor a un valor por día o año y lograr así determinar el número de paneles necesarios, adicionalmente para maximizar la eficiencia del

reactor es importante que funcione todo el día todos los días, por lo tanto, se considera tener una fuente de energía eléctrica la cual provenga de energías renovables y sea garantizada.

**Tabla 4**

*Energía en Kwh necesaria por fuentes renovables*

Cálculo de electricidad	kwh
Electricidad necesaria por día	35198.9
Electricidad necesaria por mes	1070046.5
Electricidad necesaria por año	12840558.7

Teniendo en cuenta las horas de luz solar en el día (aproximadamente 12 horas) se propone que la planta fotovoltaica provea el 50% de la energía y la red eléctrica provea el otro 50% de la energía para garantizar el funcionamiento continuo de la planta, como se representa en la ecuación Electricidad de origen fotovoltaica a usar.

**Ecuación 10**

*Electricidad necesaria de origen fotovoltaica*

$$Electricidad\ necesaria\ de\ origen\ fotovoltaica = \frac{12840558.7kwh}{año} * 50\% = 6420279.3\ kwh$$

Por lo que la energía fotovoltaica que se necesitara es:6420279.3 Kwh

**Tabla 5***Energía en kwh necesaria por fuentes fotovoltaicas*

Cálculo de electricidad	kwh
Electricidad necesaria por día	17533.4
Electricidad necesaria por mes	535023.2
Electricidad necesaria por año	6420279

Posteriormente se tiene que la cantidad de energía de origen fotovoltaico por año es :26530909kwh

Software PVGIS Photovoltaic Geographical Information System

En la Figura 11 se ve la entrada de datos al software. La entrada de datos al software PVGIS es importante para obtener resultados precisos y útiles en la evaluación del potencial solar y la generación de energía fotovoltaica. PVGIS es un servicio en línea proporcionado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, ofrece herramientas avanzadas para calcular la radiación solar y estimar la producción de energía solar fotovoltaica en diferentes ubicaciones del mundo. El proceso de entrada de datos se divide en:

**Selección de ubicación:** El primer paso consiste en elegir la ubicación para la cual se desea realizar la evaluación. Esto puede hacerse de manera manual, ingresando las coordenadas geográficas o el nombre de la ciudad, o utilizando la función de búsqueda dentro del software PVGIS.

**Parámetros de sistema fotovoltaico:** A continuación, se introducen los parámetros específicos del sistema fotovoltaico a evaluar. Esto incluye detalles como la potencia nominal del sistema (en kWp), el tipo de módulos fotovoltaicos, la inclinación y orientación del panel solar, así como la eficiencia del inversor, algunos de estos datos se pueden dejar sin valor y que el software escoja la mejor opción.

Análisis y visualización de resultados: como se ve en la Figura 12 una vez que se han ingresado todos los datos necesarios, el software PVGIS realiza los cálculos pertinentes y genera resultados detallados sobre la radiación solar incidente, la producción de energía fotovoltaica esperada y otros parámetros relevantes. Estos resultados pueden ser visualizados en forma de gráficos, tablas y mapas interactivos, que permiten al usuario comprender mejor el potencial solar de la ubicación seleccionada.

**Figura 11**

*Entrada de datos al software PVGIS*

The screenshot displays the PVGIS web interface. On the left, a map shows the city of Cartagena with a red location pin. The map includes a scale bar for 1000 meters and a search bar with the text "DIRECCIÓN: Por ejemplo, Ispra, Italia". Below the map, there are input fields for "Latitud/longitud" (Latitude/longitude) with values "45.8" and "8.6".

On the right, the configuration panel is titled "RENDIMIENTO DE LA FV CONECTADA A LA RED". It includes the following settings:

- Elevación (m): 94
- PVGIS versión: 5.2
- Subir archivo de horizonte: [Empty field]
- CONECTADO A LA RED: [Checked]
- Base de datos de radiación solar: PVGIS-NSRDB
- Tecnología fotovoltaica: Silicio cristalino
- Potencia fotovoltaica máxima instalada [kWp]: 5000
- Pérdida del sistema [%]: [Empty field]
- Opciones de montaje fijo:
  - Posición de montaje: De pie
  - Pendiente [°]: 35
  - Azimut [°]: [Empty field]
  - Optimizar pendiente
  - Optimizar pendiente y azimut
- Precio de la electricidad fotovoltaica:
  - Costo del sistema fotovoltaico (su moneda): [Empty field]
  - Interés [%/año]: [Empty field]

At the bottom of the panel, there are buttons for "Visualizar resultados", "csv", and "json".

Posteriormente, se da clic en la opción “visualizar resultados “

## Figura 12

### Visualización de datos software PVGIS



Por lo tanto, según el software PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System se necesitan instalar 5000kwp de potencia

Para practicidad del proyecto se realizará una matriz de decisión para escoger el estilo de panel más adecuado, los principales tipos de paneles solares son como primer lugar los paneles monocristalinos, estos constan de células las cuales son formadas por un solo cristal de silicio, esto garantiza su alta pureza y su mayor eficiencia. Un segundo tipo de paneles solares son los policristalinos estos paneles están formado por muchos cristales de silicio y no tiene tanta pureza como el monocristalino, la eficiencia es menor pero su precio es más económico; los aspectos a tener en cuenta para la matriz de decisión son resistencia a la temperatura, eficiencia, costo y espacio para instalación.

La resistencia a la temperatura se requiere ya que los paneles solares son buenos absorbiendo la luz solar, pero una de sus debilidades es la temperatura, entre mayor sea la temperatura de la zona

menor será la eficiencia, en este caso los paneles policristalinos son mejores resistiendo la temperatura que los paneles monocristalinos. la eficiencia, los paneles al tener un cristal de silicio hace que su eficiencia sea mayor a diferencia del policristalino. El costo en los paneles policristalinos tiende a ser más económico, gracias a su calidad de silicio que es menor que la de un panel monocristalino. Espacio de instalación, este es un factor importante ya que dependiendo de la cantidad de espacio que se tenga se puede elegir cuál de los dos paneles es el más adecuado. Con todos los aspectos anteriores se desarrolló la matriz de decisión, esta reflejará un puntaje el cual será tomado en cuenta para la selección del panel solar adecuado a las necesidades del proyecto.

**Tabla 6**

*Matriz de decisión de paneles solares*

Panel	Resistencia a la temperatura	Eficiencia	Costo	Espacio	Total
puntuación	3	2	3	2	10
Monocristalino	7	9	5	10	74
	7*3	9*2	5*3	10*2	21+18+15+20
Policristalino	9	7	9	9	77
	9*3	7*2	9*3	9*2	18+14+27+18

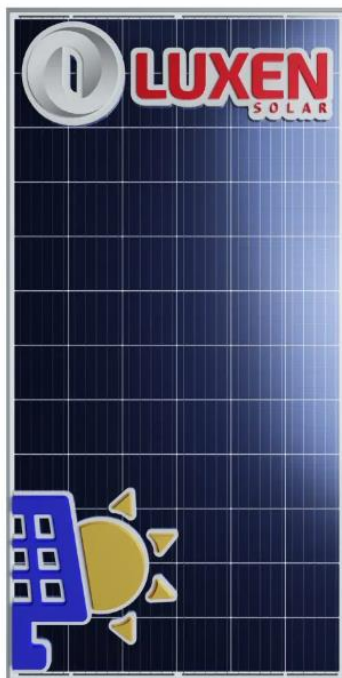
Para definir que panel solar se usara en el proyecto, la matriz de decisión expone que el mejor candidato son los paneles solares policristalinos porque, aunque su eficiencia sea menor y ocupe gran espacio, es más resistente a la temperatura, el lugar donde se situara la planta es una zona con altas temperaturas además esta decisión se dio también, por su precio que es más asequible en relación con los paneles monocristalino. Las características del panel escogido son:

**Tabla 7***Especificaciones de panel escogido*

Especificación	Valor
Largo	195.6 cm
Ancho	99,2 cm
Grosor	3,5 cm
peso	21 kg
Potencia máxima (Pmax)	330 Wp
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8.83 A
Eficiencia	17.01%
Tipo de células	Policristalino
Rango de temperatura	-40 a 85 C

En la Figura 13 se puede observar el panel solar del cual se habla en las especificaciones

**Figura 13***Panel solar*



Teniendo en cuenta la potencia máxima de cada panel y la potencia máxima a utilizar en la planta para proporcionar energía a los reactores se requieren 15152 paneles solares instalados.

### **10.9 Dimensión de almacenamiento de hidrogeno**

En una época donde se realiza activamente una coexistencia energética buscando una economía más verde y sostenible, el almacenamiento en tanques de hidrogeno es una parte esencial del proceso y un gran desafío para este recurso energético. Los tanques de almacenamiento de hidrogeno permiten un almacenamiento seguro para después ser distribuido. Desde fomentar el transporte libre de emisiones hasta apoyar la unión de las energías renovables a la red eléctrica, el almacenamiento es un aspecto indispensable para el avance del hidrogeno verde como energía renovable, teniendo claro esto, en este ítem se habla sobre el cálculo de los tanques que se utilizaran en el proyecto junto con sus dimensiones.

### 10.9.1 Dimensión del almacenamiento a alta presión

Para la dimensión de almacenamiento se plantea la utilización de tanques con un volumen de hidrogeno de 14400 litros que permitirían almacenar 1kg de hidrógeno verde a 700 bares. El tanque consta de 20 a 20000 litros de hidrogeno lo cual equivale a 20 metros cúbicos y este valor se multiplica por la densidad del hidrogeno a temperaturas criogénicas, en la siguiente ecuación se calcula la cantidad de hidrogeno en kilogramos que puede almacenar un tanque.

