



Universidad Austral de Chile

*Conocimiento y Naturaleza*

**Análisis sociocultural y territorial de alternativas para la  
integración de energías renovables en Isla Huapi, región de Los  
Ríos, Chile.**

Patrocinante: Sr. Felipe Valencia Arroyave

Trabajo de Tesina como parte  
de los requisitos para optar al Título de  
**Ingeniera en Conservación de Recursos Naturales**

**ANTONIA PAZ DEWETAK GAJARDO**

VALDIVIA

2025

---

i	Calificación de Comité de titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Dedicatoria	iii
iv	RESUMEN	iv
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MÉTODOS	4
2.1	Identificación de información secundaria	5
2.2	Definición de la(s) metodología(s) a implementar	5
2.3	Diseño de instrumento	6
2.4	Implementación de instrumentos	7
2.5	Análisis de resultados obtenidos	7
2.6	Oferta energética en Huapi	10
2.7	Integración de información recopilada	13
3.	RESULTADOS	13
3.1	Área de estudio	13
3.2	Caracterización demográfica	15
3.3	Presentación de proyectos fotovoltaicos	16
3.4	Análisis de resultados obtenidos	22
3.5	Demanda eléctrica habitantes de Huapi	28
3.6	Identificación de fuentes energéticas del territorio.	32
3.7	Diseño conceptual de propuesta energética renovable	38
4.	DISCUSIÓN	49
5.	CONCLUSIÓN	53

- Anexos
- 1 Información de estudio entregado a los entrevistados para la realización de las entrevista
  - 2 Consentimiento informado, entregado a los entrevistados para la realización de las entrevistas.
  - 3 Diseño herramienta entrevista cualitativa semiestructurada.
  - 4 Herramienta para estimar la demanda energética en base a electrodomésticos de los hogares de los entrevistados
  - 5 Matriz diaria anual del potencial eólico en isla Huapi, según el aerogenerador NaturaEnergí, modelo SKU: AD2422.
  - 6 Matriz diaria anual del potencial eólico en isla Huapi, según el aerogenerador EWT DW54-500.
  - 7 Representación cartográfica de usos de la tierra en isla Huapi solicitada de la herramienta SIMEF.
  - 9 Ecuación potencial de baterías, proyecto fotovoltaico primera parte (2017).

## Calificación de Comité de titulación

	Nota
Patrocinante: Sr. Felipe Valencia Arroyave	6,8
Informante 1: Sr. Lorenzo Reyes Chamorro	6,54
Informante 2: Sr. Gustavo Blanco Wells	6,4

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Felipe Valencia A.

## **Agradecimientos**

Este proceso estuvo acompañado de vínculos significativos y múltiples aprendizajes, por lo que quisiera expresar mi agradecimiento a quienes me acompañaron de distintas formas durante su desarrollo.

Agradezco profundamente a la comunidad de Isla Huapi por su generosa apertura, tiempo y disposición para compartir sus experiencias y saberes. También agradezco al Proyecto *Desarrollo Tecnológico para la Transición Energética con Pertinencia Territorial* (Innoving 2030), que hizo posible este proceso investigativo, aportando herramientas valiosas para su desarrollo.

A mis cercanos en Valdivia, por su compañía cotidiana y constante apoyo; a Tomy, por su presencia y motivación en los momentos clave; y a mis profesores guía, por su orientación y disposición a lo largo de este trabajo.

## **Dedicatoria**

A mi padre,

Gracias por impulsarme a seguir este camino, por darme las herramientas que me permitieron estudiar la carrera que amo y que me hace feliz.

A mi madre,

Por acompañarme en el proceso y ser mi guía, hoy y siempre.

## RESUMEN

El difícil acceso energético que enfrentó la comunidad de Isla Huapi antes del año 2017, dada su condición de territorio rural aislado, generó una dependencia de generadores a combustibles fósiles. En respuesta, se instalaron soluciones fotovoltaicas. Para el año 2019, la población se había duplicado respecto al inicio del proyecto, dejando a una parte significativa sin acceso al sistema fotovoltaico. Esto, perpetuó con las condiciones de pobreza energética, especialmente durante el invierno, cuando la baja irradiancia solar afectó la calidad del suministro.

Este trabajo tuvo como propósito identificar las necesidades energéticas de la comunidad y evaluar la integración de fuentes renovables locales –solar, biomasa y eólica– como fuente de energía eléctrica, bajo el concepto de microrred, la cual sea cultural y territorialmente pertinente. Mediante el levantamiento de información primaria y secundaria, como base para la generación de perfiles energéticos de consumo y potencial de generación.

Para ello, se empleó una metodología cualitativa con enfoque participativo, mediante entrevistas informales y semi-estructuradas a actores de la comunidad y revisión de información secundaria. El análisis de datos se realizó mediante codificación temática y se complementó con una estimación cuantitativa de la demanda energética diaria promedio entre las diferentes demandas de los consumidores.

Los resultados comprometidos incluyeron la identificación de patrones de consumo, estimación de la demanda y análisis del potencial energético territorial. Estos resultados permitieron plantear una propuesta de microrred que permite diversificar las fuentes de energía disponibles, adaptándose a las condiciones climáticas estacionales y las prácticas culturales de la comunidad, respondiendo a las necesidades técnicas de suministro eléctrico y autonomía local, buscando promover una transición con pertinencia territorial y enfoque comunitario, que reduzca la pobreza energética en territorios rurales aislados como Isla Huapi.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la pobreza energética (PE) sigue siendo una problemática latente, especialmente en contextos rurales y aislados donde el acceso a servicios energéticos de calidad es limitado, teniendo como consecuencias directas en la calidad de vida de sus habitantes y sus posibilidades de desarrollo social, económico y cultural (RedPE 2019).

La pobreza energética (PE) se define como la falta de acceso equitativo a servicios energéticos de calidad, es decir, a los umbrales mínimos necesarios para satisfacer necesidades básicas de manera continua y segura, la cual se expresa, entre otros factores, en la frecuencia y duración de los cortes en el suministro, los que son capaces de limitar el desarrollo humano y económico de los hogares (RedPE 2019).

Este enfoque multidimensional de la PE se basa en la adopción de indicadores compuestos, intenta abarcar la mayor cantidad de elementos que capturen la problemática, de tal manera de proporcionar una medida más exacta de esta condición que afecta en una microescala a los hogares y a las naciones en un análisis macro-escalar (Fernández y González 2023).

A nivel nacional se evidencia que en la macrozona sur de Chile se concentra un alto porcentaje de viviendas sin acceso a energía, sumando 9.427 hogares en esa condición según el último informe *Mapa de Vulnerabilidad Energética* del Ministerio de Energía (2019). Esta deficiencia energética genera múltiples dificultades para la vida cotidiana, como la imposibilidad de conservar alimentos, la dificultad para acceder a información y comunicación, y la imposibilidad de utilizar electrodomésticos que faciliten el trabajo doméstico. Asimismo, estas carencias energéticas restringen las oportunidades de educación, salud, emprendimiento y recreación, impactando profundamente en el bienestar de las personas y comunidades.

Un caso emblemático de esta situación es Isla Huapi, ubicada en la comuna de Futrono, región de Los Ríos, donde las condiciones insulares y de aislamiento geográfico han perpetuado la pobreza energética. Antes del 2017, la isla no contaba con suministro eléctrico continuo, ese año, 137 hogares fueron beneficiados con soluciones fotovoltaicas individuales para abastecer las necesidades básicas mediante una potencia instalada de 1,7 kW por vivienda. Este sistema considera el uso de cinco ampolletas eficientes, un refrigerador, un televisor, un equipo de radio, una lavadora y cargadores de celular, cuya generación depende de la irradiancia solar disponible (Municipalidad de Futrono, 2016).

No obstante, el aumento demográfico de más de 250 personas hasta el año 2023 ha provocado que cerca de la mitad de los residentes no cuente con este beneficio, generando una situación de desigualdad energética dentro de la misma comunidad. Actualmente, quienes no disponen de soluciones fotovoltaicas deben recurrir exclusivamente al uso de generadores diésel para cubrir sus necesidades energéticas, o incluso conectarse de manera irregular de la energía proporcionada por los paneles de otros hogares, esta inequidad se manifiesta en términos económicos, como también en el acceso justo a las condiciones básicas de bienestar y desarrollo que la energía permite.

A esto se suma la baja irradiancia solar registrada en los meses de invierno (junio, julio y agosto), con promedios que no superan los 85 kWh/m<sup>2</sup> (Explorador solar 2024), lo que limita la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y agudiza la pobreza energética en el territorio.

Asimismo, los niveles de servicio energético requeridos por las personas no se limitan únicamente a cubrir sus necesidades básicas, sino que también deben permitirles desarrollar actividades significativas para su bienestar, tales como estudiar, emprender o socializar. En este sentido, la visión de la energía centrada exclusivamente en la cobertura de necesidades mínimas no contempla la diversidad de funciones que los hogares cumplen con esta cobertura (Bouzarovski y Petrova, 2015).

Desde esta perspectiva, es fundamental comprender que cada comunidad construye su realidad energética de acuerdo con sus propias epistemologías y contextos territoriales. En consecuencia, las soluciones energéticas deben ser diseñadas desde una gobernanza territorial participativa, que reconozca las particularidades culturales, sociales y económicas de la comunidad. Esto permite que dichas soluciones no solo cubran las necesidades básicas, sino que además impulsen el desarrollo integral y sostenible de los territorios.

En este marco, se vuelve relevante identificar la demanda socioenergética de los hogares, entendida como el consumo energético vinculado a su organización social y cultural, la cual está mediada por infraestructuras tecnológicas, patrones urbanos y estilos de vida (Blanco 2019, Shove 1997). Así, la energía no puede ser comprendida solo como un recurso técnico, sino como parte constitutiva de la vida social en relación con los recursos y dinámicas locales (Blanco 2019).

La presente investigación propone una solución energética basada en una microrred energética, la cual corresponde a sistemas energéticos que se componen de diversas fuentes de energía, almacenamiento, control y distribución, adaptadas a las condiciones operativas del lugar (Gharehpetian *et al.* 2021).

En este estudio, se plantea el uso combinado de recursos renovables locales como la energía solar, la biomasa, definida como materia orgánica proveniente de procesos de fotosíntesis o residuos de origen

animal, que puede transformarse en energía mediante combustión o digestión anaerobia (Nogués *et al.* 2010), la cual corresponde a un proceso biológico que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, cuyo objetivo principal es estabilizar la materia orgánica y, al mismo tiempo, producir biogás, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono (Mata-Álvarez *et al.* 2014).

