

Análisis y optimización energética del refugio de montaña de Lizara mediante energías renovables

#EnergíasRenovables #RefugiosMontaña #Sostenibilidad #EficienciaEnergética #Hidrógeno #H2Renovable

Autor: Manuel Gutiérrez Roa (*)

Coautores: Pedro Casero Cabezón (*), Sergio Rivas Chaverri (**)

(*) Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón.

(**) Comité de Refugios, Federación Aragonesa de Montañismo.

Resumen

Los refugios de montaña son instalaciones aisladas en las que, debido a su ubicación y difícil accesibilidad, la gestión energética adquiere una especial relevancia en cuanto a mantener y proveer una serie de servicios mínimos de electricidad y confort térmico. Debido a la madurez y robustez de las tecnologías basadas en combustibles fósiles, los refugios de montaña basan actualmente su generación en estos vectores energéticos.

Enmarcado dentro del proyecto LIFE SustainHuts, se plantea la modelización y el análisis energético del refugio de Lizara, localizado en el Pirineo Aragonés, así como la introducción de diferentes soluciones basadas en las energías renovables y la eficiencia energética. Para esto, se analizan los consumos, las instalaciones y la disponibilidad de recursos de generación renovable, modelizando las diferentes tecnologías y evaluando comparativamente los balances energéticos resultantes.

Se observa que el refugio de Lizara presenta unas características propias que permiten el aprovechamiento del recurso solar y de la biomasa local, por lo que se propone la ampliación de la generación fotovoltaica y el aprovechamiento de la leña de la zona para la producción de energía térmica. En cuanto a la gestión de la red, la instalación de un inversor permite la conmutación automática entre fuentes de generación a fin de mantener la robustez de la red del refugio y aumentar la vida útil de los equipos de almacenamiento energético.

Las soluciones propuestas se analizan bajo criterios de reducción de emisiones durante la etapa de uso, incluyendo aquellas provocadas por el desplazamiento de los combustibles fósiles hasta el refugio. Además, se evalúa la rentabilidad que conlleva el aumento de la penetración renovable en la generación energética del refugio, de tal modo que se relaciona la mejora del impacto ambiental con el aumento de rentabilidad económica.

Así, y tras la implementación de las mejoras propuestas, se estima una reducción de cerca de 16 toneladas de CO₂ anuales, reduciendo así en más de 2000 litros el consumo de diésel y en 3000 kg el consumo de propano cada año.

1. Introducción

Los refugios de montaña son edificios destinados a acoger y proteger a montañeros y excursionistas a los que se les ofrece una serie de recursos (comida, alojamiento, aseo, energía, etc.) para poder permanecer en la montaña durante un periodo de tiempo variable.

Estos refugios son instalaciones aisladas cuya gestión energética es fundamental de cara a ofrecer una serie de servicios mínimos al menor coste energético y económico, ya que su ubicación y accesibilidad complica enormemente la gestión de la energía producida y consumida. De forma tradicional, los refugios de montaña se han abastecido mediante la energía obtenida de generadores y calderas de distintos combustibles fósiles, que son desplazados mediante distintos métodos hasta el refugio, acompañados de sistemas puntuales de generación renovable y baterías.

Teniendo en cuenta este estado del arte y sumado a una mayor concienciación en cuanto al uso de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero por parte de federaciones y usuarios externos, las energías renovables se presentan como una alternativa económica y sostenible a las fuentes de generación más tradicionales, siempre y cuando su implantación y su uso vayan acompañados de un análisis previo de los recursos energéticos, las tecnologías propuestas y la gestión energética a medio y largo plazo.

En este contexto, el proyecto LIFE SustainHuts propone en análisis de 8 refugios de montaña de tres países europeos (Eslovenia, España e Italia) y la introducción de distintas soluciones basadas en las energías renovables y la eficiencia energética, de tal modo que se consiga aumentar su sostenibilidad, reduciendo sus emisiones de efecto invernadero y proponiendo un método que sea replicable para otras instalaciones de refugios de montaña europeos.

De los 8 refugios propuestos, 4 se encuentran en los Pirineos Aragoneses (España), uno en la Sierra del Montsec (España), uno en los Alpes Italianos y 2 en los Alpes Eslovenos, encontrando variabilidad tanto en las condiciones de los distintos refugios como en sus altitudes, situado uno a baja altitud (< 800 m), 4 a media altitud (1000-2000 m), 3 a alta altitud (2000-3000 m) y uno a muy alta altitud (>3000 m).

Las medidas propuestas se analizan individualmente por refugio, valorando ubicaciones, instalaciones en uso, consumos, recursos y potencial de mejora de cada uno de ellos, de modo que todas las actuaciones se adaptan, en el mayor grado posible, a las condiciones de los refugios, utilizando como nexo común una metodología unificada. Por tanto, se propondrán tecnologías de aprovechamiento hidráulico, eólico, solar (térmico y fotovoltaico) y de biomasa, además de mejoras enfocadas al mayor aprovechamiento de aguas, electrificación de refugios con alta penetración renovable y soluciones de aislamiento térmico de los edificios.

Además, como solución innovadora, uno de los refugios localizados en el Pirineo Aragonés (Refugio de Ibones de Bachimaña) contará con un almacenamiento estacional de energía renovable basado en hidrógeno. Gracias a la turbina hidroeléctrica de 30 kW instalada a la salida de la presa de un ibón cercano, el refugio cuenta con energía suficiente para abastecerse durante gran parte del año, incluso con excedentes de energía. Puesto que la salida de la presa solo tiene caudal turbinable durante 10 meses al año aproximadamente debido a razones independientes del refugio, se propone la instalación de un ciclo completo para almacenamiento de hidrógeno (electrolizador, almacenamiento y pila de combustible) de modo que parte de la energía eléctrica

excedente se almacene en forma de hidrógeno y se utilice durante el periodo del año en que la producción hidroeléctrica sea nula (2 meses).