#### Ecuación 11

*Kg de hidrogeno por tanque*

$$20m^3 * 70 \frac{kg}{m^3} = 1400kg \text{ de } H_2 \text{ por tanque}$$

Ahora se requieren saber cuántos tanques se necesitan para almacenar 100000 kg de hidrogeno al día.

#### Ecuación 12

*Cantidad de tanques necesarios*

$$\frac{100000 \text{ kg}}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ tanque}}{1400kg} = 71.4 \sim 72 \text{ tanques}$$

Se espera que la plata pueda almacenar el hidrogeno en tanques y tenga autonomía por 3 días, a continuación, se realizara el cálculo de los tanques necesarios para este caso.

### Ecuación 13

*Tanques necesarios totales*

$$\text{Numero de tanques} = \frac{100000 \text{ kg}}{\text{dia}} * 3 * \frac{1 \text{ tanque}}{1400\text{kg}} = 215 \text{ tanques}$$

La Figura 14 muestra un tanque de hidrógeno ubicado en un entorno industrial. El tanque, de forma cilíndrica, se destaca por su robustez y diseño aerodinámico. Su superficie metálica refléjala luz, lo que sugiere un acabado pulido y resistente.

El tanque de hidrógeno se encuentra posicionado en posición horizontal, Su tamaño puede variar dependiendo de la capacidad de almacenamiento requerida, pero en la imagen parece tener un tamaño considerable, indicando una capacidad significativa de almacenamiento de hidrógeno de 20 a 20000 litros de hidrogeno con una alta presión.

### Figura 14

*Tanques de almacenamiento de hidrogeno*



Dada a la cantidad de tanques necesarios, cabe la posibilidad de usar distintos tipos de almacenamiento como el almacenamiento a altas presiones, inyección de hidrogeno al subsuelo para almacenamiento entre otros

### **10.10 Dimensionamiento de las instalaciones**

En el campo de la ingeniería, cada detalle hace la diferencia. Todo surge desde el diseño preliminar pasando por la producción en masa, cada situación en la que se deba tomar una decisión influye en aspectos tan decisivos como lo es la eficiencia, la rentabilidad y, lo más importante, la seguridad de la planta y la integridad de los trabajadores de una planta, en este caso una planta de producción de hidrogeno. Entre todos los aspectos inherentes y determinantes de estas, se puede decir ninguna es tan necesario como dimensionar dicha planta.

El dimensionar de manera adecuada la planta de producción de hidrogeno es propiamente esa base indeleble del proyecto porque proporciona estabilidad y sostenimiento para todo lo que se construye sobre él. Así pues, se puede decir radica su importancia fundamental. Pero ¿qué implica en realidad dimensionar correctamente?

En primera instancia, se trata de buscar esa disposición logra optimizar el uso del espacio. Ahora para decir que una planta industrial es eficiente se debe aprovechar al máximo cada metro cuadrado que haya disponible; por lo que cada área de la planta debe estar cuidadosamente planificada para garantizar una circulación fluida de materiales y personal y que esto permita estar minimizando los tiempos de desperdicio y los famosos e importantes cuellos de botella. Todo debe empezar desde la disposición de las máquinas hasta la ubicación de las oficinas, cada elemento debe ser minuciosamente colocado para llegar a maximizar la productividad de la planta industrial.

Además, el dimensionamiento adecuado implica planificar en función de la capacidad de producción esperada. Es decir, una planta que es demasiado pequeña para satisfacer la demanda inevitablemente enfrentará retrasos, pérdida de clientes y oportunidades de negocio desperdiciadas. Por otro lado, una planta sobredimensionada puede generar costos de operación y mantenimiento innecesarios. El dimensionamiento inadecuado en ambos casos puede resultar en una pérdida significativa de recursos y competitividad.

Al dimensionar una planta, la seguridad también es algo muy importante. Ya que algo que siempre está presente es el riesgo de accidentes y lesiones en las que se puede aumentar en áreas congestionadas, pasillos estrechos o distribución inadecuada. Por lo tanto, es esencial que la planta se diseñe de manera que cumpla con todas las normas de seguridad y salud en el trabajo, así como que proporcione a los empleados un entorno de trabajo seguro.

Finalmente, el dimensionamiento adecuado de una planta afecta directamente su sostenibilidad a largo plazo. Una planta bien dimensionada puede reducir su huella ambiental, así como contribuir al desarrollo sostenible al optimizar los recursos y minimizar los recursos desperdiciados.

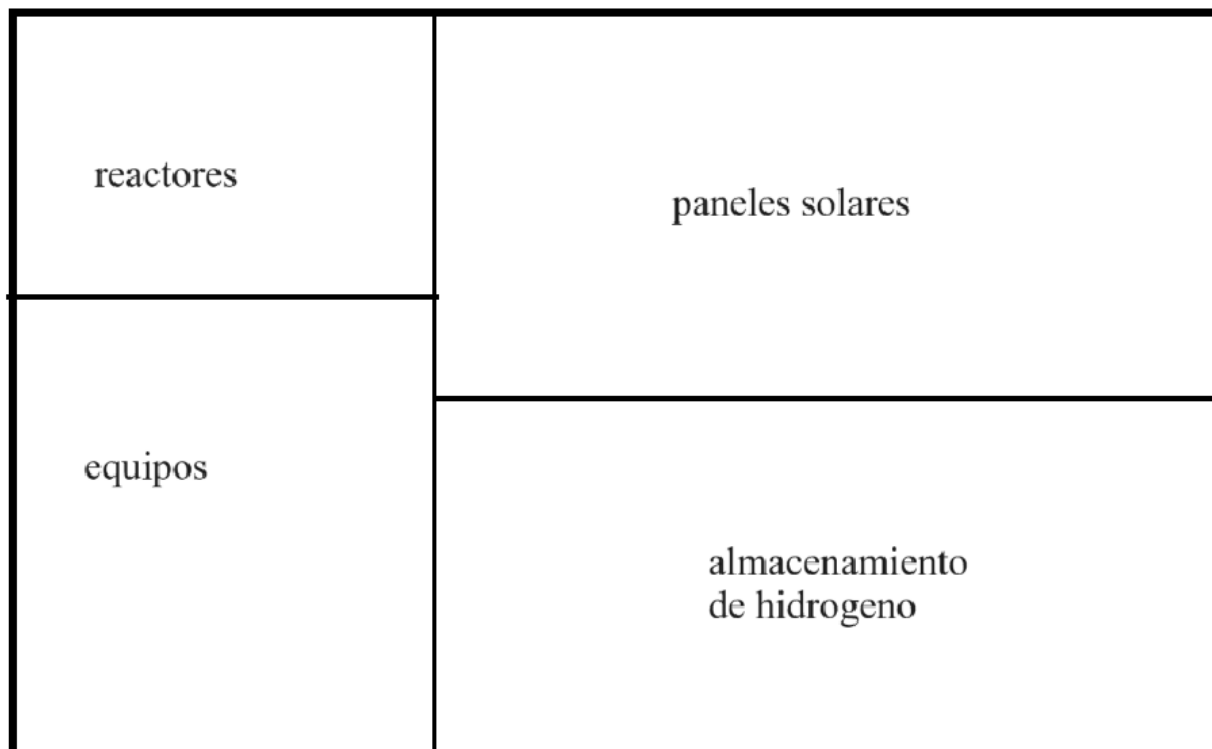
En conclusión, la importancia de dimensionar correctamente una planta no puede ser subestimada. Cada aspecto del éxito de una planta depende de su diseño y dimensionamiento adecuados, desde la eficiencia operativa hasta la seguridad del personal y la sostenibilidad ambiental. Es un proceso que requiere experiencia, planificación meticulosa y una comprensión profunda de las necesidades y desafíos particulares de la industria en cuestión. Pero, cuando se hace bien, los beneficios son invaluable, sentando las bases para el crecimiento, la competitividad y el éxito a largo plazo.

Para este ítem se deben tener en cuenta la cantidad de reactores a utilizar, la cantidad de tanques para almacenamiento, los sistemas de recolección de agua entre otros.

### **10.11 Dimensión de área del terreno**

Cada proyecto comienza en el vasto mundo de la industria, donde la innovación y la producción convergen, con la decisión fundamental de elegir y dimensionar el terreno adecuado para albergar una planta. Este proceso de dimensionamiento no solo implica trazar líneas en un mapa, sino más bien es el primer paso estratégico en la creación de un centro de producción eficiente y próspero. Desde la optimización del espacio hasta la planificación logística y la consideración de factores ambientales y de seguridad, este texto introductorio discutirá la importancia de seleccionar y dimensionar adecuadamente el terreno para una planta industrial.

El terreno tiene una dimensión de 260 m x 180 m , en la Figura 15 se especifica que área ocupara cada zona , la zona de reactores es donde se posicionaran los reactores , esta zona tiene una dimensión de 78 metros cuadrados , la zona paneles solares compete de toda el área para posicionar los paneles solare y sus equipos , esta zona tiene un área de 6228 metros cuados, en la zona de equipos reposaran todos los equipos necesarios para tratamiento y purificación de hidrogeno además del auto generador de energía y la zona del personal , esta zona consta de 7800 metro cuadrados , la zona de almacenamiento compete todos los tipos de almacenamiento de la planta , como los material , tanques de hidrogeno , tanques de agua , tanques de oxígeno y otros gases. Se debe tener en cuenta que todas las dimensiones están sujetas a cambio por parte de las necesidades del proyecto.