Y en conjunto con la energía eólica, que aprovecha el movimiento de masas de aire, cuya disponibilidad depende de variables como la altura y la velocidad del viento (Navales y Martínez 2008).

El alcance del presente estudio contribuye a la comprensión de la pobreza energética desde una perspectiva territorial, reconociendo la centralidad de los actores locales en el diseño de soluciones adaptadas a sus realidades. Se espera que los resultados puedan orientar políticas públicas más inclusivas y estrategias energéticas sostenibles en contextos rurales y aislados.

El informe refleja una de las limitaciones propias de los estudios de carácter exploratorio en contextos rurales, donde la disponibilidad de datos es acotada. En este caso, se utilizaron datos de estimación de la oferta energética local. Si bien estas estimaciones permiten dimensionar de manera preliminar el potencial energético disponible, este enfoque resulta útil para orientar decisiones técnicas y estratégicas que contribuyan al diseño de sistemas energéticos más viables y autónomos en el largo plazo.

### **Objetivo general**

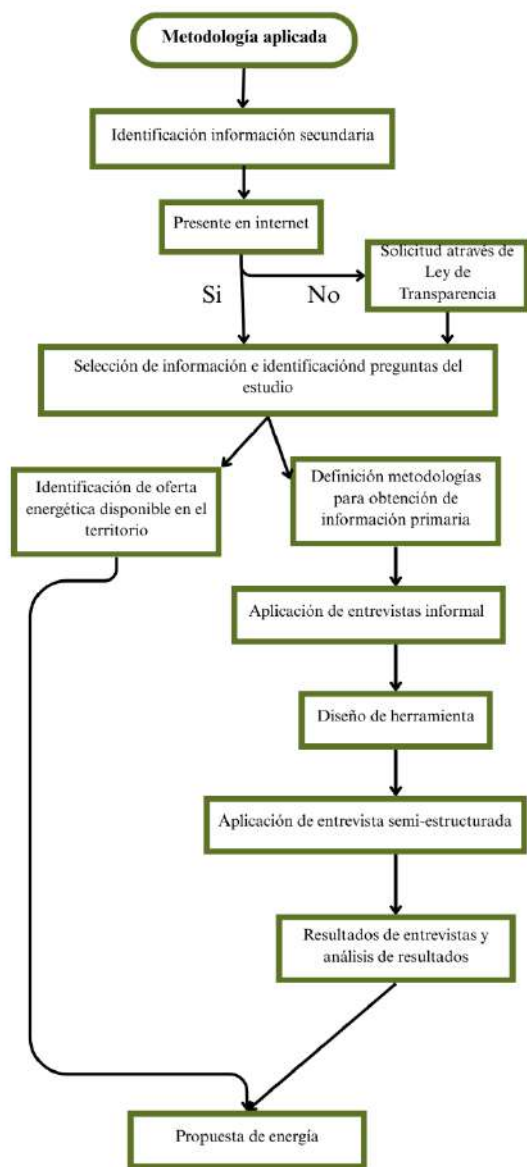
Proponer una solución energética renovable alineada con las prácticas socioculturales de la comunidad de Isla Huapi, región de Los Ríos, Chile.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar las prácticas socioculturales vinculadas al consumo energético de la comunidad de isla Huapi.
2. Identificar las diversas fuentes energéticas disponibles en el territorio.
3. Diseñar conceptualmente una propuesta energética renovable.

## 2. MÉTODOS

En esta sección se detalla cada paso metodológico propuesto para este estudio. En el siguiente esquema (fig.1) se evidencia a grandes rasgos la metodología aplicada, la cual es descrita con mayor profundidad.



**Figura 1.** Esquema metodológico general aplicado en el presente estudio, el cual representa las etapas principales del proceso de análisis. Elaboración propia.

## **2.1 Identificación de información secundaria**

Se realizó una búsqueda de información secundaria con el fin de obtener un marco general del área de estudio, de la demografía presente en la isla y de los proyectos fotovoltaicos, parte uno, ejecutado el año 2017, y parte dos, aún por ejecutar.

Para identificar el área de estudio se optó por la utilización de información pública de fuentes como SitRural, de la Municipalidad de Futrono y del Ministerio de Energía.

Se realizó una representación cartográfica de la isla mediante el Software QGIS y las imágenes satelitales obtenidas en Google Earth, con el fin de identificar el área de estudio, y los paneles fotovoltaicos ya instalados en el territorio.

La descripción de los proyectos fotovoltaicos fue realizada gracias a la información solicitada mediante la plataforma Ley de transparencia y entregada por la Subsecretaría de Energía vía correo electrónico.

## **2.2 Definición de la(s) metodología(s) a implementar**

A través de la revisión de la literatura, de Newing (2011), se identifican dos metodologías adecuadas al caso de estudio.

La primera metodología definida corresponde a una entrevista informal, la cual, según Newing (2011), se basa en una conversación normal para aprender algo relevante del tópico de investigación, caracterizada por no estar planeada o diseñada con anticipación, también es valiosa en proporcionar información sobre temas sensibles como conflictos sociales, y puede ser útil para identificar buenos candidatos para entrevistas más profundas más adelante.

Para llevar a cabo esta metodología, se coordinó con antelación una reunión con Susan Joost, coordinadora del Programa de Desarrollo Territorial Indígena (PDTI) de Futrono, quien desempeñó el papel de presentar a actores claves de la comunidad. En esta instancia, se contó con la participación del Lonko de la comunidad mapuche de isla Huapi Hector Luis Ñancomi, el presidente del comité indígena Marco Manque y el secretario y coordinador del comité de electrificación Valentín Trequil.

En base a lo conversado con Hector Ñancomi, Marco Manque y Valentín Trequil, se identificó la implementación de entrevistas semi-estructuradas, como segunda metodología, para los habitantes de Huapi. Este tipo de entrevista tiene una estructura creada con anticipación, los puntos de la guía pueden

ser preguntas abiertas y la respuesta inicial a cada pregunta puede ser seguida de comentarios, indicaciones y preguntas adicionales, permitiendo así el desarrollo de una conversación (Newing 2011).

Una entrevista semi-estructurada puede durar entre 20 minutos y dos o incluso tres horas, por lo que se recomienda informar de antemano la duración estimada, aunque el tiempo real dependerá en gran medida de lo conversadora e interesada que esté la persona entrevistada (Newing 2011).

Para el diseño del instrumento se establecieron dos objetivos generales que ayudarían a crear el tipo y cantidad de preguntas necesarias a ejecutar. Los cuales son:

1. Identificación de patrones de consumo energético.
2. Identificación de demanda y oferta energética presente en la isla.

Una vez diseñado el instrumento, se estableció que el criterio de éxito consistiría en obtener las respuestas necesarias hasta que se identificaran patrones recurrentes, sin alcanzar la saturación teórica.

Esta se evidenciaría a través de la repetición de respuestas durante las entrevistas, lo que serviría como indicador de suficiencia en los datos recolectados.

Se diseñaron versiones preliminares del instrumento, las cuales fueron testeadas en terreno para evaluar su funcionalidad y efectividad en un entorno real. Para ello, se llevó a cabo una prueba piloto con una muestra de cinco participantes externos a la comunidad en estudio, a fin de identificar posibles ajustes y mejorar su aplicación en el contexto definitivo.

## **2.3 Diseño de instrumento**

Para la recolección de datos se diseñaron y aplicaron siguientes instrumentos presentes en el Anexo 1, 2 y 3.

### **a. Información del estudio y Consentimiento informado**

Este documento presenta una introducción clara sobre los objetivos del estudio, el carácter voluntario y anónimo de la participación, y los derechos de las personas entrevistadas. Asimismo, incluye un consentimiento informado que debe ser firmado por cada participante, garantizando que comprendieron los alcances del estudio y aceptan participar libremente en las entrevistas realizadas.

### **b. Entrevista cualitativa semiestructurada**

Este instrumento fue aplicado a habitantes de Isla Huapi durante los días 18 y 19 de enero de 2025. La entrevista está diseñada para recopilar información sobre características personales, actividades productivas (como ganadería y agricultura), el uso de energía en dichas actividades, y la experiencia de las y los participantes con la implementación de paneles solares en la isla.

Además, se abordan percepciones y expectativas frente a una nueva etapa del proyecto de energías renovables.

## **2.4 Implementación de instrumentos**

Para acceder a la comunidad de Huapi desde Valdivia, se debe tomar un bus desde Valdivia hasta Futrono, en un recorrido de aproximadamente 101.0 km, con una duración de dos horas. Una vez en Futrono, el traslado hasta la isla se realiza a través de una lancha disponible en el territorio, la cual efectúa un viaje de aproximadamente una hora y 20 minutos hasta la isla de Huapi.

Este recorrido fue realizado en tres ocasiones durante el año 2024 y a inicios del 2025 como parte del trabajo de campo. La recolección de datos se llevó a cabo en el mes de enero, periodo en el cual la comunidad presentaba una mayor disponibilidad para participar en las entrevistas.

Para garantizar un acercamiento progresivo y respetuoso con la comunidad, se planificaron tres visitas a la isla, cada una con un propósito específico:

1. Primera visita: Establecimiento de contacto inicial con el lonko y otros miembros de la comunidad, presentando el propósito del estudio y realizando la entrevista informal.
2. Segunda visita: Observación del contexto comunitario, identificando dinámicas sociales y ambientales clave para la investigación. Además de la aplicación de cuatro entrevistas individuales
3. Tercera visita: Aplicación de cinco entrevistas individuales, asegurando la recolección de datos en función de la pregunta de investigación y complementando el análisis mediante observación no participante.

## **2.5 Análisis de resultados obtenidos**

Para dar inicio al análisis de datos, es importante sistematizar los resultados, para eso, se transcriben las grabaciones de las entrevistas mediante la Inteligencia Artificial Turbo Script, y corregido manualmente, para luego generar archivos en formato PDF.

Posteriormente, se organiza una carpeta con los archivos de las entrevistas y se emplea el lenguaje R en RStudio, utilizando las librerías *pdftools* y *tidyverse*. Estas herramientas permiten dividir el texto en fragmentos basados en los puntos y estructurar un cuadro para facilitar la codificación manual.

Cada fragmento es evaluado para obtener un código que represente su contenido de manera precisa. La codificación se basa en la metodología “Análisis temático” de Ryan y Bernard (2003), la cual consiste en descubrir temas o categorías y subtemas y códigos en los textos. La selección de las categorías temáticas es importante debido a que permite describir, comparar y explicar los fundamentos de la investigación (Ryan y Bernard 2003).