La propuesta de análisis del refugio de Lizara se debe a que todas las tecnologías propuestas en el refugio ya están instaladas, existiendo un periodo de demostración y toma de datos que permite obtener los primeros resultados. En un futuro próximo, la evaluación de la monitorización presentada en esta comunicación sobre el refugio de Lizara podrá hacerse extensiva al resto de refugios, obteniendo un enfoque más global del potencial de mejora de los refugios europeos.

Esta comunicación presenta el análisis energético del refugio, el cual está aislado energéticamente y obtiene su energía de fuentes mayoritariamente fósiles, así como la propuesta de mejoras en el contexto del proyecto SustainHuts y el análisis provisional de los primeros resultados. Para ello, se modeliza el refugio, se proponen diversas soluciones energéticas y se evalúan los resultados provisionales de las instalaciones realizadas con el fin de obtener conclusiones comparativas entre ambas situaciones de generación energética, llevando a cabo un análisis comparativo del coste económico de cada una de las tecnologías y del refugio en su conjunto.

2. Metodología

La metodología desarrollada ha permitido conocer y documentar el refugio propuesto así como evaluarlo y modelizarlo para obtener nuevas configuraciones mediante las soluciones propuestas. Para ello, se ha implementado la siguiente metodología:

- **Conocimiento del refugio, recolección de información y toma de datos.** Durante esta fase, se mantuvieron entrevistas con los guardas del refugio y con la Federación Aragonesa de Montañismo (FAM), propietaria de estos y socio del proyecto SustainHuts. Además, se amplía la información necesaria mediante recursos bibliográficos y diversas entrevistas con guardas e instaladores.
- **Análisis de los datos obtenidos y evaluación conceptual de posibles soluciones.** A través del análisis de la información adquirida durante la fase anterior, se identifican aquellas actuaciones óptimas para la mejora del balance energético del refugio.
- **Modelización.** Una vez conocidas las necesidades, el refugio ha sido modelado para la evaluación dinámica de sus flujos de energía, sus costes y sus consumos. El *software* utilizado ha sido HOMER Legacy (v2.68 beta del 8 de febrero de 2012) [1] que permite modelar los balances energéticos de microrredes a partir de una serie de *inputs*, obteniendo datos de consumo, energía y emisiones entre otros parámetros. Además, como complemento, se han utilizado hojas Excel y el programa *Engineering Equation Solver* (EES) (v9.944-3D del 2015) para los perfiles de demanda de agua caliente sanitaria (ACS).
- **Propuesta definitiva de soluciones.** Una vez analizados los refugios, aquellas configuraciones propuestas como soluciones han sido modeladas mediante el uso de HOMER. Obtenidos los resultados, se ha seleccionado un conjunto definitivo de actuaciones, obteniendo una evaluación de resultados esperados que será contrastada gracias a un periodo de monitorización.
- **Implantación de mejoras y monitorización.** Implementadas las mejoras propuestas dentro del proyecto SustainHuts, se comienza una etapa de monitorización en la cual los flujos de energía son evaluados y el impacto de las

soluciones propuestas analizado. Actualmente, la mayoría de refugios del proyecto SustainHuts, incluido el refugio de Lizara, se encuentran dentro de esta fase.

- **Obtención de resultados y análisis de replicabilidad.** A través de los datos obtenidos en el periodo de monitorización se obtendrán conclusiones definitivas relacionadas con la metodología desarrollada y con el cumplimiento de los objetivos propuestos para el refugio de Lizara, lo que permitirá realizar un análisis de replicabilidad en otras localizaciones europeas. En esta comunicación, se presentan los primeros resultados provisionales obtenidos para el refugio de Lizara.

3. Caso de estudio

El refugio de Lizara se encuentra ubicado en el Valle de Aragües-Jasa, en el Parque Natural de Valles Occidentales, a una altitud de 1540 metros. Es accesible por carretera de montaña y cuenta con alojamiento para un total de 78 personas (sin contar el personal del refugio). Lizara ofrece electricidad y agua caliente no restringida a los huéspedes así como calefacción, cocina y otros servicios. La variabilidad de huéspedes es muy estacional, concentrándose la mayor parte de ellos en verano, lo que supone un mayor consumo eléctrico durante estos meses, si bien el mayor consumo térmico se da a lo largo del invierno a modo de calefacción. La Figura 1 muestra el refugio de Lizara.



Figura 1: Refugio de Lizara.

El consumo eléctrico es abastecido mediante dos generadores diésel (o gensets) de 22,4 kW y 12,8 kW, apoyados por tecnología fotovoltaica y 24 baterías 8 OPzS 800 Ah (C10) conectadas en serie. Al inicio de del proyecto, la instalación fotovoltaica contaba con 4,3 kWp de potencia instalada, aunque realmente solo 0,5 kWp generaban energía debido al mal estado de conservación del resto de paneles. En cuanto a las baterías, la mayoría de la bancada se conservaba en mal estado, lo que impedía el correcto funcionamiento del almacenamiento eléctrico. La Figura 2 muestra el perfil eléctrico diario del refugio durante los meses de abril, julio y diciembre (solo se muestran tres meses al ser considerados estacionalmente representativos), obtenido a través de

datos experimentales tomados en el refugio mediante un *data logger* diseñado y construido por la Fundación Hidrógeno Aragón (FHA).