**Figura 15***Distribución de las zonas*

## 11. Plan del proyecto

En este capítulo se detalla el plan de proyecto a seguir para el desarrollo de la instalación de la planta de hidrógeno verde durante un periodo de tres años. Se define un diagrama de Gantt con la planificación estimada junto con las fases en las que se divide el proyecto, considerando una duración aproximada de las mismas.

Un diagrama de Gantt es una herramienta visual que se utiliza en la gestión de proyectos para planificar y programar tareas a lo largo del tiempo. Consiste en un gráfico de barras en el que las tareas del proyecto se representan como barras horizontales en una línea de tiempo. Cada barra del diagrama de Gantt indica la duración de la tarea, es decir, la fecha de inicio y finalización de la tarea. También puede mostrar relaciones entre tareas, además, el progreso de las tareas también se puede incluir en el gráfico. Este tipo de diagrama ayuda a los gerentes y equipos de proyectos a visualizar cronogramas de proyectos, identificar tareas importantes y administrar recursos de manera más eficiente.

Plan del proyecto: en el plan de proyecto es detalle el paso a paso de la creación de la planta de hidrogeno verde, a continuación, se muestra en un diagrama de Gantt todas las fases del proyecto

### 11.1 Diagrama de Gantt

#### Tabla 8

*Diagrama de Gantt*



Se espera que el proyecto inicie en el 2025, se debe considerar que algunas fases son simultaneas y se espera que em proyecto finalice en el 2028 estimando un tiempo de 3 años en el desarrollo.

## 12. Impuestos

Los impuestos en una sociedad son de gran importancia, ya que son la forma en la que los gobiernos obtiene los fondos para financiar sus actividades y servicios públicos como la infraestructura, la salud y la educación.

Hay distintos tipos de impuestos y cada uno con un propósito en particular. por ejemplo, los impuestos de consumo se fijan en la compra de bienes y servicios a diferencia de los impuestos sobre la propiedad los cuales se aplican en algunos productos y actividades.

Ahora bien, los impuestos son una herramienta crucial para sustentar el bienestar del país y promover la igualdad. A través de políticas fiscales, los gobiernos pueden minimizar la desigualdad económica, además de financiar programas sociales y fomentar el crecimiento económico, de igual manera los impuestos pueden utilizarse para acciones como el cambio climático, por medio de impuestos a la contaminación. Algunos impuestos aplicables al proyecto son:

**Impuesto sobre la Renta y Complementarios (ISR):** Es un impuesto anual que grava las utilidades que genera la empresa. La tarifa general para las sociedades es del 35%.

**Impuesto de Timbre Nacional (ITN):** Es un impuesto que se aplica a la emisión de documentos, como facturas, recibos y contratos.

**Impuesto al Patrimonio:** Es un impuesto anual que grava el patrimonio neto de las personas naturales y jurídicas.

**Impuesto de Industria y Comercio (ICA):** Es un impuesto que se aplica a las actividades industriales, comerciales y de servicios. La tarifa del ICA la establece cada municipio.

Según el Acuerdo 041 de 21 De diciembre de 2006, Código 103 se le graba un impuesto de 7.0 por mil a todas las actividades industriales, por lo que este proyecto está incluido teniendo en cuenta que su locación es Cartagena.

**Impuesto Predial Unificado:** Es un impuesto que se aplica a la propiedad de bienes inmuebles. La tarifa del impuesto predial la establece cada municipio. Otros impuestos:

**Gravamen a los Movimientos Financieros (GMF):** Es un impuesto que se aplica a los movimientos financieros, como transferencias bancarias y retiros de efectivo.

**Retención en la fuente:** Es un mecanismo para recaudar el impuesto sobre la renta a través de pagos a cuenta.

Es importante tener en cuenta que la obligación de pagar impuestos y las tarifas específicas pueden variar según el tipo de empresa, la actividad económica que desarrolle y el municipio en el que se encuentre ubicada, en este caso Cartagena.

## **13. Viabilidad económica**

### **13.1 CAPEX**

El capital expenditure, también conocido como CAPEX se refiere a los gastos de capital, es decir, el dinero usado para adquirir activos físicos, como propiedades, maquinaria equipos, etc. de los cuales se espera genere ganancias ; Los gastos de capital difieren de los gastos operativos ya que los gastos de capital se invierten en algo que proporcionara ganancias a lo largo del tiempo generando así una contribución al crecimiento y competitividad del proyecto, a diferencia de los gastos operativos los cuales se consumen de inmediato.

El CAPEX es esencial para el análisis financiero de una empresa, porque afecta su capacidad de operar, su rentabilidad y su competitividad en el mercado. los inversionistas y los analistas financieros ven a especial detalle los niveles de CAPEX para evaluar su estrategia de crecimiento y mantener su posición en el mercado.

En la Tabla 9 se puede observar el CAPEX donde se muestras los puntos en los cuales se hace la inversión inicial y su respectivo precio en pesos colombianos, se nombre como a; o cero cuando se va a inicia la inversión.

**Tabla 9***CAPEX*

CAPEX	Año 0
Tanques de hidrogeno	\$ 800,000,000.00
Tanques de gases	\$ 400,000,000.00
Tanques de agua	\$ 289,000,000.00
Purificador de hidrogeno	\$ 110,000,000.00
Reactores	\$ 300,000,000,000.00
Pilas de hidrogeno	\$ 300,000,000.00
Paneles solares	\$ 1,000,000,000.00
Compresores	\$ 20,000,000.00
Otros equipos	\$ 10,000,000.00
Alquiler de equipos para montaje	\$ 73,000,000.00
Diseños	\$ 7,300,000.00
Ingeniería básica	\$ 109,500,000.00
Ingeniería de detalle	\$ 10,950,000.00
Estudio ambiental	\$ 9,855,000.00
Plan de manejo ambiente	\$ 9,855,000.00
Permisos y licencias	\$ 9,855,000.00
Sistema de gestión	\$ 9,855,000.00
Pólizas	\$ 10,950,000.00
Total	\$ 303,180,120,000.00

**13.2 OPEX**

El OPEX se refiere a los gastos operativos los cuales son recurrentes y necesarios para el buen funcionamiento de la empresa. estos gastos se generan gracias a las operaciones diarias y regulares del proyecto, además que son necesarios para mantener su actividad y generar ganancias.

Algunos de los gastos operativos más comunes son los salarios y beneficios para el personal, renta de instalaciones, servicios públicos, costos de marketing y publicidad, materiales

para oficina, mantenimiento de equipos, seguros, papeleo, etc. estos gastos son los costos que tiene una empresa para realizar sus operaciones normales.

El análisis de los gastos operativos y utilizan para evaluar la rentabilidad de una empresa y su capacidad de generar beneficios, los inversionistas analizan los ingresos y gastos operativos para ver qué tan operativamente eficiente es la empresa y la capacidad de controlar costos.

En la Tabla 10 se puede observar los gastos operativos que se tendrán cuando se empiece a construir la planta, estos valores van a cambiar con el paso del tiempo ya que en la etapa de construcción se tiene gastos operativos distintos a los gastos cuando la planta está en operación y producción.

**Tabla 10***OPEX*

OPEX	Año 0
Administración	\$ 182.500.000,00
Servicios públicos	\$ 6.012.645,00
Primas de seguros	\$ 73.000.000,00
Alquiler de automotores	\$ 18.250.000,00
Alquiler equipos de computo	\$ 36.500.000,00
Alquiler oficinas	\$ 47.815.000,00
	\$
Energía eléctrica	\$ 1.825.000.000,00
Agua	\$ 1.095.000.000,00
Remoción de desechos	\$ 18.250.000,00
Personal operativo	\$ 219.000.000,00
Total	\$ 3.521.327.645,00

**13.3 Flujo de caja**

En el flujo de caja se contempla todos los ingresos y gastos del proyecto en un plazo de 20 años, cabe aclarar que algunos de los gastos provistos en el flujo de caja no están especificados en este documento.

Estos ingresos y gastos se dividen de distintas maneras en este proyecto se dividieron en costos fijos, variables, depreciación y amortización como principales, en segundo lugar pero no menos importantes son los rubros como rentas extensas los cuales hacen alusión a los alivios tributarios, renta líquida variable lo cual refiere a la suma de todos los gastos y resta de los alivios tributarios para dar un total que no es la ganancia total pero si el rubro a el cual se le deben restar los impuestos, como el impuesto a la renta. En la tabla se pueden ver algunos costos fijos, costos variables depreciaciones, amortizaciones y rentas extensas en el año 0 para dar el total de renta líquida grabable.