Esta clasificación se descubre cuando los conceptos se comparan entre sí y pertenecen a un fenómeno similar, en donde, los conceptos se agrupan bajo un concepto de orden superior y más abstracto llamado categoría (Ryan y Bernard 2003).

Para poder generar estos conceptos o códigos, el estudio se basó en la repetición, la cual es un factor clave que permite la identificación de los temas más evidentes a investigar. Según Bogdan y Taylor (1975, citado por Ryan y Bernard 2003), los patrones recurrentes en los datos cualitativos, y la frecuencia de ciertos tópicos puede revelar categorías significativas para la investigación.

Este análisis de la información cualitativa constó de tres etapas, las cuales se evidencian en la figura 2.

En la primera etapa, se desarrollaron categorías iniciales de forma manual, en base a los dos objetivos del estudio (1).

A partir de estas categorías iniciales, se llevó a cabo una codificación basada en la lectura de cada entrevista (2). Esta codificación emergió de los resultados obtenidos y se desarrolló con un enfoque alineado a la pregunta de investigación, asegurando que cada tema estuviera complementado de manera integral.

Finalmente, se realizó una revisión de estos códigos, para crear la versión final de esta selección, en donde estos se agrupan, fusionan o reducen (3).

Para estimar la demanda energética por hogar se aplicó un instrumento creado en Excel (Anexo 4), que permite obtener información de los encuestados en base al consumo energético diario según los electrodomésticos que utilizan (y si utilizan algún otro artefacto eléctrico alineado con su cultura y/o costumbres). Este instrumento tiene columnas con la cantidad de horas que se utiliza el equipo y una fila que señala los electrodomésticos básicos de una casa en Chile. Posteriormente, se identificó la potencia de cada electrodoméstico según la página de Enel y otras fuentes secundarias.

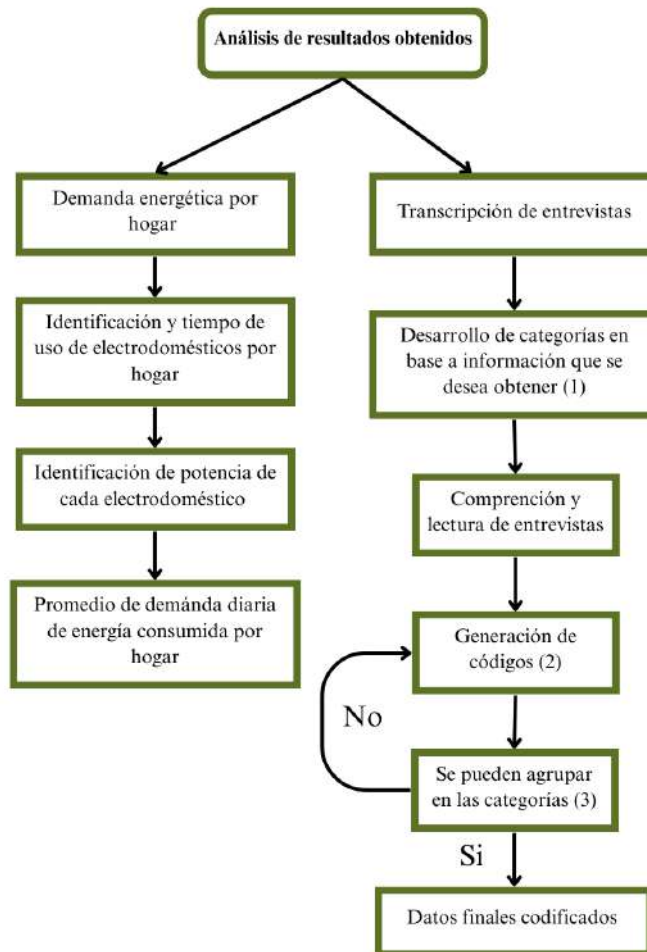
Una vez reunida esta información, los datos fueron descargados y analizados en RStudio versión 2024.12.0 + 467 utilizando las librerías *pdfutils* y *tidyverse* específicas para el tratamiento y análisis de datos. El procedimiento contempló los siguientes pasos:

1. Se extrajo el consumo estimado de cada electrodoméstico por persona.

2. Se calculó el consumo energético total por persona, por día promedio.
3. Se obtuvo el promedio general diario considerando los 9 entrevistados.

Cabe destacar que estos resultados corresponden a una estimación del consumo energético, ya que, de las nueve personas entrevistadas, dos no cuentan con acceso continuo a energía. Por lo tanto, el uso de electrodomésticos en estos casos es considerablemente menor.

Para corregir esta desviación en los resultados, se procedió a calcular los estadísticos descriptivos del consumo energético, excluyendo las entrevistas de las iniciales “Eu” (0,09 kWh) y “V” (0,425 kWh), debido a que estos hogares no cuentan con soluciones fotovoltaicas ni con el mismo equipamiento eléctrico que el resto de los entrevistados. Esta exclusión permitió reducir la varianza asociada a condiciones atípicas, generando una muestra más representativa de los hogares con acceso a tecnologías solares.



**Figura 2.** Esquema metodológico, detalla las etapas generales para el análisis de resultados obtenidos. Elaboración propia.

## 2.6 Oferta energética en Huapi

Se realizó una búsqueda en la plataforma Explorador Solar del Ministerio de Energía (2024) con el fin de obtener información sobre la radiación solar presente en la isla y la velocidad del viento.

Los datos de la velocidad del viento permiten estimar la cantidad de energía que se puede generar. La potencia generada por una turbina eólica está directamente relacionada con la velocidad del viento. Cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la potencia generada (Zambrano s. f).

Basado en las especificaciones del aerogenerador Natura Energí, modelo SKU: AD2422, 400W, el cual es seleccionado como el aerogenerador mínimo a dado que su capacidad resulta suficiente para cubrir la demanda energética individual de un hogar. Para estimar su generación energética, se utilizó la fórmula simplificada [1] para el cálculo de potencia de aerogeneradores (Manwell *et al.* 2010):

$$P = P_{nominal} \times \left( \frac{V}{V_{nominal}} \right)^3 \quad [1]$$

Donde:

- P nominal = es la potencia nominal del generador (400 W).
- V = es la velocidad del viento medida (4,27 m/s para enero y 8,82 m/s para junio)
- V nominal = es la velocidad de viento a la cual el generador alcanza su potencia nominal (12 m/s velocidad promedio de operación).

Sin embargo, esta metodología sobreestima o subestima el potencial real, ya que no considera la curva de potencia del generador, ni las limitaciones físicas del sistema, como el límite de Betz. Por ello, se utilizó el Explorador Eólico del Ministerio de Energía en conjunto con los resultados de esta ecuación, el cual permite obtener estimaciones horarias más precisas al incorporar datos meteorológicos reales, curvas de potencia específicas y pérdidas técnicas.

Para evaluar de manera más precisa la energía eléctrica disponible, se aplicaron dos metodologías complementarias que permiten comparar el rendimiento de este aerogenerador con uno de mayor escala.

La primera metodología consistió en utilizar la herramienta digital Explorador Eólico, integrando el modelo Natura Energí con sus especificaciones técnicas. Los pasos para el uso de esta herramienta son los siguientes:

1. En la aplicación se selecciona “Calcular generación eólica”

2. Selección lugar (Isla Huapi, Futrono)
3. Selección datos del viento: *Recon 1980-2017*
4. Selección de turbina eólica: Aerogenerador Natura Energí, modelo SKU: AD2422.
5. Curva de potencia del aerogenerador: Velocidad del viento mínima (4,27 m/s) con la potencia calculada según la ecuación anterior (41,95) y velocidad del viento máxima (8,82 m/s) con su correspondiente potencia calculada (158,83).
6. Factor de pérdidas: 0,17 (Predeterminado).

Una vez completados estos datos, se accedió a la matriz de Ciclo Diario Anual (Anexo 5) que entrega estimaciones horarias de generación eólica para cada mes del año. A partir de dicha matriz, se procedió a sumar los valores horarios de generación (expresados en kW) para los meses de enero (mes con menor velocidad del viento) y junio (mes con mayor velocidad del viento), obteniendo así una estimación diaria en kWh.

La segunda metodología consistió en seleccionar el aerogenerador EWT DW54-500, disponible como opción dentro de la misma plataforma. Este equipo cuenta con una potencia nominal de 500 kW y un diámetro de rotor de 54 metros, la cual fue seleccionada por ser el aerogenerador de menor potencial y escala que la misma plataforma proporciona.

En este caso, se trabajó con la matriz de potencia diaria anual, representada en el Anexo 6, para estimar la disponibilidad energética durante los mismos meses de análisis.

En cuanto a la generación de residuos orgánicos de origen vegetal y animal, se recurrió a información secundaria y primaria entregada por la herramienta aplicada en trabajo de campo.

Para la determinación del rendimiento del biogás, se utilizó como base un rendimiento promedio de 60 m<sup>3</sup> de biogás por cada 1.000 kg de estiércol, lo que equivale a una producción estimada de 0,06 m<sup>3</sup> de biogás por kilogramo de residuo orgánico (Ponce 2016).

Debido a la variabilidad en la superficie cultivada declarada por cada entrevistado, se utilizó la plataforma SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos), gestionada por el Ministerio de Agricultura y sus instituciones asociadas (INFOR, CONAF y CIREN), para estimar el uso agrícola del suelo en Isla Huapi.

Según los datos disponibles entre los años 2021 y 2023, la isla cuenta con 458.8 hectáreas denominadas como “Praderas perennes” dentro de la categoría Usos de la tierra (Anexo 7).

Esto se alinea a los resultados de un estudio realizado por el Ministerio de Desarrollo Social (2018) en donde indica que cada familia mapuche de Huapi decide cómo utilizar sus tierras, una parte suele destinarse a la ganadería y la agricultura, las cuales, no superan las 2 ha por predio.

Considerando que la superficie total de “Praderas perennes” estimada es de 458,8 hectáreas y que existen 276 viviendas en la isla, se obtiene un promedio teórico de 1,66 hectáreas por predio. Sin embargo, para los fines de este estudio se opta por utilizar una hectárea como unidad de análisis para estimar el suelo agrícola. Esta decisión responde a la necesidad de establecer un valor estándar, representativo y conservador, que permita realizar estimaciones comparables, considerando que no todas las familias disponen ni utilizan exactamente la misma superficie, y que parte del terreno puede estar destinado a otros usos y como la ganadería.

