

Implementación de una herramienta de cálculo para LCOE

Estado del arte respecto al contexto de conexión en la Guajira

Hidrógeno

El uso de Hidrógeno en la Guajira hoy en día es casi inexistente en el contexto eléctrico. Sin embargo, esta zona tiene un gran potencial en el desarrollo de esta industria. Principalmente, el viento y el sol son abundantes en esta zona, por lo que es un gran candidato para llevar a cabo proyectos eólicos, térmicos y fotovoltaicos.

En términos de la demanda de carga de Hidrógeno, en la Guajira hoy en día no es significativa, pues aún no existe la infraestructura ni la industria de hidrógeno en esa zona. Aunque actualmente el hidrógeno sea utilizado como materia prima en el sector industrial, se espera que en un futuro cercano se utilice, entre otras industrias, en el sector energético, para la generación de electricidad y para el consumo de calor. Dichas actividades son suplidas por combustibles fósiles, por lo que se espera que el uso de hidrógeno reemplace dichos combustibles, disminuyendo la dependencia de ellos y las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por ellos. A corto plazo, se espera que la demanda de hidrógeno azul y verde aumente, llegando a 120 kt en 2030. Dicha demanda se supone para suplir la demanda industrial, motivando la descarbonización de procesos como la refinación de combustibles y la producción de fertilizantes. Adicionalmente, se espera que para el 2026 empiece la demanda en el sector de transporte, en especial con buses y camiones. Por último, para la década entre 2040 y 2050, se espera que la demanda de hidrógeno verde y azul sea de aproximadamente 2850 kt, siendo el sector transporte el principal demandante [1].

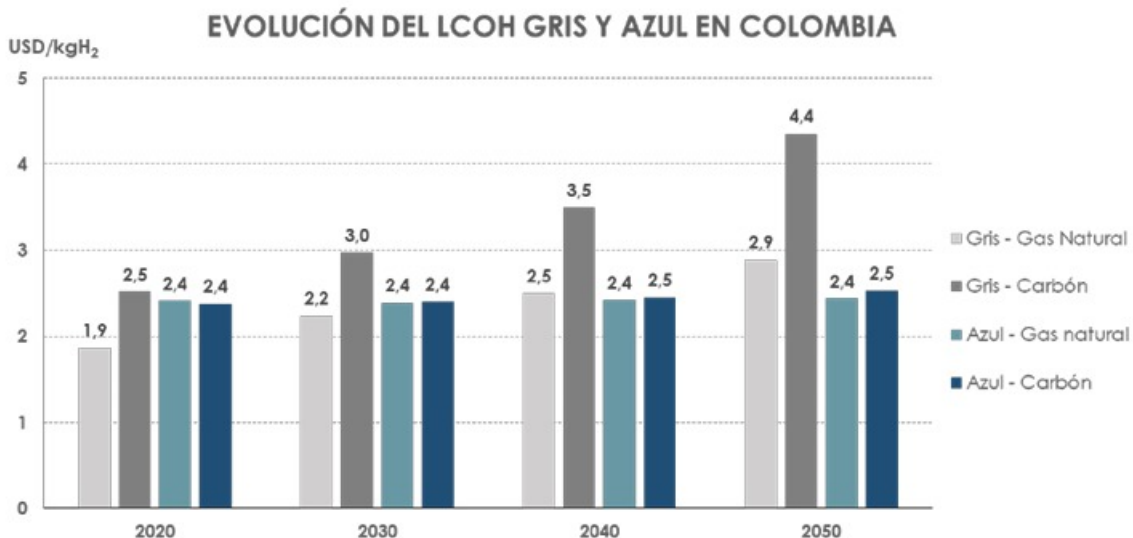


Figure 1: Evolución del LCOH azul en Colombia [1]

Con respecto a los costos, Colombia es un país con grandes reservas de recursos fósiles, los que se pueden destinar a la producción de hidrógeno azul. Por lo que el costo nivelado del hidrógeno azul (LCOH) oscila entre los 2.4 y 2.5 USD/kgH₂ para el 2020 y se espera que esto no cambie hasta el 2050, como se puede ver en la figura 1.

Por otro lado, la producción del hidrógeno verde que se obtiene a partir de energías renovables, en Colombia sería impulsada a partir de la electrólisis con electricidad renovable, reduciendo las emisiones en el proceso. Para estimar los costos de producción de dicho hidrógeno, se evalúa el recurso eólico y solar en diferentes zonas de Colombia enfocándonos en la zona caribe norte, donde se encuentra la Guajira. Resultando en que el LCOH del hidrógeno verde para la zona caribe norte va a disminuir de 2.8 a 1.5 USD/kgH₂ cuando la planta renovable es eólica, y de 4.8 a 1.7 USD/kgH₂ cuando la planta renovable es solar como se puede ver en la figura 2. Dicha disminución se espera debido a los incentivos de la ley 2099 de 2021, y a la eficiencia que se espera que mejore en las máquinas. [1]