**Tabla 11***Flujo de caja en año cero*

FCN	AÑO 0	
COSTOS FIJOS	Administración	\$ 8.000.000,00
	Servicios públicos	\$ 6.012.645,00
	Primas de seguros	\$ 73.000.000,00
	Alquiler de automotores	\$ 18.250.000,00
	Alquiler equipos de computo	\$ 8.000.000,00
	Alquiler oficinas	\$ 12.000.000,00
COSTOS VARIABLES	Energía eléctrica	\$ 30.000.000,00
	Agua	\$ 30.000.000,00
	Remoción de desechos	\$ 18.250.000,00
	Personal operativo	\$ 219.000.000,00
DEPRECIACION	Tanques de hidrogeno	\$ 800.000.000,00
	Tanques de gases	\$ 400.000.000,00
	Tanques de agua	\$ 289.000.000,00
	Purificador de hidrogeno	\$ 110.000.000,00
	Reactores	\$ 300.000.000.000,00
	Pilas de hidrogeno	\$ 300.000.000,00
	Paneles solares	\$ 1.000.000.000,00
	Compresores	\$ 20.000.000,00
Otros equipos	\$ 10.000.000,00	
AMORTIZACION	Alquiler de equipos para montaje	\$ 73.000.000,00
	Diseños	\$ 7.300.000,00
	Ingeniería básica	\$ 109.500.000,00
	Ingeniería de detalle	\$ 10.950.000,00
	Estudio ambiental	\$ 9.855.000,00
	Plan de manejo ambienta	\$ 9.855.000,00
	Permisos y licencias	\$ 9.855.000,00
	Sistema de gestión	\$ 9.855.000,00
	Pólizas	\$ 10.950.000,00
	\$ 303.602.632.645,00	
RENTAS EXENTAS	Alivios tributarios	\$ 365.000.000,00
RENTA LIQUIDA GRAVABLE		-\$ 303.237.632.645,00

Posteriormente después de restar los impuestos se da el valor llamado ganancia después de impuestos al cual se le deben restar algunos valores como la reserva legal es el 1% de la ganancia después de impuestos , otras inversiones que es un valor opcional pero en este caso será del 10,% de la ganancia después de impuestos , también se le resta el valor del incremento del capital de trabajo ya que el capital de trabajo todos los años va aumentando y es necesario sumarlo para una proyección más exacta , este valor es de 10% del capital de trabajo posteriormente se suma el valor de la amortización y la depreciación ya que son valores que se restan antes de impuestos pero se les suma a al flujo de caja neto ya que es una recuperación que hace el inversionista de su inversión en activos , después de hacer estas operaciones el valor final es el flujo de caja neto , en la Tabla 12 se puede observar cada uno de los rubros explicados anteriormente en el flujo de caja del año cero , se puede apreciar que no se le suma la amortización y la depreciación , esto ocurre ya que en el año cero los equipos aun no tienen depreciación ni amortización pero posteriormente en los siguientes años se verá este valor reflejado.

**Tabla 12**

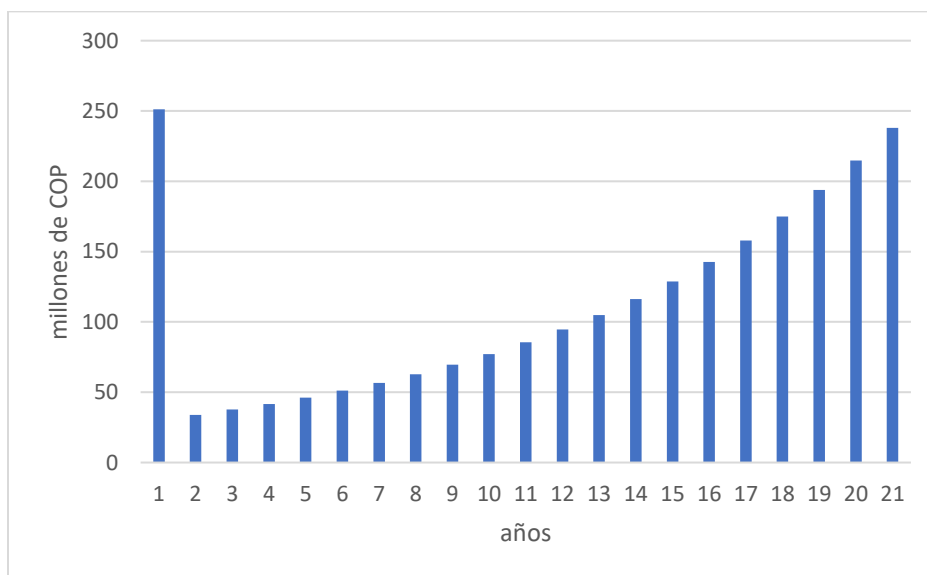
*Flujo de caja en el año cero continuaciones*

	FCN	AÑO 0
IMPUESTO A LA RENTA 35%		-\$ 106.133.171.425,75
GANACIA DESPUES DE IMPUESTOS		-\$ 197.104.461.219,25
RESERVA LEGAL		-\$ 1.971.044.612,19
OTRAS INVERSIONES		-\$ 19.710.446.121,93
DEPRECIACION AMORTIZACION		
INCREMENTO EN EL CAPITAL DE TRABAJO		\$ 30,670,144,764.50
FLUJO DE CAJA NETO		-\$ 205.783.233.749,63

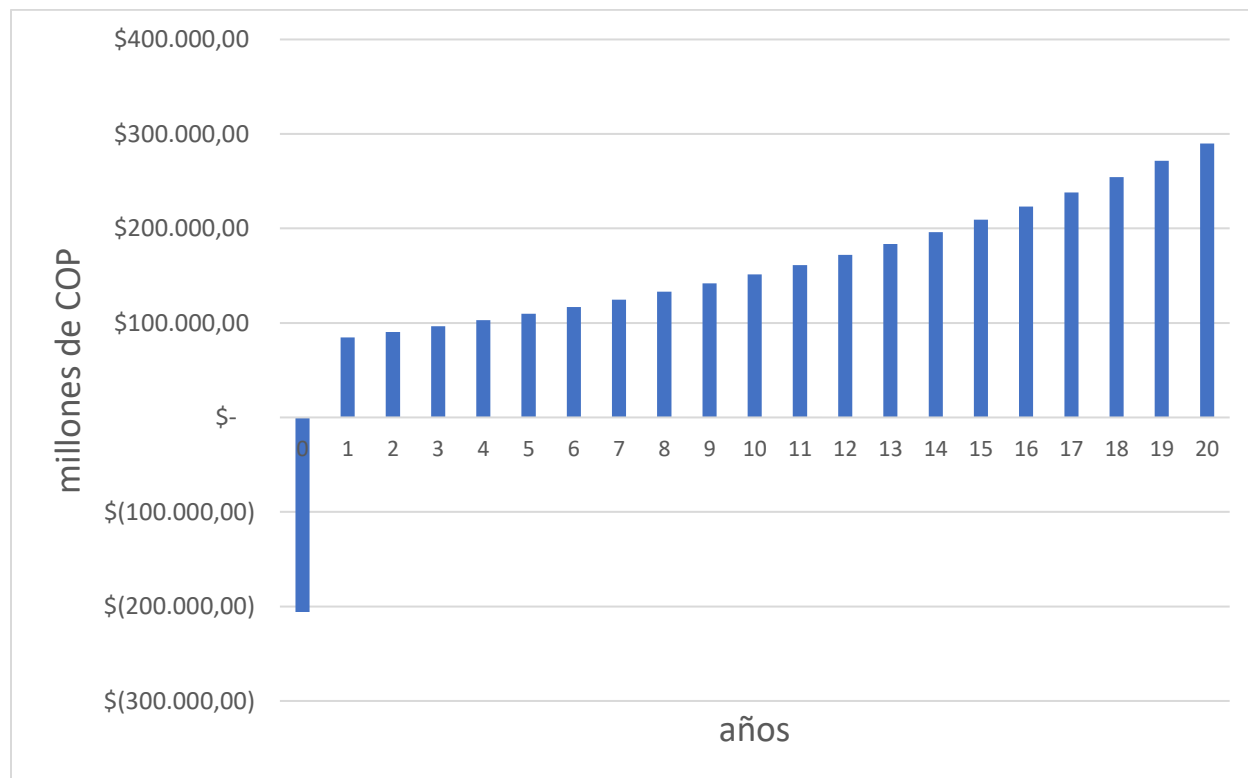
A continuación, se podrá ver el análisis que se hizo para la proyección a 20 años donde se muestran una serie de graficas que describen la tendencia de algunos aspectos importantes de flujo de caja como lo son la amortización. en la Figura 16 se puede ver que la amortización al primer año disminuye significativamente su valor, esto hace referencia a que en los primeros tres años la planta está en proceso de construcción y necesita cosas como diseños, alquiler de equipo para montaje, ingeniería de detalle, estudio de impactos ambientales, entre otros, los cuales después del tercer año desaparecen porque la planta estará terminada.

### Figura 16

*Amortización total por año*



Posteriormente después de analizar todos los aspectos anteriores y calcular el flujo de caja neto, en la Figura 17 se puede ver un gráfico el cual muestra como aumenta el flujo de caja a través de los años, se puede observar que en el año cero da valores negativos, esto ocurre porque en este año se hace la inversión y no se recibe dinero.

**Figura 17***Flujo de caja por año*

A continuación se muestra la Tabla 13 la cual especifica los ingresos, egresos, inversión, costos y flujo de caja neto en cada año teniendo en cuenta un porcentaje de proyección del 10.79% cada año, es decir cada año aumentan los costos y gastos en un 10.79% con respecto al año anterior, este valor de 10,79% es el resultado de tomar los índices de precios al productor (IPP) de los últimos 5 años, sin tomar en cuenta el año 2020 donde inicio la pandemia del COVID-19 en Colombia para no alterar de manera significativa el promedio. Los ingresos aumentan en un 6.43% tomando como referencia un promedio de los índices de precios al consumidor (IPC) de los últimos 5 años sin contar el año 2020. En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se especifica todo el flujo de caja.