Para calcular la energía diaria disponible otorgada por la biomasa de los residuos agrícolas, se dividió la cantidad mínima anual de residuos por 365 días, considerando que, según el trabajo de campo, las cosechas se realizan una vez al año, entre los meses de octubre y diciembre.

Para el cálculo de la producción diaria de biogás, se multiplicó la cantidad estimada de residuos orgánicos disponibles en la comunidad por el rendimiento teórico de generación. En particular, el estiércol animal ha cobrado relevancia como una materia prima clave en este proceso, debido a su alto contenido de materia orgánica y disponibilidad local. Según datos técnicos, es posible producir aproximadamente 60 m<sup>3</sup> de biogás por cada 1.000 kg de estiércol animal (ABT-Business Group s.f.), lo que representa un factor de conversión comúnmente utilizado en proyectos de bioenergía rural.

Este valor sirvió como base para estimar el volumen potencial diario de biogás generado por la comunidad, el cual posteriormente fue ajustado por eficiencia para calcular su equivalente energético útil.

Para la conversión del volumen de biogás en energía eléctrica, se consideró inicialmente que 1 m<sup>3</sup> de biogás con un contenido de metano del 60 % equivale aproximadamente a 2,4 kWh de electricidad, bajo condiciones óptimas (Ponce 2016).

No obstante, diversos estudios indican que, en sistemas reales de pequeña escala, como los utilizados en contextos rurales, esta eficiencia se ve significativamente reducida. En la práctica, se estima que 1 m<sup>3</sup> de biogás puede generar solo 1,7 kWh de electricidad, debido a pérdidas térmicas, eficiencia limitada de los generadores y variabilidad en la calidad del sustrato (Energypedia 2024).

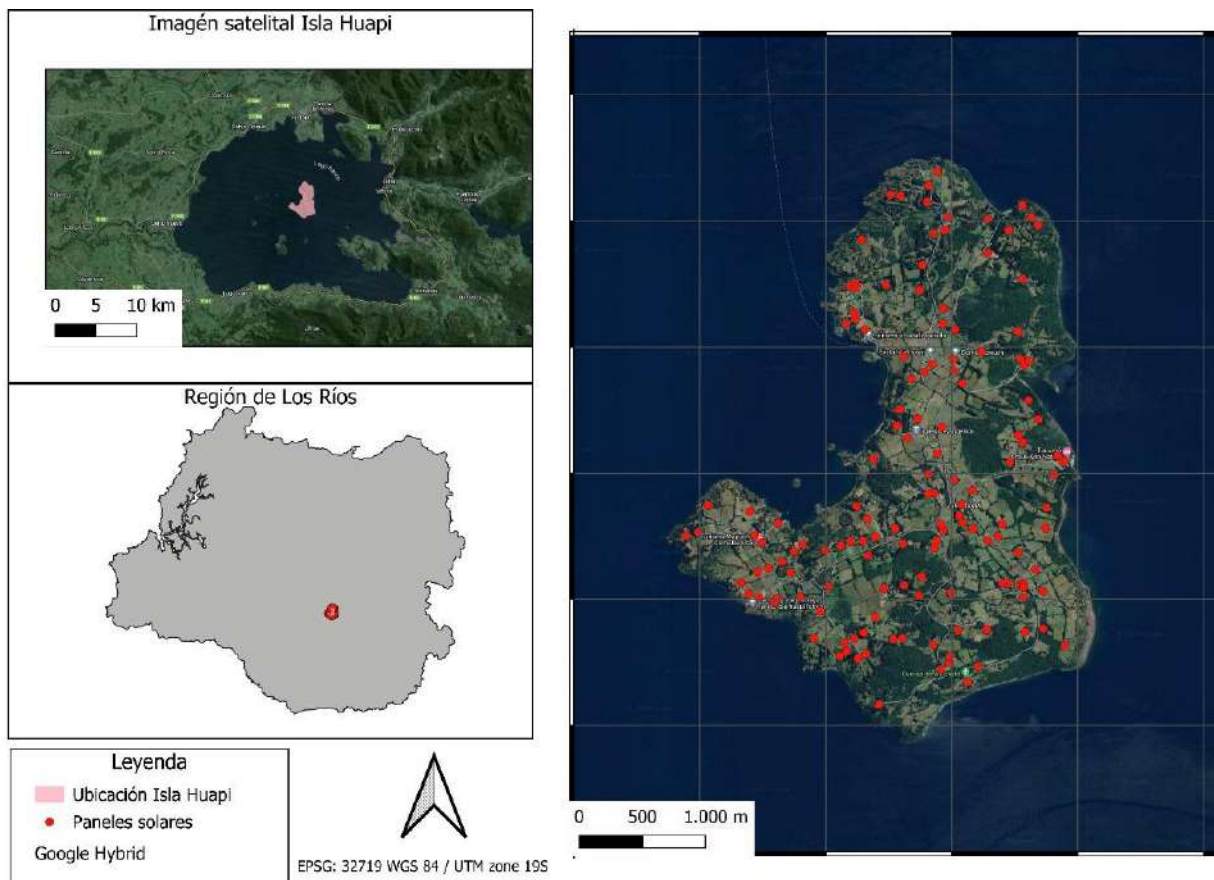
## **2.7 Integración de información recopilada**

En esta etapa se conceptualizaron los resultados obtenidos en los objetivos anteriores, con el fin de identificar y establecer las interrelaciones entre los distintos aspectos técnicos, sociales y territoriales analizados. A partir de esta integración, se desarrolló un modelo conceptual preliminar de solución energética renovable que articuló las fuentes de energía propuestas con las prácticas sociales del territorio, considerando su viabilidad, pertinencia y sostenibilidad en el contexto local.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Área de estudio**

Isla Huapi, en la comuna de Futrono, se ubica en la cuenca que alimenta al Lago Ranco, la cual posee una superficie cercana a los 410 km<sup>2</sup>, una cota media de 70 msnm y su principal cuerpo de agua posee una profundidad superior a 80 m (SitRural 2021). El lago, en su flanco oriental se encuentra rodeado de altas montañas y su espejo de agua es interrumpido por varias islas de las cuales Huapi, ubicada en el centro norte, próxima a la coordenada geográfica 40°15' latitud Sur y 72° 25' longitud Oeste (fig. 3) (Municipalidad de Futrono s. f.) es la más extensa con 826 hectáreas (SitRural 2021). Este lago es alimentado principalmente desde la cordillera andina a través de varios tributarios: el principal es el río Calcurrupe proveniente de la rivera Este, el río Nilahue y el río Caunahue (SitRural, 2021).



**Figura 3.** Representación cartográfica de isla Huapi, ubicada en Región de Los Ríos, Chile.  
Elaboración propia.

Según el informe elaborado por SitRural (2021), la vegetación que conforma la cuenca del lago es perteneciente al bosque templado lluvioso valdiviano, un 65.4% es bosque nativo, representando 203.804 hectáreas, entre las especies arbóreas predominantes se encuentran el Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), Raulí (*Nothofagus alpina*), Pellín (*Nothofagus obliqua*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), Avellano (*Gevuina Avellana*), Canelo (*Drimys winteri*), Lingue (*Persea lingue*), Laurel (*Laurelia sempervirens*), Tapa (*Laureliopsis philippiana*) y Olivillo (*Aextoxicon punctatum*).

Los climas de la zona son templado lluvioso con influencia mediterránea y templado lluvioso oceánico (Köppen 1900). Estos climas se caracterizan por tener un periodo de mayores precipitaciones en los meses de invierno, por una marcada a leve estacionalidad con la que el agua caída disminuye en los momentos de mayor temperatura y porque no existe una estación seca como tal.

La estación meteorológica más cercana se encuentra en Paillaco, camino laguna verde (Lat. 40° 9' 54.2916" - Lon 72° 38' 1.8342") perteneciente a AGROMET (2024) (Red Agroclimática Nacional), del Ministerio de Agricultura, ubicada a 40.5 km de distancia con isla Huapi.

Y, la estación más cercana perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), está ubicada en la comuna de Lago Ranco (provincia de Ranco, limita al norte con la comuna de Futrono) a unos 62.8 km de distancia, sin embargo, no se registran nuevos datos desde el año 2019 (CR2 2024).

### 3.2 Caracterización demográfica

Según los datos obtenidos por el Censo del 2017, del Instituto Nacional de Estadísticas, isla Huapi contaba con una población indígena de 292 personas pertenecientes al pueblo mapuche-huilliches, legalmente constituida y reconocida por CONADI, quienes reconocen la autoridad ancestral del Lonko (Ministerio de Energía 2016). De esta población, 165 eran hombres y 127 mujeres; 55 eran niños menores de 14 años, 181 representaban a adultos de 15 a 65 años y 56 personas eran mayores de 65 años (INE 2017). Las 157 viviendas que había en la isla eran particulares tipo casa, de las cuales solo 10 eran consideradas como vivienda tipo mediagua o choza, de materialidad precaria (lata, cartón, plástico), y el resto estaban construidas con madera o acero (INE 2017). Sin embargo, actualmente se estima que la población ha aumentado a aproximadamente 542 personas, con 134 viviendas y 1 centro comunitario que no dispone de acceso a la energía eléctrica, es decir, 250 habitantes viven en viviendas sin acceso a la energía y además existe una iglesia evangélica en la isla (Municipalidad de Futrono 2023).

La estructura social mapuche se organiza en torno al *lof*, la unidad social básica conformada por grupos consanguíneos y patrilineales, fundamentados principalmente en el parentesco (Poblete 2019). Una de las características esenciales de los *lof* es su horizontalidad, lo que da lugar a un sistema federado y a una marcada autonomía entre estas unidades sociales (Poblete 2019).

Dentro de esta organización destacan roles clave, el *lonko* es el líder político y espiritual de cada *lof*, encargado de guiar a su comunidad y el *werken* actúa como su persona de confianza, siendo mensajero y vocero de las comunidades (Poblete 2019). Por otro lado, la *machi* ocupa un lugar central en la espiritualidad mapuche, ejerciendo como líder ceremonial y sanadora, con funciones tanto religiosas como de cuidado de la salud comunitaria, a las que se le atribuyen capacidades taumátúrgicas (Poblete 2019).

En Isla Huapi, la escolaridad se ofrece hasta 6° básico en la escuela local, después de cursar esos años, los niños deben trasladarse a Futrono u otras localidades cercanas para continuar sus estudios (Ministerio de Energía 2016).

