



**Universidad
Europea**

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

ESTUDIO DE VIABILIDAD ENERGÉTICA DE UN MUNICIPIO 100% RENOVABLE

TRABAJO FIN DE MÁSTER

GRUPO 5:

ALBERTO JARET SOSA BORDÓN
SARA HERNÁNDEZ MARTINEZ
MAGDALENA SERRANO FERNÁNDEZ
CARLOS ALBERTO BRAVO GALLEGO
MANUEL CUADRADO DE MARCOS
MIGUEL LÁZARO FELIPE

TUTOR:

RICARDO DORDA LAFORET

4 DE NOVIEMBRE DE 2023

Índice

Índice de tablas	5
Resumen	6
Abstract	7
Palabras clave / keywords	8
Definiciones	8
1. Introducción	8
1.1. Contexto y antecedentes	8
1.2. Objetivos	10
1.3. Alcance	10
1.4. Metodología	11
1.4.1. Conceptualización del Proyecto	11
1.4.2. Evaluación de las Necesidades Energéticas	11
1.4.3. Propuesta de Transformación Energética	11
1.4.4. Evaluación de la Viabilidad Económica	12
2. Municipio de estudio	12
2.1. Características generales	12
2.2. Tipos de empresas	13
2.3. Parcelas disponibles	13
2.3.1. Parcela 1	13
2.3.2. Parcela 2	14
2.3.3. Parcela 3	14
2.3.4. Parcela 4	15
2.3.5. Parcela 5	15
2.3.6. Zonas protegidas por Red Natura	15
2.3.7. Estudio geológico y topográfico	19
2.4. Evaluación de los recursos disponibles	21
2.4.1. Recurso eólico	21
2.4.2. Recurso Fotovoltaico	24
2.4.3. Recurso Hidrógeno verde	28
3. Sistema lineal	30
3.1. Estudio de consumos	31
3.1.1. Tarifas	31
3.1.2. Perfiles de consumo	33

3.2.	Estudio de generación existente	34
3.2.1.	Generación fotovoltaica existente.....	34
3.2.2.	Generación eólica existente	35
3.3.	Necesidades	36
3.4.	Producción de hidrógeno	37
3.4.1.	Electrolizador	38
3.4.2.	Aprovisionamiento de agua	39
3.4.3.	Compresor	40
3.4.4.	Depósito de alta presión	41
3.4.5	Pila de combustible	42
3.4.5.	Dimensionamiento de la energía requerida	42
3.5.	Producción fotovoltaica total	45
3.6.	Excedentes	46
4.	Estadísticamente Verde vs. 100% Renovable.....	47
5.	Análisis económico	48
5.1.	Coste Instalación fotovoltaica.....	48
5.2.	Coste Instalación hidrógeno	49
5.3.	Métodos de Financiación	50
5.3.1.	Subvenciones existentes	50
5.3.2.	Otros métodos de financiación	51
6.	Conclusiones.....	51
7.	Futuras líneas de trabajo.....	56
	Bibliografía	57

Tabla de figuras

Figura 1. Emisiones anuales de CO ₂ en el mundo (Ritchie, Roser, & Rosado, CO ₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020).....	9
Figura 2. Municipio de Agüimes (Wikipedia, 2023).....	13
Figura 3. Vista satélite de la parcela 1 (Google maps).....	14
Figura 4. Vista satélite de la parcela 2 (Google maps).....	14
Figura 5. Vista satélite de la parcela 3 (Google maps).....	14
Figura 6. Vista satélite de la parcela 4 (Google maps).....	15
Figura 7. Vista satélite de la parcela 5 (Google maps).....	15
Figura 8 Situación de las ZEC de Arinaga (Carrillo, 2016)	16
Figura 9. Ámbito territorial de la ZEC ES7010049 (Carrillo, 2016)	16
Figura 10. Zonificación del Monumento Natural de Arinaga (Carrillo, 2016)	17
Figura 11. Categorías del suelo en el Monumento Natural de Arinaga (Carrillo, 2016)	17
Figura 12. Mapa Geológico modificado y leyenda del municipio de Arinaga en el que se van a escoger las parcelas más apropiadas para las instalaciones fotovoltaicas y producción de hidrógeno verde. En él se aprecian los materiales y sus edades que forman la geología de la zona del estudio. (Barrera Morate, 1990)	20
Figura 13. Primera zona de estudio situada en el Parque de Bahía de Formas. (Atlas, Global Wind Atlas, 2023)	21
Figura 14. Densidad media de potencia a una altura de 100m en el parque de Bahía de Formas (W/m ²). (Atlas, Global Wind Atlas, 2023).....	22
Figura 15. Densidad media de potencia a una altura de 150m en el parque de Bahía de Formas (W/m ²). (Global Wind Atlas, 2023)	22
Figura 16. Rosa de frecuencia de los vientos a 100m (izquierda) y 150m (derecha) de altura en el parque de Bahía de Formas. (Global Wind Atlas, 2023)	22
Figura 17. Segunda zona de estudio situada en el Parque de Carretera de Arinaga. (Global Wind Atlas, 2023)	23
Figura 18. Densidad media de potencia a una altura de 100m en el parque de Carretera de Arinaga (W/m ²). (Global Wind Atlas, 2023).....	23
Figura 19. Densidad media de potencia a una altura de 150m en el parque de Carretera de Arinaga (W/m ²). (Global Wind Atlas, 2023).....	23
Figura 20. Rosa de frecuencia de los vientos a 100m (izquierda) y 150m (derecha) de altura en el parque de Carretera de Arinaga. (Atlas, Global Wind Atlas, 2023)	24
Figura 21. Curva característica de un panel fotovoltaico (Zischke, D., 2017) ..	25

Figura 22. Influencia de la variación de la irradiancia en el comportamiento de un panel fotovoltaico. (Motahhir, S., El Hammoumi, A. and El Ghzizal, A., 2018) .	26
Figura 23. Representación gráfica de la irradiación global horizontal y directa normal (kWh/m ²) en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) en el año 2020. (Comission, 2023)	26
Figura 24. Representación de la relación entre la irradiación global y la difusa en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) durante el año 2020. (Comission, 2023)	27
Figura 25. Influencia de la variación de la temperatura en el comportamiento de un panel fotovoltaico. (Motahhir, S., El Hammoumi, A. and El Ghzizal, A., 2018)	27
Figura 26. Representación gráfica de la variación de temperatura (°C) en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) a lo largo del año 2020. (Comission, 2023)	28
Figura 27. Gráficas Consumos acumulados.....	34
Figura 28. Generación eólica instalada en Arinaga. (Gobierno de Canarias, 2017)	35
Figura 29. Producción horaria Eólica existente.	36
Figura 30. Curva horaria Necesidades.....	37
Figura 31. Cantidad de hidrógeno requerida por cada hora	38
Figura 32. Consumo horario de dos electrolizadores	43
Figura 33. Cantidad de agua requerida por cada hora	43
Figura 34. Consumo horario del equipo de osmosis inversa.....	44
Figura 35. Consumo horario de los compresores.....	45
Figura 36. Excedentes en MWh producidos por la instalación fotovoltaica	47
Figura 37. Generación fotovoltaica existente en Agüimes a lo largo del año ...	52
Figura 38. Generación eólica existente en Agüimes a lo largo del año	53
Figura 39. Generación fotovoltaica total a lo largo del año de las instalaciones fotovoltaicas a instalar en Agüimes	54

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de hábitats naturales	18
Tabla 2. Especies del anexo II de la Directiva 92/43/CEE	18
Tabla 3. Tipos de hábitats naturales	18
Tabla 4. Especies del anexo II de la Directiva 92/43/CEE	18
Tabla 6. Características electrolizador (HyLyzer - 4000)	38
Tabla 7. Masas molares	39
Tabla 8. Características del depósito de agua purificada	40
Tabla 9. Características del compresor de tipo D, Sollant	40
Tabla 10. Potencia pico y producción de las instalaciones fotovoltaicas estudiadas	46
Tabla 11. Comparativa de potencias necesarias para casa 100% renovable y estadísticamente verde	48

Resumen

En el marco de esta investigación de posgrado, hemos llevado a cabo un minucioso análisis de viabilidad con el propósito de materializar un ambicioso proyecto que transformaría el municipio de Agüimes, en Gran Canaria, en una comunidad completamente sostenible en términos energéticos. Este proyecto se enfoca en la viabilidad de la plena utilización de fuentes de energía renovable, abarcando tecnologías de hidrógeno, energía fotovoltaica, y eólica, con el objetivo fundamental de revolucionar la matriz energética de esta región.

En el transcurso de este estudio, hemos tenido en cuenta la situación actual no solo en el ámbito local, sino también en el contexto global de las energías renovables.

Para este análisis, en primer lugar, se ha realizado una exhaustiva evaluación de las curvas horarias anuales de consumo energético en Agüimes, en base a datos de consumo por sectores económicos. Estos datos se han adaptado cuidadosamente para modelar la situación de manera precisa y brindar una base sólida para el desarrollo del proyecto.

A continuación, se ha realizado un estudio de la generación de las instalaciones de energía renovable existentes en la actualidad en Agüimes y en base a estos datos se ha elaborado un sistema lineal con el objetivo de dimensionar las instalaciones que haría falta construir con el objetivo de cubrir el 100% de la demanda de Agüimes.

Así, este trabajo presenta unas soluciones que incluyen la integración de las tecnologías de energía renovable previamente mencionadas. Estas soluciones están respaldadas con cifras sólidas determinadas mediante cálculos detallados en los que las curvas de generación y consumos han sido estudiadas para las 8760 horas de un año completo.

Una vez obtenidos los resultados obtenidos del sistema lineal en el que se pretende dimensionar un sistema autosuficiente 100% renovable para el municipio, se han dimensionado de nuevo las instalaciones que harían falta para satisfacer el consumo de Agüimes, pero esta vez, de forma estadísticamente renovable. Así, los resultados obtenidos mediante estos dos sistemas y la comparación entre ellos proporcionan unas conclusiones muy valiosas para el ámbito de desarrollo de las energías renovables y da luz sobre las futuras líneas de investigación que se deben de desarrollar para favorecer una transición energética segura.

Abstract

Within the framework of this postgraduate research, we have carried out a detailed feasibility analysis with the aim of materializing an ambitious project that would transform the municipality of Agüimes, in Gran Canaria, into a completely sustainable community in terms of energy. This project focuses on the feasibility of the full use of renewable energy sources, covering green hydrogen, photovoltaics and wind technologies, with the fundamental objective of revolutionizing the energy matrix of this region.

In the course of this study, we have taken into account the current situation not only at local level, but also in the global context of renewable energy.

For this analysis, first of all, a thorough evaluation of the annual hourly energy consumption curves in Agüimes has been made. This study has been made based on consumption data divided by economic sectors (comercial, industrial and residential). These data have been carefully adapted to accurately model the situation and provide a solid foundation the development of the project.

After this, a study was carried out about the generation of the already existing renewable energy installations in Agüimes. Next, on the basis of this data, a linear system was developed with the aim of sizing the installations that would have to be built with the target of covering 100% of Agüimes energy demand.

Thus, this paper presents solutions that include the integration of the previously mentioned renewable energy technologies. These solutions are supported by solid calculations that have been determined by detailed calculations in which the generation and consumption curves have been studied for the 8760 hours of a full year.

Once the results from the linear system (in which it is intended to size a self-sufficient system 100% renewable for the municipality) have been obtained, the facilities that would be needed to meet the energy consumption of Agüimes have been resized, but this time, in a statistically renewable way. Thus, the results obtained through these two systems and the comparison between them, provide several valuable conclusions for the field of renewable energies. Furthermore, it gives light on the future lines of research that need to be developed in order to ensure a secure energy transition.

Palabras clave / keywords

Indicar 5 palabras clave que permitan catalogar el trabajo de manera adecuada:

- Autosuficiencia 100% renovable
- Energías renovables
- Hidrógeno
- Fotovoltaica
- Estadísticamente renovable

Definiciones

ZEC: Consorcio de la Zona Especial Canaria

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

CO₂: Dióxido de carbono

COP26: 26.^a Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

1. Introducción

1.1. Contexto y antecedentes

En la historia de la humanidad, el ingenio y la creatividad para crear sistemas que aprovechen la energía procedente de recursos naturales es lo que ha condicionado el desarrollo de la sociedad. La energía es un recurso esencial en nuestra vida cotidiana abarcando desde necesidades básicas como la cocción y conservación de alimentos, la climatización de hogares, el acceso a la iluminación y el agua caliente, hasta servicios digitales como la conectividad a internet y el uso de dispositivos electrónicos. Todo esto es posible gracias a la disponibilidad de fuentes de energía y al desarrollo de sistemas que la capturan y distribuyen hasta nuestros hogares. Por este motivo, es muy importante asegurar un acceso universal a la energía.

La forma en que obtenemos esta energía es crucial para evitar daños irreparables al planeta. Sin embargo, durante mucho tiempo no se le ha dado importancia a este aspecto. A pesar de que otros gases de efecto invernadero tienen un mayor poder de calentamiento por molécula, el dióxido de carbono es el principal objetivo en la lucha contra el cambio climático ya que se encuentra presente en multitud de actividades que conforman el modo de vida que hemos instaurado en nuestra sociedad desde hace miles de años.

Como se puede observar en la gráfica 1 (Ritchie, Roser, & Rosado, CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020), antes de la revolución industrial, las emisiones de dióxido de carbono eran muy bajas y el aumento de estas se mantuvo moderado hasta la mitad del siglo XX. No obstante, las emisiones se cuadruplicaron en el año 1990, llegando a superar los 22 billones de toneladas de CO₂, y han seguido creciendo en sentido ascendente, a excepción del año 2020 que hubo un descenso originado a causa de la pandemia de la COVID,

llegando a la actualidad, en la que se emiten más de 34 billones de toneladas de dióxido de carbono al año.

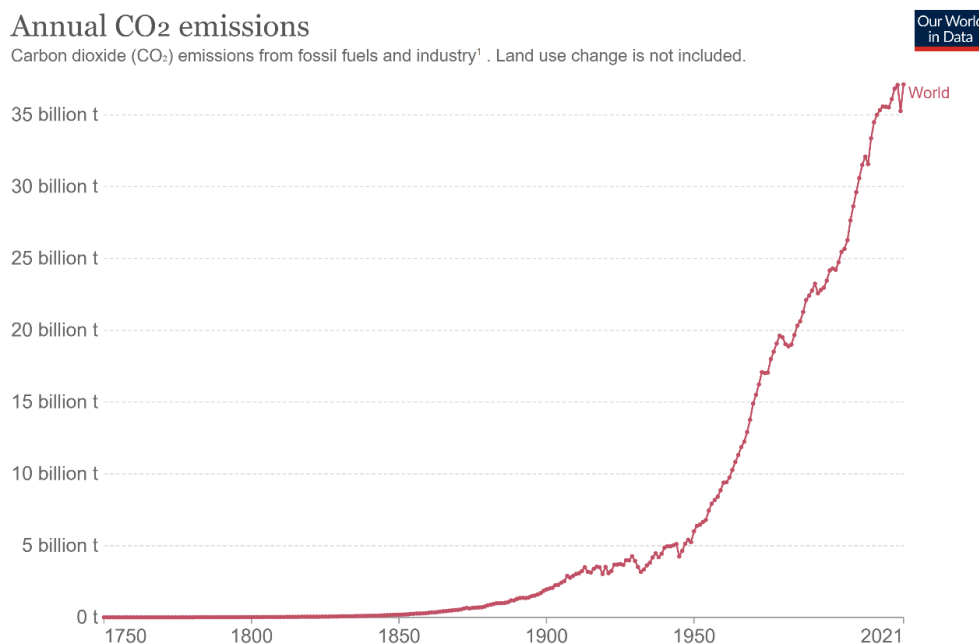


Figura 1. Emisiones anuales de CO₂ en el mundo (Ritchie, Roser, & Rosado, CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020)

Al mismo tiempo, los estilos de vida que tiene la sociedad actual y el continuo aumento de la población mundial hacen que el incremento de la demanda de servicios energéticos sea inevitable.

Además, cabe destacar que el sector energético es el responsable del 73,2% de las emisiones totales de dióxido de carbono. Ante esta situación, resulta indispensable que este sector encuentre soluciones alternativas que ayuden a frenar el cambio climático. (Ritchie & Roser, CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, 2020)

Ante estas medibles consecuencias, la sociedad ha empezado a tomar conciencia sobre el cambio climático, dando lugar a numerosos acuerdos internacionales y leyes con el objetivo de favorecer una transición energética que transforme el modelo energético actual, dependiente de combustibles fósiles, en un modelo basado en fuentes de origen renovable.

Así, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021 celebrada en Glasgow (COP26), representantes de alrededor de 200 países acordaron el Pacto Climático de Glasgow. (United Nations, 13 November 2021). Entre las medidas que se acordaron en este pacto cabe destacar: el acuerdo para limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C, la reducción de las emisiones de CO₂ en un 45% y la eliminación sucesiva de los combustibles fósiles para poder conseguir el objetivo de emisiones cero para 2050.

No obstante, debido a la intermitencia que caracteriza a las energías renovables, es esencial desarrollar un plan de descarbonización adaptado a las condiciones naturales y necesidades concretas que se den en cada localización. Así pues, no existe una solución única, sino que es necesario estudiar cada caso en

particular para definir el conjunto de tecnologías limpias que mejor se adapta a cada casuística.

1.2. Objetivos

La meta principal de este proyecto es el estudio de la viabilidad de la creación de un modelo de autosuficiencia energética 100% renovable en el municipio de Agüimes. Este modelo va a estar compuesto por una combinación estratégica de fuentes de energía renovable: fotovoltaica, eólica y almacenamiento a través de pilas de combustible a partir de hidrógeno verde. Así, se estudiará la viabilidad de que estas fuentes atiendan las necesidades de uso doméstico, industrial y de servicios de Agüimes con cálculos realizados hora a hora durante un año completo.

De esta forma, se espera que las conclusiones obtenidas en este proyecto sirvan para impulsar la investigación y dar luz sobre los pasos que se deben de seguir para el desarrollo de una transición energética segura, en la que se garantice el suministro ininterrumpido de una fuente de energía limpia a todo el mundo.

1.3. Alcance

Este proyecto abarca una iniciativa integral destinada a transformar el municipio de Agüimes en un modelo ejemplar de autosuficiencia energética, mediante la aplicación de fuentes de energía renovable.

Así, la elección de este municipio se basa en una serie de criterios fundamentales que respaldan su idoneidad para la implementación de esta iniciativa:

- **Riqueza en Recursos Naturales:** ubicado en una zona costera de Gran Canaria, goza de condiciones geográficas excepcionales. La localidad se caracteriza por la constante disponibilidad de viento y un clima mayoritariamente soleado durante la mayor parte del año. Estas condiciones favorables permiten la explotación eficiente de fuentes de energía eólica y solar, dos pilares esenciales en la transición hacia un sistema energético sostenible.
- **Variedad de Usos:** Agüimes es una comunidad multifacética que engloba áreas residenciales, comercio y ocio, zonas industriales y un puerto de pequeña escala. Esta diversidad de usos representa un contexto idóneo para la implementación de un sistema energético renovable, ya que abarca un espectro completo de necesidades energéticas, desde el consumo residencial cotidiano hasta los requerimientos industriales y portuarios.
- **Amplias Áreas Disponibles:** El municipio cuenta con extensos terrenos disponibles para la instalación de infraestructuras de generación de energía renovable. Esto facilita la construcción de tecnologías como parques eólicos, paneles fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento, optimizando así la capacidad de generación y distribución energética.
- **Conexión con la Sostenibilidad:** La elección de Agüimes se alinea con una visión de desarrollo sostenible y la promoción de prácticas respetuosas con el medio ambiente. La comunidad y las autoridades

locales han expresado un interés creciente en avanzar hacia un futuro más verde y sostenible, lo que respalda aún más la pertinencia de este proyecto.

Este proyecto no solo busca garantizar una fuente de energía limpia y eficiente para la comunidad, sino también sentar las bases para un modelo de desarrollo sostenible. Así, se espera que este modelo pueda servir de inspiración y ejemplo para otras localidades que buscan un futuro más ecológico y responsable desde el punto de vista energético.

1.4. Metodología

1.4.1. Conceptualización del Proyecto

Para abordar este proyecto, se ha realizado una recopilación exhaustiva de información esencial sobre la localidad en cuestión, que incluye datos demográficos, información sobre la industria local, el sector comercial y el turismo, entre otros aspectos relevantes.