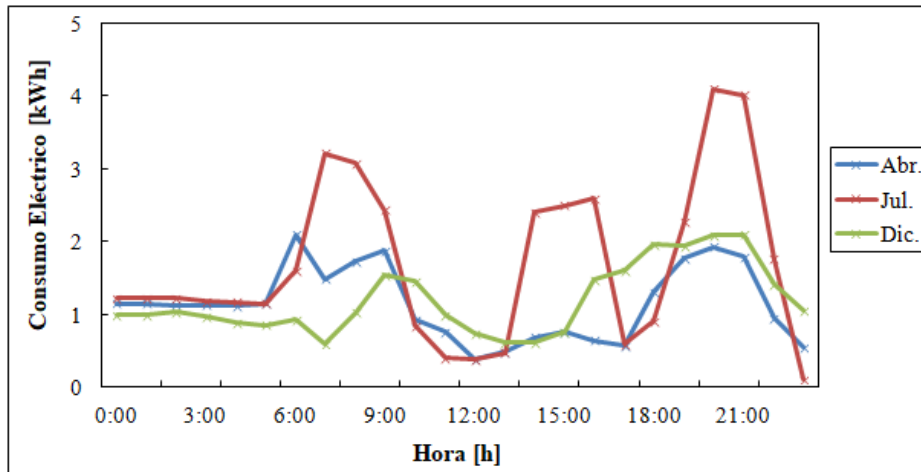


Figura 2: Consumo eléctrico de Lizara durante los meses de abril, julio y diciembre.

El consumo térmico de todo el edificio se provee mediante una caldera de condensación de gas propano de alrededor de 30 kW (hay dos instaladas, si bien una de ellas está instalada como sustitución de la otra durante posibles fallos). A través de ella, se abastece al refugio de agua caliente y calefacción. Además, en la estancia principal se sitúa una chimenea abierta que caldea la entrada, la sala de estar y parte de los pasillos, si bien su eficiencia es baja y su objetivo principalmente ornamental, calentando la mayor parte del refugio mediante el circuito de calefacción. Puesto que no existen medidas experimentales del consumo térmico, este se ha obtenido mediante dos métodos: los perfiles de calefacción y chimenea a través del consumo anual de combustible, información provista por los guardas del refugio y distinta bibliografía [2] [3], mientras que el perfil de ACS se ha desarrollado mediante el programa EES y los datos obtenidos del Código Técnico de Edificación (Sección HE4) [4]. La Figura 3 muestra el perfil de consumo térmico total del refugio (calefacción, agua caliente y chimenea) para los meses de abril, julio y diciembre. Además, la Figura 4 representa el consumo energético mensual del refugio de Lizara, observándose que, aunque la afluencia de huéspedes es mayor durante los meses de verano (datos del año 2016), el consumo energético es menor durante esta época debido al mayor gasto en calefacción durante los meses de invierno. A modo de resumen, la Tabla 1 muestra las tecnologías instaladas en la configuración inicial del refugio.

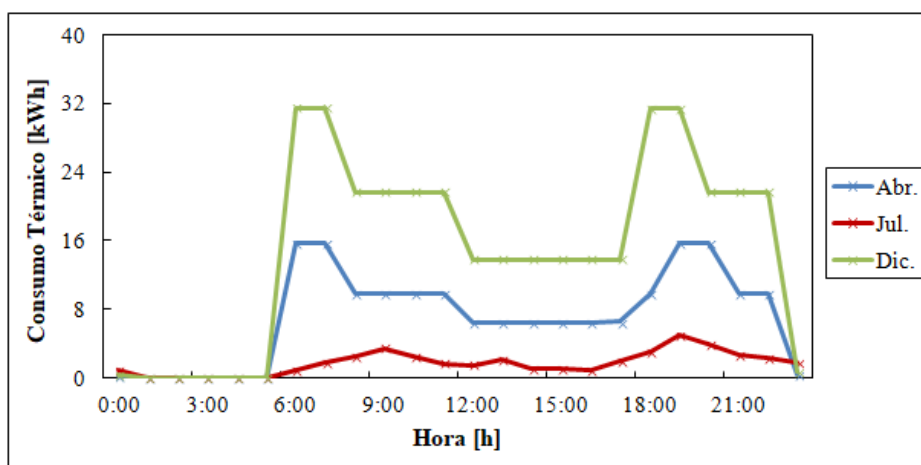


Figura 3: Consumo térmico de Lizara durante los meses de abril, julio y diciembre.

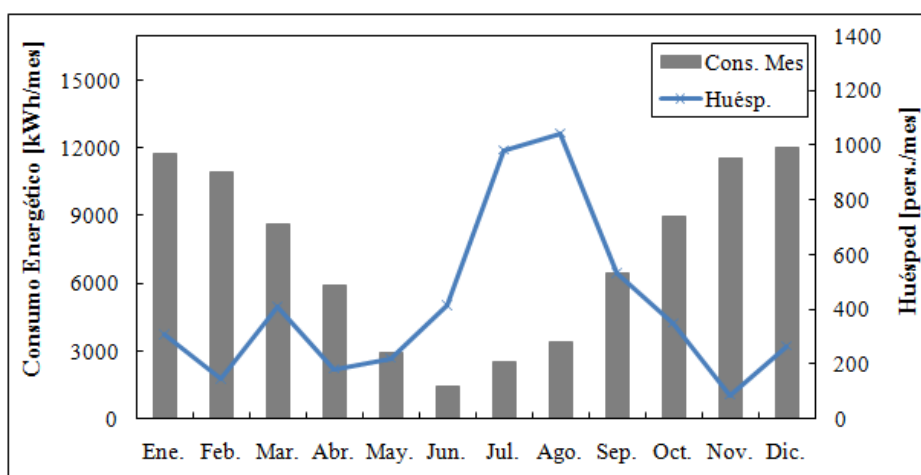


Figura 4: Consumo mensual y huéspedes del refugio de Lizara.

Tecnología	Genset 1	Genset 2	Caldera	PV	Baterías
Potencia [kW]	22,4	12,8	30,0 (aprox.)	0,5	38,4 kWh

Tabla 1: Tecnologías inicialmente instaladas en el refugio de Lizara.