En cuanto a servicios de salud, la isla cuenta con una posta rural atendida de manera permanente por un paramédico, complementada por rondas médicas periódicas (Ministerio de Energía 2016).

La vida comunitaria incluye la presencia de cuatro iglesias, una católica y tres evangélicas. En términos económicos, las principales actividades de los habitantes son la agricultura y la ganadería de subsistencia, sin embargo, en los últimos años, también ha cobrado relevancia el turismo étnico durante la temporada estival (Ministerio de Energía 2016).

### **3.3 Presentación de proyectos fotovoltaicos**

Con el fin de contextualizar el desarrollo del proyecto y su proyección futura, a continuación, se presentan las definiciones y metodologías propuestas por el Ministerio de Energía. Estas fueron obtenidas a través de la Ley de Transparencia, en informes que dan cuenta del trabajo realizado durante el año 2016 y 2017 y de las acciones previstas para la implementación de la segunda fase del proyecto

a) Sistema Fotovoltaico Domiciliario Isla Huapi, Futrono (PF1).

Consistió en habilitar el suministro eléctrico a las familias que habitan en Isla Huapi. La licitación según el informe de bases técnicas del informe “Construcción Sistema Fotovoltaico Domiciliario Isla Huapi, Futrono” del Departamento SECPLAN (s/f), contempló la adquisición de 142 sistemas fotovoltaicos y de almacenamiento de energía, la instalación de los sistemas fotovoltaicos, protecciones eléctricas, sistemas de almacenamiento de energía, instalaciones interiores de centros de enchufe y alumbrado en cada vivienda, conexiones entre los componentes de los sistemas y la instalación interior, como también la construcción de casetas para los bancos de baterías, reguladores, inversores y otros componentes, además de las estructuras de soporte para los paneles fotovoltaicos.

El mismo proyecto contempla la puesta en marcha de todos los sistemas, cuatro capacitaciones a beneficiarios y operarios del sistema y la confección de manual de mantenimiento y reemplazo de equipos en concordancia con especificaciones de los fabricantes (SECPLAN s/f).

Según el informe, las capacitaciones a los integrantes de las familias consistieron en:

- a) Descripción técnica y topológica del sistema, identificación equipos principales.
- b) Conexión opcional de generador externo.
- c) Medidas de seguridad para evitar riesgo eléctrico de electrocución en los usuarios.
- d) Medidas de seguridad para evitar el daño permanente de los equipos manipulados.
- e) Limitaciones del sistema y medidas de buen uso.

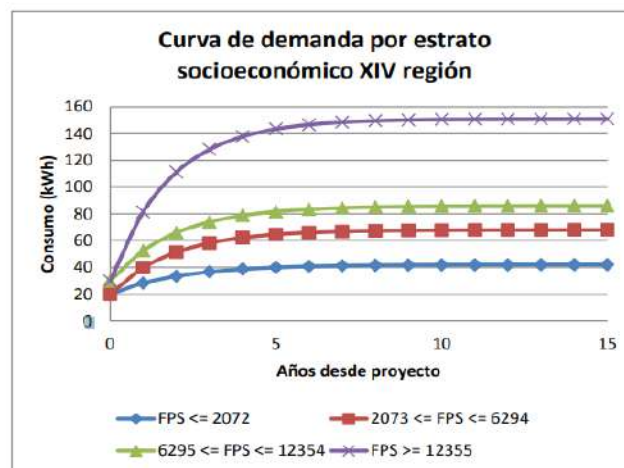
f) Plan de acción ante fallas.

En base a los antecedentes obtenidos del “Estudio evaluación Ex Post de mediano plazo a proyectos de suministro eléctrico por sistemas de autogeneración” (Ministerio de Desarrollo Social y Familia 2022), se conoce la estimación de la demanda de energía para la comunidad de isla huapi, en donde se realizó una curva de demanda energética por estrato socioeconómico más una proyección de curva invierno de la región.

La Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Electrificación Rural en su versión 2016, establece que el consumo mensual mínimo de energía para proyectos de electrificación rural debe ser 65 kWh/mes, con continuidad de servicio de 24 horas y en 220 V en corriente alterna (Ministerio de Energía 2016). Establece los parámetros para proyectar la evolución del consumo de acuerdo con la región de origen, los que dan origen a la curva de demanda de la figura 4 (Ministerio de Energía 2016), en este caso, el consumo se estabiliza en 68 kWh/mes para las familias con puntaje de Ficha de Protección Social (FPS) entre 2073 y 6294, y en 86 kWh/mes en el caso de que el puntaje FPS se encuentre entre 6295 y 12354.

La Ficha de Protección Social (FPS), ahora reemplazada por el Registro Social de Hogares (RSH), es un instrumento de estratificación social usado en Chile para identificar a las familias más vulnerables y priorizar su acceso a beneficios estatales, los puntajes obtenidos en esta ficha determinan la elegibilidad y los subsidios que se pueden recibir, como el de energía eléctrica (Ministerio de Desarrollo Social y Familia s/f.)

En la isla Huapi, el 95% de las familias se ubica en estos dos tramos (Ministerio de Energía 2016). Bajo este criterio, se instalaron 1.7 kW/vivienda con una energía suministrada de 2.9 kWh/vivienda-día.



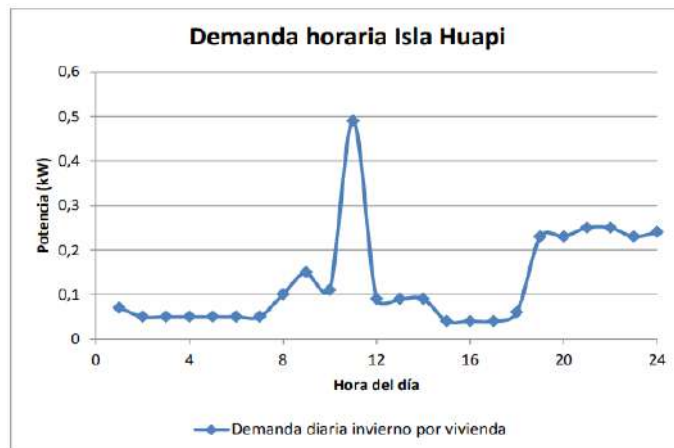
**Figura 4.** Curva de demanda energética por estrato socioeconómico región de los Ríos.

(Fuente: Ministerio de Energía 2016).

Según la Comisión Nacional de Energía (2022), una familia promedio en Chile consume mensualmente entre 200 y 250 kWh (Energía eléctrica). Esto equivale a un promedio de entre 6,6 y 8,3 kWh diarios, la cual, se distribuye principalmente en calefacción, agua caliente sanitaria y algunos electrodomésticos.

El estudio de consumo energético de 2019 realizado por el Ministerio de Energía revela que la calefacción representa el 53% del uso energético en el hogar chileno, seguido por el agua caliente sanitaria (20%).

La estimación de demanda futura graficada en la figura 5 considera el uso de 5 ampolletas eficientes, 1 refrigerador, 1 televisor, 1 equipo de radio, 1 lavadora y cargadores de celular, durante el mes de junio, cuando la demanda por iluminación es mayor debido a la menor cantidad de horas de luz natural (Ministerio de Energía 2016).



**Figura 5.** Demanda estimada diaria de energía en invierno por vivienda en Isla Huapi.

(Fuente: Ministerio de Energía 2016).

El área bajo de la curva entrega el consumo de energía diario típico de una familia en invierno, que corresponde en promedio a 2,8 kWh/día, u 84 kWh/mes, siendo 85 kWh/mes los utilizados para cada solución individual (Ministerio de Energía 2016).

Según el informe “Evaluación y formulación del proyecto de electrificación. Proyecto de electrificación Isla Huapi” del ministerio de energía (2016), se evaluaron diversas alternativas para la propuesta de electrificación de Huapi que se exponen a continuación, también se menciona distintas alternativas que fueron propuestas para la electrificación de la Isla Huapi.

El documento analiza varias soluciones potenciales y concluye recomendando sistemas fotovoltaicos individuales para cada hogar en la isla.

Se evaluaron dos opciones para ampliar la red eléctrica existente, entre esas;

- Cruce aéreo: Esta opción contemplaba un cruce aéreo sobre un tramo de agua de 4,3 km. Como referencia, se cita el cruce aéreo sobre el canal de Chacao, que costó más de USD 7 millones, dado este costo, el cruce aéreo fue considerado demasiado caro (Ministerio de Energía 2016).

- Cableado submarino: Esta opción implicaba instalar un cable a lo largo del lecho del lago, en donde, el proyecto requeriría un cable de más de 6 km para considerar la profundidad del lago (más de 200 m). Basándose en el proyecto de cable submarino de Isla Huar en 2014, que costó USD 4.993.000, se estimó un costo de USD 6.000.000 para Isla Huapi. Dado este costo, el cableado submarino también fue considerado por sobre el presupuesto (Ministerio de Energía 2016).

Se exploraron, además, alternativas de autogeneración de energía;

- Generadores diésel y red de distribución: Si bien esta opción era viable gracias al servicio diario de barcaza entre Isla Huapi y Futrono, donde hay estaciones de servicio, en el informe del Ministerio de Energía, (2016) se menciona la experiencia de otras comunidades aisladas que dependen de generadores diésel, las cuales, pagan un costo por kWh considerablemente más alto que el promedio y requieren subsidios anuales para garantizar la equidad.

Además, una solución de generación centralizada con diésel necesitaría terrenos para la planta de energía y servidumbres para la red de distribución, lo que podría causar retrasos debido al estatus de tierras indígenas de Isla Huapi (Ministerio de Energía 2016).

- Energía eólica centralizada con red de distribución: Esta opción fue descartada debido a la baja velocidad promedio del viento en la zona (4,5 m/s) y al precio actual (2012) del diésel, esta fuente de energía es intermitente, por lo que el respaldo de baterías por sí solo no es factible, necesitando un generador diésel (Ministerio de Energía 2016).

Cuando se realizó el análisis en 2012, la energía eólica sólo habría sido viable si el precio del diésel en Isla Huapi superaba los 1.000 dólares por litro. Este precio era significativamente más alto que el precio real del diésel en la región en ese momento, que era de alrededor de \$450 por litro.

- Energía hidroeléctrica: Fue descartada por la falta de fuentes de agua en la isla con suficiente flujo y altura para generar energía (Ministerio de Energía 2016).