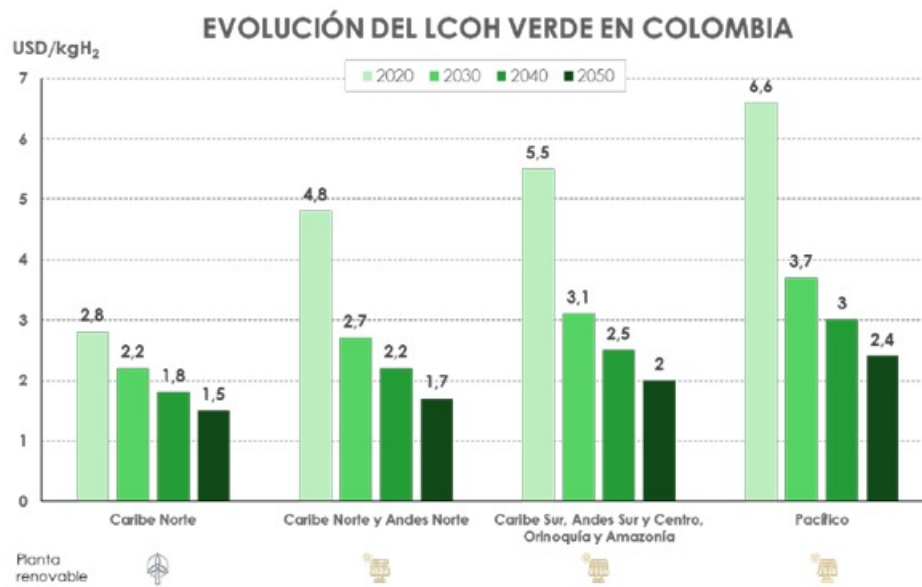


Figure 2: Evolución del LCOH verde en Colombia [1]

Como se puede ver, la producción de hidrógeno verde va a llegar a tener un precio competitivo con la producción del hidrógeno azul, por lo que se puede pensar en una producción de hidrógeno robusta, fiable y competitiva, además de encaminarse a cumplir lo pactado con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero en los acuerdos de París.

Energías renovables

En cuanto a las energías renovables no convencionales se hará un énfasis en la energía solar y eólica. En Colombia se espera poder tener una representación de 14% para el 2030, pero actualmente se tiene una producción de 28.1MW [2]. Para mayor contexto, la Guajira tiene un clima que ronda entre los 28°C a 38°C con una alta intensidad de vientos. En la actualidad se tiene en planes 44 proyectos para el departamento de La Guajira, siendo 36 de estos para energías fotovoltaicas y cinco para energías eólicas [3].

Energía solar fotovoltaica

En primer lugar, la ubicación de La Guajira es un punto importante para poder abordar la viabilidad del tema de energía solar. La unidad de Planeación Minero Energética (UPME) clasifica a La Guajira como un área muy viable para poder instalar un sistema fotovoltaico. Lo anterior se basa en la ubicación del departamento, pues presenta un nivel muy bajo de nubosidad, además como se muestra en la figura 3 la radiación en la zona es bastante alta en comparación a otras zonas del país, pues presenta altos niveles entre 4.5 kWh/ m² /day hasta pequeñas partes que pueden llegar a 6 kWh/ m² /day. Sin embargo, se debe aclarar que la radiación durante el año no es constante, pero los niveles de igual forma se mantienen altos, los meses con mayor radiación se dan de enero a marzo y de junio a mediados de septiembre. [3].

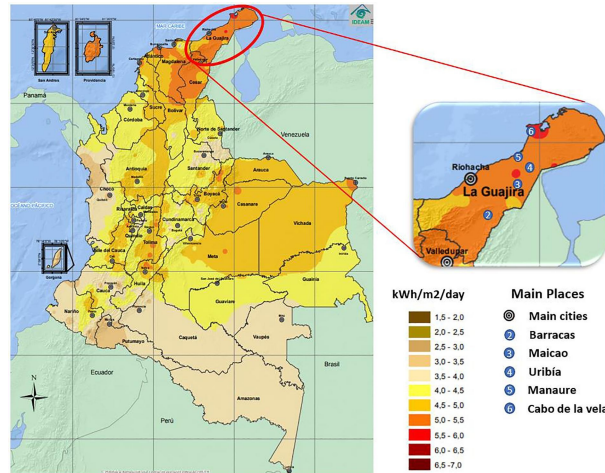


Figure 3: Radiación en Colombia, específicamente para la zona de La Guajira para el año 2014 [3]

En cuanto a la factibilidad de instalación de equipos e infraestructura en la zona es viable por ser un territorio árido en gran parte del territorio, solo hay mínimas partes montañosas.

Energía solar térmica

Al igual que con la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica también ve a la Guajira como un gran candidato para desarrollar esta tecnología. En esencia, la demanda de carga en esta región de Colombia va en aumento, y aunque aún no existen proyectos activos de generación de energía eléctrica a partir de la energía solar térmica, puede ser una buena opción para un futuro. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al ser una tecnología relativamente nueva, su costo de implementación y mantenimiento puede ser bastante alto. Aunque la guajira, como se puede ver en la figura 3, sea una zona de alta radiación, esta no es constante todo el año, por lo que sería necesario evaluar si el desarrollo de esta tecnología puede llegar a ser competitiva con respecto a otras energías renovables como lo son la fotovoltaica o la eólica.

Energía eólica

En la Guajira para 2017 la producción de energía solo el 6% pertenece a aerogeneradores, lo que a generado una producción de 1513 GWh entre 2012 y 2015 [3]. El Banco Mundial tiene una predicción de que en el área de La Guajira se puede llegar a generar un 18 GW, sus predicciones tienen a lugar por la ubicación viable de la zona. Tal y como el caso de energía solar, los vientos dependen de varios factores ya que la zona depende de los vientos alisos, que son fuertes en verano, pero muy bajo en invierno. Sin embargo, siguen sujetos al efecto Coriolis, atados a la presión, fricción, gravedad, entre otros [3].