Conocido el refugio, se procedió a la evaluación de una serie de propuestas para la mejora del balance energético de este. Teniendo en cuenta las aportaciones de los guardas, la Federación Aragonesa de Montañismo propuso una serie de iniciativas que podrían conllevar una reducción del impacto ambiental del refugio, disminuyendo las emisiones contaminantes y aprovechando los recursos locales disponibles, como son el sol y la biomasa local (considerando que, al ser biomasa local, hay neutralidad en las emisiones [5]). Así, se propusieron tres actuaciones consensuadas para el refugio de Lizara:

- Sustitución de los paneles fotovoltaicos defectuosos.
- Remodelación de la chimenea abierta para su conversión a una termochimenea con posibilidad de aportar parte del calor generado al sistema de calefacción central.
- Sustitución de la bancada de baterías e implementación de automatización de arranque de grupos electrógenos.

Para ello, y una vez dimensionados los sistemas eléctrico y térmico del edificio, se procedió al análisis de todas las actuaciones propuestas y a la evaluación de las mejoras obtenidas tras su implantación.

4. Resultados

4.1 Estado inicial del refugio

El punto de partida considerado en Lizara es un refugio con dos generadores diésel, una caldera de condensación de gas propano, una chimenea abierta, 0,5 kWp de paneles fotovoltaicos (el resto está en mal estado de conservación) y una bancada de baterías que debe ser completamente sustituida.

La microrred del refugio, incluidos los balances térmicos, ha sido desarrollada con el *software* HOMER Legacy, el cual permite dimensionar los balances energéticos del refugio teniendo en cuenta una serie de parámetros, como recurso solar, perfiles de consumo, potencia instalada, etc. La Figura 5 muestra el perfil de la microrred desarrollada para el refugio de Lizara (obtenido de HOMER).

Una vez dimensionada la microrred, la simulación es llevada a cabo y se obtienen los parámetros energéticos del estado inicial, mostrados en la Tabla 2. Estos han servido como punto de referencia para evaluar el impacto esperado tras la implementación de las mejoras propuestas.

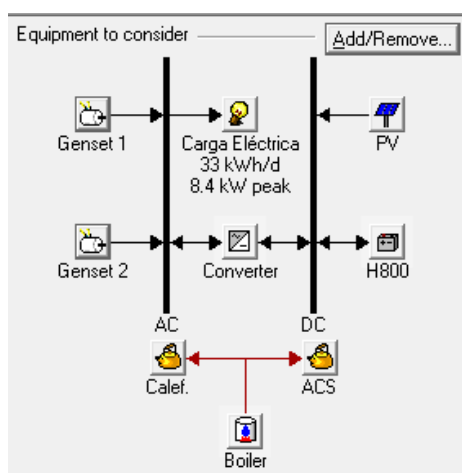


Figura 5: Microrred de Lizara desarrollada mediante HOMER Legacy.

		Inicial	Final
Genset 1	Energía producida [kWh/año]	0	0
	Consumo combustible [l/año]	0	0
Genset 2	Energía producida [kWh/año]	15 676	10 638
	Consumo combustible [l/año]	6 001	3 956
Fotovoltaica	Energía producida [kWh/año]	646	5 252
Caldera	Energía producida [kWh/año]	73 292	35 040
	Consumo combustible [kg/año]	6 568	3 140

Chimenea	Energía producida [kWh/año]	700	39 150
	Consumo combustible [kg/año]	350	10 000
Refugio Lizara	Emisiones CO ₂	35 967	20 059

Tabla 2: Valores de referencia para situaciones inicial y final esperada en Lizara.

4.2 Implementación de soluciones

Una vez definido el estado inicial del refugio al inicio del proyecto, es posible evaluar las distintas soluciones propuestas para la mejora de su sostenibilidad. Así, se han propuesto, en función de distintos parámetros técnicos y económicos, las siguientes actuaciones:

- **Instalación de 3,5 kWp de tecnología fotovoltaica**, de modo que la potencia total instalada sea de 4 kWp. Para ello, se utilizan las mismas estructuras previamente instaladas, sustituyendo los paneles sin funcionamiento por otros paneles de última generación.
- **Instalación de una termochimenea** con intercambiador de calor acompañado de un consumo de 10000 kg de madera al año, cantidad provista por el Ayuntamiento de Aragües del Puerto. Puesto que la termochimenea consigue un rendimiento de 78,3% [6] en comparación con el 10% medio de una chimenea abierta [7], se prevé una reducción del consumo de gas propano gracias al aprovechamiento de calor generado en la termochimenea por el sistema de calefacción, lo que aumenta el consumo renovable en el refugio.
- **Instalación de un nuevo inversor** para permitir el arranque automático de los grupos electrógenos, de modo que se reduzcan las horas de operación de los generadores diésel. Además, se plantea la sustitución de la bancada de baterías, permitiendo a la instalación una mayor autonomía eléctrica.

Estas soluciones supondrán una reducción de consumo de diésel y gas propano en el refugio, un aumento de la producción de eléctrica y térmica renovable, una mejora en el funcionamiento de los equipos y, en definitiva, una reducción de las emisiones y un aumento de las sostenibilidad del refugio.

Tras la definición concreta de las soluciones propuestas en el refugio se ha procedido a la evaluación del impacto esperado mediante la evaluación de parámetros identificativos que permiten el análisis de la mejora producida en el refugio. Siguiendo la misma metodología propuesta para la evaluación de la instalación inicial, se ha dimensionado la microrred del refugio tras la implementación de las soluciones.

- **Fotovoltaica:** se ha introducido, en el *software* HOMER, la potencia fotovoltaica final así como los parámetros de los nuevos paneles instalados (inclinación, eficiencia en condiciones normales, pérdida de potencia por temperatura, etc.) [8].
- **Termochimenea:** desarrollado previamente el perfil de consumo térmico y de generación de la termochimenea así como las características propias de la termochimenea [6], se han evaluado los nuevos perfiles de consumo térmico.
- **Automatización:** considerando que el objetivo del nuevo inversor es el control de encendido automático de los grupos electrógenos cuando el balance energético del refugio así lo requiera, se han eliminado, en el *software* HOMER, las horas de encendido obligatorio con las que se contaba al inicio del proyecto, sabiendo que los guardas del refugio mantenían una rutina para el encendido periódico de los

generadores (con la intención de nunca agotar el estado de carga de las baterías) y que esta rutina ya no será necesaria.