- Energía solar con soluciones individuales: Los sistemas fotovoltaicos individuales para cada hogar se consideraron la opción más adecuada por varias razones:

La comunidad está interesada en soluciones individuales, como lo demuestra el sistema fotovoltaico existente que abastece a la escuela de la isla, así mismo, se podría gestionar localmente las operaciones y el mantenimiento, fomentando la responsabilidad en el cuidado del sistema (Ministerio de Energía 2016).

Además, los sistemas individuales evitan los problemas de tierras asociados con las servidumbres y la desafectación de terrenos requeridos por soluciones centralizadas, y, por último, se determinó que es una solución costo-efectiva y más rentable que las opciones de diésel y extensión de la red eléctrica (Ministerio de Energía 2016).

El diseño se realiza para el mes de menor radiación (junio), con la demanda esperada considerada en la curva de demanda mostrada anteriormente, es decir, 85 kWh/mes (Ministerio de Energía 2016).

En el siguiente cuadro (cuadro 1) se evidencian las fluctuaciones de irradiancia entregadas por el informe.

**Cuadro 1.** Irradiación solar para plano inclinado de 55°.

(Fuente: Ministerio de Energía 2016)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
Irradiación (kWh/m <sup>2</sup> )	154	152	153	122	95	68	83	104	115	130	136	144	1456

En general se puede considerar una eficiencia combinada del 70% para el conjunto de inversor, reguladores de carga y pérdidas óhmicas (Eficiencias: inversor 90%, regulador 95%, perdidas óhmicas y batería 10%, perdidas por localización y otros 10%). Con lo anterior, para satisfacer la demanda en mes que se recibe menor radiación, se requeriría una potencia instalada fotovoltaica de 1.800 Wp (Anexo 8).

Para definir el tamaño de las baterías se consideró que el sistema sea capaz de almacenar energía para 4 días de autonomía, con una descarga máxima de diseño del 60%, a esta profundidad de descarga, las baterías para aplicaciones solares maximizan el número de ciclos de vida útil, permitiendo incluso descargas ocasionales del 80% (Ministerio de energía 2016) (Anexo 9).

La capacidad de las baterías se debe considerar utilizando el índice C100 informado por los fabricantes, ya que éste representa la capacidad de las baterías si se consume energía durante 100 horas, es decir, aproximadamente 4 días (Ministerio de energía 2016).

Los beneficiarios cuentan con un visor que indica el nivel de carga al interior de sus viviendas, permitiendo planificar el consumo de energía según este dato (Ministerio de Desarrollo Social y Familia 2022).

Además, se creó un comité de electrificación que realiza cobros de 3.000 pesos a los beneficiarios, con el fin de generar ingresos para prestar servicios de mantenimiento a los sistemas, así como también el compromiso de los beneficiarios en el cuidado de estos (Ministerio de Desarrollo Social y Familia 2022).

#### b) Sistema Fotovoltaico Domiciliario Isla Huapi, parte 2 (PF2).

La siguiente sección se basa en el informe entregado mediante la Ley Transparencia, por Seremi de Energía, Chile.

Las 134 viviendas que no disponen de energía eléctrica utilizan generadores a bencina para su abastecimiento energético, principalmente en horario vespertino y para iluminación, las familias suelen recurrir a velas y linternas (Municipalidad de Futrono 2023). Por otro lado, un porcentaje de las viviendas nuevas se han conectado de manera no formal a hogares que cuentan con suministro eléctrico continuo, generando riesgos tanto para la seguridad de las familias como para la sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos instalados (Municipalidad de Futrono 2023).

Es por esto, que hoy en día se encuentra en marcha la segunda parte del proyecto fotovoltaico domiciliario, el cual, por medio de la energía solar, satisface las necesidades básicas de los vecinos de la comunidad que no cuentan con energía eléctrica continua.

La demanda de diseño de la solución es la misma que la utilizada anteriormente, es decir, 85 kWh/mes, ya que cumple con el Estándar mínimo de Suministro Eléctrico Domiciliario Básico en Sistemas de Autogeneración definido en los Requisitos de Información Sectorial, Sector Energía, Subsector – Autogeneración, del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, al igual que en el proyecto original, se estima que un centro comunitario (como una iglesia) tiene una demanda similar al de una vivienda (Municipalidad de Futrono 2023).

Según el informe “Construcción sistema domiciliario fotovoltaico isla Huapi, segunda parte. Formulación y evaluación del proyecto”, se utilizó la misma información de irradiación (kWh/m<sup>2</sup>) que en la primera parte del proyecto. Se replica el dimensionamiento de potencia fotovoltaica a instalar realizado en el proyecto original para cubrir potencia instalada, es decir, 1.800 Wp (Municipalidad de Futrono 2023).

En la actualidad, las baterías que entregan el mejor rendimiento y durabilidad son las baterías de ion de litio, que si bien tienen un costo de inversión mayor que las baterías de plomo-ácido, tienen una más alta densidad energética y vida útil, por lo que se reducen los costos logísticos para transporte e instalación, y también se reduce la necesidad de recambio al tener una mayor vida útil (Municipalidad de Futrono 2023).

Para el recambio de equipos se considera la vida útil esperada de éstos durante el horizonte de evaluación, en donde, los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil mayor a 20 años por lo que no se considera recambio, en comparación con los reguladores de carga, que se considera un recambio completo a los 12 años de operación, mientras que inversor y baterías se cambian al año 15 (Municipalidad de Futrono 2023).

Si bien las baterías de litio tienen una vida útil mayor a 6.000 ciclos de carga descargando al 80% de la capacidad, que implica una vida útil teórica de más de 25 años, en la práctica la vida útil real depende del uso que cada familia realiza (descargas) y las cargas parciales que se producen en invierno debido al bajo nivel de radiación, por lo que, para efectos del cálculo se considera el recambio al año 15 (Municipalidad de Futrono 2023).

Las bases de licitación deben considerar diseños referenciales que permitan a los contratistas interesados, ofrecer sus propios diseños que se ajusten a criterios técnicos mínimos establecidos, con una posterior validación de la ingeniería de detalles por parte de ente especializado (Municipalidad de Futrono 2023).

El proyecto debería ejecutarse en un mínimo de 12 y máximo 15 meses, dependiendo de la época del año en que se inicie la obra y las condiciones climáticas (Municipalidad de Futrono 2023).

### **3.4 Análisis de resultados obtenidos**

Las cuatro categorías creadas para realizar el análisis temático fueron: Opinión/experiencia (respecto al sistema fotovoltaico), Oferta energética, Demanda energética y Otra fuente de energía utilizada.

Siguiendo con la metodología planteada, a partir de los resultados de las entrevistas, se crearon dieciséis códigos, los cuales fueron: Paneles solares, No paneles solares, Satisfacción, Necesidad Energética, Habitantes y Proyecto (pertenecientes a la primera categoría).

Residuos orgánicos, Mucho viento, Poco viento, Energía solar, Electrificación por cable (Pertenecientes a la segunda categoría).

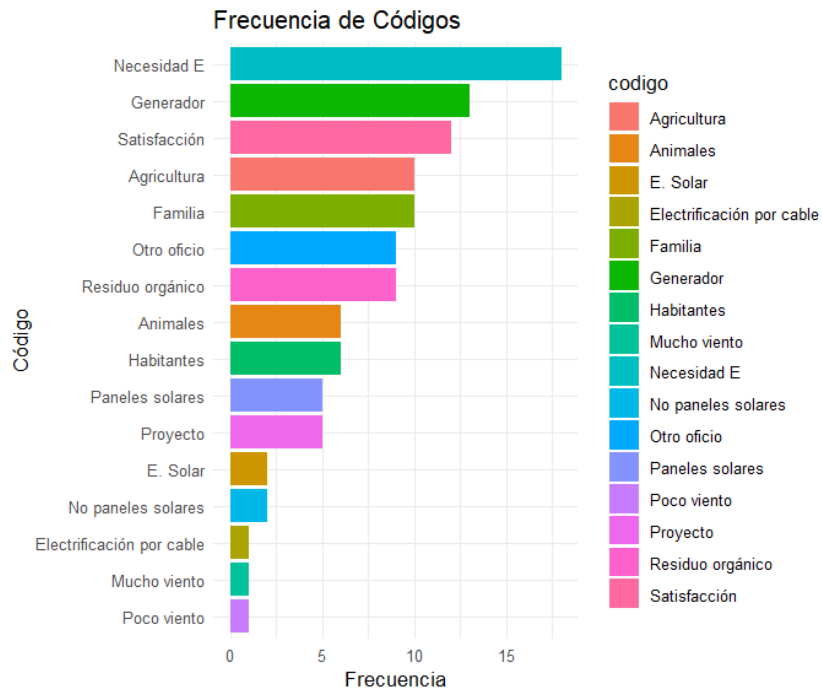
Familia, Agricultura, Animales, Otro oficio (pertenecientes a la tercera categoría) y por último el código Generador (perteneciente a la cuarta categoría). El gas y la leña fueron descartados como códigos debido a que toda la comunidad utiliza esas fuentes de energía para cocinar y para calefacción.

En el siguiente cuadro (cuadro 2), se evidencian las cuatro categorías con sus correspondientes códigos, de los cuales hay una breve descripción de su significado e importancia para el estudio.

**Cuadro 2.** Categorías del análisis temático, junto con sus respectivos códigos derivados de las entrevistas y su descripción. Elaboración propia.