**Tabla 13***valores de flujo de caja a 20 años*

años	ingresos	egresos	costos	flujo de caja neto	Inversión inicial
0	\$ -	\$ 303.602,63	\$ 422,51	-\$ 205.783,23	-\$ 205.783,23
1	\$ 141.065,20	\$ 20.372,14	\$ 3.557,42	\$ 84.832,38	
2	\$ 150.141,33	\$ 22.562,35	\$ 3.933,32	\$ 90.436,42	
3	\$ 159.801,43	\$ 24.988,36	\$ 4.349,26	\$ 96.416,77	
4	\$ 170.083,05	\$ 27.675,60	\$ 4.809,54	\$ 102.799,34	
5	\$ 181.026,20	\$ 30.652,21	\$ 5.318,91	\$ 109.611,89	
6	\$ 192.673,42	\$ 33.949,39	\$ 5.882,61	\$ 116.884,17	
7	\$ 205.070,03	\$ 37.601,67	\$ 6.506,49	\$ 124.648,07	
8	\$ 218.264,24	\$ 41.647,33	\$ 7.196,98	\$ 132.937,79	
9	\$ 232.307,36	\$ 46.128,78	\$ 7.961,24	\$ 141.789,98	
10	\$ 247.254,01	\$ 51.092,98	\$ 8.807,16	\$ 151.243,98	
11	\$ 263.162,33	\$ 56.591,98	\$ 9.743,52	\$ 161.341,99	
12	\$ 280.094,20	\$ 62.683,42	\$ 10.780,02	\$ 172.129,30	
13	\$ 298.115,46	\$ 69.431,18	\$ 11.927,40	\$ 183.654,54	
14	\$ 317.296,21	\$ 76.906,00	\$ 13.197,56	\$ 195.969,92	
15	\$ 337.711,05	\$ 85.186,28	\$ 14.603,70	\$ 209.131,51	
16	\$ 359.439,38	\$ 94.358,85	\$ 16.160,41	\$ 223.199,58	
17	\$ 382.565,70	\$ 104.519,91	\$ 17.883,86	\$ 238.238,88	
18	\$ 407.179,98	\$ 115.776,05	\$ 19.791,97	\$ 254.319,04	

19	\$ 433.377,94	\$ 128.245,34	\$ 21.904,57	\$ 271.514,91
20	\$ 461.261,48	\$ 142.058,59	\$ 24.243,66	\$ 289.907,05

Nota: los valores están expresados en millones de COP

### 13.4 VPN

El VPN las siglas de valor presente neto que se refiera a traer a valor presente los flujos de caja de la inversión con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto , se planteó una tasa de oportunidad del 12% ya que definimos la tasa de oportunidad como la rentabilidad mínima de retorno para la inversión y el método más seguro son los depósitos a término fijo (DTF); se tomó un promedio de los valores para un DTF del 2023 para tomar como tasa de oportunidad 12% y así traer los valores futuros al presente , posteriormente se le resta el valor de la inversión y su resultado es \$ 784.046.637.591,20 esto quiere decir que al ser positivo el VPN el proyecto es rentable.

### 13.5 TIR

El TIR, o Tasa Interna de Retorno, es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto. Representa la tasa de rendimiento a la cual el valor actual neto (VAN) de los flujos de efectivo de un proyecto se iguala a cero. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace que el valor presente de los flujos de efectivo futuros de un proyecto sea igual al monto de la inversión inicial.

La TIR se utiliza comúnmente para comparar diferentes inversiones y proyectos, ya que proporciona una forma de evaluar su rentabilidad en términos de porcentaje. En general, se prefiere una TIR más alta, ya que indica una mayor rentabilidad potencial de la inversión.

El TIR que se obtuvo fue 48 %.

### **13.6 Relación beneficio costo**

La Relación Beneficio-Costo (RBC), también conocida como B/C Ratio por sus siglas en inglés, es una medida utilizada en análisis de inversiones y evaluación de proyectos. Su objetivo es determinar la rentabilidad de un proyecto o inversión al comparar los beneficios esperados con los costos asociados.

Si la Relación Beneficio-Costo es mayor que 1, significa que los beneficios esperados superan los costos, lo que indica que el proyecto podría ser rentable. Por otro lado, si la relación es menor que 1, indica que los costos superan a los beneficios, lo que sugiere que el proyecto podría no ser económicamente viable.

La Relación Beneficio-Costo es una herramienta importante en la toma de decisiones de inversión, ya que permite comparar diferentes proyectos y determinar cuál ofrece la mejor relación entre beneficios y costos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta medida tiene sus limitaciones, ya que no considera factores como el valor temporal del dinero, el riesgo asociado con los flujos de efectivo, y otros impactos externos que podrían afectar la rentabilidad del proyecto. Por lo tanto, se utiliza mejor en combinación con otras técnicas de análisis de inversiones para tomar decisiones informadas.

La relación beneficio costo encontrada fue 4.5 lo cual demuestra una buena recuperación del capital invertido.

## **14. Matriz ambiental**

Una matriz ambiental es una herramienta que se utiliza en la gestión ambiental con el fin de evaluar los impactos que tiene en el medio ambiente un plan, actividad o proyecto. La matriz ambiental organiza la información en forma de matriz, valga la redundancia para identificar las interacciones entre las interacciones humanas y el medio ambiente.

Generalmente una matriz ambiental contiene dos ejes: uno enumera los aspectos ambientales relevantes (calidad del aire, biodiversidad, uso de suelo, etc.) el segundo eje enumera las acciones humanas y las fuentes de impacto (como emisiones, desechos del proyecto, construcción de infraestructura, etc.).

Después de completar la matriz se puede evaluar la relación entre el medio ambiente y la interacción humana lo cual permite identificar los impactos positivos y negativos del proyecto, con esta información se puede buscar mitigas de alguna manera los impactos.

La matriz ambiental es muy útil para tomas de decisiones en ámbito ambiental, ya que permite evidenciar de manera clara los efectos de las acciones humanas en el medio ambiente y ayuda a la identificación de estrategias para lograr un equilibrio entre cuidar el medio ambiente y el desarrollo; algunas de las ventajas de contar con una matriz ambiental son:

### **14.1 Identificación de los impactos ambientales**

Una matriz ambiental identifica los posibles impactos ambientales que tiene un proyecto, ayudando así a la evaluación entre el medio ambiente y las acciones humanas algunas de sus funciones son la gestión y planeación, el cumplimiento legal y la reducción de riesgos y costos. En la gestión y planeación la matriz ambiental permite gestionar y planificar los impactos ambientales durante todas las etapas del proyecto, esto minimiza los impactos negativos, Cabe

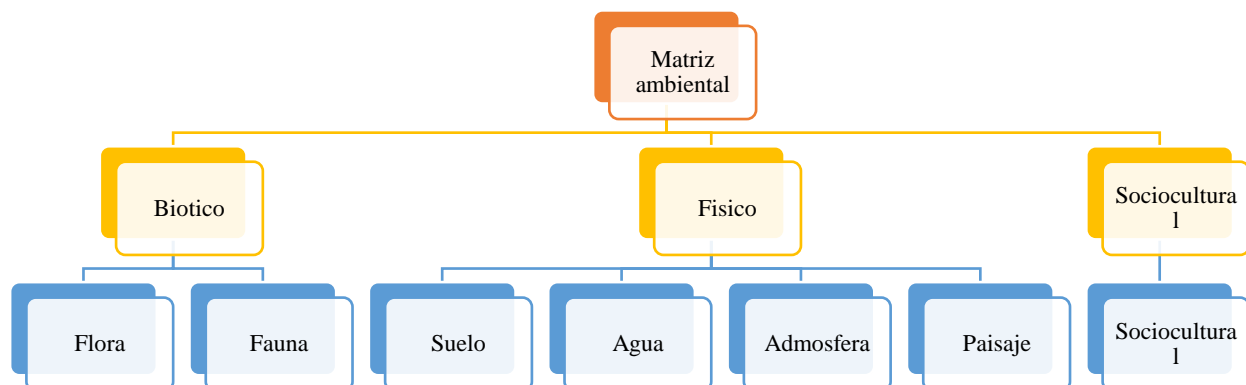
aclarar que la matriz ambiental está en constante mejoramiento. El cumplimiento legal es importante para lograr con los requisitos regulatorios aplicables al proyecto y la matriz ambiental ayuda a la identificación de posibles impactos y así evitar posibles sanciones legales que retrasen el proyecto. La reducción de riesgos y costos, cuando se identifican los impactos ambientales en las primeras etapas del proyecto se pueden reducir riesgos relacionados con daños ambientales, además la buena gestión de los impactos ambientales ayuda a evitar costos adicionales por corrección de problemas ambientales.

Para evaluar los impactos ambientales se deben tomar ciertos aspectos principales y desglosarlos a medida que se especifique cada aspecto, en ese orden de ideas, el primer aspecto son los componentes, los cuales son bióticos, físicos y socio cultural. Cada uno se divide en subcomponentes que a su vez se dividen en un impacto identificado.

En la **Figura 18** se muestra cómo se dividen los aspectos más importantes de una matriz ambiental en componentes que son biótico, físico, sociocultural, subcomponentes como flora, fauna, suelo, agua, atmosfera, paisaje y sociocultural, para después mostrar cada uno de los impactos identificados.