Una vez dimensionado el sistema tras la implementación de las mejoras, la Tabla 2 muestra los parámetros más identificativos tanto para el estado inicial del refugio («Inicial») como para el estado tras las mejoras implementadas («Final»), mostrando la Figura 6 la reducción de emisiones de CO₂ producida gracias a cada una de las tecnologías propuestas, así como la total conseguida.

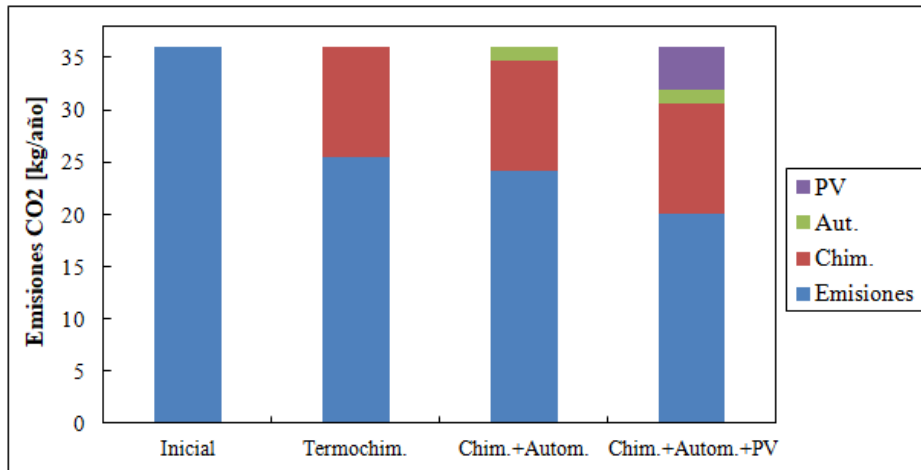


Figura 6: Impacto esperado en emisiones de las soluciones propuestas en Lizara.

A través de las actuaciones ejecutadas en el proyecto se espera la reducción de cerca de 16 toneladas anuales de CO₂, lo que supone evitar un 44% de las emisiones emitidas inicialmente. Además, a través de la ampliación del campo fotovoltaico y de la automatización del arranque de grupos, se prevé el ahorro de alrededor de 2000 litros de diésel al año, mientras que mediante el mayor aprovechamiento de la madera gracias a la termochimenea se estima una reducción de casi 3500 kg de gas natural al año, más de la mitad del utilizado actualmente, obteniendo un fuerte impacto en la reducción de emisiones contaminantes.

4.3 Impacto económico

Otro enfoque tenido en cuenta en el refugio de Lizara es el impacto económico de las mejoras, de forma que se ha podido analizar si las soluciones ejecutadas en el refugio son rentables dentro de la vida útil del proyecto, disminuyendo así el precio de la energía generada. Para ello, se han utilizado los costes de instalación de las tecnologías implementadas (CAPEX), los costes de sustitución por agotamiento de vida útil así como los de operación y mantenimiento (O&M) de todas las tecnologías existentes y, además, el coste de los combustibles, suponiendo que este permanece constante durante toda la vida útil (estimación conservadora si se analiza la tendencia de evolución del coste de combustibles fósiles). Todos estos valores se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4 procedentes de facturas y distinta bibliografía [9] [10] [11] [12].

	CAPEX [€]	Reemplazo [€]	O&M
Genset 1	-	10 290	0,17 €/h
Genset 2	-	8 647	0,15 €/h
Caldera (con acumulador)	-	3 766	-
Termochimenea	5 970	4 761	0,0004 €/kWh
Panel CLS 150 W	237	151	3,00 €/año
Inversor	6 149	5 250	0,00 €/año
Baterías	2 386	2 386	4,00 €/año

Tabla 3: Coste los equipos instalados en el refugio de Lizara.

Combustible	Coste
Gas propano	1,62 €/kg
Diésel	0,85 €/l
Madera	0,02 €/kg

Tabla 4: Coste de los combustibles consumidos en el refugio de Lizara.

Así, la Figura 7 muestra el coste acumulado de la configuración inicial y de la propuesta por el proyecto SustainHuts, donde es posible observar que, si bien la implementación de las tecnologías propuestas supone una mayor inversión inicial debido a la instalación de los nuevos equipos, esta es claramente rentable debido a los menores costes anuales de combustible y el mayor aprovechamiento de recursos renovables y locales.

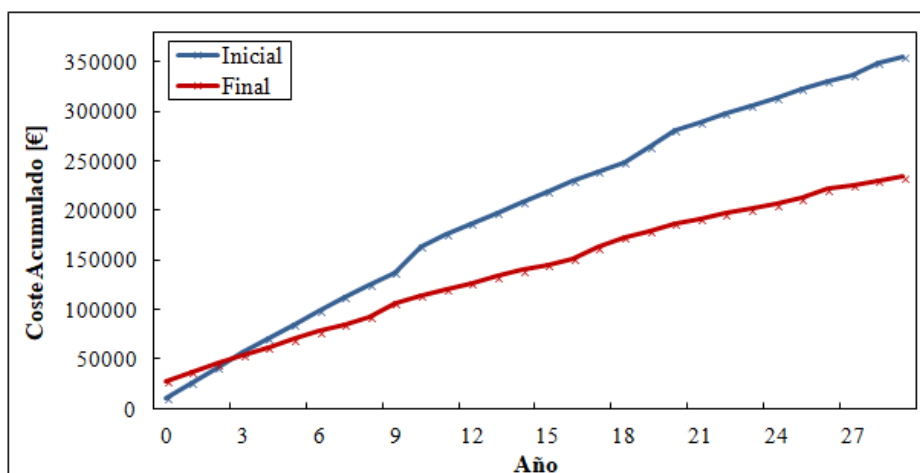


Figura 7: Coste acumulado de las configuraciones final e inicial a lo largo de la vida útil (30 años).