En una primera etapa, se ha llevado a cabo un análisis detallado de los patrones de consumo energético actuales en la población, abarcando tanto el consumo residencial como el industrial, además de evaluar el consumo de combustible generado por el transporte en la zona.

1.4.2. Evaluación de las Necesidades Energéticas

Al abordar la planificación de un sistema energético, resulta esencial anticipar las necesidades de energía como punto de partida. Esto permite una gestión eficiente de múltiples fuentes de suministro. Históricamente, la incertidumbre en la demanda ha llevado a la generación excesiva de energía, dado que preverla con precisión resultaba un desafío.

Con los avances tecnológicos, se ha logrado una mejor comprensión y predicción de la demanda, lo que ha permitido ajustar las fuentes de generación y el tamaño de nuestra matriz energética de manera más precisa. No obstante, aún persiste cierto grado de sobredimensionamiento en comparación con las fuentes de energía fósil (Impulso 06, 2022).

Hoy en día, los avances tecnológicos nos han acercado a la posibilidad de que los consumidores generen su propia energía en sus entornos, dando origen a las redes distribuidas. Además, la introducción de tecnologías inteligentes ha vuelto la demanda altamente predecible y controlable (Impulso 06, 2022).

Otro factor relevante es la capacidad de generación instantánea y su consumo en el sistema convencional. La posibilidad de almacenamiento de energía es cada vez más accesible económicamente y viable en todas las escalas de potencia de la red.

1.4.3. Propuesta de Transformación Energética

En base a estos análisis, se desarrollará una propuesta que definirá el modelo de consumo de energía renovable para la localidad. Esta propuesta considerará tecnologías aptas para la zona, aprovechando los recursos naturales disponibles, y se calculará el porcentaje de participación de cada fuente

renovable mediante un modelo de programación lineal. Este enfoque determinará la combinación óptima de tecnologías mediante un sistema lineal, teniendo en cuenta el presupuesto habitual de la población.

1.4.4. Evaluación de la Viabilidad Económica

Finalmente, una vez que se haya definido la propuesta del modelo de consumo renovable para la localidad, se realizará una previsión de generación de energía y se analizarán los gastos que en los que habría que incurrir para la construcción de estos nuevos sistemas renovables.

2. Municipio de estudio

2.1. Características generales

Agüimes (Figura 2) es un municipio costero en Gran Canaria, en la provincia de Las Palmas, que cuenta con una superficie de 79.28km². Su economía se basa principalmente en el turismo, la pesca y el comercio local. Cuenta con una amplia variedad de tiendas, restaurantes y bares que ofrecen productos locales y gastronomía canaria. El puerto pesquero es una parte importante de la comunidad y contribuye a la actividad económica. En cuanto al medio ambiente, cuenta con hermosas playas de arena negra y una reserva natural marina que alberga una gran diversidad de especies marinas. También es conocido por sus increíbles paisajes volcánicos y su clima cálido durante todo el año.

Este pueblo es conocido por sus vientos constantes, lo que la convierte en un destino popular para los amantes de los deportes acuáticos como el windsurf y el kitesurf. La presencia del viento constante crea condiciones ideales para practicar estas actividades emocionantes y atrae a deportistas de todo el mundo.

Agüimes, además de sus vientos constantes ideales para deportes acuáticos y una incidencia solar muy constante a lo largo del año, se han aprovechado esta característica para impulsar el desarrollo de energías renovables. La localidad cuenta con parques eólicos y fotovoltaicos que generan energía limpia y sostenible, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono. Esta industria de energías renovables ha generado empleo y ha posicionado a Agüimes como un referente en la transición hacia fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente.

Según datos de 2022, el municipio cuenta con una población de 32.067 habitantes de diferentes nacionalidades, combinando casas unifamiliares y edificios. (Wikipedia, 2023). Es un municipio que combina la parte turística de la zona costera con restauración, comercio y servicios con el tejido industrial del sureste de la isla de Gran Canaria.



Figura 2. Municipio de Agüimes (Wikipedia, 2023)

2.2. Tipos de empresas

En Agüimes existen numerosos tipos de empresas que clasificamos en 5 grandes grupos;

- Fabricación.
- Distribución.
- Transporte.
- Comercio.
- Restauración.

2.3. Parcelas disponibles

Se ha realizado un estudio de las parcelas que están disponibles en el territorio de Agüimes y que presentan mejores características para la construcción de grandes plantas de fotovoltaica y la planta de producción de hidrógeno. Así, se han descartado las zonas protegidas por la Red Natura (apartado 2.3.5) y en las que se presenta mucha vegetación o no incluye desniveles importantes que supondrían grandes movimientos de tierras para poder realizar la instalación.

Así, las parcelas detectadas como las más adecuadas para realizar una instalación fotovoltaica y en las que nos hemos centrado para el estudio son las parcelas 1, 2, 3 y 4, mientras que la parcela para la instalación de producción de hidrógeno es la 5. Estas parcelas se encuentran en el municipio de Arinaga, localidad dentro de Agüimes caracterizada por la presencia de una importante zona industrial. De hecho, el polígono de Arinaga en la actualidad cuenta con una superficie de 6 millones de metros cuadrados y más de 600 empresas establecidas, las cuales generan más de 8.000 empleos directos. Por otro lado, existen numerosas parcelas en el polígono cuyos tamaños varían entre los 1.000 y los 10.000 metros cuadrados. (Asociación de Empresarios Zona Industrial de Arinaga, 2017-2020)

La información de estas parcelas se muestra a continuación:

2.3.1. Parcela 1

Ubicación: [27.850904, -15.404506]

Superficie: 77.373,12 m²



Figura 3. Vista satélite de la parcela 1 (Google maps)

2.3.2. Parcela 2

Ubicación: [27.853934, -15.402070]

Superficie: 10.823,2 m²



Figura 4. Vista satélite de la parcela 2 (Google maps)

2.3.3. Parcela 3

Ubicación: [27.861617, -15.393926]

Superficie: 318.549,64 m²



Figura 5. Vista satélite de la parcela 3 (Google maps)

2.3.4. Parcela 4

Ubicación: [27.855234, -15.408217]

Superficie: 85.445,26 m²



Figura 6. Vista satélite de la parcela 4 (Google maps)

2.3.5. Parcela 5

Ubicación: [27,84917, -15,40639]

Superficie: 58.886,1 m²



Figura 7. Vista satélite de la parcela 5 (Google maps)

2.3.6. Zonas protegidas por Red Natura

Para el estudio de las zonas protegidas por la Red Natura, nos hemos centrado en la localidad de Arinaga, ya que es en este municipio donde se han seleccionado las parcelas en las que se va a realizar la construcción de las instalaciones fotovoltaicas y de hidrógeno verde.

Arinaga, es un pueblo costero del sureste de la Isla de Gran Canaria, que contiene distintas ZEC (Gobierno de Canarias, 2016).

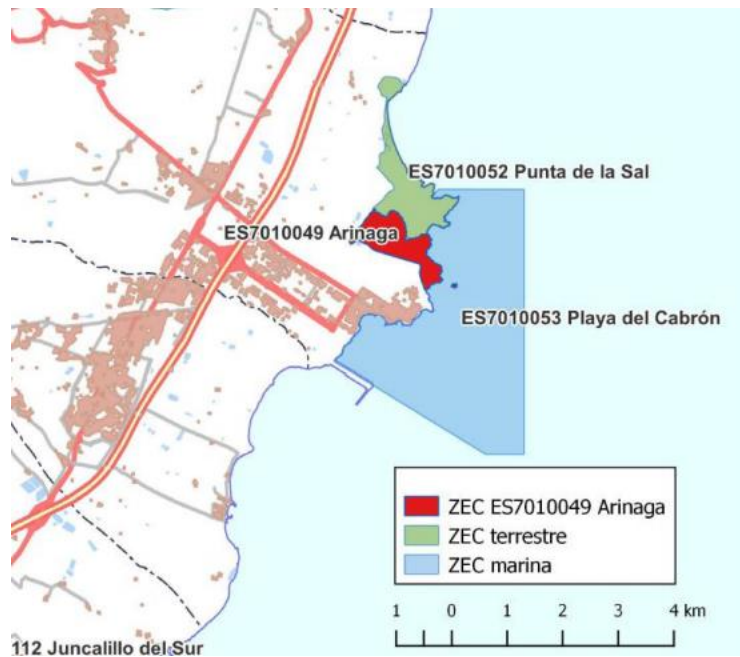


Figura 8 Situación de las ZEC de Arinaga (Carrillo, 2016)

ZEC ES7010049 Arinaga, cuenta con una superficie que consta de 93,88 ha. Encontramos dentro de estos límites el Monumento Natural de Arinaga que colinda por el norte con la ZEC ES7010052 Punta de la Sal y por el este con la ZEC ES7010053 Playa del Cabrón.



Figura 9. Ámbito territorial de la ZEC ES7010049 (Carrillo, 2016)

Dentro de la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos, el Monumento Natural de Arinaga se entrelaza con la Zona de Especial Conservación (ZEC) ES7010049 Arinaga. Inicialmente reconocido como "Paraje Natural de Interés Nacional" según la Ley 12/1987, este lugar fue posteriormente redefinido por la Ley 12/1994 de Espacios Naturales de Canarias.

Este extenso territorio de 90.7 hectáreas alberga un cono volcánico y áreas de piroclastos mezclados con caliche y arenas. La vegetación que se encuentra aquí ha evolucionado para sobrevivir en condiciones desafiantes, incluyendo vientos fuertes, y es el hogar de especies en peligro de extinción, como *Atractylis preauxiana* (piñamar) y *Convolvulus caput-medusae* (chaparro). (Gobierno de Canarias, 2016)

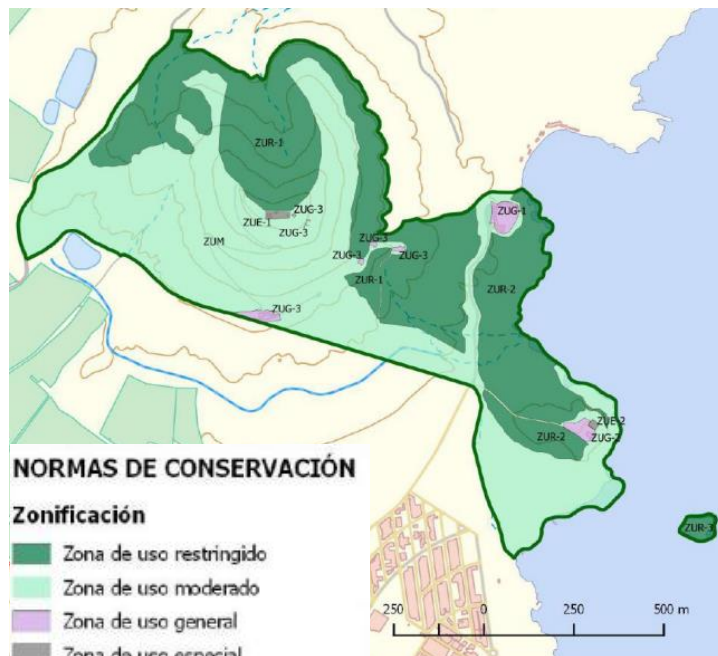


Figura 10. Zonificación del Monumento Natural de Arinaga (Carrillo, 2016)

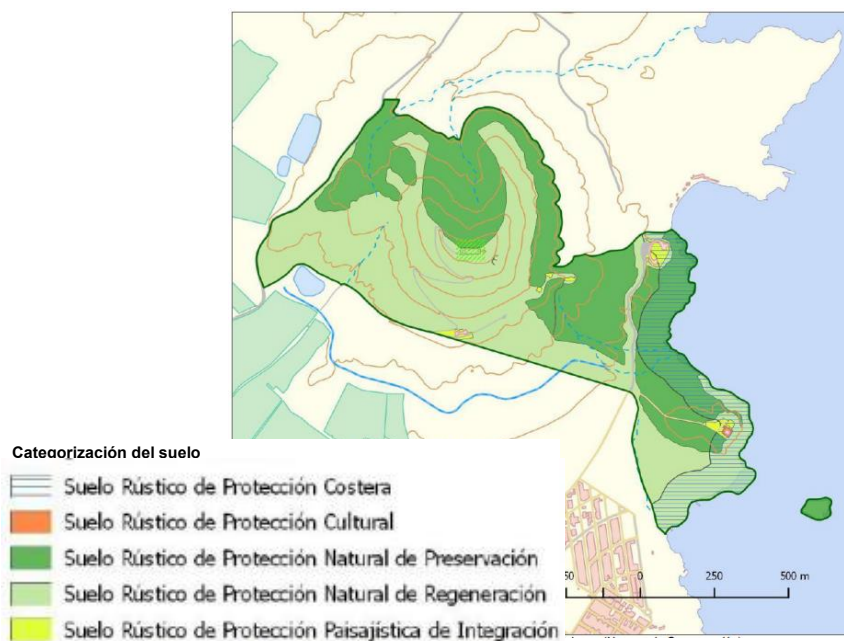


Figura 11. Categorías del suelo en el Monumento Natural de Arinaga (Carrillo, 2016)

Dentro del marco de la Zona de Especial Conservación (ZEC) ES7010052 Punta de la Sal, se extiende una superficie de 136 hectáreas. De esta área, el 15,08% está dedicado a los hábitats de interés comunitario del Espacio Natura 2000.

Así, en las tablas siguientes, elaboradas por el Gobierno de Canarias en el Plan de Gestión de la Zona Especial de Conservación de Arinaga, se proporcionan dos tablas que detallan los tipos de hábitats y especies presentes en este espacio (Gobierno de Canarias, 2016):

Tabla 1. Tipos de hábitats naturales

Código	Denominación del hábitat natural	Observaciones
1250	Acantilados con vegetación de las costas macaronésicas	
1450	Matorrales halofíticos mediterráneos y termoatlánticos (<i>Sarcocornietea fruticosae</i>)	
2120	Dunas móviles de litoral (dunas blancas)	
5330	Matorrales termomediterráneos y preestépticos	

Tabla 2. Especies del anexo II de la Directiva 92/43/CEE

Código	Denominación del hábitat natural	Observaciones
1811	<i>Atractylis preauxiana</i>	II/IV
1666	<i>Convolvulus caput-medusae</i>	II/IV
1267	<i>Gallotia Stehlini</i>	IV
1275	<i>Chalcides sexlineatus</i>	IV

ZEC ES7010053 Playa del Cabrón, espacio marino extendido hacia el este con una superficie de 956,20 ha. Dentro de esta superficie, el 84,75% corresponde con los hábitats de interés comunitario del Espacio Natura 2000. Adjuntamos dos tablas de los tipos de hábitats y especies de este espacio;

Tabla 3. Tipos de hábitats naturales

Código	Denominación del hábitat natural	Observaciones
1110	Bancos de arena cubierto permanentemente por agua marina, poco profunda	
1170	Arrecifes	
8330	Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas	

Tabla 4. Especies del anexo II de la Directiva 92/43/CEE

Código	Denominación del hábitat natural	Observaciones
1224*	<i>Caretta caretta</i>	II/IV

1227*	Chelonia mydas	II/IV
-------	----------------	-------

ES0000112 Juncalillo del Sur, es una Zona de Especial Protección para las Aves que se encuentra situada a 8km al sur de la población de Arinaga. (Demográfico, 2022)

2.3.7. Estudio geológico y topográfico

En cuanto a la geología regional de la zona que abarca el estudio de la localización de instalaciones fotovoltaicas, los materiales existentes pertenecen exclusivamente a sedimentos cuaternarios, en concreto del pleistoceno superior y holoceno.

Respecto a la litología de las zonas en las que se pretende realizar las instalaciones fotovoltaicas y de producción de hidrógeno verde, las parcelas 1, 2, 4 y 5 se sitúan sobre depósitos de gravas muy heterométricas y arenas de diversa naturaleza (basaltos, basanitas, tefritas, fonolitas, traquitas) (Barrera Morate, 1990).

La parcela 3, en cambio, se sitúa sobre arenas eólicas formadas por un campo de dunas de reciente desarrollo (pleistoceno superior). Debido al mecanismo eólico de transporte, estos materiales están bien seleccionadas por lo que se trataría de los vientos alisios provenientes del NE.

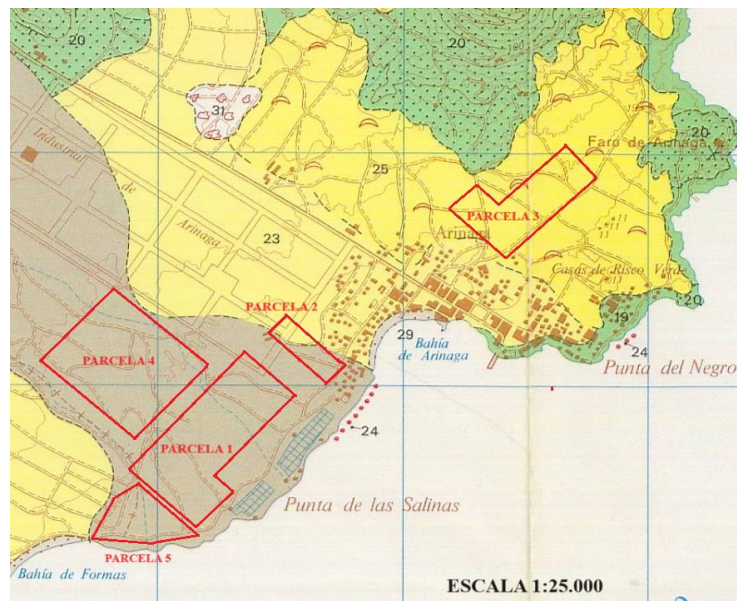
Existe una zona situada al oeste del municipio de Arinaga, el cuál abarca en pequeña parte las parcelas 2 y 3. Esta zona está compuesta por gravas, arenas y limos de color marrón. Estos materiales están formados por abanicos aluviales de componente NO. Son en su gran mayoría sedimentos apoyados de forma discordante sobre los materiales volcánicos.

En cuanto a la historia geológica de la región, la formación de la isla se remonta hace 14 M.a durante la formación basáltica originada por un estratovolcán. Como indican las dataciones radiométricas, cuando cesan estas emisiones basálticas se producen emisiones de materiales de traquitas y riolitas. (Barrera Morate, 1990)

Este primer ciclo eruptivo termina hace 9,7 M.a, comienza en ese momento un periodo de 5 M.a de erosión y desmantelamiento del terreno.

Ya en el Plioceno inicia un segundo periodo eruptivo de carácter efusivo de composición basáltica, basanítica y tefrítica, finalizando con lahares de “mudflow” hace 3,7 M.a.

A través de los sistemas de barrancos y drenaje son arrastradas grandes cantidades de materiales clásticos se acumulan en zonas bajas, llanas y cercanas a la costa. (Barrera Morate, 1990)



LEYENDA

- 31 Depósitos antrópicos
- 30 Depósitos de ladera y coluviones
- 29 Playas de arenas y cantos
- 28 Suelos
- 27 Depósitos de barranco
- 26 Aluviales antiguos y terrazas
- 25 Arenas eólicas

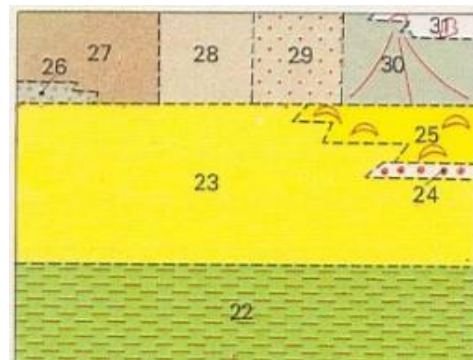


Figura 12. Mapa Geológico modificado y leyenda del municipio de Arinaga en el que se van a escoger las parcelas más apropiadas para las instalaciones fotovoltaicas y producción de hidrógeno verde. En él se aprecian los materiales y sus edades que forman la geología de la zona del estudio. (Barrera Morate, 1990)

En cuanto a las características geotécnicas de las zonas de estudio que contienen las parcelas, cabe decir que en estas zonas predominan los suelos con materiales detríticos los cuales presentan una capacidad portante alta en suelos de arenas y gravas en general. En cambio, los suelos aluviales arcillosos tienen una capacidad de carga media-baja, por lo que cabe esperar que en estos suelos se ocasionen asientos tolerables.