### ***Figura 18***

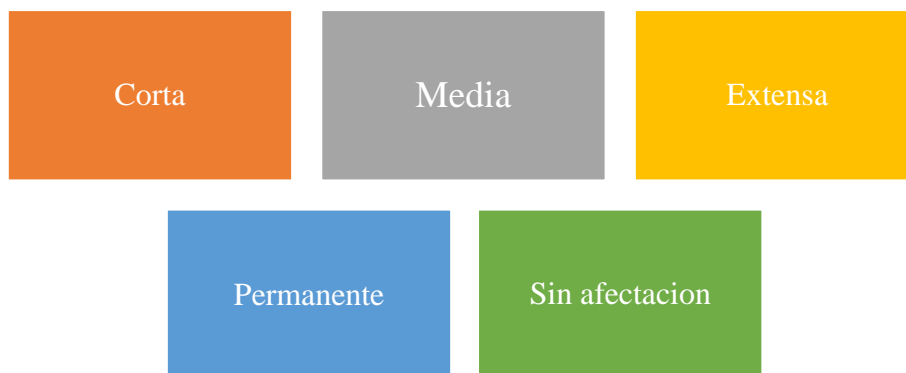
*Aspectos más importantes de la matriz ambiental*



Posteriormente se debe tener claro el método de evaluación o tipología de impactos, algunas matrices se evalúan por valoración de la calidad ambiental como positivo o negativo, también por la intensidad o grado de destrucción tomando como rangos el mínimo, bajo, medio alto y muy alto o también se puede evaluar por la extensión del impacto como puntual parcial y total, entre otras. En este caso se evaluará por dos métodos principales los cuales son por persistencia en el tiempo, es decir, cuanto tiempo dura el impacto identificado afectando el área de interés, como se puede ver en la Figura 19 se identifica por la palabra y el color, si el recuadro se encuentra en blanco significa que en ese ítem no hay impacto de ese tipo.

### Figura 19

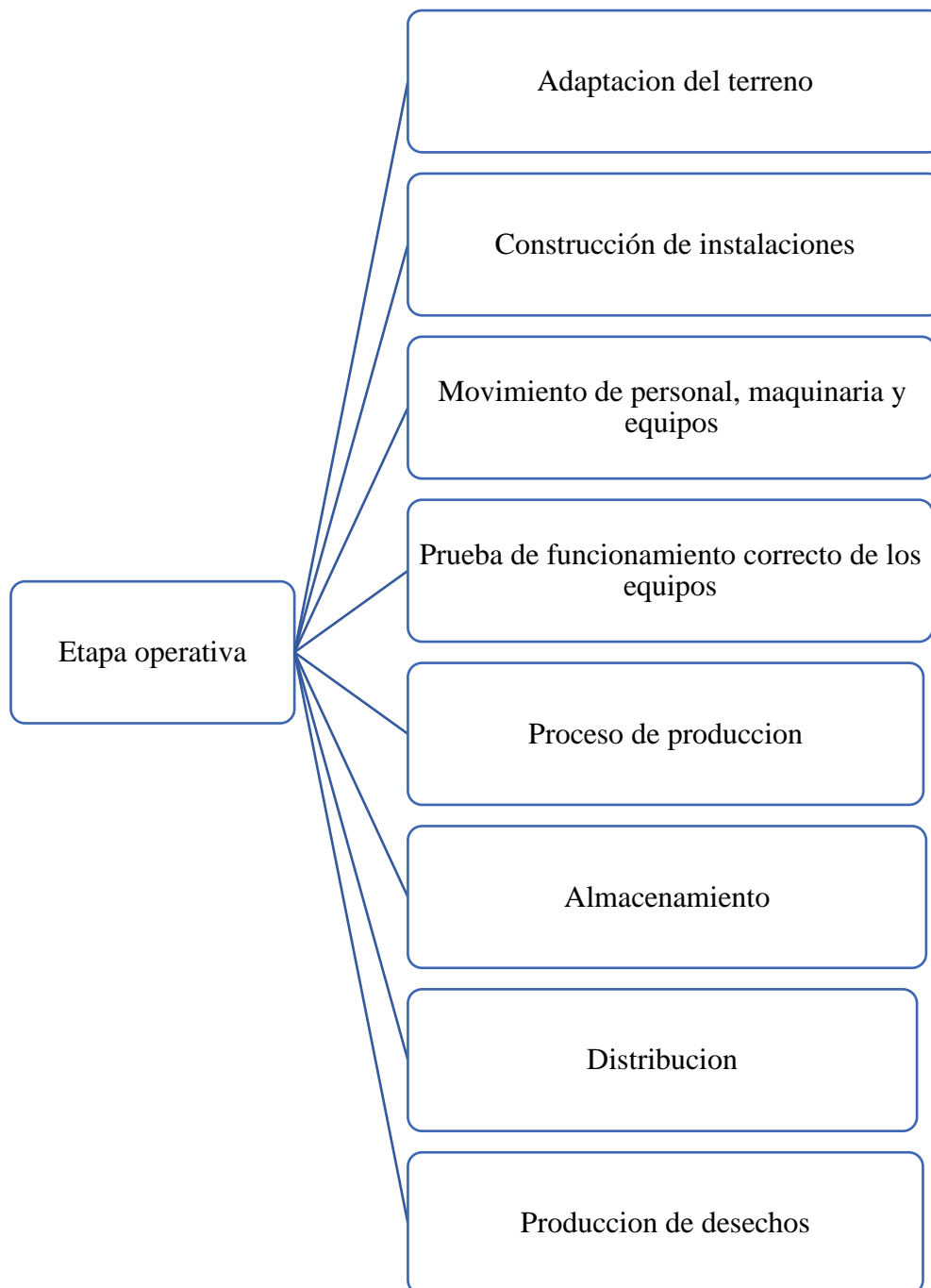
*Forma de evaluación*



Por último, cada aspecto se evaluará dependiendo de la etapa por la que esté pasando el proyecto, en este caso es una etapa, la cual en ítems que hablan de algunos procesos que se viven en la, en la Figura 20 se puede observar la división de los ítems de la etapa operativa.

**Figura 20**

*División de la etapa operativa del impacto ambiental*



A continuación, se mostrará la matriz ambiental dividida en subcomponentes y mostrando cada aspecto y su nivel de impacto

En la Figura 21 se presentan varios impactos identificados relacionados con la cobertura vegetal, cada uno asociado a un color que indica su gravedad. El impacto identificado en rojo es considerado permanente, está indicando una afectación directa de la cobertura vegetal debido a cambios en la cantidad y calidad de las aguas superficiales. Esta situación permanente resalta la seriedad de la alteración en la flora y sus posibles consecuencias a largo plazo en los ecosistemas. Por otro lado, el impacto identificado en naranja se clasifica como de duración extensa, y se refiere a la deforestación de áreas boscosas. En esta problemática se destaca la pérdida significativa de bosques. El impacto identificado en amarillo se considera de duración media, describiendo la modificación de hábitats terrestres de los corredores biológicos. Esta situación sugiere cambios en la conectividad entre ecosistemas y la movilidad de las especies, con posibles efectos en la biodiversidad local. Finalmente, el impacto identificado en verde está indicando la alteración en la distribución y comportamiento de especies clave a corto plazo. Estos cambios temporales pueden tener repercusiones en la dinámica de los ecosistemas en un período breve.

**Figura 21**

*Matriz ambiental con subcomponente fauna*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
FLORA	Afectación directa de la cobertura vegetal de uso cultural , debido a cambios en la cantidad y calidad de las aguas superficiales	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	EXTENSA	CORTA			PERMANENTE	
	Deforestación de bosques		PERMANENTE	MEDIA						
	Aumento de la presión y vulnerabilidad de las especies endémicas florísticas amenazadas	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	MEDIA					
	Pérdida de cobertura vegetal necesaria para la subsistencia de especies animales salvajes	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE					
	Modificación de la composición y estructura florística	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Abandono de desechos y residuos afectando especies de florística nativa recuperada, cuidada y protegida por	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	MEDIA	EXTENSA
	Afectación por pérdida de plantas de uso medicinal	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	MEDIA	EXTENSA
	Pérdida de la biodiversidad vegetal y boscosa	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	MEDIA	MEDIA	EXTENSA
Pérdidas de especies en categoría de conservación florística	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	MEDIA	MEDIA	EXTENSA	

En la Figura 22 presenta una serie de impactos identificados relacionados con la fauna, los cuales abarcan diferentes aspectos como la alteración en la distribución y comportamiento de especies clave, la modificación de hábitats terrestres de los corredores biológicos, cambios en las relaciones sociales de la comunidad y la generación de conflictos, así como la prueba de funcionamiento correcto de los equipos durante el proceso de producción.

Cada impacto identificado se clasifica según su duración, Estos impactos se asocian con distintas etapas del proyecto, como la adaptación del terreno, la construcción de instalaciones, el movimiento de personal, maquinaria y equipos, y la prueba de funcionamiento correcto de los equipos en el proceso de producción Figura 21 destaca la importancia de considerar los posibles impactos en la fauna durante todas las fases del proyecto, desde la planificación y adaptación del terreno hasta la operación y funcionamiento de las instalaciones. Asimismo, resalta la necesidad de implementar medidas de mitigación y monitoreo para minimizar los efectos negativos en la fauna y garantizar la conservación de la biodiversidad en el área de influencia del proyecto ya que la mayoría de los impactos son de manera permanente en especial la pérdida de especies a causa de muerte en accidentes

**Figura 22**

*Matriz ambiental con subcomponente fauna*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
FAUNA	Alteración en la distribución y el comportamiento de especies claves, lo que puede tener efectos cascadas sobre la integridad de los ecosistemas, sobre todo en especies vulnerables como son aves, ranas y plantas.	(-)	PERMANENTE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
	Cambios en el comportamiento de animales del territorio y afectación a la población	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA				CORTA	
	Pérdida de especies a causa de su muerte en accidentes (colisiones, aplastamiento en caminos, etc.)	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Pérdida de especies endémicas, raras, vulnerables, amenazadas o en peligro de extinción.	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA				CORTA	
	Alteración del comportamiento y reproducción de especies por afectación a madrigueras, nidos y sitios de desove en superficie, en coberturas vegetales y subterráneos ejemplo iguanas armadillos etc.	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	PERMANENTE	EXTENSA
	Modificación de hábitats terrestres de los corredores biológicos	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	PERMANENTE	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	PERMANENTE	MEDIA

Al analizar la Figura 23, se destaca la importancia de considerar no solo los impactos de duración permanente, sino también los impactos de duración corta. La identificación y evaluación de estos impactos son fundamentales para implementar medidas de mitigación adecuadas y maximizar los beneficios para las comunidades locales y el medio ambiente. Esta figura resalta la necesidad de una gestión integral de los impactos identificados como la variación de la integridad del suelo con la aparición de cárcavas y grietas además de todas las etapas del proyecto, desde su planificación hasta su operación. La consideración de estos aspectos contribuye a una toma de

decisiones informada y responsable, que busca minimizar los impactos negativos y potenciar los impactos positivos, promoviendo así el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades involucradas.