Como puede observarse, el tiempo estimado de retorno de la inversión es de solamente 3 años debido a la gran reducción estimada en el consumo de gas propano y el mayor aprovechamiento térmico de la leña local, provista por el Ayuntamiento de Aragües del Puerto a un precio muy reducido. Además, si bien la potencia fotovoltaica instalada no permite una gran penetración renovable en el sistema eléctrico, la inversión sí es rentabilizada mediante una disminución del consumo de diésel para la generación eléctrica. Esto implica que, debido a que el gasto energético más reseñable anualmente

en un refugio es el combustible y que mediante estas actuaciones se consigue una cuantiosa disminución del gasto invertido en el, la rentabilidad a medio y largo plazo de la instalación es muy positiva.

El análisis económico llevado a cabo ha sido evaluado teniendo en cuenta las actuaciones propuestas dentro del proyecto SustainHuts, las cuales han sido evaluadas bajo criterios de presupuesto y alcance estimado del proyecto. Aun así, en un trabajo de ampliación de las soluciones propuestas, se han evaluado distintas configuraciones alternativas y se ha podido estimar que soluciones con mayor penetración fotovoltaica tienen una rentabilidad mayor, obteniendo la máxima rentabilidad con 11,89 kWp de potencia fotovoltaica instalada y la duplicación de la bancada de baterías. Como se muestra en la Figura 8, configuraciones con mayor potencia PV instalada todavía obtienen rentabilidad en cuanto al NPC con respecto a la configuración inicial del refugio, si bien pierden competitividad económica con respecto a la configuración más rentable.

NPC (*Net Present Cost*) es el parámetro utilizado para analizar el coste total de la instalación energética a lo largo de toda la vida útil del sistema, considerada en 30 años. En él se considera el gasto total de instalación y reemplazo de equipos (en los instalados previamente, como los gensets o la caldera, solo se considera el reemplazo), los costes de O&M y todos los costes de combustibles consumidos durante la vida útil, principal gasto del sistema que acapara inicialmente el 87% de los costes.

En cuanto al coste energético de la instalación, las medidas propuestas dentro del proyecto SustainHuts reducen el coste de la producción energética en 0,12 €/kWh, debido a que el coste inicial de la energía es de 0,61 €/kWh y el final de 0,49 €/kWh. Además, en la configuración más rentable posible se obtendrían precios 0,41 €/kWh, lo que implica que existen mayores márgenes de mejora para la rentabilidad energética del refugio, que podrían ser mayores bajo supuestos previstos de aumento del precio de combustibles fósiles y reducción del precio de la tecnología fotovoltaica.

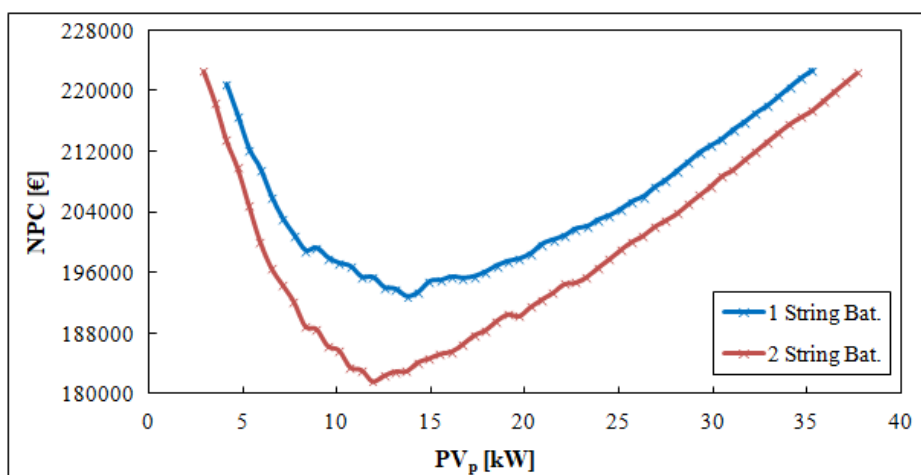


Figura 8: Coste de las distintas configuraciones de fotovoltaica en el refugio de Lizara.

4.4 Resultados experimentales

Todas las actuaciones propuestas para el refugio de Lizara fueron ejecutadas durante los primeros meses del año 2018, coincidiendo con el final del invierno y la llegada de la primavera. Así, durante el mes de mayo se finalizó la ejecución de las reformas y el día 1 de junio se considera el inicio del periodo de monitorización propuesto dentro del proyecto SustainHuts. A fecha de esta comunicación técnica, cuatro meses han sido

monitorizados (junio, julio, agosto y septiembre), obteniendo los primeros resultados empíricos de la nueva configuración del refugio.

Los parámetros monitorizados tienen relación con las producciones eléctricas de los distintos elementos así como con el consumo de combustible, de modo que es posible relacionar, mediante el uso del *software* HOMER, todos los parámetros de la configuración energética y establecer un monitoreo permanente de la nueva instalación. El control de los distintos parámetros se ha realizado mediante distintos protocolos de medición:

- **Control de consumo eléctrico:** la medición del consumo eléctrico del refugio se realiza mediante dos actuaciones independientes. El consumo procedente de los generadores diésel se monitorea mediante un medidor de consumo instalado en el refugio para tal fin, mientras que el consumo procedente de las baterías es posible monitorizarlo mediante la salida del inversor, que realiza mediciones de voltaje e intensidad de salida de las baterías.
- **Control de producción fotovoltaica:** la producción fotovoltaica es monitorizada mediante el balance de baterías, utilizando como datos las medidas experimentales en la línea de entrada procedente de los generadores diésel y la salida de las baterías.
- **Control de consumo de combustible:** mediante las facturas de llenado de los tanques de gas propano y diésel es posible conocer el consumo de combustible realizado entre ambas fechas, lo que permite controlar y monitorizar el consumo de diésel y gas propano.
- **Control de consumo de biomasa:** a través de las facturas del Ayuntamiento de Aragües del Puerto es posible conocer el consumo de biomasa entre un año y otro, siendo este distribuido mensualmente mediante un perfil de consumo conocido.