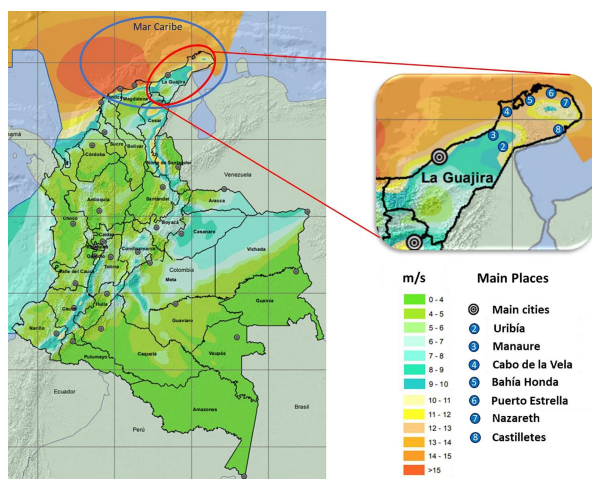


Figure 4: Velocidad del viento en Colombia, específicamente para la zona de La Guajira [3]

La energía eólica puede ser un gran benefactor para la producción de energía en Colombia, ya que los vientos en la Guajira son bastante fuertes. En la figura 5 se puede ver con más detalle que La Guajira destaca por sus altas velocidades del viento en comparación al resto del país. Resalta que puede ir en un promedio de 8 a 14 m/s [3]. No obstante, en la actualidad no se aprovecha de la mejor manera la producción de energía eólica en esta zona, un claro ejemplo es que las líneas de conexión por el momento solo llegan hasta la mitad del departamento, pero su conexión con las subestaciones, que es el proyecto Colectora sigue en proceso y en construcción, por lo que es un proyecto que impulsara la transición energética en la zona.

El futuro de la energía eólica en La Guajira

En el futuro se tiene una predicción por parte del UPME que tiene proyección del aumento del 13% del aporte de la energía eólica en la producción total de energía en el país. Algunos de los proyectos que se tienen planeados hasta el 2030 se encuentran en la siguiente tabla:

Empresa	Número de Parques Eólicos	Número de Aerogeneradores	Capacidad Megavatios
Acquire	1	16	32
Alupar	7	112	224
Begonia Power	4	113	396
Colgeólica S.A.S	1	16	32
Desarrollos Eólicos Cuatro Vías (Desarrollos Eólicos Alta Guajira)	1	16	32
Desarrollos Eólicos de Unibia	3	48	96
Empresas Públicas de Medellín (EPM)	3	296	888
Enel Green Power	11	484	1449
Eolos S.A.S. E. S. P	1	150	300
Eviva Energy Martifer Renewables	3	150	450
Guajira Eólica I	1	16	50
Guajira Eólica II	2	100	300
Guajira Eólica La Vela	2	100	300
Isagén	5	246	772
Jemelwaas Ka'i	6	498	723
Musichi	1	64	194
Sowtec Energía de Colombia	1	48	144
Vientos del Norte	3	129	448
Wayúu (convenio interinstitucional con Isagén)	1	16	32
Total	57	2.618	6.862

Figure 5: Proyectos futuros de la producción de energía eólica en La Guajira[4]

Con los proyectos se espera poder tener una matriz energética mucho más competitiva, poder generar mas empleos e ingresos, del mismo modo poder aumentar el crecimiento de producción de energías renovables en el departamento.

El Levelized Cost Of Energy (LCOE) es un indicador energético que permite comparar los costos de producción de una unidad de energía producida por diferentes fuentes o vectores energéticos. Para el desarrollo de una herramienta que facilite el cálculo del LCOE, se realizan cuatro modelos simplificados que permiten estimar el costo promedio de inversión, mantenimiento y operación de energía generada a partir de fuentes solares fotovoltaicas, eólicas, solar-térmica e hidrógeno verde.

De manera general el LCOE es calculado de la siguiente manera:

$$LCOE = \frac{\frac{\sum_{i=0}^N Inversion_i + \sum_{i=0}^N Operacion_i + \sum_{i=0}^N Mantenimiento_i + \sum_{i=0}^N Combustibles_i}{(1+t)^i}}{\frac{\sum_{i=0}^N Produccion_i}{(1+t)^i}}$$

Para las diferentes tecnologías con la tasa t de retorno se debe traer a valor presente neto (VPN) el costo asociado a la inversión del proyecto, la operación y mantenimiento de equipos durante la vida útil del proyecto y costo estimado del combustible que se utilice, en caso de que se utilice alguno.

La mayoría de los costos de inversión se realizan al inicio del tiempo de vida del proyecto, aún así, se debe tener en cuenta que hay equipos cuyo tiempo de vida es menor al del proyecto y por ende deben ser adquiridos en más de una ocasión.

Hidrógeno Verde

Para la producción de hidrógeno se debe dividir el agua, pero para eso se requiere de energía. La energía necesaria para el proceso puede provenir de diferentes partes, por ejemplo, se puede generar por medio de combustibles fósiles y los procesos existen son varios, pero principalmente destaca el reformado que se da por procesos endotérmicos. El problema de los combustibles fósiles es que el resultado del proceso termina en la producción de hidrógeno pero se le suma el dióxido de carbono, por ende se conoce como hidrógeno gris.

Ahora bien, existen otros procesos que son conocidos como hidrógeno verde, se caracterizan es por el uso de energías renovables para la producción de energía. El proceso que se lleva es la electrólisis, en el que se destacan tres principales métodos que se encuentran en el mercado [5]:

- Electrolisis de agua alcalina (AWE): Tiene problemas con respecto a la eficiencia pero es con el mayor alcance de producción con hasta 100MW.
- Electrolisis de agua con membranas de polímero (PEMWE): Los elementos para la tecnología necesarios en el catalizador son un raros por lo que para obtenerlos es difícil.
- Electrolisis de oxido solido de alta temperatura (SOEC): Trabaja a altas temperaturas para poder conducir iones de O_2 .