El drenaje superficial aquí es aceptable, se puede decir que los terrenos con las condiciones constructivas más aceptables son los situados en el norte (parcela 3) y núcleo poblacional de Arinaga, así como su zona meridional. Esto no significa que las parcelas 1, 2, 4 y 5 no sean aptas ya que la fuente de esta información es un estudio general y sería interesante desarrollar un estudio geotécnico en detalle de la zona concreta de interés para recoger datos más específicos. Además, ya se han realizado construcciones en los alrededores de las zonas donde se sitúan estas parcelas por lo que se puede deducir que las capacidades portantes del suelo son las adecuadas. (Ministerio de Industria, 1974)

2.4. Evaluación de los recursos disponibles

2.4.1. Recurso eólico

La energía eólica, derivada de la captura de la energía cinética del viento y su conversión en electricidad mediante aerogeneradores, desempeña un papel esencial en la producción moderna de energía sostenible. Además, debido a su versatilidad y escalabilidad, la energía eólica se adapta para satisfacer una variedad de necesidades, desde pequeños aerogeneradores utilizados en entornos rurales hasta grandes parques eólicos marinos que abastecen de electricidad a regiones enteras.

Para evaluar el recurso eólico de localidad de Agüimes y sus proximidades, donde se encuentran los parques eólicos utilizados para el autoconsumo en este estudio, se van a tomar datos obtenidos del visor de Global Wind Atlas.

En concreto se van a tomar los datos recogidos en dos zonas concretas en las que se sitúan los parques de aerogeneradores de Bahía de Formas, y de Carretera de Arinaga, para hacer una estimación media del recurso eólico de la zona de interés.

La primera zona de estudio se encuentra a 3 kilómetros al SO de la localidad de Agüimes, y se trata de un área de 9km² situada en el lugar donde se emplaza el parque de Bahía de Formas (27.846945151439268, -15.42637273306902). (Google, 2023)

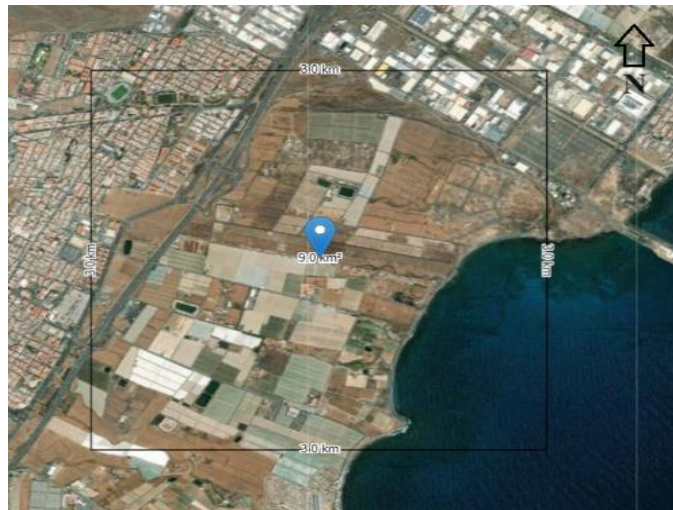


Figura 13. Primera zona de estudio situada en el Parque de Bahía de Formas. (Atlas, Global Wind Atlas, 2023)

En primer lugar, vamos a estudiar algunos datos del viento de esta área a las alturas de 100 y 150 metros, como son la potencia del viento para el 10% de las áreas con más recurso eólico que son 1.065 W/m² y 1.249 W/m² respectivamente. La velocidad media del 10% de las zonas con más viento es de 10,52 m/s y 11,18m/s respectivamente. (Global Wind Atlas, 2023)

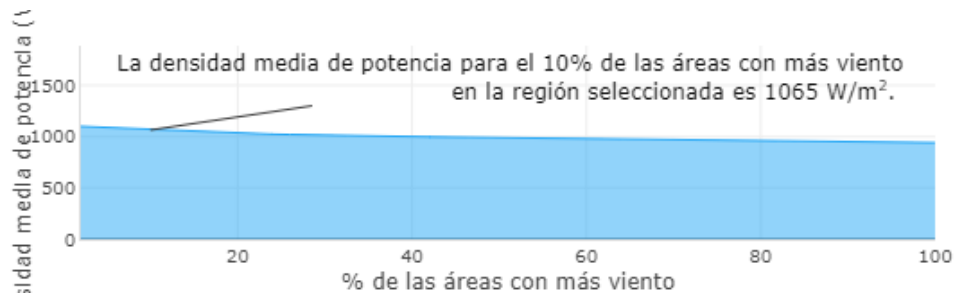


Figura 14. Densidad media de potencia a una altura de 100m en el parque de Bahía de Formas (W/m²). (Atlas, Global Wind Atlas, 2023)

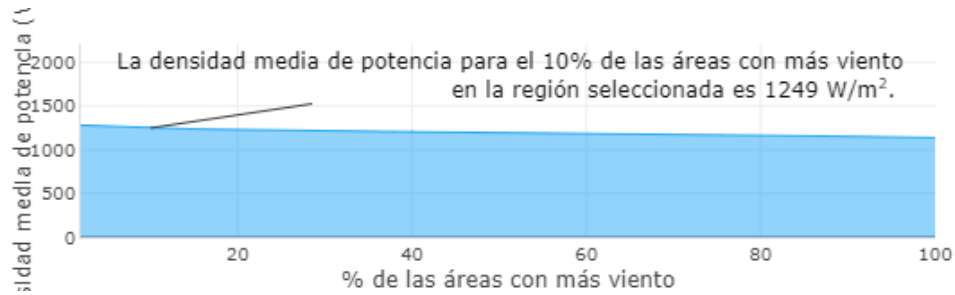


Figura 15. Densidad media de potencia a una altura de 150m en el parque de Bahía de Formas (W/m²). (Global Wind Atlas, 2023)

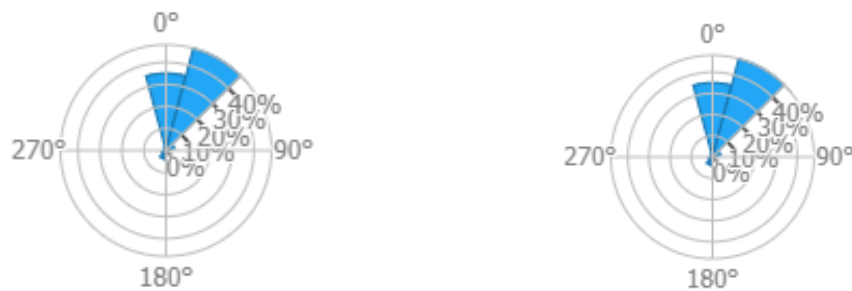


Figura 16. Rosa de frecuencia de los vientos a 100m (izquierda) y 150m (derecha) de altura en el parque de Bahía de Formas. (Global Wind Atlas, 2023)

La segunda zona de estudio se encuentra a 1 kilómetro al noroeste de la localidad de Arinaga, y se trata de un área de 9km² situada en el lugar donde se emplaza el parque de Carretera de Arinaga [27.868095414190297, -15.40520501364781]. (Google, 2023)

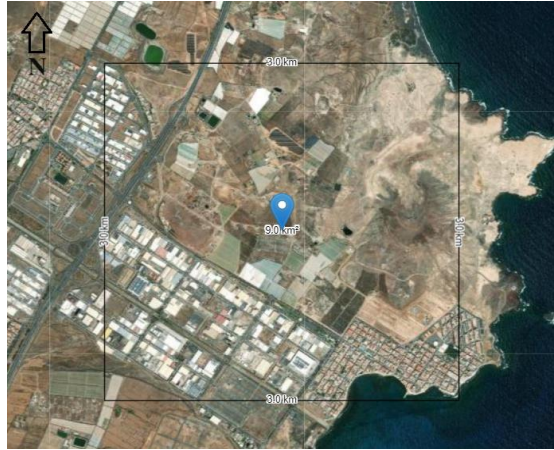


Figura 17. Segunda zona de estudio situada en el Parque de Carretera de Arinaga. (Global Wind Atlas, 2023)

Vamos a analizar datos del viento de esta área a las alturas de 100 y 150 metros, en primer lugar, estudiaremos la potencia del viento para el 10% de las áreas con más recurso eólico de esta zona que son 1.399 W/m^2 y 1.519 W/m^2 respectivamente. La velocidad media del 10% de las zonas con más viento es de $11,641 \text{ m/s}$ y $12,011 \text{ m/s}$ respectivamente. (Global Wind Atlas, 2023)

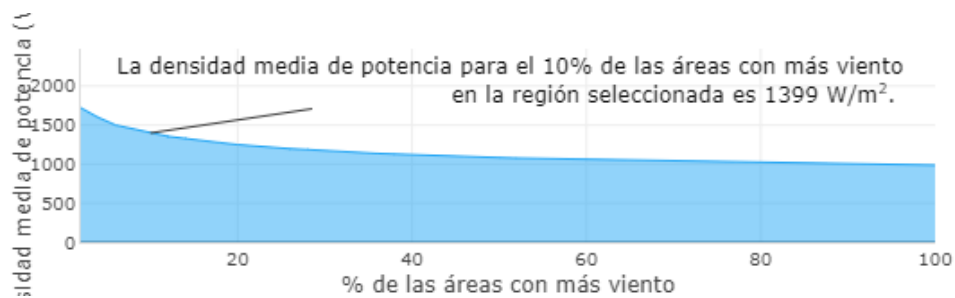


Figura 18. Densidad media de potencia a una altura de 100m en el parque de Carretera de Arinaga (W/m^2). (Global Wind Atlas, 2023)

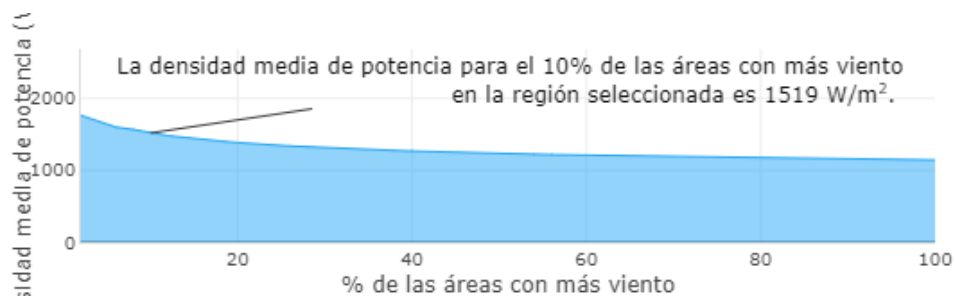


Figura 19. Densidad media de potencia a una altura de 150m en el parque de Carretera de Arinaga (W/m^2). (Global Wind Atlas, 2023)

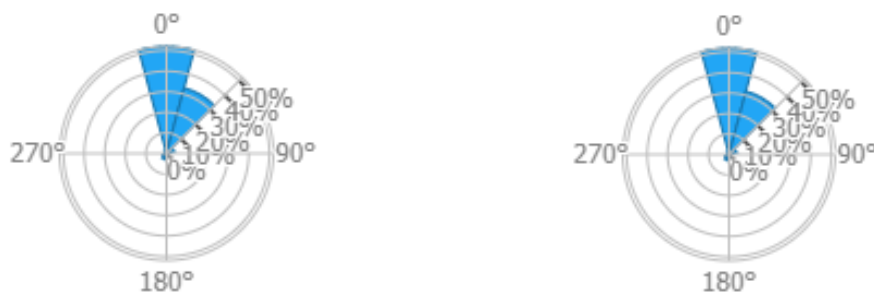


Figura 20. Rosa de frecuencia de los vientos a 100m (izquierda) y 150m (derecha) de altura en el parque de Carretera de Arinaga. (Atlas, Global Wind Atlas, 2023)

Los datos que nos aporta la rosa de los vientos de frecuencia eólica nos indica que casi la totalidad del recurso eólico tiene una dirección N-S, por lo que los parques aquí instalados deberán extenderse en una orientación O-E.

En conclusión, ante el estudio del recurso eólico realizado en esta zona, puede decirse que esta zona reúne las condiciones necesarias para instalar parques de aerogeneradores y así aprovechar el potencial del viento en generar energía. Los datos analizados en ambas localizaciones en los alrededores del municipio de Arinaga, como son la velocidad media y la densidad media de potencia son lo suficientemente altos para que esta zona sea apta de generación eólica.

2.4.2. Recurso Fotovoltaico

La energía fotovoltaica, que se genera a partir de la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante células fotovoltaicas, desempeña un papel crucial en la producción contemporánea de energía sostenible. Al aprovechar la inagotable y limpia fuente de energía que proporciona el sol, esta tecnología ha revolucionado la escena energética mundial y desempeña un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático.

En este apartado se va a analizar el recurso fotovoltaico existente en la zona para poder establecer si la localidad de Arinaga, que comprende este estudio, es apta para la instalación de parques

Para ello se han tomado los datos que aporta la base de datos de la Comisión Europea Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). En este caso los datos más recientes disponibles son los recogidos durante el año 2020, por tanto, serán estos los utilizados durante este análisis del recurso solar del municipio de Arinaga.

En concreto se van a tomar los datos de irradiación horizontal, irradiación normal directa, relación entre la irradiación global y la difusa y, por último, de forma complementaria, los datos de la temperatura media a lo largo de los meses del año 2020.

Para poder comprender la influencia de estos factores en la producción de la planta fotovoltaica es importante definir la potencia máxima suministrada por una célula fotovoltaica, la cual viene definida por la siguiente expresión:

$$P_{\max} = U_M * I_M \quad (1)$$

Donde:

- U_M = máximo valor de la tensión de la célula
- I_M = máximo valor de la intensidad de la célula

Así, si se representan la intensidad (current en amperios, A) y la potencia (power en vatios, W) frente a la tensión generada (voltaje en voltios, V) por un módulo fotovoltaico a una temperatura e irradiancia constante, se obtiene la siguiente figura:

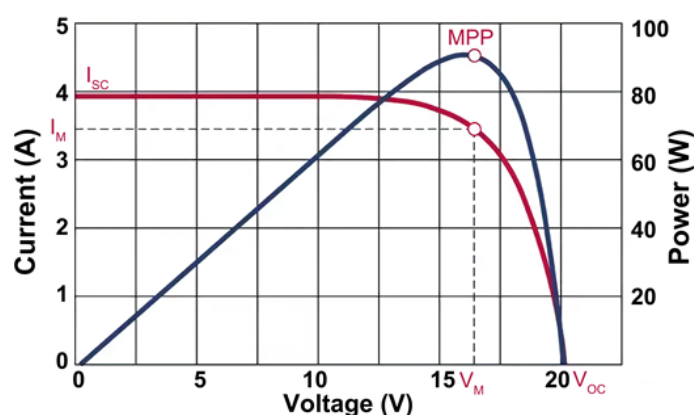


Figura 21. Curva característica de un panel fotovoltaico (Zischke, D., 2017)

A continuación, en la Figura 22, se expone la influencia de la variación de la irradiancia en vatios por metro cuadrado (W/m^2) a una temperatura constante de 25°C. En la gráfica de la izquierda se representa la variación de la intensidad conforme a la tensión y en la gráfica de la derecha, se representa la potencia respecto a la tensión.

Así, observando la gráfica de la izquierda de la figura 22 se puede observar que la corriente de cortocircuito de la célula varía conforme lo hace la irradiancia. Asimismo, en la gráfica de la derecha de la figura 22, se puede observar que, a mayor irradiancia, mayor potencia de la célula (lo cual se podría deducir además de la fórmula 1).

Observando esta variación y analizando la expresión expuesta anteriormente de la potencia máxima suministrada por una célula solar, se puede deducir entonces que una mayor irradiancia nos dará una mayor potencia del panel. Esta influencia se observa además en la gráfica de la derecha.

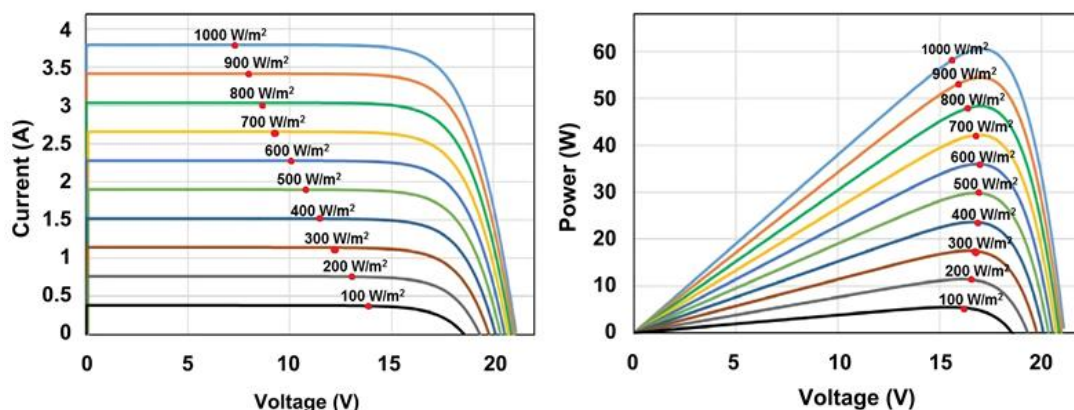


Figura 22. Influencia de la variación de la irradiancia en el comportamiento de un panel fotovoltaico. (Motahir, S., El Hammoui, A. and El Ghzizal, A., 2018)

Así, analizando el recurso en Arinaga, como vemos en la Figura 23, los valores tanto de irradiación horizontal como de irradiación normal directa son relativamente altos durante todo el año 2020, superando el valor de 100kWh/m² en todos los meses, lo cual supone una ventaja para el aprovechamiento del recurso solar existente en la zona.

Siendo máximos los valores de irradiación desde el mes de abril hasta el mes de septiembre, y teniendo el pico de irradiación en julio y agosto con aproximadamente 233kWh/m² cada uno de ellos. (Photovoltaic Geographical Information System, 2016)

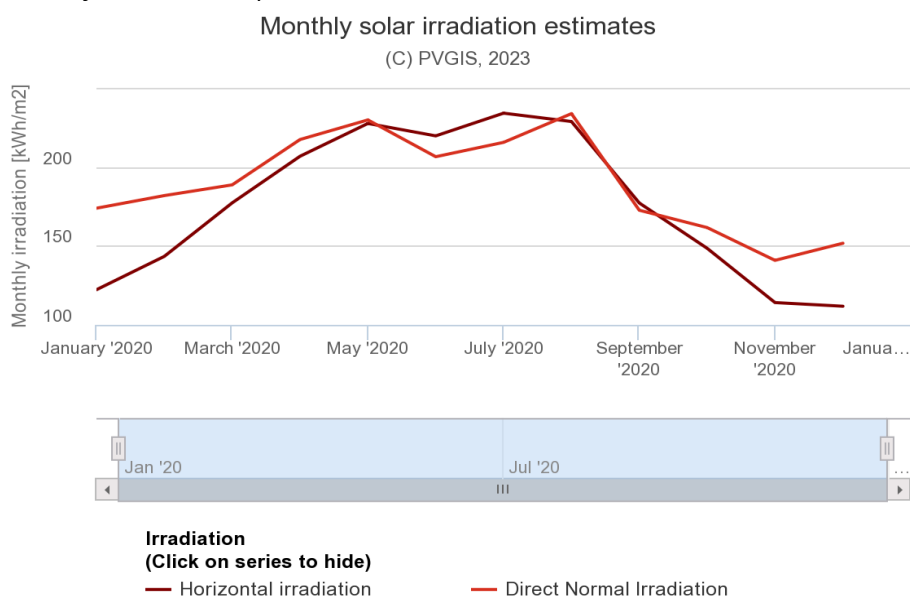


Figura 23. Representación gráfica de la irradiación global horizontal y directa normal (kWh/m²) en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) en el año 2020. (Comission, 2023)

Como se aprecia en la Figura 24, la relación entre la irradiación global y la irradiación difusa en Arinaga no varía especialmente a lo largo del año, ya que la diferencia más notable es de un valor de 0.1 entre los meses de agosto, donde su valor es más bajo con 0.25, y diciembre, donde alcanza su pico máximo de más de 0.35.