Existen una serie de parámetros que, por su dificultad de medición, no son monitorizados experimentalmente, de forma que son calculados mediante métodos matemáticos o siguiendo las soluciones del *software* HOMER, obteniendo finalmente una monitorización de todos los parámetros relevantes del balance energético. Estos son:

- **Generación térmica de la termochimenea:** evaluado mediante un perfil conocido de operación, el consumo anual de madera y valores teóricos de este combustible [13].
- **Generación térmica de la caldera:** evaluado mediante el *software* HOMER.
- **Emisiones de CO₂:** evaluado mediante el *software* HOMER.

A través de la metodología previamente expuesta se han podido conocer los datos empíricos de los 4 primeros meses de funcionamiento del refugio tras la implementación de las mejoras propuestas. La evaluación proyecta, como se muestra en la Tabla 5, resultados equivalentes a los esperados en las estimaciones iniciales, lo que implica que la respuesta de las medidas ejecutadas es acorde con las evaluaciones realizadas inicialmente y que conllevaron la propuesta y ejecución de estas actuaciones.

		Resultados estimados	Resultados demostración
Genset 1	Energía producida [kWh]	0	0
	Consumo combustible [l]	0	0
Genset 2	Energía producida [kWh]	4 674	4 654
	Consumo combustible [l]	1 726	2 179
Fotovoltaica	Energía producida [kWh]	2 494	1 596
Caldera	Energía producida [kWh]	7 267	4 015
	Consumo combustible [kg]	651	-*
Chimenea	Energía producida [kWh]	1 184	0
	Consumo combustible [kg]	300	0
Refugio Lizara	Consumo eléctrico [kWh]	5 548	5 881
	Consumo térmico [kWh]	8 451	4 015
	Emisiones CO ₂ [kg]	6 545	6 241

Tabla 5: Resultados provisional del periodo de demostración (4 meses).

*Todavía no se tienen datos reales del consumo de gas propano durante los cuatro primeros meses de demostración.

Como es posible analizar a partir de los datos mostrados en la Tabla 5, los resultados experimentales obtenidos a través de medidas reales en el refugio se aproximan con bastante precisión a los resultados inicialmente estimados. Esto podría indicar que las estimaciones realizadas sobre el balance energético del edificio eran acertadas y que las propuestas de acciones para la mejora del balance energético del refugio contaban con un respaldo analítico aceptable, previéndose que la reducción de emisiones y consumo de combustible podrían cumplir los objetivos inicialmente esperados.

Aun así, son evidentes algunas diferencias que podrían deberse a diversos factores de funcionamiento y sobre las cuales podrían hacerse las siguientes interpretaciones provisionales:

- **La generación fotovoltaica medida es menor de la esperada.** Un posible argumento es una menor irradiación de la estimada inicialmente debido a los obstáculos orográficos que presenta una ubicación de alta montaña, no tenidos en cuenta por algunas bases de datos.
- **El consumo de diésel es mayor del esperado.** Posiblemente se deba a la necesidad de encender el generador para conectar electrodomésticos trifásicos cuando el balance energético del edificio cuenta con suficiente energía almacenada para no ser necesario el uso de los grupos electrógenos, lo que lleva al generador a trabajar a cargas nominales muy bajas, reduciendo así su rendimiento y aumentando su consumo de diésel.
- **El consumo de la termochimenea es nulo actualmente.** Debido a las temperaturas cálidas disfrutadas durante el mes de septiembre, la calefacción del refugio no ha sido puesta en marcha durante el periodo monitorizado actualmente. Eso conlleva un menor consumo de gas propano y termochimenea en el tiempo.

de monitorización que es menor del previsto, puesto que se había estimado un pequeño consumo de calefacción durante el mes de septiembre, algo frecuente en otros años.

Aun así, el periodo de demostración considerado no es representativo a largo plazo, por lo que los parámetros monitorizados actualmente tienen un carácter orientativo, si bien es necesaria una mayor extensión temporal de monitorización para obtener conclusiones reales del funcionamiento de la instalación. Pequeñas variaciones en la climatología estacional interanual, en el funcionamiento de los equipos o en patrón de consumo energético del edificio pueden suponer desviaciones en los parámetros monitorizados que hacen necesaria la ampliación del periodo de monitorización.

Por tanto, más allá de los resultados preliminares aquí presentados, es necesaria la monitorización de una mayor extensión temporal para poder obtener los primeros resultados comparativos y concluyentes de la instalación. Durante los próximos meses y hasta la finalización propuesta del proyecto, se espera continuar con la monitorización para obtener resultados definitivos y concluyentes del impacto conseguido tras la implementación de las mejoras.

5. Conclusiones

El refugio de Lizara presenta un potencial de mejora muy alto en su balance energético debido al uso principal de combustibles fósiles como vectores energéticos de generación. Por tanto, es posible concluir que una mayor penetración de energías renovables en el refugio implica una mejora ambiental cuantificable así como un aumento de la rentabilidad del sistema energético, reduciendo el coste de generación energética debido al mayor aprovechamiento de recursos renovables, locales y de menor coste.