Entonces, para la producción de hidrógeno verde se be tener en cuenta:

- La energía renovable para la producción de electricidad, que puede ser en este caso: Solar y eólica. Es la parte del proceso que tiene un mayor costo.
- El método de electrólisis que entre las opciones están las antes mencionadas.

Solar fotovoltaico

Se identifican los costos iniciales de inversión, para los que se tiene en cuenta:

- Compra o alquiler del terreno
- Costo de cada panel solar
- Costo de inversores DC/AC
- Costo de los sistemas de soporte mecánico para las mesas de paneles
- Costo de equipos de protección y monitoreo
- Costos asociados a la instalación de los paneles y equipos
- Costos asociados a permisos y autorizaciones necesarios (ambientales, operación, conexión a la red, etc)
- Costo asociado a los estudios previos a la construcción del proyecto

Dentro de los costos de operación y mantenimiento se tiene en cuenta:

- Cuota asociada al financiamiento de la construcción del proyecto
- Costos por reemplazo de equipos
- Costos destinados al mantenimiento y limpieza de los paneles
- Costos asociados al personal de la planta de generación (salario, capacitación, bonificaciones, etc)

Solar térmico

Para un proyecto de generación de energía solar térmica se deben tener en cuenta los siguientes elementos al momento de estimar los costos totales de inversión.

- Compra o alquiler del terreno
- Costo de cada colector solar (plano o cilíndrico)
- Costo de los sistemas de soporte mecánico y tracking para los colectores
- Costo del sistema de transferencia de calor al fluido portador
- Costo del sistema de almacenamiento y bombeo del fluido portador
- Costo del generador de vapor
- Costo del generador eléctrico (máquina sincrónica)
- Costo de equipos de protección y monitoreo
- Costos asociados a la instalación de los colectores y equipos
- Costos asociados a permisos y autorizaciones necesarios (ambientales, operación, conexión a la red, etc)
- Costo asociado a los estudios previos a la construcción del proyecto

Dentro de los costos de operación y mantenimiento se tiene en cuenta:

- Cuota asociada al financiamiento de la construcción del proyecto
- Costos por reemplazo de colectores (dada su naturaleza frágil)
- Costos destinados al mantenimiento y limpieza de los colectores
- Costos de mantenimiento de tuberías y sistemas de almacenamiento y bombeo del líquido
- Costos de mantenimiento del generador eléctrico
- Costo del fluido portador (generalmente agua)
- Costos asociados al personal de la planta de generación (salario, capacitación, bonificaciones, etc)

Para un sistema solar térmico se requiere de un fluido portador, el cual generalmente es agua, por lo que dentro de los costos de operación se debe incluir el precio del agua.

Eólica

En un proyecto de generación eólica los siguientes elementos deben ser tenidos en cuenta para estimar el costo total de inversión del proyecto:

-
- Compra o alquiler del terreno
- Costo de cada turbina eólica
- Costo de la infraestructura necesaria para el proyecto
- Costo de equipos de protección y monitoreo
- Costo de conexión al sistema nacional de transmisión
- Costos asociados a estudios previos y licencias necesarias para el proyecto (ambientales, operación, conexión a la red, etc)

Dentro de los costos de operación y mantenimiento se tiene en cuenta:

- Cuota asociada al financiamiento de la construcción del proyecto
- Costos destinados al mantenimiento o reemplazo de las turbinas eólicas
- Costos de mantenimiento y reemplazo de equipos de medición y protección
- Costos asociados al personal de la planta de generación (salario, capacitación, bonificaciones, etc)

Herramienta para cálculo de LCOE

Haciendo uso de los formularios de Excel y el lenguaje de programación Visual Basic se diseñó e implementó una herramienta que permita calcular un estimado de LCOE para diferentes fuentes energéticas. Para hacer uso de la herramienta se debe verificar que excel tenga habilitado el uso de macros. La herramienta puede ser descargada del siguiente repositorio: https://github.com/guayacansebastian/Trabajo1_Topicos.git

1 Parámetros de la formula del LCOE

Para calcular el LCOE de una fuente de generación o vector energético se deben definir los factores que modifican el costo promedio de generar una unidad de energía y la cantidad de energía que se genera. La herramienta computacional diseñada por el equipo tiene dos secciones para cada una de las tecnologías, en las que se le permite al usuario ingresar los parámetros que afectan la producción de energía y el costo al que se genera. Dentro de estos parámetros se tiene: factor de planta de cada unidad de generación, cantidad de unidades, potencia nominal de cada unidad, entre otros.

Al iniciar la herramienta aparece la interfaz de bienvenida al usuario, el que se explica cual es la finalidad de esta.