Categorías	Códigos	Descripción	Ejemplo
Opinión personal / Experiencia	Paneles solares	Identificar si el entrevistado cuenta o no con el beneficio	"Con respecto a los paneles, si fui parte del proyecto". (E.N°5)
	No paneles solares		"Yo no tuve el beneficio de los paneles." (E.N°3)
	Satisfacción	Identificar a través de emociones el vínculo/relación con la solución fotovoltaica	"Entonces los paneles solares nos cambió mucho la vida, porque nosotros hoy día podemos tener un refrigerador (...)". (E.N°7)
	Necesidad Energética	Identificar las necesidades energéticas que surgen en la conversación	"Tengo una plancha Tengo una así De fierro Es que los paneles no dan para muchos watts." (E.N°1)
	Habitantes	Identificar historias y vínculos que impliquen otros habitantes de la isla	"En el tiempo de la pandemia muchos volvieron, se ha poblado mucho. Y esa nueva población es la que hoy día se le ha generado un nuevo proyecto". (E.N°7)
	Proyecto	Implica todas las frases que hacen referencia al proyecto, las capacidades que se realizaron y la inclusión con la comunidad	"Ahí capacitan solamente a las personas que van a ver los paneles". (E.N° 1)
Oferta Energética	Residuos orgánicos	Evaluar la utilidad de los residuos orgánicos, con el fin de calcular un posible potencial energético	"Los desechos orgánicos son abono para la misma siembra". (E.N°5)
	Mucho viento	Evaluar en base a la experiencia personal el potencial eólico de la isla	"Acá corre mucho viento (...)". (E.N°3)
	Poco viento		"No hay viento". (E.N°5)
	Energía solar	Identificar el vínculo que los habitantes poseen con la energía solar	"Me acomoda la fuente del sol. Porque aquí el cableado no es como la fuente del sol." (E.N°9)
Electrificación por cable	Identificar la opiniones de fuentes energéticas que posee la comunidad	"En la profundidad que nosotros tenemos sería imposible tener electrificación como la de ustedes en la ciudad". (E.N°7)	
Demanda Energética	Familia	Identificar la cantidad de personas consumidoras de energía del hogar	"Ahora vivimos pocos, porque todos vuelan. Estoy con nosotros dos, mi marido y un nieto". (E.N°6)
	Agricultura	Identificar estilo de vida y cultura en base a sus ingresos económicos. Evaluar consumo energético	"Ahí vendimos, vendo lo que sembramos, lo que cosechamos". (E.N°6)
	Animales		"Ahora no hacemos nada, tenemos aves y chanchos." (E.N°3)
	Otro Oficio		"(...) Trabajo en casas particulares aquí en el mismo ancho de la isla." (E.N°4)
Otra fuente de energía utilizada	Generador	Identificar el consumo de otra fuente de energía	"El generador lo usamos para usar herramientas". (E.N°8)

La frecuencia de los códigos obtenidos de las entrevistas está representada en el siguiente histograma (fig. 6).



**Figura 6.** Frecuencia de los códigos del análisis temático, obtenidos a partir de las entrevistas. Elaboración propia.

De las nueve personas entrevistadas, sólo dos no cuentan con la instalación de los paneles fotovoltaicos implementados en 2017. Para suplir la falta de acceso a energía eléctrica, la entrevistada depende del suministro energético de un familiar, estableciendo una conexión mediante cables.

*“Vivo yo sola en mi casa (...) no tengo los paneles, me convida mi hermana, estoy así como colgada”.* (Entrevista N°9).

Este tipo de comportamiento podría estar relacionado con un conocimiento limitado respecto al funcionamiento adecuado de los sistemas fotovoltaicos. Esta situación podría explicarse, en parte, por el enfoque de las capacitaciones realizadas antes de la instalación de los paneles solares en 2017, las cuales estuvieron dirigidas principalmente a los integrantes del comité de electrificación conformado por la propia comunidad, como lo evidencian las siguientes citas.

*“Ahí capacitan solamente a las personas que van a ver los paneles. Porque ahí lo instalan solamente, instalan todo el circuito eléctrico, son algunas personas capacitadas para que lo vean”*  
(Entrevista N°1).

*“Pero no realizaron capacitaciones a todas las personas, solo a los que trabajaron en el proyecto”*  
(Entrevista N°5).

Las entrevistas evidencian que existe una necesidad concreta de comprender el funcionamiento básico del sistema, tanto para su correcto uso como para la resolución de fallas cotidianas, lo que permitiría una mayor autonomía y sostenibilidad del proyecto, lo que permite que cada familia se involucre activamente en la gestión y cuidado del sistema.

Otra integrante de la comunidad que no posee el beneficio reside junto a su esposo y dependen del uso de un generador como fuente principal de energía. Además, no cuentan con electrodomésticos, utilizando únicamente ampolletas para iluminación.

*“(…) Resido en la isla hace 3 años, yo no tuve el beneficio de los paneles, utilizamos generador para la energía, pero no tenemos nada electrónico, solo ampolletas ”* (Entrevista N°3).

Sin embargo, a pesar de que la comunidad cuenta con la energía dada por los paneles fotovoltaicos, de las siete personas entrevistadas que cuentan con este beneficio, continúan utilizando el generador como fuente de respaldo para cubrir sus necesidades energéticas, especialmente ante cortes de suministro eléctrico durante el invierno o debido al uso de electrodomésticos de mayor potencia. Esto se evidencia en la siguiente cita:

*“Con respecto a los paneles, si fui parte del proyecto, mis necesidades si las cubre, son buenos los paneles, sin embargo, en el invierno da poca energía, cuando llueve mucho la batería se gasta (...). Pongo el generador conectado a la batería, como 2 o 3 horas.”*  
(Entrevista N° 5)

Aunque los habitantes recurren al generador como fuente de respaldo, la energía solar continúa siendo valorada como la principal opción por los entrevistados, destacando su preferencia por esta fuente limpia y renovable, como lo señala la entrevista N°7.

*“(…) entonces los paneles solares nos cambió mucho la vida, Porque nosotros hoy día podemos tener un refrigerador, que obviamente sea bajo consumo de luz, que siempre cuando uno va a comprar, uno lo que pide es un artefacto que sea como que se adecue al fotovoltaico (...) Porque yo en el verano me doy cuenta de que yo puedo tener refrigerador conectado, congeladora conectada. La tele puede estar encendida y yo puedo estar, por ejemplo, usando la juguera, que yo en este tiempo uso mucho la juguera para hacer mi jugo, para moler mi choclo para mis pasteles, todo eso puede estar conectado al mismo tiempo y puedo incluso secarme el pelo.” (Entrevista N° 7).*

Las prácticas socioculturales identificadas en las entrevistas revelan que gran parte de la comunidad se dedica principalmente a la agricultura y la crianza de animales. Los cultivos están orientados al autoabastecimiento durante todo el año. Sin embargo, en la temporada estival, estos productos se comercializan con los turistas que visitan la isla como se deja evidenciado en la entrevista N° 7 y N°6.

En esta época, se preparan diversos alimentos utilizando electrodomésticos como jugueras y licuadoras, para luego ser vendidos en la feria local.

*“(…) Siembro. Porque nosotros acá todos los menús dicen que llevan ensalada, somos agricultores en Huapi. Todos los menús dicen que llevan ensalada mixta, sopaipilla y pebre. Entonces nosotros todas las verduras las producimos nosotros mismos acá.” (Entrevista N°7)*

*“Nosotros sembramos el trigo El poroto, las papas, las arvejas, las habas, y las huertas que son el cilantro, las lechugas, esas cosas. Nosotros tenemos como un cuarto, o sea, un cuarto de tierra donde podemos sembrar”. (Entrevista N°6).*

Los residuos generados por esta práctica cultural están directamente relacionados con la alimentación de los animales, evidenciando una estrecha conexión entre las actividades agrícolas y ganaderas. Esta articulación forma parte del manejo tradicional que realiza la comunidad, tal como se observa en los relatos de las entrevistas N°6 y N°8, donde se destaca la reutilización de recursos como una práctica habitual y significativa.

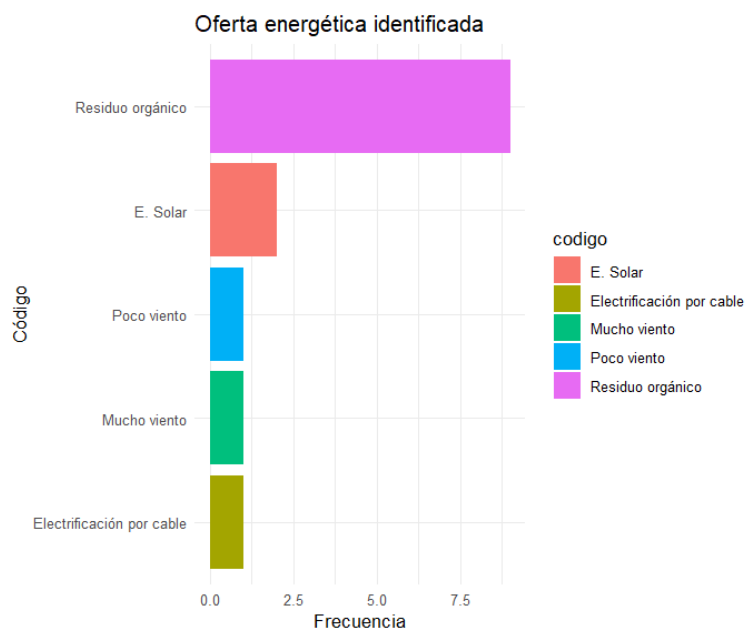
*“Y los residuos del cultivo, como los residuos del trigo o del poroto que no se come, eso se lo aprovecha la oveja, Los chanchos, eso lo comen ellos. Se lo tiran a los animales.”* (Entrevista N°6)

*“Con los desechos de la agricultura se los da a comer a los pollos.”* (Entrevista N°8)

Otra práctica destacada es la artesanía, en este ámbito, las mujeres utilizan la lana de sus propias ovejas para confeccionar diversos productos como cintillos, llaveros y chalecos, los cuales también son ofrecidos en la feria. Además, se identificaron otros oficios presentes en la isla que no están vinculados a prácticas ancestrales ni implican un consumo energético particular, aunque la agricultura sigue estando presente, un ejemplo de esto se encuentra en la entrevista N° 2, donde se menciona que el ingreso del hogar depende del trabajo realizado en la embarcación que va de Futrono a Huapi.

*“En mi casa somos nosotros tres, mi esposa y mi hija de 10 años. Yo trabajo en la embarcación, es nuestro ingreso más común (...) Hay otro que es vía venta del huerto o de siembras, cultivamos. Se siembra de papa, habas, arvejas, lechugas, tomates, pepinos, etcétera, tenemos un cuarto de hectárea”.* (Entrevista N°2).

De esta manera, se logró identificar a los residuos orgánicos como la principal oferta energética disponible en la isla, siguiendo por Energía solar, la cual, es la fuente de energía que la comunidad prefiere. Los códigos *“Poco viento”* y *“Mucho viento”* reflejan la percepción de los habitantes sobre la disponibilidad de energía eólica en su entorno. Como se observa en la figura 7, ambos códigos presentan la misma frecuencia, lo que sugiere una variabilidad en la experiencia de los entrevistados respecto a este recurso.



**Figura 7.** Frecuencia de los códigos correspondientes a la categoría "Oferta energética", de las entrevistas realizadas. Elaboración propia.