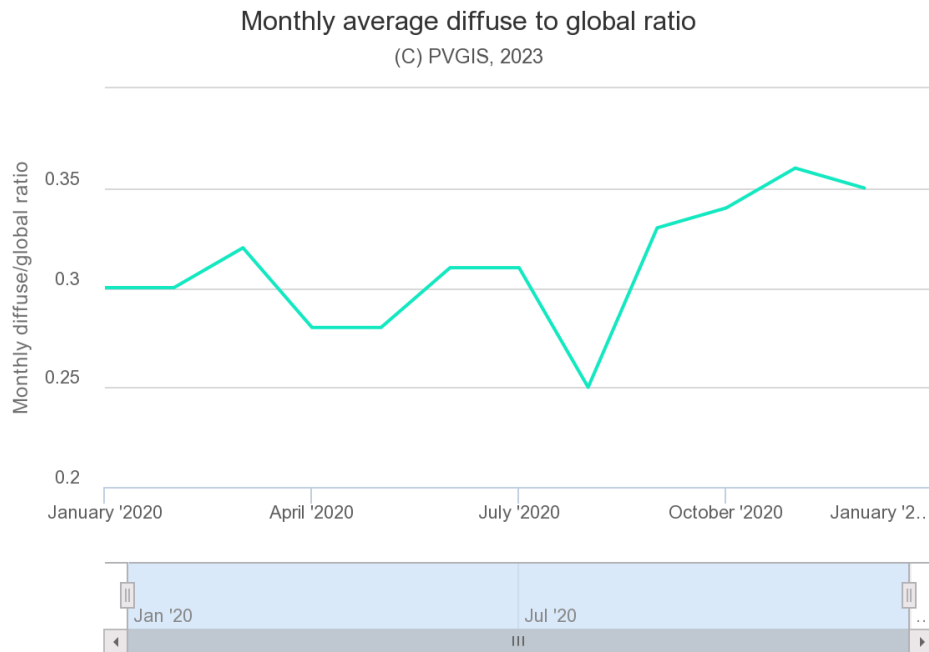


Figura 24. Representación de la relación entre la irradiación global y la difusa en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) durante el año 2020. (Comission, 2023)

Por otro lado, la tensión del panel fotovoltaico varía considerablemente con la temperatura. Así, en la Figura 25 se muestra la influencia de la variación de la temperatura respecto a la intensidad y la potencia, manteniendo la irradiación constante a 1000 W/m².

En la gráfica de la izquierda de la figura 25 se observa que la intensidad de cortocircuito no sufre apenas variaciones conforme la temperatura varía. Por otro lado, en la gráfica de la derecha de la figura 25 se observa cómo tensión varía inversamente proporcional a la temperatura.

Así, según la ecuación 1, se puede deducir que la potencia de la célula disminuirá conforme la temperatura aumente.

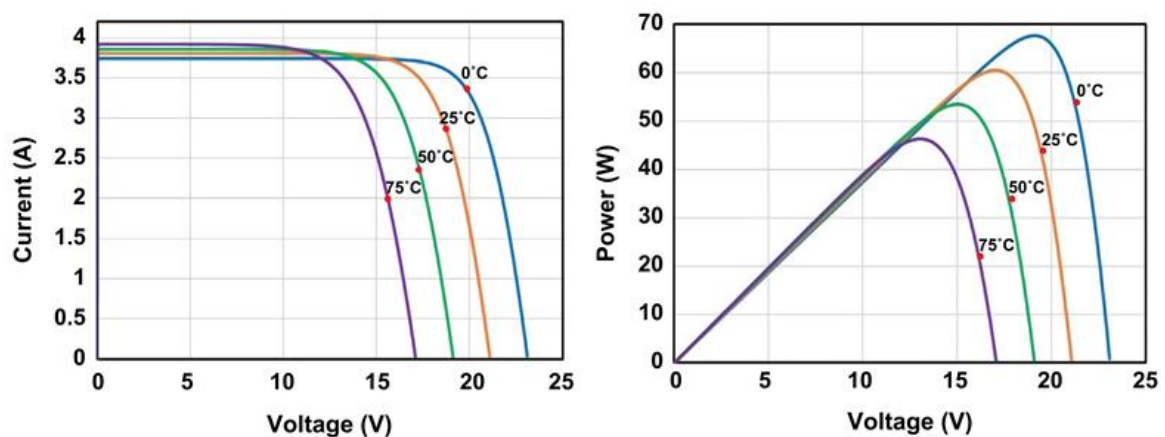


Figura 25. Influencia de la variación de la temperatura en el comportamiento de un panel fotovoltaico. (Motahhir, S., El Hammoumi, A. and El Ghzizal, A., 2018)

Sin embargo, el funcionamiento ideal del módulo fotovoltaico no se da a temperaturas bajas ya que es en los meses de frío en los que se dispone de menos horas de sol (y, por tanto, de menos irradiación solar recibida). Así, los

fabricantes han estimado que los paneles fotovoltaicos suelen funcionar de manera óptima a una temperatura entre 20-25°C. (Mateo, 2021) Como se ha visto, rebasando esta temperatura, el rendimiento se verá perjudicado.

Así, estudiando los valores de temperatura a lo largo del año 2020 en Arinaga (Figura 26). Como puede observarse, la temperatura media es estable a lo largo del año, teniendo su mínimo en marzo con algo más de 16°C y su máximo en septiembre con algo más de 22°C. Por tanto, se trata de un clima templado y estable que favorecerá el rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas en esta región.

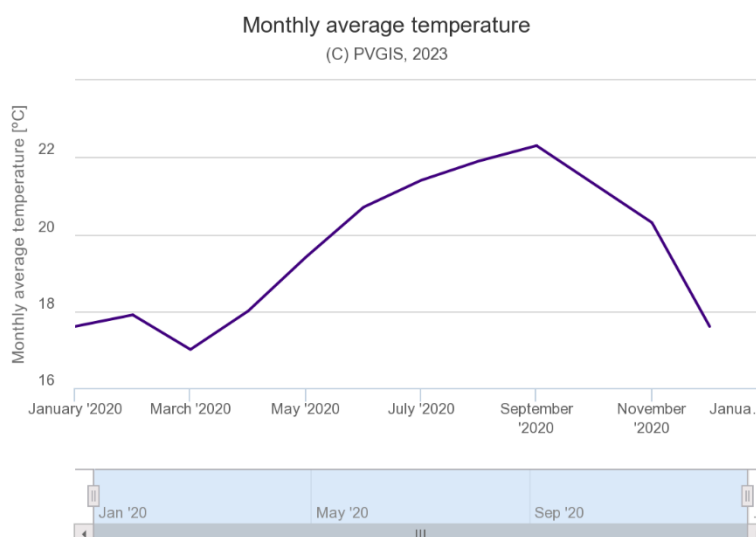


Figura 26. Representación gráfica de la variación de temperatura (°C) en el municipio de Arinaga (Gran Canaria) a lo largo del año 2020. (Comission, 2023)

Como conclusión se puede decir que Arinaga es un lugar con un recurso solar de buena calidad para ser explotado durante casi todo año, teniendo unos buenos valores de irradiación tanto horizontal como directa como vemos en las figuras antes nombradas. Por tanto, es interesante la instalación de parques fotovoltaicos para el autoconsumo de la localidad por sus buenas condiciones de radiación solar durante todo el año, aunque especialmente durante los meses de mayo a agosto.

2.4.3. Recurso Hidrógeno verde

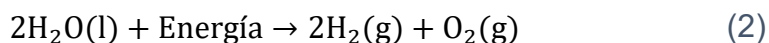
El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido y no venenoso en condiciones normales. Es el primer elemento de la tabla periódica y el más ligero que existe. Sin embargo, no se encuentra en estado puro en la naturaleza, por tanto, no es una fuente energética en sí, pero es un portador de energía, puesto que toda la energía que puede convertirse en electricidad también puede convertirse en hidrógeno y, funcionar como vector energético. (Fúnez Guerra, 2010)

A continuación, se va a analizar el recurso de hidrógeno verde el cual no depende del emplazamiento ya que no es anexo al recurso solar o al recurso del viento como ocurre en el caso de la energía fotovoltaica o la eólica.

Existen diversas formas de producir hidrógeno a partir de energías renovables, sin embargo, la electrólisis es el proceso más desarrollado por ser una tecnología con más recorrido que otras que están todavía en fase de investigación y, porque

los resultados a nivel de producción y eficiencia son mejores respecto a las otras opciones. Este proceso consiste principalmente en separar el H₂ y O₂ presentes en la molécula de agua aplicando una corriente eléctrica. (Ruiz, 2021)

La reacción química que se produce es:



Este proceso tiene un impacto ambiental mínimo al no emitir gases de efecto invernadero ni otros contaminantes. No obstante, la producción a gran escala y la infraestructura para su almacenamiento y distribución plantean desafíos que varían según su implementación.

El recurso de hidrógeno tiene otros puntos clave para que se pueda construir una instalación que permita su producción. En el caso que aplica a este proyecto, como se pretende obtener el hidrógeno a partir de electrolisis, conviene tener una fuente de agua cercana ya que el proceso requiere de gran cantidad de agua. En el caso del municipio de Agüimes, se trata de una zona costera, por lo que esta fuente de agua puede provenir del agua de mar. Aun así, al ser agua de mar, requiere de un proceso de purificación posterior a su extracción, ya que el electrolizador debe ser alimentado con agua de muy alta pureza.

Otra condición a tener en cuenta es el origen de la fuente de energía para alimentar el electrolizador. Normalmente se utiliza el exceso que no se puede gestionar para producir hidrógeno y así, poder almacenar esta energía y que sea gestionable. En este caso concreto, se destina la producción a suplir la necesidad energética existente en el municipio, concretamente en el periodo nocturno. Por este motivo, se diseñará una planta fotovoltaica que estará destinada en parte a la producción del hidrógeno verde que posteriormente será almacenado para ser consumido durante la noche.

El almacenamiento del hidrógeno puede realizarse de diversas maneras, incluyendo formas gaseosas (alta presión) o líquidas a muy bajas temperaturas. Además, se investiga el almacenamiento en materiales sólidos o en forma de compuestos químicos como amoníaco o metanol. Sin embargo, la forma gaseosa es una de las tecnologías más maduras, aunque se encuentra en constante evolución para ser cada vez mejor y más eficiente. (Azkárte, 2010)

En cuanto al uso, en este proyecto nos vamos a centrar en las pilas de combustible. Estas son una aplicación destacada, ya que convierten directamente el hidrógeno y el oxígeno del aire en electricidad y agua, liberando energía en el proceso. Estas pilas encuentran aplicación en vehículos de transporte, sistemas de respaldo de energía y generación estacionaria, ilustrando el potencial del hidrógeno verde en diversas áreas de nuestra vida cotidiana. (Baeschlin, 2023)

3. Sistema lineal

En este apartado se analizará el sistema lineal empleado para lograr cubrir la demanda energética del Pueblo de Agüimes.

En los subapartados siguiente se analizará de forma detallada cada una de las fórmulas propuestas, por lo que se observará paso a paso como se han obtenido los datos y las soluciones a las variables propuestas.

El primer paso para el planteamiento del sistema lineal consiste en la obtención de consumo total, por medio de la fórmula (3) se obtiene:

$$C_r + C_s + C_I = C_T \quad (3)$$

Siendo:

- C_r : Consumo sector residencial
- C_s : Consumo sector servicio
- C_I : Consumo sector industrial
- C_T : Consumo total

Con la obtención del consumo total, podemos obtener las necesidades energéticas que se demandan actualmente:

$$C_T - G'_{FV} - G'_{EO} = N \quad (4)$$

Siendo:

- C_T : Consumo total
- G'_{FV} : Generación fotovoltaica existente
- G'_{EO} : Generación eólica existente
- N : Necesidades

El objetivo del estudio es lograr un pueblo cuya generación provenga de fuentes 100% renovables. Por este motivo, se ha decidido implementar hidrógeno verde para almacenamiento de energía eléctrica, de tal forma, que la demanda de energía eléctrica en horarios nocturnos se cubra con la eólica existente y una pila de hidrógeno.

$$N + P_{HV} = G_{FVT} + G_{HV} \quad (5)$$

Siendo:

- N : Necesidades
- P_{HV} : Demanda energía eléctrica para producción de hidrógeno
- G_{FVT} : Generación fotovoltaica nueva total
- G_{HV} : Generación energía eléctrica con Hidrógeno verde

Así, la producción de hidrógeno se realizará a ciertas horas del día, y la generación de energía eléctrica a partir de la pila de combustible de hidrógeno en las horas en las que no exista generación fotovoltaica.

La generación de energía eléctrica a partir de la instalación fotovoltaica debe ser igual a las necesidades y la demanda energética para la producción de hidrógeno como se muestra en la siguiente ecuación:

$$N + P_{HV} = G_{FVT} \quad (6)$$

Dentro de esta ecuación, la demanda de energía eléctrica para la producción de hidrógeno se ha calculado mediante los consumos de los diferentes equipos implicados. Así, se representa mediante la siguiente ecuación:

$$P_{HV} = C_{ELEC} + C_{OSM} + C_{COMP} \quad (7)$$

Siendo:

- C_{ELEC} : Consumo del electrolizador
- C_{OSM} : Consumo del equipo de osmosis inversa
- C_{COMP} : Consumo del compresor

En el dimensionamiento de la energía fotovoltaica necesaria para cubrir la demanda de la producción de hidrógeno, se han obtenido excedentes de energía ya que dicha instalación debe ser de una potencia muy elevada y, aun así, no logra cubrir la totalidad de la demanda de forma horaria. Por tanto, para el cálculo de los excedentes se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$E = G_{FVT} - (N + P_{HV}) \quad (8)$$

Donde:

- E : Excedentes de generación de energía fotovoltaica

3.1. Estudio de consumos

En este apartado se analizarán los perfiles de consumo del sector residencial, servicios e industrial. Para ello, se estudiarán las diferentes tarifas existentes del mercado, asociándolas a los diferentes sectores.

3.1.1. Tarifas

A continuación, se explicarán las tarifas con el fin de facilitar la comprensión de cómo se han obtenido las curvas horarias de cada perfil de consumo.

(ENDESA, 2023)

3.1.1.1. Tarifa 2.0TD

Este tipo de peaje engloba acceso hasta 15 kW. Se segrega en 3 periodos de consumos, siendo el valle el que conlleva un mayor número de horas.

El término 2.0TD engloba todas las tarifas de acceso con una potencia de hasta 15 kW. Anteriormente, estas tarifas se dividían en categorías como 2.0 (potencia inferior a 10 kW) y 2.1 (potencia de 10 kW a 15 kW). Sin embargo, esta

denominación ha sido unificada bajo el nombre 2.0TD, lo que facilita la comprensión para los usuarios.

Estos cambios fueron implementados con la aprobación de la Circular de la CNMC sobre la metodología de cálculo de los peajes de acceso. Esta medida ha simplificado el proceso para los consumidores, ofreciendo una comprensión más clara de las tarifas eléctricas y permitiendo una toma de decisiones informada.

Los cambios más significantes la tarifa 2.0 T.D. son los siguientes;

- **Eliminación de la Discriminación Horaria:** En el pasado, las tarifas eléctricas solían ser complicadas debido a la discriminación horaria, donde los precios variaban según la hora del día. Con la introducción de 2.0TD, esta complejidad se ha eliminado. Ahora, hay tres precios fijos en el término de energía, lo que ofrece una estructura de precios más transparente y fácil de entender para los usuarios.
- **Flexibilidad en la Elección de Potencia:** Antes, la elección de la potencia eléctrica estaba limitada. Sin embargo, con 2.0TD, los consumidores pueden elegir dos potencias eléctricas para su hogar. Esta flexibilidad brinda la capacidad de adaptar el consumo eléctrico según las necesidades específicas del usuario, otorgando un mayor control sobre los costos y el uso de la energía. (SELECTRA, 2023)

3.1.1.2. Tarifa 3.0TD

La Tarifa 3.0TD es la sucesora directa de la Tarifa 3.0A. Una de las diferencias clave radica en su estructura temporal: ahora cuenta con 6 períodos tanto para potencia como para energía, lo que marca un cambio significativo en comparación con su predecesora.

La Tarifa 3.0TD comprende seis términos de potencia contratada y seis términos de energía.

Está diseñada para;

- Suministros con una tensión inferior a 1 kV.
- Suministros con potencia contratada superior a 15 kW en al menos uno de los seis periodos horarios.
- Si en un período P_n contratas cierta cantidad de potencia eléctrica, en el siguiente período P_{n+1} debes mantener esa cantidad o aumentarla, pero nunca reducirla. No se permiten disminuciones en la potencia contratada de un período a otro.

Esta tarifa no solo trae consigo una estructura temporal más compleja, sino también cambios significativos en los peajes. Los consumidores deben prestar especial atención a su consumo y ajustarse a las nuevas condiciones para optimizar sus costos energéticos en este panorama cambiante. (Energigreen, 2020)

3.1.1.3. Tarifa 6.1TD

La Tarifa 6.1TD reemplaza a las complejas Tarifas 3.1A y 6.1A, simplificando significativamente las opciones para los consumidores. Una de las modificaciones clave es la expansión de los períodos tanto en potencia como en

energía, pasando de 3 a 6. Esta estructura más detallada brinda una visión más precisa del consumo eléctrico.

Esta tarifa presenta flexibilidad mejorada en Potencia Contratada:

- **Tarifa 3.1A:** Antes limitada a 3 periodos tanto en potencia como en energía, ahora se alinea con la estructura de 6 períodos en ambos aspectos. Esta expansión permite una mayor adaptabilidad a las variaciones en el consumo energético durante el día.
- **Tarifa 6.1A:** Anteriormente, se requería una potencia contratada mínima de 450 kW. Sin embargo, con la Tarifa 6.1TD, esta restricción desaparece. Ahora, los usuarios tienen la libertad de contratar potencias inferiores a 450 kW, proporcionando una flexibilidad inigualable.

Además, pueden ajustar sus potencias contratadas según sus necesidades específicas, optimizando así su consumo y costos.

Esta tarifa se caracteriza por;

- **Estructura Detallada:** Se compone de seis términos de potencia contratada y seis términos de energía, proporcionando una visión detallada del consumo eléctrico a lo largo del día.
- **Amplitud de Elección:** Aplicable a suministros con una tensión superior a 1 kV e inferior a 30 kV, esta tarifa permite la contratación de cualquier valor de potencia, brindando a los usuarios un control absoluto sobre su consumo eléctrico.
- **Regla para Potencias Contratadas:** La potencia que contratas en un período específico siempre debe ser igual o mayor que la del período anterior. Esta regla asegura un suministro eléctrico estable y eficiente.

La Tarifa 6.1TD no solo simplifica el panorama de las tarifas eléctricas, sino que también proporciona a los consumidores una flexibilidad y comprensión sin precedentes sobre su consumo energético. Con más períodos detallados y opciones versátiles de potencia contratada, esta tarifa marca un avance significativo hacia una gestión energética más informada y eficaz para todos los usuarios. (Energigreen, 2020)

3.1.2. Perfiles de consumo

Se han creado perfiles de consumo para los sectores residencial, servicios e industrial utilizando datos de la página de estadísticas del gobierno de Canarias.

Para elaborar estos perfiles, se analizaron las tarifas correspondientes a cada sector, adaptándolas a las necesidades específicas de cada uno. En el sector residencial, donde las potencias son inferiores a 15 kW, se aplicó la tarifa 2.0TD. Para el sector de servicios, con potencias inferiores a las del sector industrial, se optó por la tarifa 3.0TD. En cuanto al sector industrial, se seleccionaron las tarifas 6.1TD, que, aunque tienen los mismos periodos, presentan diferentes peajes de acceso.

A través de la base de datos del gobierno de Canarias, se obtuvieron perfiles de consumo diario. Estos perfiles se utilizaron para reconstruir las curvas de consumo, analizando el consumo en diferentes horas del día y durante los

distintos periodos del año. Esto ha permitido realizar un análisis detallado del consumo energético en cada sector.

A continuación, se presentan las gráficas que muestran los perfiles de consumo de cada sector. (Gobierno de Canarias, 2023)

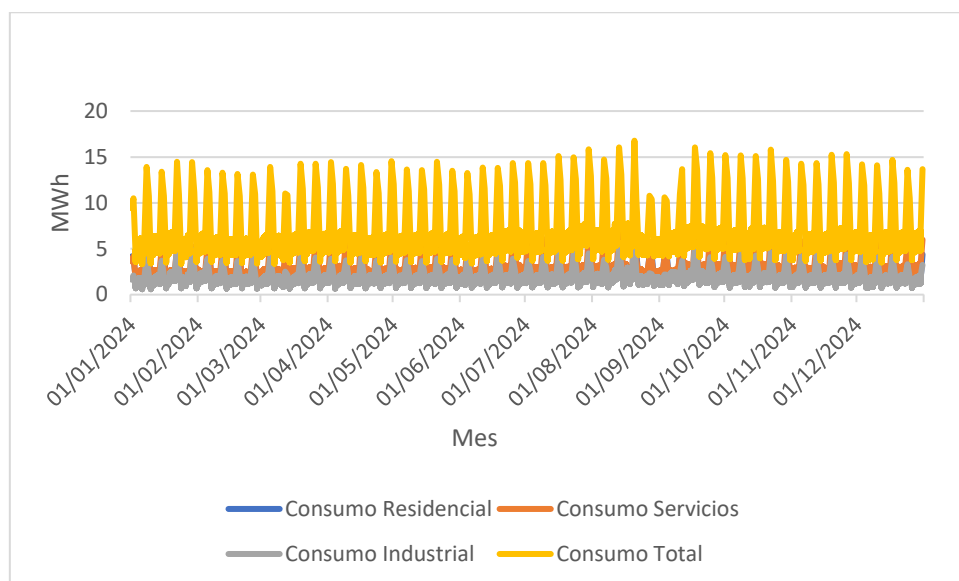


Figura 27. Gráficas Consumos acumulados

3.2. Estudio de generación existente

En Agüimes, se han realizado significativas inversiones en los últimos años para implementar sistemas de generación de energía eólica y fotovoltaica. Tanto en áreas industriales como residenciales, se han utilizado espacios para instalar estas tecnologías con el fin de reducir la huella de carbono y disminuir los costos energéticos.