**Figura**

**23**

*Matriz ambiental con subcomponente suelo*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
S U E L O	Cambio en las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos.	(-)								CORTA
	Inundación con agua de los terrenos superficiales por problemas de vertimiento de agua	(-)	CORTA	EXTENSA	PERMANENTE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	PERMANENTE	CORTA
	Variación en la estabilidad del terreno con la aparición de cárcavas o grietas	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Modificación en la capa orgánica del Suelo.	(-)								
	Cambio en la susceptibilidad a la erosión. por desestabilizacion , pisoteo y/o compactacion de suelos	(-)	EXTENSA	EXTENSA						
	Eventual contaminación del suelo con líquidos provenientes de la zona donde se ubican los paneles solares	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	MEDIA	MEDIA	MEDIA	PERMANENTE	CORTA
	Contaminacion del suelo por posibles derrames de aceites de las maquinas y vehiculos que transitan	(-)	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA
	Cambio en el uso actual del suelo. Interferencia o molestia a actividades asociadas al tránsito	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA						

Al analizar la Figura 24, se evidencia la necesidad de implementar medidas de mitigación y monitoreo específicas para cada impacto identificado, con el fin de minimizar los efectos negativos en el agua de la zona de interés. La inclusión de estas consideraciones desde las primeras etapas del proyecto es fundamental para garantizar una gestión ambiental responsable y sostenible. Esta figura se destaca por la corta duración y no afectación de ciertos impactos en el proyecto, además, el impacto se concentra en la construcción de las instalaciones y el proceso de producción ya que para la producción del hidrogeno el agua es una materia prima

**Figura**

**24**

*Matriz ambiental con subcomponente agua*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
A G U A	Disminución de la calidad del agua superficial , debido a la descarga del agua , derrames accidentales de aceites lubricantes y combustibles.	(-)	CORTA	CORTA	CORTA					
	Cambio en las características fisicoquímicas y/o bacteriológicas de las aguas superficiales.	(-)					PERMANENTE			CORTA
	Cambio en la disponibilidad del recurso.	(-)		CORTA			PERMANENTE			
	Pérdida de especies acuáticas debido a cambios físicos en el hábitat, disminución de la cantidad y la calidad de las aguas superficiales.	(-)		MEDIA			MEDIA			
	Alteración de los períodos de reproducción y desove.	(-)		MEDIA			MEDIA			
	Alteración de los hábitos de pesca.	(-)		MEDIA			CORTA			

Al analizar la Figura 25 se puede identificar el alto impacto que tiene el proyecto con respecto a los niveles de ruido durante todo el proyecto al igual que la calidad del aire, esto conlleva una gran responsabilidad ambiental con la zona de interés y las poblaciones cercanas

**Figura**

**25**

*Matriz ambiental con subcomponente atmosfera*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
A T M O S F E R A	Cambios en la calidad del aire del sitio causados por emisiones de vehículos, compresores y otros equipos (ej.: SOx, vapor de agua, NOx, CO, CO2, CH4).	(-)					PERMANENTE			PERMANENTE
	Cambios de los niveles de ruido en el sitio, que causan molestia a personas y animales.	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Cambios en la calidad del aire en el área a causa del polvo y/o gases.	(-)	PERMANENTE	EXTENSA	CORTA					
	Cambio en los niveles de presión sonora	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Cambios en suelos, aguadas y atajados por el asentamiento de partículas de polvo.	(-)	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA	CORTA		CORTA	

Al analizar la Figura 26, se observa que los impactos negativos pueden tener consecuencias significativas en las relaciones sociales y en la calidad de vida de la comunidad, generando conflictos y tensiones. También se resalta la importancia de considerar los impactos socioculturales durante la planificación y ejecución de un proyecto, así como la necesidad de diálogos para abordar los posibles conflictos y promover el bienestar de la comunidad. El respeto por la diversidad cultural y la inclusión de las voces de todos los actores involucrados son fundamentales para garantizar un desarrollo sostenible y equitativo.

**Figura****26**

*Matriz ambiental con subcomponente sociocultural*

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
S O C I O C U L T U R A L	Cambio en las relaciones sociales de la comunidad, Generación e incremento de conflictos	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Aumento de las expectativas por la posibilidad de ofrecer bienes y servicios en la comunidad. Aumento en los conflictos en la comunidad al ver que no hay posibilidad de empleo e ingresos para todos	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Division social por expectativas por cupos de trabajo. Al llegar la empresa se generan expectativas que resultan en conflictos entre sectores y al interior de la comunidad	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Cambio en los niveles de presión sonora Aumento de ruido que afecten las dinamicas sociales y comunitarias	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Cambio en el flujo vehicular (probabilidad de accidentalidad personas y especies domesticas soporte alimenticio)	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Afectación a la movilidad y comunicacion por uso y deterioro de las vias y caminos importantes para la comunidad	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Limitación y condicionamiento para el uso del suelo, reducción del territorio para practicas culturales	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE

SUBCOMPONENTE	IMPACTO IDENTIFICADO	CARÁCTER (+ -)	ADAPTACION DEL TERRENO	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES	MOVIMIENTO DE PERSONAL, MAQUINARIA Y EQUIPOS	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LOS EQUIPOS	PROCESO DE PRODUCCION	ALMACENAMIENTO	DISTRIBUCION	PRODUCCION DE DESECHOS
S O C I O C U L T U R A L	Perturbación del sueño de bebés, infantes y personas de la tercera edad, por el ruido de maquinaria y actividades de la planta	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Afectación a cercas, corrales y broches	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Afectación económica por pérdida de valor de las tierras	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Conflictos generados entre los contratistas y la comunidad por el cierre de pasivos sociales, incumplimiento Social	(-)	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE	PERMANENTE
	Escasez de mano de obra tradicional por la competencia de la misma	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA
	Posibles embarazos no deseados	(-)	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA	EXTENSA

## 15. Conclusión

Después de realizar el análisis de mercado y fijar un mercado objetivo, proyecto está bien definido, ya que tiene como destinatario la refinería de Barrancabermeja porque cubrirá la cantidad de hidrogeno gris que produce dicha refinería, lo que permite a los responsables del proyecto enfocar sus esfuerzos de manera efectiva.

Después de realizar la evaluación financiera, económica y socioambiental se puede concluir que el proyecto es atractivo financieramente, ya que su tasa interna de retorno es de 85% es decir, tiene una buena rentabilidad, esto también se ve reflejado también en el valor presente neto y la relación beneficio costo.

El resultado de la matriz ambiental refleja que afecta la fauna, la flora, como se ve en la figura 22 y figura 23 y en menor medida el agua (figura 25), tiene implicaciones significativas para el equilibrio ecológico y para las comunidades locales. Un análisis detallado muestra cómo estas variables interactúan y afectan la vida silvestre, la vegetación y la calidad de vida de los habitantes de la zona.

Para la comunidad humana, tiene un gran impacto como se puede ver en la figura 27 y casi en la misma medida la fauna y la flora. Los cambios en el entorno pueden afectar la calidad de vida de las personas, especialmente aquellas que dependen directamente de los recursos naturales para su sustento y las personas que directa o indirectamente actúan en el proyecto.

La viabilidad ambiental del proyecto es en general muy positiva, ya que la planta no emite dióxido de carbono ni otros gases contaminantes durante el proceso de producción del hidrógeno también el impacto limitado en el agua porque la cantidad utilizada es relativamente pequeña en comparación con otras industrias. Además, el proceso no contamina el agua ni libera sustancias

peligrosas. otro aspecto positivo es el aprovechamiento de energía renovable al utilizar fuentes de energía como la solar por esta causa la planta contribuye a la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible. En resumen, aunque la planta tiene un índice de impacto ambiental, este índice es mucho menor en comparación a las otras industrias que no usan energía renovable.