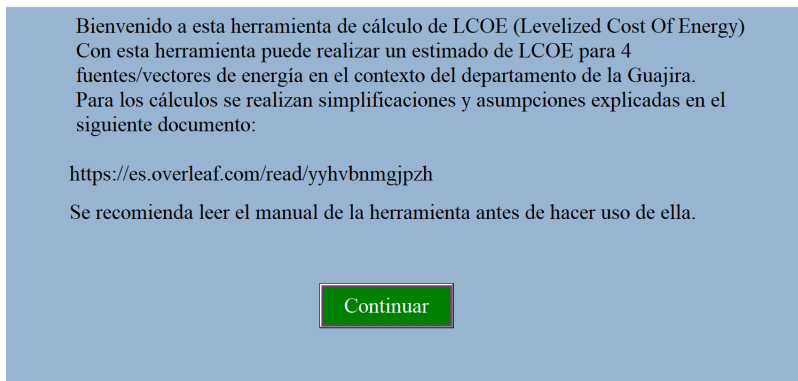


Figure 6: Interfaz principal de la herramienta

Al seleccionar el botón de *Continuar* aparece una nueva ventana emergente en la que se le da la opción al usuario de elegir la fuente de energía o vector energético que se desea consultar.

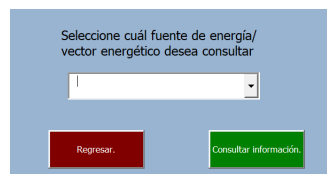


Figure 7: Selección de la fuente de energía o vector energético

La aplicación cuenta con 4 opciones entre las cuales el usuario puede elegir, cada una cuenta con parámetros diferentes para realizar el cálculo. Las opciones son las siguientes:

Energía fotovoltaica

Costos asociados a la producción de energía fotovoltaica en la Guajira

Tiempo de vida del proyecto (años):

Costos de inversión (USD):

Terreno destinado para el proyecto:

Panel solar Cantidad

Inversores DC/AC Cantidad

Soporte mecánico y de tracking Cantidad

Equipos de protección y monitoreo Cantidad

Costos de instalación y transporte de los paneles

Costos de licencias ambientales y permisos requeridos

Costos de conexión a la red

Costos de operación:

Presupuesto destinado a reparaciones Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a reemplazo de equipos Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a limpieza de paneles Periodicidad (años)

Costos de capital humano

Costos de financiamiento

Capital financiado

Plazo del préstamo (años)

Tasa de interés (Efectivo Anual)

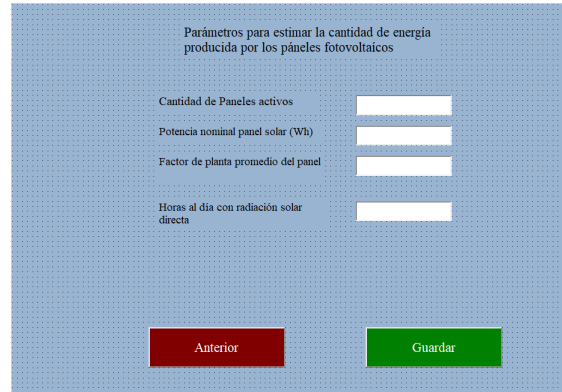
Figure 8: Interfaz energía fotovoltaica

Los parámetros que se piden para calcular los costos asociados a la producción de energía fotovoltaica en La Guajira son:

- Tiempo de vida del proyecto (años).
- Costos de inversión en *USD* de:
 - Terreno destinado para el proyecto.
 - Paneles solares.
 - Inversores DC/AC
 - Soporte mecánico y de tracking.
 - Equipos de protección y monitoreo.
- La cantidad de:
 - Paneles solares.
 - Inversores DC/AC
 - Soporte mecánico y de tracking.
 - Equipos de protección y monitoreo.
- Costos de instalaciones y transporte de los paneles.
- Costos de licencias ambientales y permisos requeridos.
- Costos de la conexión de la red.
- Costos de operación de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
 - Presupuesto destinado a limpieza de paneles.
 - Costo de capital humano.
- Tiempo de operación en años de:

- Presupuesto destinado a reparaciones.
- Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
- Presupuesto destinado a limpieza de paneles.
- Capital financiado.
- Plazo de prestamos en años.
- Tasa de interés (efectivo anual).

Al dar en el botón de *Guardar* aparecerá la siguiente ventana:



Parámetros para estimar la cantidad de energía producida por los paneles fotovoltaicos

Cantidad de Paneles activos

Potencia nominal panel solar (Wh)

Factor de planta promedio del panel

Horas al día con radiación solar directa

Anterior Guardar

Figure 9: Ventana para conocer la cantidad de energía producida por los paneles fotovoltaicos

Ahora, en la nueva ventana se va a pedir al usuario los siguientes datos:

- Cantidad de Paneles activos.
- Potencia nominal del panel solar en Wh .
- Factor de planta promedio del panel.
- Horas al día con radiación solar directa.

Esto con el fin de poder tener los parámetros para estimar la energía que producen los paneles. Los datos anteriores deben ser lo mas preciso posible con el fin de poder tener un mejor valor óptimo.

Al guardar los datos se obtiene una ventana emergente en el que se da los costos totales de operación del proyecto en $USD(2023)$, se hace una estimación de cuanto se genera de energía por el tiempo de vida del proyecto y el LCOE en USD/MW .

LCOE del proyecto de energía fotovoltaica

El LCOE se obtiene de dividir todos los costos calculados asociados al parque solar con la cantidad estimada de energía que se va a producir durante el tiempo de vida del proyecto.