Como ejemplo de esto, concretamente en Arinaga se ha desarrollado la primera comunidad energética de Gran Canaria que permite tanto a grandes empresas y pymes como personas físicas ser socios y tener acceso a beneficios energéticos. (Autoconsumo, 2023) (ECOAGA, 2022)

3.2.1. Generación fotovoltaica existente

Es crucial obtener datos precisos sobre la generación de las instalaciones fotovoltaicas ya existentes, ya que estas estarán operativas y formarán parte integral del sistema lineal que se simulará en este proyecto en la sección 8.

Agüimes alberga 86 instalaciones fotovoltaicas hoy en día con diversas potencias y características. En conjunto, estas instalaciones alcanzan una potencia total instalada de 2,78675 megavatios pico (MWp). Al simular esta potencia en PVsyst, se estima una producción anual total de 4,583,898 megavatios-hora (MWh). (Consejo Insular de la Energía de Gran Canaria, 2023) (Domingo Martin, 2023)

Para calcular esta producción, se ha tomado como referencia una sola instalación con una inclinación de 15° y un Azimut de 35°. Esta configuración se eligió debido a que representa la orientación predominante de la mayoría de las

instalaciones y parcelas existentes en Arinaga. Además, se trata del escenario más desfavorable, ya que las instalaciones con una inclinación mayor y orientadas hacia el sur generarían más energía.

Para obtener detalles adicionales y comprobar que los cálculos se han realizado como se explica en este apartado, se puede consultar el informe detallado de la simulación realizada con el software PVsyst en el Anexo VI.

3.2.2. Generación eólica existente

Agüimes, un municipio caracterizado por sus frecuentes días ventosos a lo largo del año, se ha convertido en un enclave fundamental para la generación de energía eólica. Diferentes empresas han establecido numerosos parques eólicos en la zona, aprovechando de manera efectiva este recurso natural.

La presencia de estos parques eólicos ha tenido un impacto importante en la economía local, generando empleo y atrayendo inversiones. Estos parques eólicos, además de ser una fuente crucial de energía renovable, simbolizan el compromiso tanto de las empresas como de la comunidad local con la transición hacia un modelo energético más respetuoso con el medio ambiente y más sostenible para las generaciones futuras. (Agüimes, 2020) (Domingo Martín, 2021) (INVERSION ENERGIA EOLICA AGUIMES, 2014)

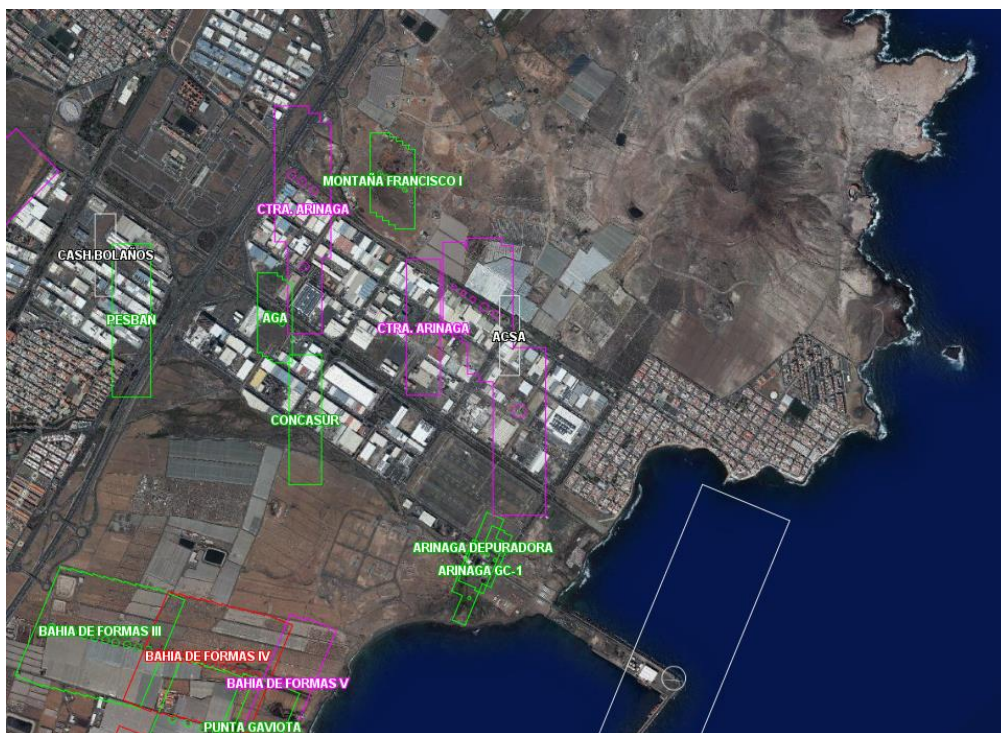


Figura 28. Generación eólica instalada en Arinaga. (Gobierno de Canarias, 2017)

La estimación de la generación eólica existente se ha realizado por medio de la siguiente fórmula: (EOI Escuela Organización Industrial, 2016)

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v^3 \quad (9)$$

Siendo:

- P : Potencia eólica
- ρ : Densidad del aire
- S : Área de giro del aerogenerador
- v^3 : Velocidad media del viento

Para estimar la generación eólica se tomará como referencia un solo tipo de aerogenerador en el Pueblo de Arinaga, este aerogenerador será el modelo E-58/10.58 de ENERCON. Hablamos de un aerogenerador onshore de 1MW cuya velocidad nominal (12.0 m/s). En el Anexo IV se encuentran los valores más relevantes del aerogenerador empleado. (Canariasahora, 2023) (Bauer, 2023)

Ahora bien, para el estudio planteado es necesario obtener la energía horaria, por lo que sí a la fórmula aplicada, se incluye la velocidad horaria del viento, se obtiene la energía horaria.

Los datos de la velocidad horaria del viento se obtienen por medio de la web x-y, (Suarez, 2023) Por lo que con la obtención de las variables mencionadas en este apartado se puede establecer la generación eólica existente en la población de Agüimes.

En la siguiente figura se muestra la tabla de energía horaria generada en Agüimes:

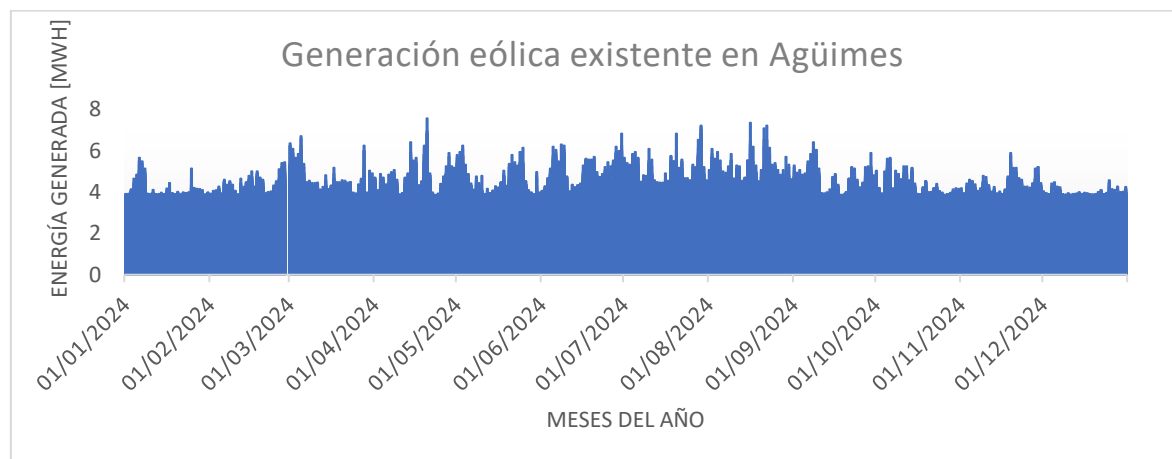


Figura 29. Producción horaria Eólica existente.

3.3. Necesidades

El término necesidades es entendido como la cantidad de energía que necesitamos producir de forma horaria para cubrir la demanda de energía eléctrica.

Las necesidades dependen del consumo total y de la producción de fotovoltaica y eólica.

En la siguiente figura se muestra el perfil de necesidades que se ha obtenido.

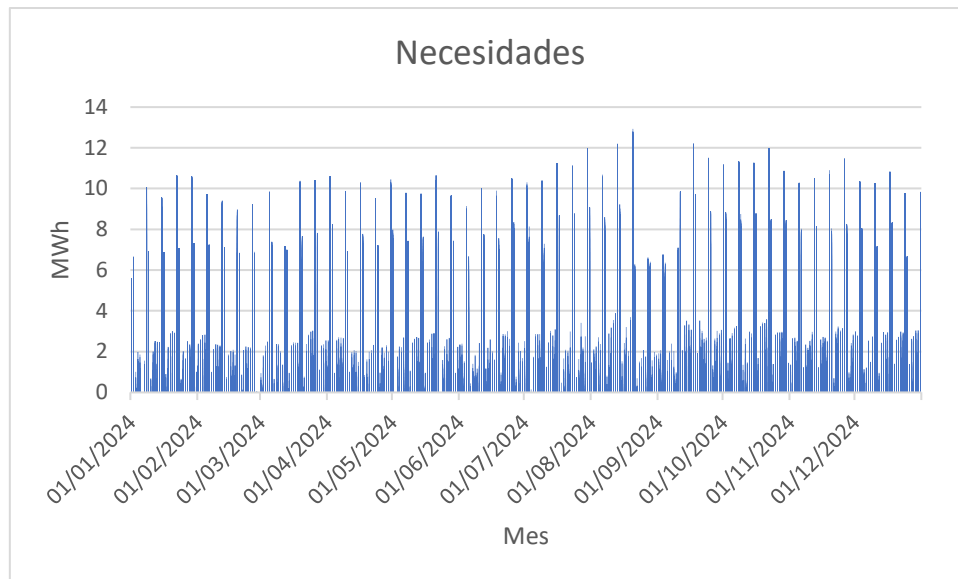


Figura 30. Curva horaria Necesidades

Como se puede ver se encuentran horas del día en las que existe excedente de producción, es decir, en ciertos momentos la demanda de energía ya está cubierta.

3.4. Producción de hidrógeno

Para cubrir las necesidades energéticas durante las horas donde no se puede suplir con producción de energía a partir de fotovoltaica, se diseña una planta de producción de hidrógeno. Para ello se hace un estudio horario donde se tienen en cuenta las horas en las que se producirá hidrógeno y las horas donde se utilizará este para producir electricidad.

Así, se ha definido que el rango de producción será durante las horas de rendimiento de la planta fotovoltaica, de 9:00 a.m. a 19:00 p.m. y, el horario de consumo será de 1:00 a.m. a 5:00 a.m. y de 19:00 p.m. a 00:00 a.m.

A partir de la necesidad energética durante el periodo nocturno, se calculan los kilogramos de hidrógeno necesarios sabiendo que existe una relación de 25 kWh/kg de hidrógeno. (Alejandra Cecilia Morales Ramos, 2017)

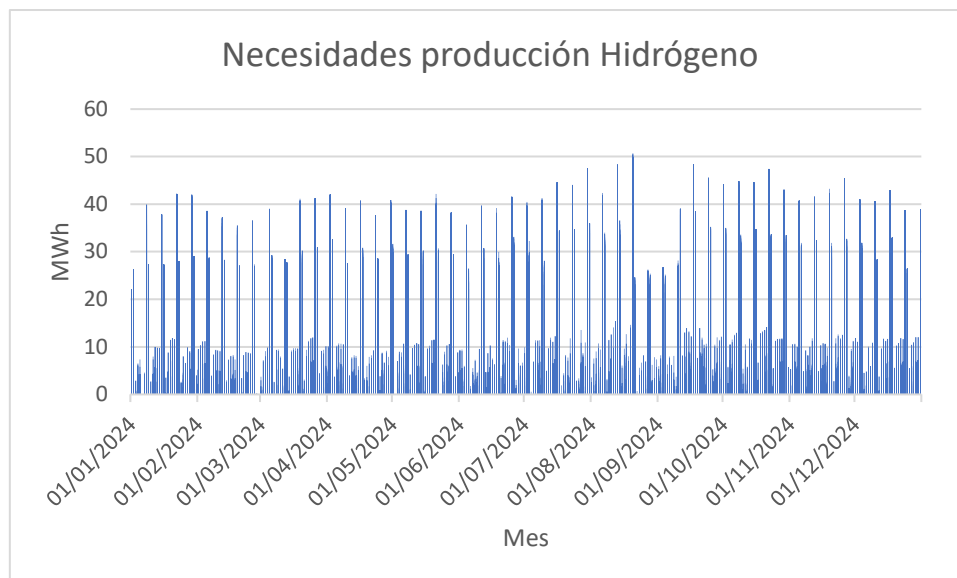


Figura 31. Cantidad de hidrógeno requerida por cada hora

3.4.1. Electrolizador

El electrolizador es el elemento principal en la planta de generación de hidrógeno. Por tanto, sabiendo la necesidad de producción eléctrica se valoran diversas soluciones de electrolizador para elegir la más adecuada.

Existen dos principales tipos de tecnologías muy desarrolladas para la producción de hidrógeno mediante electrolisis. (Iberdrola, 2023)

Por un lado, los electrolizadores alcalinos son la tecnología más madura, siendo además los más empleados para la producción de hidrógeno a gran escala. Utilizan una solución electrolítica líquida como hidróxido de sodio y agua llegando a alcanzar una eficiencia del 80%. Por otro lado, existen los electrolizadores de membrana polimérica (PEM), que son muy populares ya que producen hidrógeno de alta pureza y son fáciles de refrigerar. A diferencia de los electrolizadores alcalinos no requieren de un electrolito líquido por lo que se reduce el mantenimiento del electrolizador. Son ideales para pequeña y mediana escala tales como la producción de hidrógeno a partir de energías renovables, y son los más adecuados para acoplarse a las fluctuaciones de energía eléctrica a diferencia de la alcalina. (Gonzalez, 2023)

El modelo de electrolizador elegido será el HyLyzer-4000 de la marca Hydrogenics. Dentro de las principales marcas de electrolizadores, Hydrogenics destaca por su innovación y por poseer modelos con tecnología PEM que como se ha mencionado anteriormente es la más adecuada para instalaciones alimentadas por energías renovables. (Cummins, 2021)

A continuación, se detallan las características principales del Hylyzer-4000:

Tabla 5. Características electrolizador (HyLyzer - 4000)

Potencia nominal electrolizador	20 MW
Caudal producido en kg	8630 kg/día
Caudal volumétrico producido	4000 Nm ³ /h
Consumo eléctrico en corriente continua	4,3 kWh/Nm ³
Eficiencia de conversión energética	97%
Presión a la que se produce el hidrógeno	30 bar
Consumo de agua (L/kg de H₂)	9
Número de electrolizadores	2

3.4.2. Aprovechamiento de agua

Para alimentar el electrolizador se requiere de un suministro constante de agua y para calcular la cantidad de agua que se necesita se recurre a la expresión (2).

Sabiendo: (Lenntech, 2023)

Tabla 6. Masas molares

Elemento	Masa molar (g/mol)
Oxígeno	16
Hidrógeno	1

Se calcula que, el agua tiene una masa molar de 18 g/mol y la molécula de hidrógeno tiene una masa molar de 2 g/mol, por tanto, para producir 1 gramo de hidrógeno se necesitan 9 gramos de agua.

A partir de la máxima cantidad de hidrógeno que se produce en un día que tiene un valor de 5451,12 kg y teniendo en cuenta la relación entre los kilogramos de H₂O requeridos por kilogramos de H₂, se necesitan 49.500 litros de agua purificada.

Dado la cercanía del municipio de Agüimes a la costa el suministro se hará mediante agua del mar, la cual deberá pasar por un proceso de purificación antes de entrar al electrolizador, ya que contiene gran cantidad de impurezas y metales.

La purificación se llevará a cabo mediante un equipo de ósmosis inversa llegando a alcanzar la pureza cercana al 100%. El modelo elegido es el SW-16K-1480 de la marca Pure Aqua Inc. capaz de producir hasta 61 m³/día de agua purificada. (PureAqua, 2023)

A su vez, el agua resultante será transportada al electrolizador mediante unas tuberías mientras que el agua de desecho se depositará directamente en el mar.

Cerca del electrolizador se instala un taque de almacenamiento del agua purificada resultante para garantizar el caudal de agua de entrada requerido por el electrolizador diariamente, evitando posibles paradas por fallos puntuales o bajadas de producción. El depósito escogido es de inox AISI 304 de la marca Herpasa con una capacidad de 50.000 litros. Antes de la puesta en marcha de la instalación este tanque deberá estar lleno. (Subastas, 2022)

El tanque tiene las características descritas en la tabla X:

Tabla 7. Características del depósito de agua purificada

Capacidad	50.000 L
Diámetro	3 metros
Fabricante	Herpasa
Material	AISI 304

3.4.3. Compresor

La presión de salida del hidrógeno del electrolizador es de 30 bar como se puede observar en la Tabla 8 y, para asegurar su almacenamiento y transporte, es necesario comprimir el H₂ entre 350 y 900 bar. (TresCantos, 2023)

Para llevar a cabo esta tarea se instala un compresor seguido del electrolizador. El modelo elegido es un compresor de diafragma de tipo D de la marca Sollant que presenta las siguientes características: (Sollant, 2023)

Tabla 8. Características del compresor de tipo D, Sollant

Marca	Sollant
Tipo de estructura	Tipo D
Presión máxima de descarga	1000 bar
Rango de caudal	30 – 2000 Nm ³ /h
Fuerza de motor	22KW – 200 KW

Para determinar el número de compresores a instalar, es necesario determinar el caudal de hidrógeno que se necesita comprimir.

En primer lugar, se calcula la máxima masa de hidrógeno a producir en un día, para ello se hace una estimación al alza teniendo en cuenta las horas de funcionamiento del electrolizador y el caudal de este.

$$m_{H_2} = 11h \cdot \frac{360 \text{ kg}}{h} = 3960 \text{ kg} \quad (10)$$

En un día se obtiene como máximo 3960 kg de hidrógeno por electrolizador, sabiendo que, a partir de la estimación de la demanda de energía en el municipio de Agüimes, la cantidad máxima que se necesita por día es de 5451,11 kg de hidrógeno, estimamos que el depósito debe poder almacenar un máximo de 6000 kg de hidrógeno.

En segundo lugar, se calcula el caudal de alimentación al compresor para el día de máxima producción, sabiendo que la densidad del hidrógeno en estado gas tiene un valor de 0,08987 kg/Nm³. (Calatayud, Couce, Feal, & Guerreiro, 2011)

$$\text{Caudal H}_2 = 6000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ Nm}^3}{0,08988 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{11 \text{ h}} = 6068,70 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cong 6000 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \quad (11)$$

Por tanto, para comprimir todo el gas que se produce en los electrolizadores, es necesario instalar 3 compresores.

3.4.4. Depósito de alta presión

Tras obtener el hidrógeno comprimido a 900 bar en estado gas, se presentan diferentes opciones para su almacenamiento.

Por un lado, se plantea la posibilidad de almacenarlo en un depósito capaz de soportar alta presión, por lo que se calcula el volumen que ocupa el hidrógeno comprimido en estas condiciones:

Para ello se utiliza la fórmula de los gases ideales: (Quimica.es, 2023)

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (12)$$

donde:

- $n = \frac{m}{M}$

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot P} \quad (13)$$

Sabiendo:

- V: volumen, L
- M: masa de hidrógeno, kg
- R: constante de los gases ideales, $\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
- T: temperatura del hidrógeno, K
- M: masa molecular del H₂, $\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
- P: presión del hidrógeno en atmósferas

Como se ha visto anteriormente, en un día se obtiene como máximo 3960 kg de hidrógeno por electrolizador, sabiendo a partir de la estimación de la demanda de energía en el municipio de Agüimes que la cantidad máxima que se necesita por día es de 5451,11 kg de hidrógeno, estimamos que el depósito debe poder almacenar un máximo de 6000 kg de hidrógeno.