### Referencias bibliográficas

- Akhlaghi, N., & Najafpour-Darzi, G. (2020). A comprehensive review on biological hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(43), 22492–22512. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.182>
- Balat, H. y Kirtay, E. (2010). Hydrogen from biomass – Present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(14), 7416-7426. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.137>
- Ballera,R.(2017).[https://oa.upm.es/46076/1/TFG\\_RAFAEL\\_BELLERA\\_FERNANDEZ\\_DE\\_LA\\_CRUZ\\_a.pdf](https://oa.upm.es/46076/1/TFG_RAFAEL_BELLERA_FERNANDEZ_DE_LA_CRUZ_a.pdf), universidad politécnica de madrid. Available at: [http://oa.upm.es/46076/1/TFG RAFAEL BELLERA FERNANDEZ DE LA CRUZ a .pdf5](http://oa.upm.es/46076/1/TFG_RAFAEL_BELLERA_FERNANDEZ_DE_LA_CRUZ_a.pdf5)
- Bruce, S., M. Temminghoff, E. S. Jenny Hayward, C. Munnings, D. Palfreyman, and P. Hartley. (2018). National hydrogen roadmap. Australia: CSIRO 92. Cloete, S., O. Ruhnau, and L. Hirth. 2021. On capital utilization in the hydrogen economy: The quest to minimize idle capacity in renewables-rich energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (1), 169–88. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.09.197.
- Buenaño, GM, Freire Sierra, FD, Idrovo Avecillas, MJ y Armendáriz, MH (2022). Requerimientos del Mercado laboral y publicidad de diversas IES. Caso Carrera de Mercadotecnia, Guayaquil. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*.
- Castiblanco, O. y Cárdenas, D. J. (2020). Producción de hidrógeno y su perspectiva en Colombia: una revisión. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 299–311. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.86466>
- Cechetto, V., Felice, L., Medrano, J., Makhloufi, C., Zuñiga, J. y Gallucci, F. (2021). Producción de H<sub>2</sub> mediante descomposición de amoníaco en un reactor catalítico de membrana. *Tecnología de procesamiento de combustible*, 216, 106772. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2021.106772>

- David, M., Ocampo-Martínez, C., & Sánchez-Peña, R. (2019). Advances in alkaline water electrolyzers: A review. *Journal of Energy Storage*, 23, 392-403.
- Dawood, F., Anda M. y Shafiullah G. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy* 45(7), 3847-3869. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>
- Dawood, F., Anda, M. y Shafiullah, G. (2020). Producción de hidrógeno para energía: una descripción general. *Revista Internacional de Energía del Hidrógeno*, 45, 3847-3869. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.059>.
- Simón-Martín, M., Cortés-Nava, B.-R., Rodríguez-Parra, R., & Carro-de Lorenzo, F. (2021). El papel del hidrógeno verde en la transición energética de la industria. *DYNA - Ingeniería e Industria*, 96(2), 200–206. <https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.6036/9890>
- EARTHSCIENCES. (2022). Gold hydrogen – oxford earth sciences in the times. Recuperado de: <https://www.earth.ox.ac.uk/2021/09/gold-hydrogen-oxford-earth-sciences-in-the-times/>
- In. Furat, D., M. Anda, and G. M. Shafiullah. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (7), 3847–3869. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.12.059.
- Estudio y simulación de un gasificador con captura de CO<sub>2</sub> para la producción de hidrógeno azul partiendo de carbón colombiano. (2021). *Revista UIS Ingenierías*, 20(4).
- Falcão, D. S., & Pinto, A. M. F. R. (2020). A review on PEM electrolyzer modelling: Guidelines for beginners. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121184-. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121184>
- Fraille Mora. (2016). *ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS* (1ed. 2imp. ed.). Ibergarceta.
- García Vigil. (2020). Propuesta de utilización del hidrógeno como vector energético. *Técnica Industrial: Revista Cuatrimestral de Ingeniería, Industria e Innovación*, 325, 56–62.

- Gonzales, A. (2010) Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno, UDG. Available at: [http://www2.udg.edu/Portals/88/proc\\_industrials/5 - Otros Combustibles-Hidrogeno.pdf](http://www2.udg.edu/Portals/88/proc_industrials/5 - Otros Combustibles-Hidrogeno.pdf)
- Griñan-Ciria, G. G. (2022). Análisis Energético y Económico de una Estación de Servicio de Hidrógeno.
- Hauch, A., Küngas, R., Blennow, P., Hansen, A. B., Hansen, J. B., Mathiesen, B. V., & Mogensen, M. B. (2020). Recent advances in solid oxide cell technology for electrolysis. *Science* (American Association for the Advancement of Science), 370(6513). <https://doi.org/10.1126/science.aba6118>
- Henao Robledo. (2014). *Riesgos eléctricos y mecánicos (2a. ed.)*. Ecoe Ediciones.
- Huang, C.-W., Nguyen, B.-S., Wu, J. C.-S., & Nguyen, V.-H. (2020). A current perspective for photocatalysis towards the hydrogen production from biomass-derived organic substances and water. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(36), 18144–18159. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.121>
- IEA, I. (2021). Global hydrogen review 2021. Public Report.
- Ishaq, H., Dincer, I. y Crawford, C. (2022). A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(62), 26238-26264. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.149>
- Jovan, D. J., & Dolanc, G. (2020). Can Green Hydrogen Production Be Economically Viable under Current Market Conditions. *Energies* (Basel), 13(24), 6599-. <https://doi.org/10.3390/en13246599>
- Mercado, L. (2023) Hidrógeno Verde. Hacia un Nuevo Modelo de Exportación en Colombia, reunir repositorio digital. Available at: <https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/3343/MARTIN%20RODRIGUEZ,%20LUIS%20FERNANDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Miller, H. A., Lavacchi, A., & Vizza, F. (2020). Storage of renewable energy in fuels and chemicals through electrochemical reforming of bioalcohols. *Current Opinion in Electrochemistry*, 21, 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.02.001>
- Mishra, P., Krishnan, S., Rana, S., Singh, L., Sakinah, M., & Ab Wahid, Z. (2019). Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass. *Energy Strategy Reviews*, 24, 27-37.
- Murcia M., & Díaz P., F. N. (2009). *PROYECTOS: FORMULACIÓN Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN* (1 ed. 2 reimp.). Alfaomega.
- Nicolin, B. y Nicolin, I. (2023). El hidrógeno verde como fuente de energía respetuosa con el medio ambiente. *BOLETÍN INCAS* . <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2023.15.2.13> .
- Pagliaro, M. V., Bellini, M., Lavacchi, A., Miller, H. A., Bartoli, C., & Vizza, F. (2020). Phosphate stabilized PdCoP@Nifoam catalyst for self-pressurized H<sub>2</sub> production from the electrochemical reforming of ethanol at 150 °C. *Journal of Catalysis*, 382, 237–246. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2019.12.019>
- Park, & Park, C. (2021). Economic valuation of green hydrogen charging compared to gray hydrogen charging: The case of South Korea. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 47, Issue 32, pp. 14393–28796).
- Park, Y., Kang, J., Moon, D., Jo, Y. y Lee, C. (2020). Procesos de adsorción por oscilación de presión de lecho múltiple en paralelo y en serie para la recuperación de H<sub>2</sub> a partir de una mezcla pobre de hidrógeno. *Revista de Ingeniería Química*, 127299. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127299>
- Porto, P. (2021) Descarbonización del sector del transporte en UPM. Available at: [https://oa.upm.es/68685/1/TFG\\_PEDRO\\_PORTO\\_MATO.pdf](https://oa.upm.es/68685/1/TFG_PEDRO_PORTO_MATO.pdf)
- R. Saravanan, F. Gracia, A. Stephen. (2017). Principios básicos, mecanismo y desafíos de la fotocatalisis. *Nanocompuestos para fotocatalisis inducida por luz visible*, Springer, 19-40.

- Rahman, S. N. A., Masdar, M. S., Rosli, M. I., Majlan, E. H., Husaini, T., Kamarudin, S. K., & Daud, W. R. W. (2016). Overview biohydrogen technologies and application in fuel cell technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 137-162.
- Rousseau, R., Etcheverry, L., Roubaud, E., Basséguy, R., Délia, M.-L., & Bergel, A. (2020). Microbial electrolysis cell (MEC): Strengths, weaknesses and research needs from electrochemical engineering standpoint. *Applied Energy*, 257, 113938-. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113938>
- SafariI, F. y C, Dincer. (2020). Una revisión y evaluación comparativa de los ciclos termoquímicos de división del agua para la producción de hidrógeno. *Conversión y Gestión de Energía*. Doi: 10.1016/j.enconman.2019.112182
- Shakya, B. D., Aye, L., & Musgrave, P. (2005). Technical feasibility and financial analysis of hybrid wind–photovoltaic system with hydrogen storage for Cooma. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(1), 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2004.03.013>
- Shiva Kumar, S., & Lim, H. (2022). An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, 8, 13793–13813. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.127>
- Shu-Na Zhao, G. W. (12 de september de 2018). MDPI. Obtenido de Metal Organic Frameworks Based Materials for: <https://doi.org/10.3390/molecules23112947>.
- Tener, H. y Neves, M. (2021). Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. *Diccionario de Bioética Global*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54161-3\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54161-3_24)
- Ureña, EM (2009). Condiciones para una económica ética. *Bajo Palabra*.
- Van de Graaf, T., I. Overland, D. Scholten, and K. Westphal. (2020). The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen. *Energy Research & Social Science*, 70 (2020). Doi: doi: 10.1016/j.erss.2020
- Villarroel Camacho. (2013). PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS. Createspace.

- Wang, J. J., Han, Y. P., Chang, J. Y., & Chen, Z. Y. (2018). Light scattering of a Bessel beam by a nucleated biological cell: An eccentric sphere model. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 206, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.10.025>
- Zgonnik, V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, 203, 103140-. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140>
- Zhang, XinRong., & Dincer, Ibrahim. (2017). *Energy Solutions to Combat Global Warming* (1st ed. 2017.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26950>



## **Apéndices**

Los apéndices están disponibles en el Repertorio Institucional