Los costos totales estimados para la construcción y operación del proyecto son de : USD (2023)

Se estima que durante el tiempo de vida del proyecto se generen : MWh

El LCOE estimado es de: USD /MW

Figure 10: Ventana emergente con el valor de costos totales, generación de energía y LCOE del proyecto para energía fotovoltaica

Energía térmica

Costos asociados a la producción de energía solar térmica en la Guajira

Tiempo de vida del proyecto (años):

Costos de Inversión (USD):

Terreno destinado para el proyecto:

Colector plano Cantidad
 Colector cilíndrico Cantidad
 Soporte mecánico y de tracking Cantidad
 Equipos de protección y monitoreo Cantidad
 Generador sincrónico Cantidad

Costos de instalación y transporte de los colectores
 Costos de licencias ambientales y permisos requeridos
 Costos de conexión a la red
 Sistema de transferencia de calor al líquido
 Sistema de almacenamiento y bombeo del líquido

Costos de operación:
 Presupuesto destinado a reparaciones Periodicidad (años)
 Presupuesto destinado a reemplazo de equipos Periodicidad (años)
 Presupuesto destinado a limpieza de colectores Periodicidad (años)
 Costos de capital humano
 Cantidad de agua utilizada anualmente (m3) Costo m3 agua

Costos de financiamiento:
 Capital financiado
 Plazo del préstamo (años)
 Tasa de interés (Efectivo Anual)

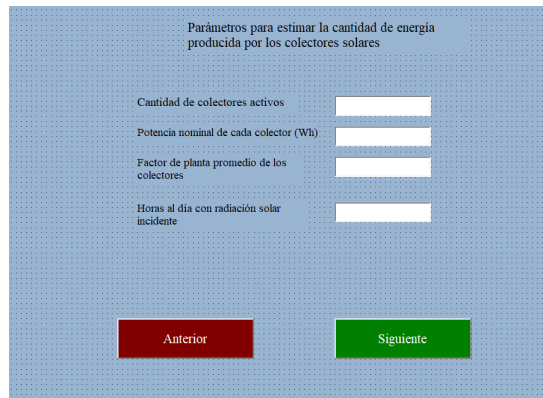
Figure 11: Interfaz energía térmica

Los parámetros que se piden para calcular los costos asociados a la producción de energía solar térmica en La Guajira son:

- Tiempo de vida del proyecto (años).
- Costos de inversión en *USD* de:
 - Terreno destinado para el proyecto.
 - Colector plano.
 - Colector cilíndrico.
 - Soporte mecánico y de tracking.
 - Equipos de protección y monitoreo.
 - Generador sincrónico.
- La cantidad de:
 - Colector plano.
 - Colector cilíndrico.

- Soporte mecánico y de tracking.
- Equipos de protección y monitoreo.
- Generador sincrónico.
- Costos de instalaciones y transporte de los colectores.
- Costos de licencias ambientales y permisos requeridos.
- Costos de la conexión de la red.
- Sistema de transferencia de calor al líquido.
- Sistema de almacenamiento y bombeo del líquido.
- Costos de operación de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
 - Presupuesto destinado a limpieza de los colectores.
 - Costo de capital humano.
 - Cantidad de agua utilizada anualmente en m^3 .
 - Costo del agua en m^3 .
- Tiempo de operación en años de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
 - Presupuesto destinado a limpieza de los colectores.
- Capital financiado.
- Plazo de prestamos en años.
- Tasa de interés (efectivo anual).

Al dar en el botón de *Guardar* aparecerá la siguiente ventana:



Parámetros para estimar la cantidad de energía producida por los colectores solares

Cantidad de colectores activos

Potencia nominal de cada colector (Wh)

Factor de planta promedio de los colectores

Horas al día con radiación solar incidente

Anterior Siguiente

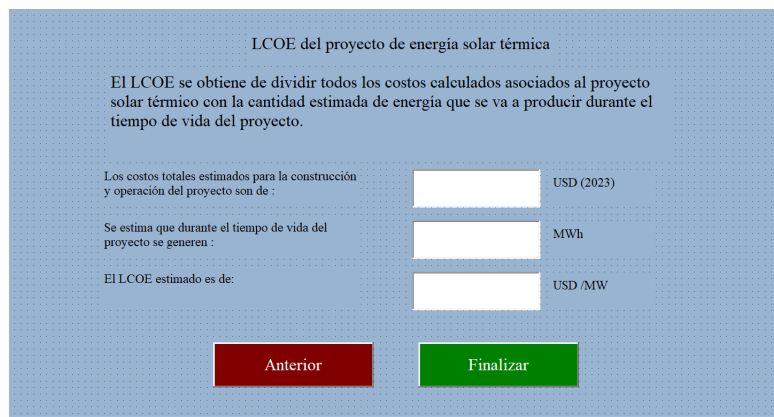
Figure 12: Ventana para conocer la cantidad de energía producida por los colectores solares

Ahora, en la nueva ventana se va a pedir al usuario los siguientes datos:

- Cantidad de colectores solares activos.
- Potencia nominal de cada colector en Wh .
- Factor de planta promedio de los colectores.
- Horas al día con radiación solar incidente.

Esto con el fin de poder tener los parámetros para estimar la energía que producen los colectores. Los datos anteriores deben ser lo mas preciso posible con el fin de poder tener un mejor valor óptimo.

Al guardar los datos se obtiene una ventana emergente en el que se da los costos totales de operación del proyecto en $USD(2023)$, se hace una estimación de cuanto se genera de energía por el tiempo de vida del proyecto y el LCOE en USD/MW .



LCOE del proyecto de energía solar térmica

El LCOE se obtiene de dividir todos los costos calculados asociados al proyecto solar térmico con la cantidad estimada de energía que se va a producir durante el tiempo de vida del proyecto.