Aplicando la formula se obtiene:

$$V = \frac{6000 \cdot 0,082 \cdot 298}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 888,23} = 82.532,68 \text{ L} \cong 82,53 \text{ m}^3 \quad (14)$$

Actualmente encontrar en el mercado uno o varios depósitos que en su totalidad sean capaces de albergar la cantidad total de hidrógeno comprimido que se necesita a la presión de 900 bar no es una tarea fácil ya que se trata de una cuestión que está en investigación. Además, este tipo de depósitos deben tener un forro interno de plástico, normalmente polietileno de alta densidad, para evitar la difusión del hidrógeno, y, reforzado con fibras de carbono en distintas direcciones. La empresa Hexagon Purus está especializada en el diseño de depósitos específicos para almacenamiento de hidrógeno y, ofrece diferentes tipos dependiendo de las necesidades. (Hexagon Purus, 2023) (Carretero, 22)

3.4.5 Pila de combustible

Uno de los principales usos del hidrógeno verde es como combustible aplicado a multitud de sectores. Por un lado, puede ser utilizado en el sector industrial como materia prima para la obtención de otros productos, en el sector automovilístico para transporte urbano o individual o, como sistema de almacenamiento de energía lo que implica una mayor gestión y por tanto mayor estabilidad en la red. (Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados, 2022)

Para obtener electricidad a partir de hidrógeno, se realiza la reacción inversa que para la obtención del mismo. El dispositivo encargado de realizar esta acción es una pila de combustible, donde se hace reaccionar el hidrógeno con el oxígeno del aire dando como producto resultante electricidad y agua en forma de vapor de agua. (El periodico de la energía, 2022)

Existen distintos tipos de pila de combustible según el uso que se le va a dar, así pueden ser portátiles, estacionarias o para aplicaciones al transporte. En nuestro caso, su uso está destinado a producir electricidad para abastecer a la red y cubrir las necesidades energéticas durante una franja horaria significativa diariamente, por tanto, el tipo de pila escogida es estacionaria. (Centro Nacional del Hidrógeno, 2021)

3.4.5. Dimensionamiento de la energía requerida

Para poder diseñar la planta fotovoltaica, es necesario determinar el consumo de los diferentes equipos.

Electrolizador

Según la ficha técnica del electrolizador, cuyos valores más importantes se describen en la tabla X, el consumo del equipo es de 4,3 kWh/Nm³.

A partir la cantidad de hidrógeno requerida por cada hora del año y sabiendo la densidad del hidrógeno en estado gas, se calcula el consumo del electrolizador mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Energía (kWh)} = \left(\frac{\text{kg H}_2}{\rho_{\text{H}_2}} \right) \cdot \text{Consumo} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right) \quad (15)$$

Teniendo en cuenta que se necesitan 2 electrolizadores, se obtiene que el consumo de este equipo es:

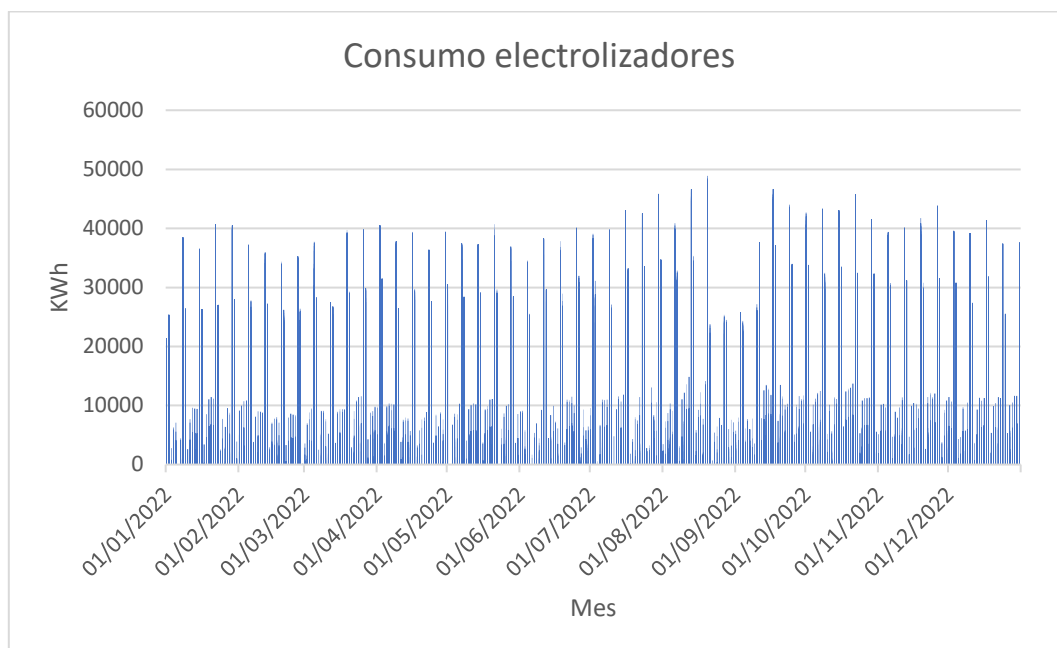


Figura 32. Consumo horario de dos electrolizadores

Ósmosis inversa

El consumo del equipo de ósmosis depende directamente de la cantidad de agua necesaria para producir hidrógeno. Como se ha indicado en el apartado 5.4.2, por cada gramo de hidrógeno producido, se requieren 9 gramos de agua, por tanto, a partir de esta relación, se calculan la cantidad de agua necesaria para cada hora del año y, se obtiene la siguiente curva:

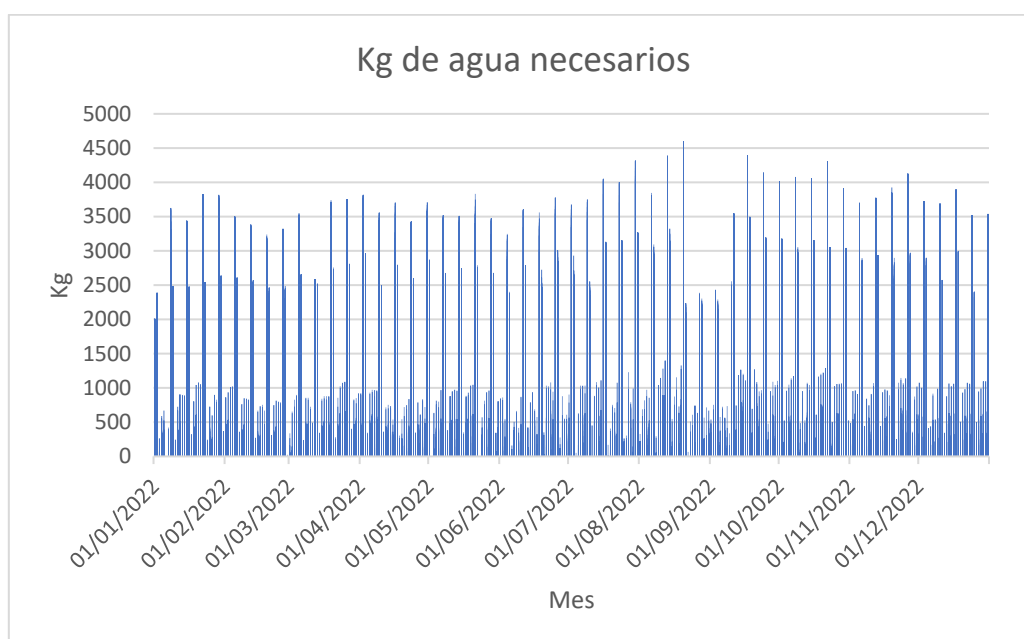


Figura 33. Cantidad de agua requerida por cada hora

El consumo de un equipo de osmosis de estas características diseñado para purificar agua procedente del mar tiene un consumo de entre 3,5 – 5 kWh/Nm³, por tanto, se escoge el valor intermedio de 4,25 kWh/Nm³.

Sabiendo que la densidad del agua en condiciones normales es de 1000 kg/m³, el consumo del equipo y el caudal de agua producido, se calcula la energía necesaria para alimentar el aparato de osmosis inversa:

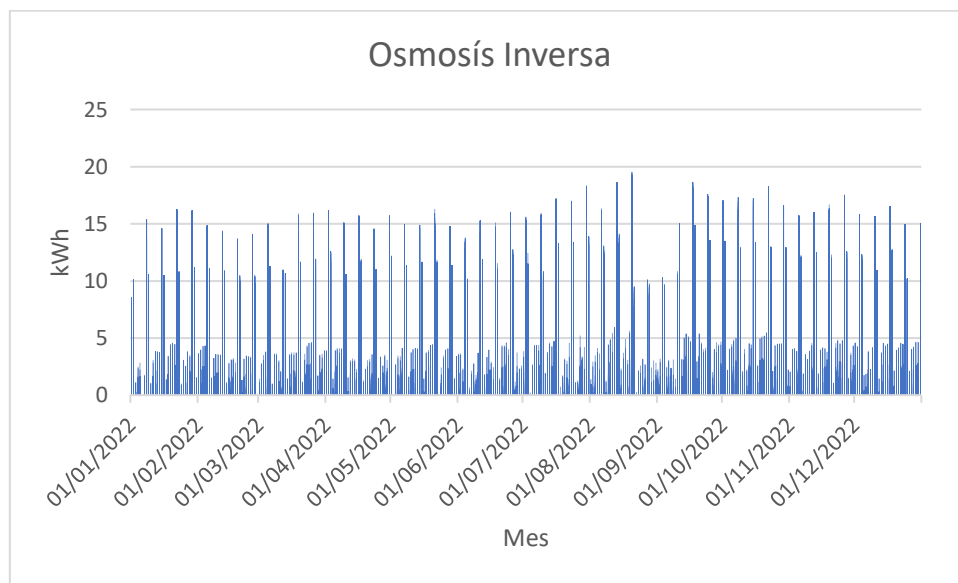


Figura 34. Consumo horario del equipo de osmosis inversa

Compresor

El ultimo equipo necesario para la producción de hidrógeno es el compresor ya que la forma más eficiente de almacenarlo es en estado gas sometido a alta presión.

A partir de la tabla X se conoce la potencia del motor del equipo de compresión, la cual oscila entre 22 – 200 kW en un rango de caudales de 30 – 2000 Nm³/h. Sabiendo que el caudal de H₂ que se necesita comprimir es de 6000 Nm³/h y por tanto, se hace uso de 3 compresores con el máximo caudal de alimentación posible, se escoge la potencia de 200 kW para estimar el consumo eléctrico del equipo.

En primer lugar, obtenemos la energía consumida por caudal de H₂ alimentado:

$$\text{Consumo compresor} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right) = \frac{200 \text{ kW}}{2000 \text{ Nm}^3/\text{h}} = 0,1 \text{ kWh/Nm}^3 \quad (16)$$

En segundo lugar, conociendo el consumo del equipo, los kilogramos de hidrógeno requeridos y la densidad del hidrógeno, se calcula, finalmente, el consumo del equipo de forma horaria dependiendo de las necesidades:

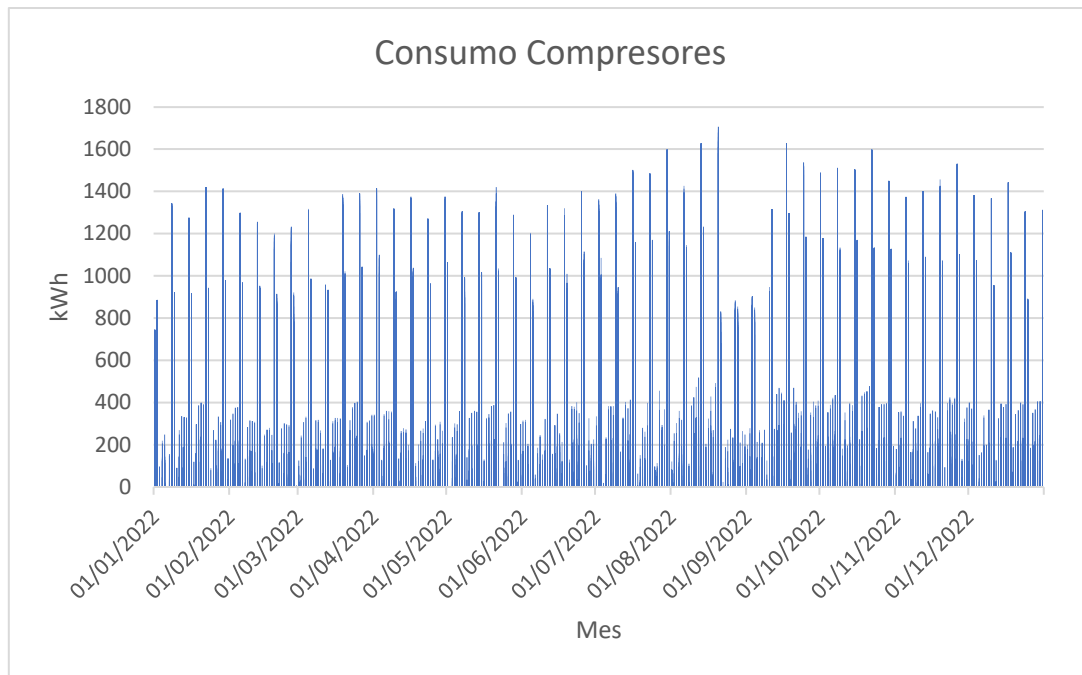


Figura 35. Consumo horario de los compresores

Una vez conocidos los consumos eléctricos de los diferentes equipos, se procede a diseñar la planta fotovoltaica, la cual debe producir la necesidad energética durante el periodo diurno y la energía necesaria para la producción del hidrógeno.

3.5. Producción fotovoltaica total

En primer lugar, con el objetivo de conocer la capacidad máxima que existe en las parcelas seleccionadas, se han realizado los planos a medida para una instalación con configuración de 2 módulos en vertical (2V) e inclinación de 25° hincada en suelo con módulos bifaciales de Canadian Solar de 660Wp. Estos planos se pueden observar en detalle en el Anexo II.

La distancia mínima entre filas se ha calculado según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red elaborado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Este procedimiento de cálculo se describe en el Anexo I del presente documento.

Posteriormente, se ha realizado un estudio de producción y rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas diseñadas para cada parcela utilizando el software de simulación PVsyst. De este programa, se ha obtenido además la curva de producción horaria de un año completo de cada instalación. Estos datos, son los que se han utilizado para la producción fotovoltaica total del sistema lineal.

Así, en la Tabla 9 se recogen las capacidades máximas disponibles en cada una de las parcelas seleccionadas y los resultados de la estimación de generación y rendimiento obtenidos a través de PVsyst.

Los informes de dichas simulaciones se encuentran adjuntos a este documento en el Anexo VI.

Tabla 9. Potencia pico y producción de las instalaciones fotovoltaicas estudiadas

Parcela	Potencia pico máxima [kWp]	Número de módulos	Generación máxima [kWh/año]	Producción específica [kWh/kWp]	PR [%]
1	6.504,96	9.856	10.799.419	1.660	81,66
2	1.275,12	1.932	2.096.321	1.644	81,32
3	24.000	36.393	40.127.334	1.671	82,44
4	14.110	21.386	23.264.529	1.648	81,43

Como se ha podido observar en apartados anteriores, es indispensable el suministro de electricidad al equipo de electrolisis para poder obtener hidrógeno verde. Además, esta electricidad debe ser de origen renovable para cumplir con el objetivo de desarrollar un pueblo 100% renovable.

Así, para este proyecto, se ha generado el hidrógeno a partir de electricidad procedente de una planta fotovoltaica. Según los cálculos realizados en el sistema lineal, para satisfacer la demanda de energía que requiere el electrolizador, se ha utilizado una instalación de potencia 30,793MWp. Así, para el resto de las necesidades del sistema lineal, se utiliza una instalación de potencia 15,096MWp. Sumando la potencia de estas dos instalaciones, se obtiene la potencia total instalada de fotovoltaica en las 4 parcelas de la Tabla 9. Así, se puede observar que el total de la instalación fotovoltaica construida es de 45,89MWp.

3.6. Excedentes

La tecnología fotovoltaica conlleva el problema de una producción no continuada y con variaciones en su producción debido a su dependencia de factores externos, es por ello, que se van a analizar los excedentes producidos de forma horaria por la instalación fotovoltaica propuesta.

Por medio del sistema lineal se han podido analizar la cantidad de excedentes en el sistema eléctrico propuesto. Se han calculado como la resta de la demanda total de energía eléctrica y la producción de energía eléctrica por medio de energía fotovoltaica.

Así, el valor total de excedentes en un año son 44.927,421MWh anuales. En la siguiente gráfica se muestran los excedentes de energía que se producen.

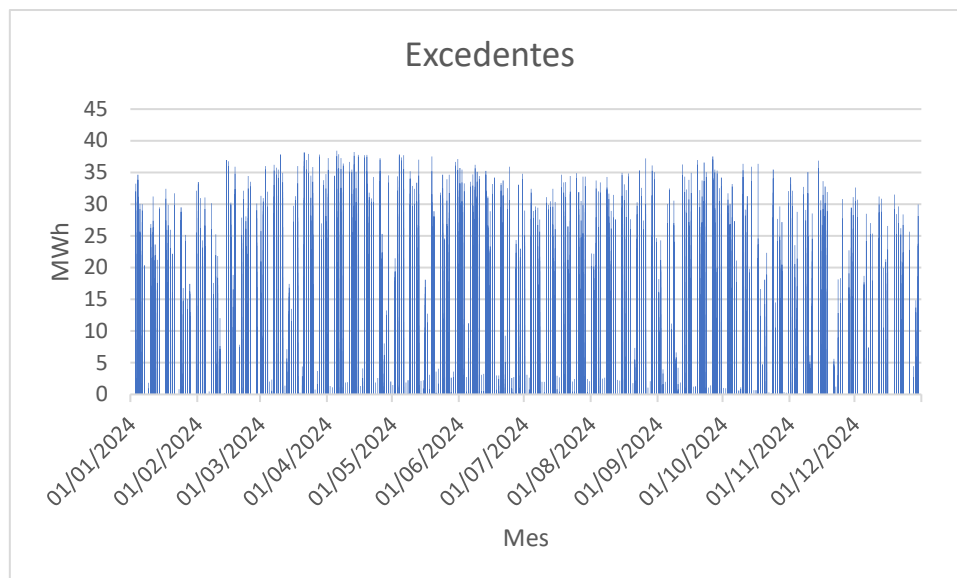


Figura 36. Excedentes en MWh producidos por la instalación fotovoltaica

4. Estadísticamente Verde vs. 100% Renovable

En el presente apartado, se analizará como sería el cálculo global realizado en el sistema lineal anterior para alcanzar el término estadísticamente verde. Se hace referencia al término anterior cuando en un sistema se logra producir de forma renovable la misma cantidad de energía que el sistema demanda, es decir, que los consumidores de energía demandan de forma global.

En primer lugar, es necesario conocer los valores anuales del consumo total, producción de energía eléctrica por medio de eólica y fotovoltaica existente.

- Consumo Total: 65.137,860MWh anuales.
- Producción fotovoltaica existente: 4.584,192MWh anuales.
- Producción energía eléctrica eólica existente: 37.101,061MWh anuales.

Con estos valores se obtienen las necesidades de los consumidores asociados al municipio. Además, el nuevo mix energético cuenta con almacenamiento de energía por medio de hidrógeno. La producción de dicho hidrógeno conlleva un consumo bastante elevado alcanzando un valor anual de 50.985,791MWh. Por lo que se obtiene una necesidad total de energía de 74.438,401MWh anuales. Esta demanda será cubierta por el hidrógeno almacenado las horas nocturnas y por una nueva instalación fotovoltaica.

La aportación de hidrógeno en horario nocturno será de 15.475,891MWh anuales. Por lo que se obtiene una necesidad de energía anual 58.962,502MWh, dicha demanda deberá ser producida por una instalación fotovoltaica, sabiendo que las horas de producción media de las instalaciones propuestas con anterioridad son 1.655,751horas. Así, se calcula una instalación fotovoltaica de 35MW de potencia para cubrir dicha demanda.

La siguiente tabla muestra los valores comparativos en ambas situaciones:

Tabla 10. Comparativa de potencias necesarias para casa 100% renovable y estadísticamente verde

	Potencia PV total [kWp]	Potencia PV Nec [kWp]	Potencia PV H2 [kWp]
Caso 100% renovable	45890,09	15096,918	30793,172
Estadísticamente Renovable	35610,754	4817,582	30793,172

Como se puede observar, en el caso estadísticamente renovable, se necesitaría una instalación de 10MWp menos.