Tres tecnologías han sido propuestas de cara a la mejora de la sostenibilidad del refugio, contando con un mayor aprovechamiento de biomasa de terrenos cercanos, de la insolación sobre el refugio e introduciendo una autonomía en el encendido de los grupos electrógenos que permite un uso más eficiente de ellos, reduciendo así el consumo de diésel. Debido a que las tecnologías propuestas requieren una inversión aceptable y al precio tan bajo de la madera local en comparación con el gas propano, las mejoras propuestas alcanzan un retorno de la inversión de solamente 3 años, lo que implica que el aumento de la penetración renovable en los refugios de montaña no es simplemente más sostenible, sino claramente más rentable.

Por tanto, a través de las mejoras ejecutadas, se han podido obtener los primeros resultados preliminares de los resultados obtenidos, concluyendo así que el impacto esperado en cuanto a la reducción de cerca de 16 toneladas de CO₂ es realista y plausible.

Además, es posible identificar diferentes actuaciones que, si bien se encuentran fuera del alcance del proyecto LIFE SustainHuts, no implican un gran desembolso y podrían aumentar tanto la rentabilidad de la gestión energética como el impacto ambiental del refugio. Tres de ellas son realmente destacables:

- **Ampliación de la potencia fotovoltaica instalada.** Debido al bajo coste de la tecnología fotovoltaica, una mayor ampliación de esta generación implicaría una reducción de consumo de diésel así como del coste del kWh producido. Como se ha mencionado anteriormente, los costes se reducirían hasta una instalación con 11,89 kWp de potencia fotovoltaica instalada y la duplicación de la capacidad de

almacenamiento mediante baterías (sin tener en cuenta otros parámetros como espacio disponible o capacidad de mantenimiento por parte de los guardas).

- **Reducción de los consumos de trifásica** para la reducción del funcionamiento de los generadores diésel a solamente aquellos momentos en los que el balance energético así lo demande. De esta forma se evitaría el consumo de diésel en todas aquellas ocasiones que, sin necesidad de funcionamiento de los gensets para el abastecimiento energético del refugio, su uso sea obligado por la necesidad de generación trifásica.
- **Introducción de medidas de eficiencia energética y mejora de los hábitos energéticos.** La eficiencia energética en este tipo de instalaciones es un pilar esencial de cara a reducir el consumo energético del edificio sin pérdida de confort térmico ni disminución de prestaciones eléctricas. Así, cualquier mejora enfocada a una mayor eficiencia en el uso de los elementos de generación así como en el mantenimiento de confort mediante medidas pasivas, conllevará un aumento de la penetración renovable con la misma potencia instalada, aumentando así la sostenibilidad del refugio. Por otro lado, una mejora de los hábitos de consumo de los huéspedes ayudaría a reducir el consumo energético del edificio, lo que conllevaría, en cualquier configuración propuesta, un menor consumo de combustibles fósiles y una mayor penetración renovable.

Así, tras el análisis del caso de Lizara y de otros refugios propuestos en el proyecto LIFE SustainHuts, es posible demostrar que los refugios de montaña son instalaciones aisladas en las que el mayor aprovechamiento de los recursos renovables accesibles es potencialmente rentable y eficiente energéticamente, siempre y cuando las propuestas se analicen de forma individualizada y con soluciones adaptadas a la ubicación, los recursos disponibles y el funcionamiento del refugio.

Además, y enmarcado dentro de los objetivos del proyecto, es posible considerar que la metodología seguida para la evaluación y mejora del refugio de Lizara es replicable a otros refugios europeos con condiciones semejantes. Así, aunque las soluciones son individuales y adaptadas a cada refugio y sus características, la metodología propuesta es extensible a cualquier instalación aislada de montaña (incluidas localizaciones a baja altitud) que demande un aumento de su sostenibilidad.

De esta forma, y enmarcado dentro objetivos de aumento de la sostenibilidad, reducción de emisiones, respeto del entorno y adaptabilidad al medio tan presentes actualmente, queda patente que la gestión energética de refugios de montaña aislados y localizados en entornos de alto valor natural tiene un amplio abanico de posibilidades que permiten compatibilizar la oferta de este servicio con la gestión sostenible de los recursos y la conversación medioambiental del entorno.

6. Bibliografía

- [1] *HOMER Legacy Energy*. HOMER Energy LLC, 2012.
- [2] Runming, Y. y Koen, S., «A Method of Formulating Energy Load Profile for Domestic Buildings in the UK», *Energy and Buildings*, vol. 37, p. 9, sep. 2004.
- [3] *HOMER PRO Energy*. HOMER Energy LLC, 2014.
- [4] Instituto para la diversificación y el ahorro de energía, «Código Técnico de Edificación. Documento Básico HE4, contribución solar mínima de agua caliente sanitaria». may-2018.
- [5] Göran Berndes y et al, «Forest Biomass, Carbon Neutrality and Climate Change Mitigation», European Forest Institute, oct. 2016.
- [6] Edilkamin, «Idro 70 FireWood ThermoChimney». ene-2017.
- [7] Bosch Marín, «¿Qué es la Eficiencia Energética?», nov-2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.boschmarin.com/blog/que-es-la-eficiencia-energetica/>.
- [8] Saclima Solar Fotovoltaica S.L., «Paneles SCL-150». 2017.
- [9] Rosas Echeverria, J.J., «Sistema de generación y suministro eléctrico basado mayoritariamente en energías renovables para una comunidad isleña.», Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra, 2015.
- [10] Chabert, A. y Bourasseau, C., «Business Case Analysis. Bussiness Case 1: Isolated Site Electrification», 2017.
- [11] Guinot, B. et al, «Techno-economic study of a PV-hydrogen-battery hybrid system for off-grid power supply: Impact of performances' ageing on optimal system sizing and competitiveness», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, 2015.
- [12] Gutiérrez Roa, Manuel, «Análisis y optimización energética de instalaciones aisladas en refugios de montaña a través de mejoras basadas en las energías renovables y la eficiencia energética», Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2018.
- [13] «Pellet Fuel», *Wikipedia*, jul-2017. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Pellet_fuel.