Los costos totales estimados para la construcción y operación del proyecto son de : USD (2023)

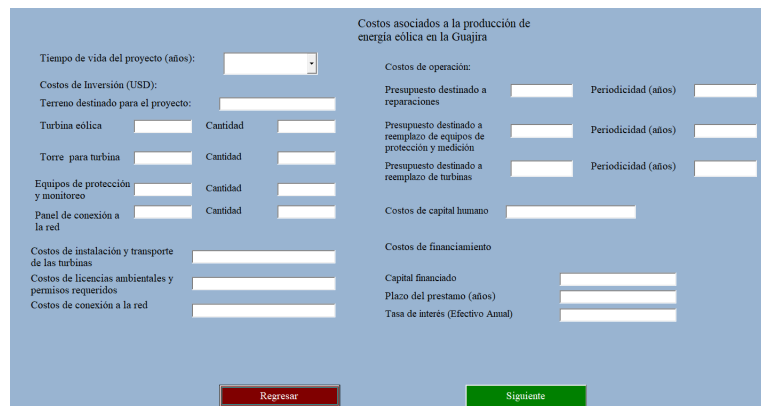
Se estima que durante el tiempo de vida del proyecto se generen : MWh

El LCOE estimado es de: USD /MW

Anterior Finalizar

Figure 13: Ventana emergente con el valor de costos totales, generación de energía y LCOE del proyecto para energía solar térmica

Energía eólica



Costos asociados a la producción de energía eólica en la Guajira

Costos de inversión (USD):

Tiempo de vida del proyecto (años):

Terreno destinado para el proyecto:

Turbina eólica Cantidad

Torre para turbina Cantidad

Equipos de protección y monitoreo Cantidad

Panel de conexión a la red

Costos de instalación y transporte de las turbinas

Costos de licencias ambientales y permisos requeridos

Costos de conexión a la red

Costos de operación:

Presupuesto destinado a reparaciones Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a reemplazo de equipos de protección y mediciones Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a reemplazo de turbinas Periodicidad (años)

Costos de capital humano

Costos de financiamiento

Capital financiado

Plazo del préstamo (años)

Tasa de interés (Efectivo Anual)

Regresar Siguiente

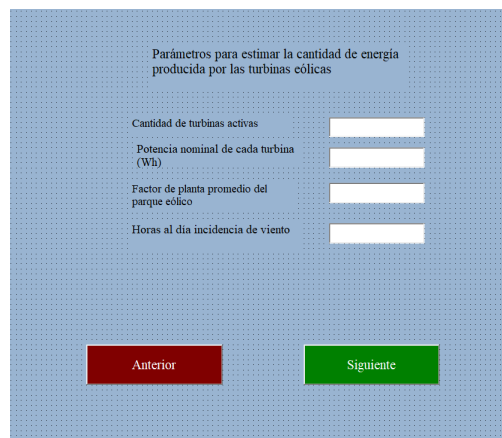
Figure 14: Interfaz energía eólica

Los parámetros que se piden para calcular los costos asociados a la producción de energía eólica en La Guajira son:

- Tiempo de vida del proyecto (años).
- Costos de inversión en USD de:

- Terreno destinado para el proyecto.
 - Turbina eólica.
 - Torre para turbina.
 - Equipo de protección y monitoreo.
 - Panel de conexión a la red.
- La cantidad de:
 - Turbina eólica.
 - Torre para turbina.
 - Equipo de protección y monitoreo.
 - Panel de conexión a la red.
 - Costos de instalaciones y transporte de las turbinas.
 - Costos de licencias ambientales y permisos requeridos.
 - Costos de la conexión de la red.
 - Costos de operación de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos de protección y medición.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de turbinas.
 - Costo de capital humano.
 - Tiempo de operación en años de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos de protección y medición.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de turbinas.
 - Capital financiado.
 - Plazo de prestamos en años.
 - Tasa de interés (efectivo anual).

Al dar en el botón de *Guardar* aparecerá la siguiente ventana:



Parámetros para estimar la cantidad de energía producida por las turbinas eólicas

Cantidad de turbinas activas

Potencia nominal de cada turbina (Wb)

Factor de planta promedio del parque eólico

Horas al día incidencia de viento

Anterior Siguiente

Figure 15: Ventana para conocer la cantidad de energía producida por las turbinas eólicas

Ahora, en la nueva ventana se va a pedir al usuario los siguientes datos:

- Cantidad de turbinas activas.
- Potencia nominal de cada turbina en Wh .
- Factor de planta promedio del parque eólico.
- Horas al día con incidencia de viento.

Esto con el fin de poder tener los parámetros para estimar la energía que producen las turbinas eólicas. Los datos anteriores deben ser lo mas preciso posible con el fin de poder tener un mejor valor óptimo.

Al guardar los datos se obtiene una ventana emergente en el que se da los costos totales de operación del proyecto en $USD(2023)$, se hace una estimación de cuanto se genera de energía por el tiempo de vida del proyecto y el LCOE en USD/MW .

LCOE del proyecto de energía eólica

El LCOE se obtiene de dividir todos los costos calculados asociados al proyecto de generación eólica con la cantidad estimada de energía que se va a producir durante el tiempo de vida del proyecto.