5. Análisis económico

En este apartado se ha realizado una estimación de los costes en los que habría que incurrir para la construcción de las plantas fotovoltaicas diseñadas y de la planta de hidrógeno verde. Al final, también se ha realizado un breve análisis de las distintas fuentes de financiación disponibles de las que este proyecto se podría ver beneficiado.

5.1. Coste Instalación fotovoltaica

Así, para la estimación de los costes de las instalaciones fotovoltaicas, se ha tomado como referencia la planta solar fotovoltaica Guadarrama III que fue construida en 2022 en Viso de San Juan (Toledo). Esta planta cuenta con una potencia instalada de 200MWp y su coste fue de aproximadamente 83.427.150,52 € (Ministerio de Política Territorial, 2021).

De esto, se puede aproximar el coste en $\frac{\text{€}}{\text{kW}_p}$ de la instalación:

$$\text{Coste} = \frac{83.427.150,52 \text{ €}}{200 \text{ MW}_p * 1000 \text{ kW}_p} = 417,14 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} \quad (17)$$

A continuación, aplicamos esta relación al total de la potencia instalada de fotovoltaica que está destinada a satisfacer la demanda de consumo de Agüimes, ya que el coste de las instalaciones destinadas a la producción de hidrógeno se imputará en el apartado siguiente. Esta potencia corresponde al total de las instalaciones en las 4 parcelas (45.890,090kWp) menos el destinado al hidrógeno (30.793,171kWp).

Así, se obtiene el siguiente coste:

$$\text{Coste PV} = 417,14 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} \times 15096,918 \text{ kWp} = 6.297.528,51 \text{ €} \quad (18)$$

Si aplicamos esta misma relación al coste de la planta fotovoltaica que se utilizaría para el caso estadísticamente renovable que se ha planteado en el apartado 4, el resultado sería el siguiente:

$$\text{Coste PV}'' = 417,14 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} \times 4817,582 \text{kW}_p = 2.009.606,201 \text{ €} \quad (19)$$

5.2. Coste Instalación hidrógeno

Para la estimación de los costes de la instalación de hidrógeno se ha tomado como referencia la planta de hidrógeno que Iberdrola construyó en para la industria en Puertollano (Ciudad Real), que tiene una potencia de 99.658MWp. Esta planta se alimenta de la energía generada por una planta solar fotovoltaica y a través de un sistema de electrólisis polimérica es capaz de generar hasta 20MW de electricidad con una capacidad de 360kg/h. Esta instalación tuvo un coste aproximado de 150.000.000 €. (Iberdrola, 2022)

Así, tomando como referencia el coste de esta instalación real para nuestro caso en el que producimos hidrógeno a partir de una planta de 30,793MWp, aplicamos una relación similar a la utilizada en el apartado anterior:

$$\text{Coste} = \frac{150.000.000 \text{ €}}{99.658 * 1.000 \text{ kW}_p} = 1.505,15 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} \quad (20)$$

$$\text{Coste H}_2 = 1.505,15 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} * 30793,171 \text{kW}_p = 46.348.342,345 \text{ €} \quad (21)$$

Como se puede observar, el presupuesto destinado al hidrógeno sería el que condicionará la totalidad del proyecto, ya que supone una inversión de 40 millones de euros más respecto a la instalación fotovoltaica que está destinada exclusivamente a la cobertura de la demanda de red de Agüimes.

Resulta interesante ver qué parte del presupuesto de la instalación de hidrógeno viene de la instalación fotovoltaica destinada a su producción renovable, de forma que podamos comparar con el presupuesto del resto de los equipos relativos al uso del hidrógeno.

Así, aplicando la relación del apartado 5.1. a la potencia de la instalación destinada a hidrógeno, se obtiene:

$$\text{Coste PVH}_2 = 417,14 \frac{\text{€}}{\text{kW}_p} * 30793,171 \text{kW}_p = 12.845.063,4 \text{ €}$$

Así, se puede observar que la instalación solar fotovoltaica destinada a la producción de hidrógeno supone un 27,7% del total del coste de la instalación de hidrógeno. Se demuestra así que la mayor inversión necesaria para acometer este proyecto se ve limitada por el resto de equipos necesarios para esta instalación, los cuales suponen un 72,3% del presupuesto de la instalación de hidrógeno y un 63,63% del presupuesto total estimado para llevar a cabo este proyecto.

5.3. Métodos de Financiación

5.3.1. Subvenciones existentes

Actualmente existen numerosas subvenciones de las que se podría beneficiar este proyecto, algunas de ellas son:

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)

Promueve proyectos de eficiencia energética y energías renovables, ofreciendo ayudas económicas (IDAE, Gobierno de España, 2020) a través del Real Decreto-ley 20/2012 (BOE-A-2012-9364 Real decreto-Ley 20/2012, 2012). Han lanzado programas como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) para apoyar iniciativas que reduzcan las emisiones de CO₂ y contribuyan al desarrollo de España en eficiencia energética (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2023). Esta entidad sigue respaldando estos proyectos actualmente.

- Gobierno de Canarias

Esta entidad en Canarias apoya el progreso local mediante subvenciones y ayudas en áreas esenciales como educación, movilidad y energía. Se centra en proyectos innovadores para mejorar la eficiencia energética y promover la descarbonización (Gobierno de Canarias, 2023), financiados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Ministerio de Hacienda y Función Pública, 2023).

- New Energy Solutions Optimised for Island (NESOI)

Es una iniciativa de la Unión Europea diseñada para acelerar la transición de las islas europeas hacia un futuro energético sostenible. Establecido en el marco del programa Horizonte 2020, NESOI se centra en abordar los desafíos energéticos únicos que enfrentan las comunidades insulares, al mismo tiempo que aprovecha sus recursos naturales para impulsar soluciones de energía renovable. (Redacción, 2021)

- Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España

“Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021)

- Subvenciones para el fomento de la descarbonización industrial del Gobierno de Canarias

Promoción de energías limpias en la industria canaria, mediante proyectos integrales de renovables y eficiencia en edificios industriales y procesos productivos. También se apoya la creación de comunidades energéticas en polígonos industriales. (Gobierno de Canarias, 2023)

- Subvenciones del Programa Operativo de Canarias con FEDER

“Subvenciones para la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en empresas y edificios residenciales, cofinanciadas con FEDER en el ámbito del Programa Operativo de Canarias.” (Gobierno de Canarias, 2023)

- EOLCAN.

“Ayudas a la inversión en instalaciones de producción de energía eléctrica de tecnología eólica situadas en canarias.” (IDAE, 2019)

- Programa CE Implementa.

Se caracteriza por promover y conceder ayudas para los proyectos piloto singulares de las comunidades energéticas, dándole ese impulso inicial necesario para llevar a cabo esas ideas innovadoras que van a contribuir en la descarbonización inicialmente en estas comunidades y en el planeta a nivel general por medio de la toma de medidas necesarias para frenar todos estos cambios climáticos. Lo anterior, regulado a través de la Orden TED/1446/2021, de 22 de diciembre. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021)

5.3.2. Otros métodos de financiación

Existen numerosos tipos de fuentes de financiación de proyectos de energías renovables. Así, alguna de las que podrían ayudar este proyecto son:

- A través de un crowdfunding en el que todos los habitantes de Agüimes pudieran invertir. Este tipo de financiación consiste en reunir gran cantidad de inversores particulares y se realiza a partir de una página web.
- Mediante financiación bancaria con un plazo fijado y unas condiciones previamente establecidas.
- A partir de bonos verdes. Estos bonos son un tipo de deuda cuyo uso está destinado a financiar proyectos sostenibles como instalaciones renovables, eficiencia energética o la gestión responsable de residuos. (Alter Finance Group, 2023)
- Mediante un contrato de compraventa de energía o ‘power purchase agreement’ (PPA). Así, mediante este tipo de contratos, se establece un contrato de compraventa de la energía renovable que es generada por la planta que se quiere financiar. Así, en el contrato se pacta previamente un precio durante un plazo entre 5 y 20 años. La ventaja de este tipo de contratos es que no requiere de un desembolso inicial por parte del cliente.

6. Conclusiones

En el presente trabajo se ha analizado la posibilidad de abastecer toda la demanda energética del municipio de Agüimes (Gran Canaria) por medio de un mix energético basado en renovables.

Así, en primer lugar, se realizó un análisis del recurso eólico y solar disponibles en Agüimes y se remarcó la ventaja de la ubicación de una planta de producción de hidrógeno a través de electrólisis en la localidad, ya que se dispone de agua del mar próxima que puede ser utilizada en este proceso. Además, se identificaron las parcelas adecuadas para la construcción de nuevas instalaciones fotovoltaicas y de producción de hidrógeno.

A continuación, se analizó el consumo horario de energía eléctrica durante un año de todo el municipio. Para simplificar el estudio, se hizo una división de este consumo por sectores: residencial, servicios e industrial. De este modo, se aproximó el consumo total de cada sector según el perfil de consumo propio de la tarifa energética que le aplica.

Tras esto, se analizaron las energías renovables existentes en el municipio y se aproximó su generación a las generadas por otras instalaciones de la misma potencia y similares características. Para ello, se realizaron diversas simulaciones de la generación horaria total durante un año, de forma que las curvas se pudieran casar con los consumos. Así, para las instalaciones fotovoltaicas se utilizó el software de cálculo PVsyst y para las instalaciones eólicas se hicieron los cálculos de producción analíticamente a través de los datos del recurso eólico de Agüimes. De estos cálculos se obtuvo que las instalaciones fotovoltaicas existentes en el emplazamiento producen una energía anual de 4.584,195MWh anuales y que las instalaciones eólicas existentes producen un total de 37.101,061MWh anuales. En la gráfica de la Figura 37, se puede observar la evolución de la generación de energía de la planta fotovoltaica existente y en la gráfica de la Figura 38, la de parques eólicos existentes.

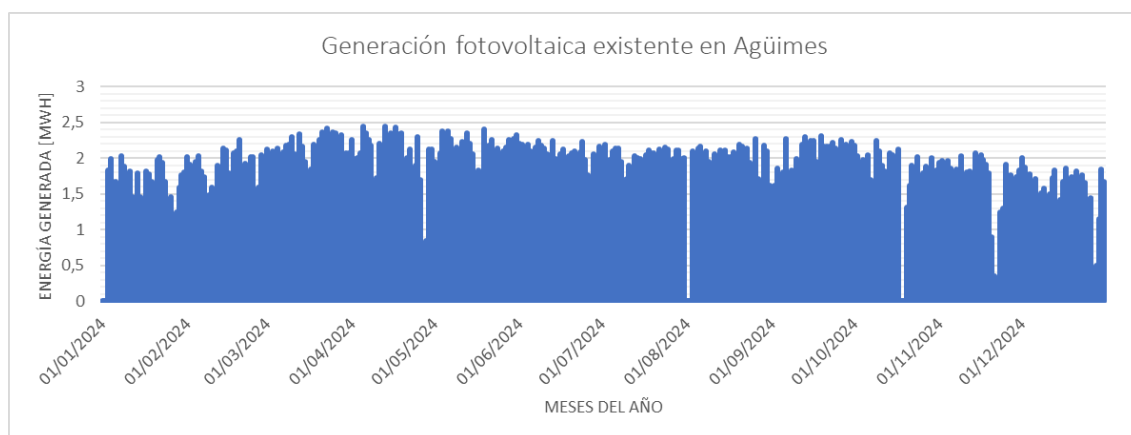


Figura 37. Generación fotovoltaica existente en Agüimes a lo largo del año

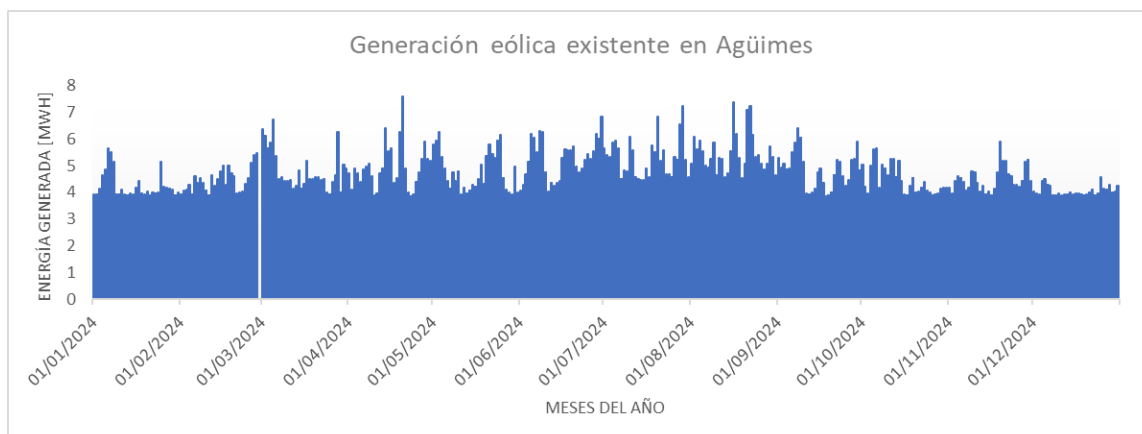


Figura 38. Generación eólica existente en Agüimes a lo largo del año

Tras el análisis de los parámetros mencionados con anterioridad, se procedió al análisis de las energías renovables que se deseaban implementar con el fin de cubrir el 100% de la demanda de Agüimes a través de energías renovables. Así, en primer lugar, se decidió dimensionar una instalación de producción de hidrógeno verde a partir de electrólisis del agua. Una vez obtenido el hidrógeno, este se ha decidido almacenar en forma gaseosa en un depósito a alta presión ya que en estado líquido todavía no se ha encontrado un sistema de almacenamiento que sea eficiente energéticamente. También se contemplaron otras alternativas de almacenamiento como es en caverna de sal, sin embargo, para ello es necesario la existencia de un yacimiento de roca salina, la cual no existe en el emplazamiento. Aun así, la cantidad de hidrógeno necesaria es tal que no se ha encontrado un depósito que pueda almacenarlo en las condiciones necesarias para este proyecto, por lo que habría que hacer un diseño a medida. Asimismo, para poder producir hidrógeno es necesario alimentar el proceso de electrólisis con una corriente eléctrica a través de una planta fotovoltaica con el objetivo de satisfacer la demanda de electricidad en horario nocturno de 20:00h a 08:00h a través de una pila de combustible.

Posteriormente, se planteó el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica que cubriese las necesidades energéticas horarias que faltaban por cubrir de Agüimes durante las horas de día de 09:00 a 19:00. Así, se planteó un sistema lineal, el cual se puede observar de forma más detallada en el apartado 3. De dicho sistema se obtiene la energía que sería necesaria generar para cubrir la demanda de los tres sectores propuestos, excluyendo la energía que se aporta de forma horaria por las energías renovables existentes en dicho emplazamiento. Además, a esta demanda sería necesaria añadirle la energía que se necesita para producir hidrógeno. Por lo que la demanda total requerida que se obtiene del sistema es 61.147,819MWh anuales.

Ante los resultados obtenidos, se proponen 4 instalaciones fotovoltaicas con una potencia instalada total de 45,89MW para cubrir la demanda existente. La evolución de la generación de esta instalación a lo largo del año se puede observar en la gráfica siguiente:

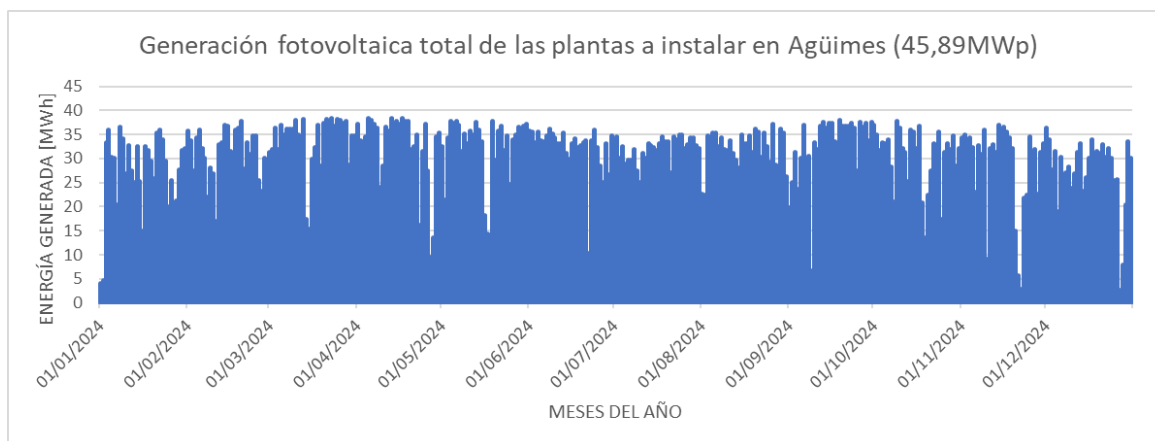


Figura 39. Generación fotovoltaica total a lo largo del año de las instalaciones fotovoltaicas a instalar en Agüimes

Sin embargo, tras simular la generación de esta planta, no se consigue cubrir la demanda total de forma horaria, siendo necesario aumentar la producción anual a 29.784,307MWh anuales. Asimismo, dicha instalación produciría unos excedentes de 44.927,411MWh anuales. Por lo que se tiene un valor de excedentes casi un cincuenta por ciento superior que la producción que sería necesaria para cubrir dicha demanda.

Con estos valores obtenidos en el estudio se puede observar como la producción de las instalaciones fotovoltaicas no pueden adaptarse directamente a cubrir la demanda completa de un municipio, la única forma de cubrir la demanda completa es crear una planta que sea capaz de producir en la hora de mayor consumo del año, la misma cantidad de energía que se demanda. Esto es debido a la imprevisibilidad en la producción de la energía fotovoltaica, vinculada a la demanda y condiciones climáticas cambiantes. Por este motivo, se generan excedentes energéticos difíciles de aprovechar debido a restricciones en las redes de transporte y distribución. Además, la inestabilidad en la generación fotovoltaica demanda una fuente de respaldo constante, planteando desafíos considerables para un suministro eléctrico fiable.

Por otra parte, se puede observar la utilidad que puede tener el hidrógeno para el sistema eléctrico, ya que puede ayudar a cubrir la demanda en horarios en las que una instalación fotovoltaica se encuentra sin producción. La instalación de hidrógeno propuesta produce 15.475,896MWh anuales. Esta cantidad de energía eléctrica cubriría la demanda de todo el horario nocturno en el municipio de Agüimes, junto a la producción de energía de la eólica existente.

El principal problema de este tipo de instalaciones de producción y almacenamiento de hidrógeno que permiten aprovechar su utilidad como vector energético es la cantidad de energía que demanda la instalación para producir la cantidad de hidrógeno necesaria y el gran coste que tiene asociado. Como ilustración a esto, la instalación de hidrógeno propuesta en este proyecto demanda 50.985,794MWh anuales. Si se compara la cantidad de energía que demanda con la producción que alcanza para cubrir la demanda nocturna se puede observar que demanda un 69% más de energía de la que produce dicha instalación. Por lo tanto, se considera que, en la actualidad, este tipo de instalaciones no tienen un rendimiento óptimo para que puedan ser integradas en el sistema eléctrico a corto plazo. Sin embargo, si pueden llegar a ser de una

gran utilidad en el futuro debido a la versatilidad que pueden proporcionar al sistema eléctrico permitiendo almacenar los excedentes de producción de las renovables y emplearlos en horas en las que las energías renovables no pueden producir.

Por otro lado, la inversión económica necesaria para realizar la instalación de la planta de hidrógeno es la que condiciona el presupuesto de este proyecto, ya que supone 46.348.342,345 €. Así, se muestra que estos costes son todavía poco accesibles, sobre todo si se comparan con el coste de la fotovoltaica, la cual supone 6.297.528,510 € para llevar a cabo este proyecto (teniendo en cuenta la instalación fotovoltaica destinada a la producción de hidrógeno y la destinada a satisfacer la demanda de consumo de la red eléctrica).

En este proyecto se ha planteado además la situación de un sistema estadísticamente renovable a partir de las instalaciones eólicas, fotovoltaicas y la pila de combustible de hidrógeno. Este análisis detalla cómo lograr un sistema energético estadísticamente verde, donde la producción renovable de energía iguala la demanda global del sistema. Para ello, se consideran valores precisos de consumo total y producción eléctrica a partir de fuentes eólicas y fotovoltaicas y se introduce el almacenamiento de energía mediante hidrógeno, con una producción anual muy elevada. Así, la demanda total de energía obtenida en este sistema es de 74,438,401MWh anuales, de los cuales 15,475,891MWh son cubiertos por la pila de combustible a partir del hidrógeno verde almacenado. Por otro lado, la instalación fotovoltaica se ha dimensionado para cubrir la demanda restante de 58,962,502MWh anuales, con una potencia de 35 MW. Comparando este enfoque estadísticamente renovable con uno completamente renovable, se observa una diferencia de 10MWp en la instalación fotovoltaica necesaria, destacando así la eficiencia del modelo estadísticamente verde.

Así, se ha mantenido la misma producción de hidrógeno que en el primer caso estudiado y, sin embargo, se puede observar que la instalación fotovoltaica necesaria sería 10MWp menor que la planteada en el caso 100% renovable. Esto se debe a que, al no fijarnos en los valores horarios de generación y consumo para intentar casarlos, si solo nos fijamos en generación y consumo total, la potencia necesaria para producir una cantidad de energía equivalente al consumo total sería menor.

Sin embargo, tras el estudio de este proyecto, se puede ver que este ajuste no sería 100% exacto y haría falta sobredimensionar mucho las instalaciones para ser capaces de cubrir la demanda en un momento de consumo pico. Aun así, debido a que no podemos controlar los momentos en los que la eólica y la fotovoltaica producen electricidad, se producen numerosos excedentes de la producción de estas energías que son vertidos a red en momentos en los que no hay consumo. Así, el caso estadísticamente renovable, a pesar de que no es el ideal, supone ya un paso muy importante en la integración de las energías renovables en el sistema y en cuanto a la reducción del consumo de combustibles fósiles.

A pesar de las limitaciones inherentes a la producción intermitente de energía renovable, se ha propuesto un modelo que incorpora el almacenamiento de hidrógeno y optimiza la instalación fotovoltaica para satisfacer la demanda anual del municipio. Aunque este enfoque no es perfecto y puede requerir cierto sobredimensionamiento de las instalaciones para hacer frente a picos de

demanda impredecibles, representa un avance significativo hacia la reducción del consumo de combustibles fósiles y la transición hacia un sistema más sostenible.

Es crucial destacar que, a medida que avanzamos hacia un futuro más verde, la investigación y el desarrollo en tecnologías de energía renovable y almacenamiento seguirán desempeñando un papel fundamental. A pesar de los desafíos económicos y técnicos actuales, este estudio demuestra que el camino hacia un sistema energético totalmente renovable y eficiente es alcanzable con estrategias innovadoras y un enfoque estadísticamente informado. De este modo, este proyecto sirve como un punto de partida valioso para futuras investigaciones y acciones encaminadas a hacer que nuestras comunidades sean más sostenibles y resistentes en el largo plazo.

7. Futuras líneas de trabajo

En el ámbito de las futuras líneas de Trabajo, si nos hubiera sido posible disponer de un período prolongado, nos habríamos enfocado en el estudio detallado del uso de excedentes para fortalecer el sistema de transporte eléctrico. Esta iniciativa no solo hubiera optimizado el aprovechamiento de recursos, sino que también habría reducido nuestra huella ambiental de manera significativa.

Además, nos habríamos embarcado en la expansión estratégica de parques eólicos, aumentando así nuestra capacidad de generación de energía renovable. La instalación de más turbinas eólicas no solo habría impulsado la independencia energética, sino que también habría contribuido a la mitigación del cambio climático, fortaleciendo nuestro compromiso con un futuro sostenible y limpio.

Estas posibilidades, lamentablemente no exploradas debido a las restricciones temporales, habrían representado hitos fundamentales hacia un sistema energético más resistente y respetuoso con el medio ambiente.

Bibliografía

- Acciona. (2022). *Energía eólica*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/?_adin=02021864894
- Acciona. (2022). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
- Acciona. (2022). *Hidrógeno verde*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894
- Adrián Megías Paterna. (20 de Septiembre de 2023). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Estaciones-servicio/Articulos/490628-Retos-y-oportunidades-en-el-almacenamiento-de-hidrogeno-renovable.html>
- Agüimes. (17 de Julio de 2020). *Agüimes ingresa 252.000 euros del Parque Eólico Carretera de Arinaga*. Obtenido de <https://aguimes.es/aguimes-ingresa-252-000-euros-del-parque-eolico-carretera-de-arinaga/>
- Alejandra Cecilia Morales Ramos, M. P. (2017). Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México. *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES*.
- Alter Finance Group. (2023). *Alter Finance*. Obtenido de Alternativas financieras para proyectos de energías renovables: <https://www.alterfinancegroup.com/blog/financiacion/proyectos-energias-renovables/>
- Asociación de Empresarios Zona Industrial de Arinaga. (2017-2020). *AENAGA*. Obtenido de Datos generales de la zona industrial de Arinaga: https://www.aenaga.com/modules.php?mod=portal&file=ver_contenido&id=NTY0OQ==
- Autoconsumo. (22 de Octubre de 2023). *Comunidad energética industrial de Arinaga, primera de una serie de diez en la isla de Gran Canaria - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias*. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/autoconsumo/la-comunidad-energetica-industrial-de-arinaga-recibe-20221229>
- Azkárate, I. (2010). Almacenamiento de Hidrógeno. *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/260244853_Almacenamiento_de_Hidrogeno
- Baeschlin, V. (22 de Octubre de 2023). *Pilas de combustible | Transición energética*. *Transición Energética*. Obtenido de <https://www.transicionenergetica.es/movilidad-sostenible/pila-de-combustible/>
- Barrera Morate, J. L. (1990). *IGME, Magna 50.000*. Obtenido de <https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?intranet=false&id=1114>

- Bauer, L. (2023). *Enercon E-58/10.58 - 1,00 MW - Aerogenerador*. Obtenido de <https://es.wind-turbine-models.com/turbines/114-enercon-e-58-10.58>
- BloombergNEF. (2019). *Hydrogen - the economics of storage*.
- BOE-A-2012-9364 Real decreto-Ley 20/2012, d. 1. (13 de Julio de 2012). *de medidas para garantizar la estabilidad presupuestaria y de fomento de la competitividad*. Obtenido de <https://boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2012-9364>
- Calatayud, J. J., Couce, L. C., Feal, C. Á., & Guerreiro, M. J. (2011). *ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE HIDRÓGENO FRENTE A COMBUSTIBLES FÓSILES EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA EN BUQUES*. Obtenido de https://www.udc.es/export/sites/udc/gem/_galeria_down/congresos/Copin_aval_2011_103_-_USO_DE_HIDRxGENO_de_Troya_Calatayud_y_otros_.pdf_2063069294.pdf
- Canariasahora. (17 de Mayo de 2023). *Los seis nuevos aerogeneradores de Arinaga ya miran al cielo*. Obtenido de https://www.eldiario.es/canariasahora/lapalmaahora/economia/seis-nuevos-aerogeneradores-arinaga-miran-cielo_1_10214269.html
- Carretero, Ó. S. (2017 de Octubre de 22). *Apilados*. Obtenido de Almacenamiento de hidrógeno comprimido: tipos de tanques: <https://apilados.com/blog/almacenamiento-hidrogeno-comprimido-tipos-tanques/>
- Carrillo, J. (2016). *Gobierno de Canarias*. Obtenido de Consejería de Transición Ecológica: https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/descargas/descargas/Red-Natura/Planes-ZEC/gran-canaria/ES7010049_Plan_Gestion_Arinaga-DOCUMENTO-COMPLETO.pdf
- Centro Nacional del Hidrógeno. (2021). *¿QUÉ ES UNA PILA DE COMBUSTIBLE?* Obtenido de <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- COIICO Ingenieros Industriales. (2022). *ARINAGA SE CONVERTIRÁ EN LA PRIMERA COMUNIDAD ENERGÉTICA INDUSTRIAL DE GRAN CANARIA*. Obtenido de <https://www.coiico.es/noticias/409-arinaga-se-convertira-en-la-primera-comunidad-energetica-industrial-de-gran-canaria>
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (24 de Enero de 2020). *BOE*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-1066
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (22 de Diciembre de 2022). *BOE*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-21799
- Consejo Insular de la Energía de Gran Canaria. (28 de Abril de 2023). *La Comunidad Energética de la zona industrial de Arinaga se constituye como cooperativa*. Obtenido de

<https://www.energiagrancanaria.com/2023/04/28/la-comunidad-energetica-de-la-zona-industrial-de-arinaga-se-constituye-como-cooperativa/>

- Cummins. (2021). *HyLYZER WATER ELECTROLYZERS*. Obtenido de <https://mart.cummins.com/imagelibrary/data/assetfiles/0070328.pdf>
- Demográfico, M. p. (2022). *Ministerio para la Transición ecológica y el Reto Demográfico*. Obtenido de Biodiversidad y Bosques.
- Domingo Martin. (7 de Abril de 2021). *Lopesan producirá en Arinaga la energía que consumen sus hoteles en el sur de la isla*. Obtenido de <https://domingomartin.blogspot.com/2021/04/lopesan-producira-en-arinaga-la-energia.html>
- Domingo Martin. (16 de Abril de 2023). *Luz verde a nueve proyectos fotovoltaicos de Ecoener y Naturgy, cinco de ellos en Agüimes*. Obtenido de <https://domingomartin.blogspot.com/2023/04/luz-verde-nueve-proyectos-fotovoltaicos.html>
- E4e Efficiency for Energy. (7 de Septiembre de 2021). *Guía de las bonificaciones de IBI e ICIO para autoconsumo*. (E4e soluciones, 7) Obtenido de <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/guia-de-las-bonificaciones-de-ibi-e-icio-para-autoconsumo-fotovoltaico#:~:text=Bonificaci%C3%B3n%20m%C3%A1xima%3A%20300%20%E2%82%AC%20a>
- ECOAGA. (18 de Agosto de 2022). *Comunidad Energética de Arinaga y energías renovables*. Obtenido de <http://ecoaga.com/comunidades-energeticas>
- El periodico de la energía. (22 de Enero de 2022). *El hidrógeno verde es el combustible del futuro*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-verde-es-el-combustible-del-futuro/>
- ENDESA. (2023). *Tarifas Solar*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/luz-y-gas/luz/tempo/tarifa-autoconsumo-con-excedentes-solar-simply>
- Energigreen. (15 de Enero de 2020). *Tarifa 3.0TD*. Obtenido de <https://www.energigreen.com/tarifas-electricidad/tarifa-3-0td/>
- Energigreen. (15 de Enero de 2020). *Tarifa 6.1TD*. Obtenido de <https://www.energigreen.com/tarifas-electricidad/tarifa-6-1td/>
- EOI Escuela Organización Industrial. (10 de Septiembre de 2016). *Red de Agentes para la Innovación*. Obtenido de La Energía Eólica: <https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2016/09/10/la-energia-eolica/>
- Fúnez Guerra, C. A. (2010). *El hidrógeno: vector energético del futuro*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3395283>
- Global Wind Atlas. (2023). *Global Wind Atlas*. Obtenido de <https://globalwindatlas.info/es>
- Gobierno de Canarias. (2016). *Plan de Gestión de la Zona Especial de Conservación ES7010049 Arinaga*. Arinaga, Gran Canaria.
- Gobierno de Canarias. (2017). *Sistema de información territorial de Canarias*. Obtenido de GRAFCAN: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

- Gobierno de Canarias. (2023). *Instituto Canario de Estadística*. Obtenido de https://www3.gobiernodecanarias.org/istac/statistical-visualizer/visualizer/collection.html?resourceType=collection&agencyId=ISTAC&resourceId=C00022A_000001
- Gobierno de Canarias. (2023). *OECan*. Obtenido de Generación Eléctrica: <https://www3.gobiernodecanarias.org/ceic/energia/oecan/agentes/generacion-electrica>
- Gobierno de Canarias. (2023). *Sede Electrónica*. Obtenido de Convocatoria de subvenciones para el fomento de la descarbonización industrial: <https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/tramites/7896>
- Gobierno de Canarias. (2023). *Sede Electrónica*. Obtenido de Subvenciones para la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en empresas y edificios residenciales, cofinanciadas con FEDER en el ámbito del Programa Operativo de Canarias: <https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/tramites/7465>
- Gobierno de Canarias. (2023). *Sede Electrónica Gobierno de Canarias*. Obtenido de https://sede.gobiernodecanarias.org/sede/tramites?contentType=321b9560-73a9-11df-8da5-bf2cae36f426&titulo=Introduzca+el+texto&tema=&departamento=&perfil=&organo=&tipo_tramite=1b345260-7ead-11df-bdfa-925b42b7f915&plazo=1&enviado=true
- Gonzalez, F. (21 de Abril de 2023). *LOS ELECTROLIZADORES DE HIDRÓGENO: QUÉ SON Y TIPOS*. Obtenido de <https://eshidrogeno.com/electrolizadores-hidrogeno/>
- Google. (2023). *Google Earth*. Obtenido de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Hexagon Purus. (23 de Julio de 2021). *Hexagon Purus*. Obtenido de https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/hexagonpurus-website/HexagonPurus_Brosch%C3%BCre_HighPressureType4.pdf
- Hexagon Purus. (4 de Octubre de 2023). *Hydrogen fuel storage systems*. Obtenido de <https://hexagonpurus.com/our-solutions/hydrogen-systems/fuel-storage-systems>
- Iberdrola. (Abril de 2020). *Planta fotovoltaica Núñez de Balboa*. Obtenido de Núñez de Balboa, una de las mayores plantas fotovoltaicas de Europa: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica-nunez-de-balboa>
- Iberdrola. (2022). *Iberdrola construye la mayor planta de hidrógeno verde para uso industrial en Europa*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/puertollano-planta-hidrogeno-verde>
- Iberdrola. (2023). *¿Qué es un electrolizador y por qué es clave para el suministro de hidrógeno verde?* Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/electrolizador>

- Iberdrola. (2023). *Funcionamiento energía solar fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- Iberdrola. (2023). *Hidrógeno verde*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>
- Iberdrola. (2023). *Planta fotovoltaica de Ciudad Rodrigo*. Obtenido de Desarrollamos una nueva planta fotovoltaica de gran capacidad en Ciudad Rodrigo, Salamanca: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica-ciudad-rodrigo>
- IDAE. (2019). *FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL (FEDER)*. Obtenido de EOLCAN. AYUDAS A LA INVERSIÓN EN INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE TECNOLOGÍA EÓLICA SITUADAS EN CANARIAS: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-instalaciones-de-produccion-de-energia-electrica-con-eolica-y/convocatorias-cerradas/EOLCAN>
- IDAE, Gobierno de España. (2020). *Comunidades energéticas*. Obtenido de En el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/comunidades-energeticas>
- IDAE, Gobierno de España. (2020). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de <https://www.idae.es/index.php/ayudas-y-financiacion/financiacion-del-idae>
- IEA. (2019). Obtenido de Future of hydrogen: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- Impulso 06. (2022). *Smart Grids: La inteligencia artificial al servicio de la electricidad*. Obtenido de <https://impulso06.com/smart-grids-la-inteligencia-artificial-al-servicio-de-la-electricidad/>
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (Febrero de 2022). *Dirección General de Energía del Gobierno de Canarias*. Obtenido de https://www3.gobiernodecanarias.org/ceic/energia/oecan/images/Documentos/Estudios/D7_Estrategia_hidrogenoVerde_Canarias.pdf
- INVERSION ENERGIA EOLICA AGUIMES, A. (24 de Septiembre de 2014). Obtenido de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/09/24/empresas/1411556726_692200.html
- Jefatura del Estado, Gobierno de España. (27 de Diciembre de 2013). *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-13645>
- LAPESA. (5 de Enero de 2022). *Adobe*. Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:9b101fcb-c768-3000-b37b-46751e45735b>
- Lenntech. (2023). *Elementos químicos ordenados por su masa atómica*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/tabla-peiodica/masa-atmica.htm>
- Mateo, J. (30 de noviembre de 2021). *El efecto de la temperatura en los paneles fotovoltaicos*. Obtenido de <https://powen.es/temperatura/>

- Ministerio de Hacienda y Función Pública. (18 de Enero de 2023). *FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL (FEDER)*. Obtenido de <https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/es-ES/Paginas/FEDER.aspx>
- Ministerio de Industria. (1974). *Mapa geotecnico general 1:200.000*. Obtenido de <https://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Geotecnico200Hoja.aspx?intranet=false&id=93>
- Ministerio de Política Territorial. (21 de Agosto de 2021). *BOE*. Obtenido de <https://boe.es/boe/dias/2021/08/21/pdfs/BOE-B-2021-36143.pdf>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2023). *Programa de ayuda a las actuaciones de rehabilitación a nivel de edificio*. Obtenido de <https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/programa-de-ayuda-las-actuaciones-de-rehabilitacion-nivel-de-edificio>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2 de Diciembre de 2021). *BOE*. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2021/12/02/pdfs/BOE-A-2021-19986.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (24 de Diciembre de 2021). *BOE*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-21343
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (30 de Junio de 2021). *Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento*. Obtenido de con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-10824
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (31 de Enero de 2023). *BOE*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-2587
- Ministerio para la Transición Ecológica, Gobierno de España. (6 de Abril de 2019). *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089
- Motahir, S., El Hammoui, A. and El Ghzizal, A. (2018). *Photovoltaic System with Quantitative Comparative between an Improved MPPT and Existing INC and P&O Methods under Fast Varying of Solar Irradiation*. *Energy Reports*, 4, 341-350. Higher School of Technology, SMBA University, Fez, Morocco.
- Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados. (14 de Noviembre de 2022). *Hidrogeno verde como combustible*. Obtenido de https://www.congreso.es/backoffice_doc/prensa/notas_prensa/94235_1668420238765.pdf

- Photovoltaic Geographical Information System*. (11 de Enero de 2016). Obtenido de European Commission: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR
- PureAqua. (2023). *Sistema ósmosis inversa industrial para desalinizar agua de mar*. Pure Aqua Inc. Obtenido de <https://es.pureaqua.com/sistemas-osmosis-inversa-industrial-para-desalinizar-agua-de-mar/>
- Quimica.es. (2023). *Ley de los Gases Ideales*. Obtenido de https://www.quimica.es/enciclopedia/Ley_de_los_gases_ideales.html
- Redacción, C. (2 de Junio de 2021). *El proyecto NESOI subvencionará y apoyará a 28 proyectos de energías renovables en islas europeas • SMARTGRIDSINFO*. SMARTGRIDSINFO. Obtenido de <https://www.smartgridsinfo.es/2021/06/03/proyecto-nesoi-subvencionara-apoyara-28-proyectos-energias-renovables-islas-europeas>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Obtenido de Our World In Data: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (11 de Mayo de 2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. *Our World in Data*. Obtenido de Our World In Data: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- Ruiz, G. (8 de Marzo de 2021). *¿Cómo generar hidrógeno por electrolisis de agua?* Obtenido de <https://net-interlab.es/generacion-de-hidrogeno-por-electrolisis-de-agua/>
- SELECTRA. (19 de Julio de 2023). *Nueva tarifa de la luz: ¿Cómo te afecta en la factura?* *Selectra*. Obtenido de <https://selectra.es/energia/info/ques-es/tarifa-20-td>
- Sollant, & S. (5 de Agosto de 2023). *The best diaphragm compressor manufacturer and supplier in China*. Sollant. Obtenido de https://www.sollant.com/diaphragm-compressor/?gad=1&gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1MoDCcWr_cY6FSs_M0mgeA9KirQn_bbgzPrLyEaLprR8DEOqfB2ruhoCgHYQAvD_BwE
- Suarez, P. (25 de Octubre de 2023). *Información básica velocidades del viento horaria*. Recuperado el 1 de eNERO de 2023, de Aemet: <https://x-y.es/aemet/est-C648C-aguimes-el-milano>
- Subastas. (8 de Agosto de 2022). *Depósitos acero inoxidable 50.000 litros - SAC*. SAC. Obtenido de <https://subastasac.com/producto/venta-directa/depositos-acero-inoxidable-50-000-litros-2/>
- TresCantos. (23 de Julio de 2023). *ARIEMA*. Obtenido de Almacenamiento de Hidrógeno: <https://www.ariema.com/almacenamiento-de-h2>
- United Nations. (13 November 2021). *Glasgow Climate Pact. Conference of the Parties serving as the meeting, Third session*, (pág. Framework Convention on Climate Change). Glasgow.
- Wikipedia, C. d. (02 de Noviembre de 2023). *Wikipedia: Agüimes - Toponimia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Ag%C3%BCimes>
- Zischke, D. (2017). *Maximum Power Point Tracking*.