Los costos totales estimados para la construcción y operación del proyecto son de : USD (2023)

Se estima que durante el tiempo de vida del proyecto se generen : MWh

El LCOE estimado es de: USD / MW

Anterior
Finalizar

Figure 16: Ventana emergente con el valor de costos totales, generación de energía y LCOE del proyecto para energía eólica

Hidrógeno Verde

Costos asociados a la producción de hidrógeno verde en la Guajira

Tiempo de vida del proyecto (años):

Costos de inversión (USD):

Terreno destinado para el proyecto:

Electrolizador Cantidad

Equipos de protección y monitoreo Cantidad

Sistema de manejo de Agua

Electrónica de potencia

Sistema de gestion del oxígeno

Sistema de gestion del hidrógeno

Costos de operación:

Presupuesto destinado a reparaciones Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a reemplazo de equipos Periodicidad (años)

Presupuesto destinado a cambio de membranas Periodicidad (años)

Cantidad de agua utilizada anualmente (m³) Costo m³ agua

Cantidad de energía utilizada anualmente por el electrolizador Costo kWh

Costos de capital humano

Costos de financiamiento

Capital financiado

Plazo del préstamo (años)

Tasa de interés (Efectivo Anual)

Regresar
Guardar

Figure 17: Interfaz de Hidrógeno Verde

Los parámetros que se piden para calcular los costos asociados a la producción de hidrógeno verde en La Guajira son:

- Tiempo de vida del proyecto (años).
- Costos de inversión en *USD* de:
 - Terreno destinado para el proyecto.
 - Paneles solares.
 - Electrolizador.
 - Equipos de protección y monitoreo.
 - Sistema de manejo de Agua.
 - Electrónica de potencia.
 - Sistema de gestión del oxígeno.
 - Sistema de gestión del hidrógeno.
- La cantidad de:
 - Electrolizador.
 - Equipos de protección y monitoreo.
- Costos de operación de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
 - Presupuesto destinado al cambio de membranas.
 - Cantidad de agua utilizada anualmente en *m3*.
 - Costo del agua en *m3*.
 - Cantidad de energía utilizada anualmente en por el electrolizador.
 - Costo del agua en *kWh*.
 - Costo de capital humano.
- Tiempo de operación en años de:
 - Presupuesto destinado a reparaciones.
 - Presupuesto destinado a reemplazo de equipos.
 - Presupuesto destinado al cambio de membranas.
- Capital financiado.
- Plazo de prestamos en años.
- Tasa de interés (efectivo anual).

Al dar en el botón de *Guardar* aparecerá la siguiente ventana:



Parámetros para estimar la cantidad de energía producida por el hidrógeno

Cantidad de electrolizadores activos

Kg de hidrógeno producido por cada electrolizador (Kgh)

Horas al día de electrólisis

Poder calorífico del H2 (Wh/Kg)

Anterior Siguiente

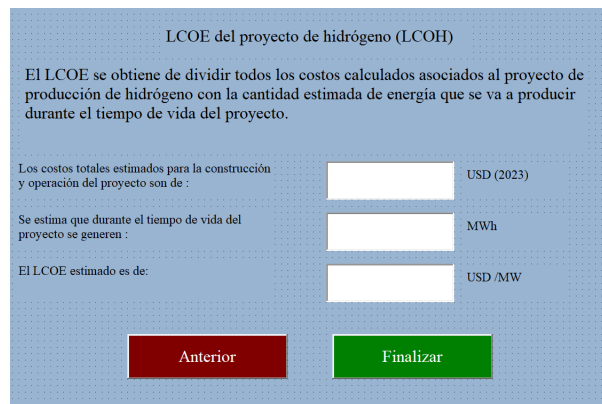
Figure 18: Ventana para conocer la cantidad de energía producida por el hidrógeno

Ahora, en la nueva ventana se va a pedir al usuario los siguientes datos:

- Cantidad de electrolizadores activos.
- Kg de hidrógeno producido por cada electrolizador Kgh .
- Horas al día de electrólisis.
- Poder calorífico del H2 en Wh/Kg .

Esto con el fin de poder tener los parámetros para estimar la energía que se produce a partir del hidrógeno. Los datos anteriores deben ser lo mas preciso posible con el fin de poder tener un mejor valor óptimo.

Al guardar los datos se obtiene una ventana emergente en el que se da los costos totales de operación del proyecto en $USD(2023)$, se hace una estimación de cuanto se genera de energía por el tiempo de vida del proyecto y el LCOE en USD/MW .



LCOE del proyecto de hidrógeno (LCOH)

El LCOE se obtiene de dividir todos los costos calculados asociados al proyecto de producción de hidrógeno con la cantidad estimada de energía que se va a producir durante el tiempo de vida del proyecto.

Los costos totales estimados para la construcción y operación del proyecto son de : USD (2023)

Se estima que durante el tiempo de vida del proyecto se generen : MWh

El LCOE estimado es de: USD /MW

Anterior Finalizar

Figure 19: Ventana emergente con el valor de costos totales, generación de energía y LCOE del proyecto para producción de hidrógeno verde

References

- [1] Ministerio de Minas y Energía. (n.d). Hoja de Ruta de Hidrógeno de Colombia.
- [2] ICEX. Energías renovables en Colombia; 2017. p. 1–12.

- [3] Carvajal-Romo, G., Valderrama-Mendoza, M., Rodríguez-Urrego, D., & Rodríguez-Urrego, L. (2019). Assessment of solar and wind energy potential in La Guajira, Colombia: Current status, and future prospects. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36, 100531.
- [4] Rodriguez, D. (n.d) Potencial de Energías Renovables en La Guajira: importancia y desafíos de la transición energética, Crudo Transparente - Por un sector minero-energético, abierto, informado y responsable. Available at: <https://crudotransparente.com/2021/04/14/potencial-de-energias-renovables-en-la-guajira-importancia-y-desafios-de-la-transicion-energet>.
- [5] Kilner, J. (n.d) La electrólisis Del Agua: Una Forma Sostenible de producir Hidrógeno Verde, CIC energiGUNE. Available at: <https://cicenergigune.com/es/blog/electrolisis-agua-sostenible-producir-hidrogeno-verde>.