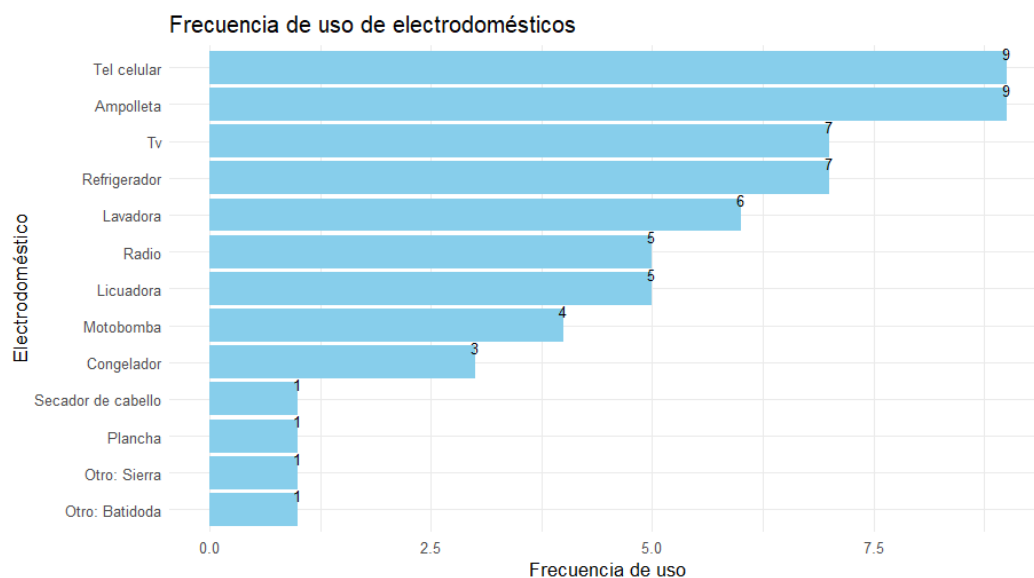
### 3.5 Demanda eléctrica habitantes de Huapi

Se estimó la demanda energética de los habitantes según la una herramienta creada en Excel (Anexo 4) la cual, corresponde a un cuadro diseñada para registrar y calcular la demanda energética diaria promedio (de lunes a viernes) en unidades de watt-hora (Wh), según el uso de distintos electrodomésticos en un hogar.

En ella se detallan 24 horas del día y una columna para cada equipo eléctrico, lo que permite identificar cuanta potencia y cuantas horas al día utilizan cada artefacto.

Los resultados de la aplicación de la herramienta, demuestra que los electrodomésticos seleccionados no son todos utilizados por los entrevistados, en particular, el horno eléctrico, hervidor, microondas y computador no son empleados, ni se encuentran en los hogares de los habitantes de Huapi.

En consecuencia, la herramienta se actualiza con los electrodomésticos que se utilizan efectivamente, tal como se muestra en el siguiente histograma (fig. 8), la cual presenta la frecuencia de uso de los equipos por parte de los entrevistados.



**Figura 8.** Frecuencia de uso de electrodomésticos por cada entrevistado.

Elaboración propia.

Los electrodomésticos más comunes entre los entrevistados son la ampolleta y el teléfono celular, ambos con una frecuencia de uso del 100%, indicando que la iluminación y la carga de dispositivos móviles son necesidades prioritarias en los hogares entrevistados, en donde, incluso en los hogares que no poseen los paneles fotovoltaicos utilizan la energía del generador para el uso de estos equipos.

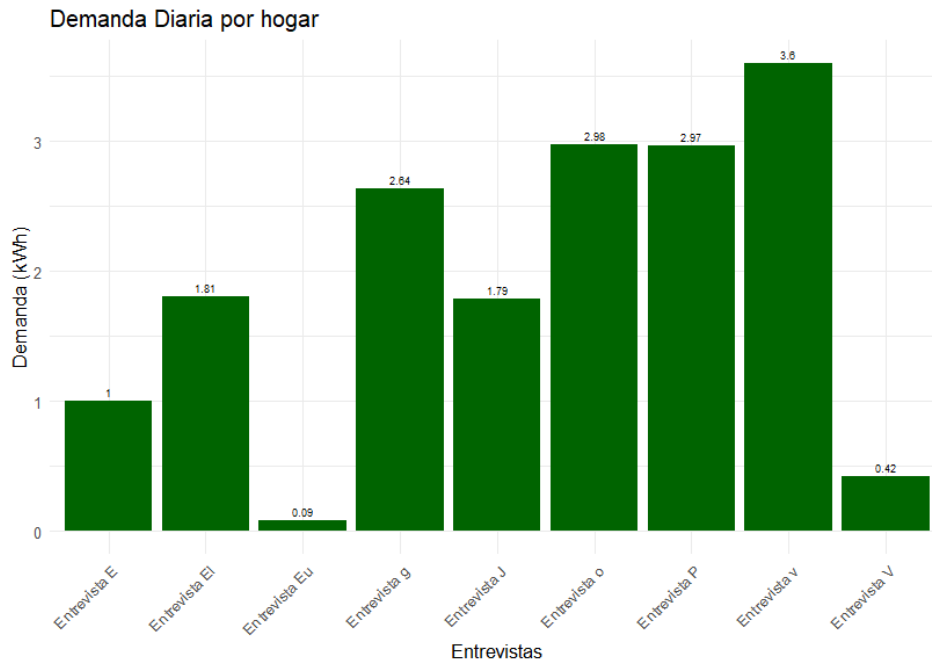
Le siguen refrigerador y TV, con una frecuencia de 7, lo que refleja el uso habitual de equipos para conservación de alimentos y entretenimiento.

En contraste, equipos como el secador de pelo, plancha, batidora, motobomba y sierra eléctrica aparecen solo una vez, indicando un uso ocasional o limitado acceso a esos artefactos.

Los entrevistados mencionaron una variación en el uso de electrodomésticos entre invierno y verano, como es el caso de la juguera, licuadora y el congelador debido a la oferta energética en verano es mayor. Se destacó, además, que, para el uso de la motobomba y herramientas específicas, los entrevistados indicaron que emplean el generador, dado que estos equipos requieren mayor cantidad de energía. Esta información se puede evidenciar en la entrevista N°1.

*“(...) Yo uso el generador para tirar agua, para la bomba, pero lo único es que hay que comprar la bencina, el aceite (...) lo uso cada quince días, como una hora, una hora y media. (...) Los paneles están bien y otra potencia sería para... lo que pasa es que en el invierno de repente no resulta mucho por el tema del sol.” (Entrevista N° 1)*

La demanda diaria por hogar se encuentra representada en el siguiente histograma (fig. 9).



**Figura 9.** Demanda diaria por hogar, en el eje x se encuentran representadas las iniciales de cada entrevistado, en el eje y la demanda diaria en kWh. Elaboración propia.

En donde, la potencia de cuatro ampolletas eficientes según la página de ventas de Sodimac es 28 W, al igual que la información sobre el consumo de la motobomba (340 W). Para el congelador, se estimó que correspondía a un modelo pequeño horizontal, cuyo consumo aproximado es de 100 W (dentro del rango típico de 80 a 200 W). Además, se consideraron otros aparatos comunes como la carga de un celular (5 W), una radio (80 W), una batidora (500 W) y una sierra circular, cuyo consumo puede variar entre 1200 y 2500 vatios.

Los resultados estadísticos presenten en el siguiente cuadro (cuadro 3) revelan que el consumo energético entre los entrevistados no es homogéneo, con valores que varían ampliamente entre un hogar y otro.

**Cuadro 3.** Estadísticos descriptivos del consumo energético diario en los hogares entrevistados.

Elaboración propia.

Media	Mediana	Moda	Rango	Desviación estándar	Varianza
1,9216 kWh	1,809 kWh	NA	3,516 kWh	1,2265 kWh	1,504.436 kWh <sup>2</sup>

Aunque el promedio se sitúa en torno a los 1,9216 kWh, la mediana más baja y la alta dispersión sugieren que la mayoría consume menos que el promedio, y que unos pocos casos de alto consumo estarían elevando la media. Este comportamiento puede estar influenciado por factores como el tipo y cantidad de electrodomésticos, hábitos de uso, y disponibilidad de fuentes de energía alternativas como generadores y paneles fotovoltaicos.

Con el objetivo de obtener una visualización más homogénea del consumo energético demandado por los habitantes de la isla, resulta necesario eliminar la varianza introducida por aquellos hogares que no cuentan con soluciones fotovoltaicas. En este caso, se excluyeron del análisis las entrevistas correspondientes a los hogares identificados como “Eu” y “V”, los cuales no disponen de los mismos electrodomésticos ni condiciones de consumo que aquellos que sí han incorporado sistemas fotovoltaicos.

El resultado estadístico derivado de este nuevo cálculo se presenta en el siguiente cuadro 4.

**Cuadro 4.** Estadísticos descriptivos del consumo energético diario en los hogares entrevistados, sin entrevistas “Eu” y “V”. Elaboración propia.

Media	Mediana	Moda	Rango	Desviación estándar	Varianza
2,397 kWh	2,636 kWh	NA	2,601 kWh	0,8976 kWh	0,8058045 Wh <sup>2</sup>

Los resultados indican que el consumo promedio entre los hogares considerados asciende a 2,397 kWh. El rango observado es de 2,601 kWh, reflejando la diferencia entre el hogar con menor y mayor demanda dentro del grupo analizado.

En este caso, los hogares entrevistados tienen una variación moderada de aproximadamente 0,9 kWh diarios respecto al promedio. Esto indica que, aunque hay diferencias entre los hogares, no son extremadamente amplias. Un valor de 0,8058 kWh<sup>2</sup> para la varianza confirma que no hay una dispersión exagerada, la mayoría de los consumos están en un rango predecible y cercano al promedio.

Al comparar los dos escenarios analizados, se observa una disminución significativa en la varianza del consumo energético al excluir los hogares sin acceso a soluciones fotovoltaicas (entrevistas “Eu” y “V”). A pesar de que esta reducción representa casi un 47% menos de dispersión, la varianza sigue siendo considerablemente alta.

Esto sugiere que, si bien los casos “Eu” y “V” aportaban valores extremos hacia el consumo bajo, aún existe una heterogeneidad importante dentro del grupo de hogares que sí cuenta con paneles solares.

### **3.5 Identificación de fuentes energéticas del territorio.**

#### **a) Energía orgánica, Biomasa.**

Según los resultados obtenidos en el trabajo de campo, se identificaron siete cultivos principales por habitante; Trigo, habas, papa, arveja, lechuga, tomate y poroto, en donde, cada cultivo ocupa aproximadamente 0,1428 ha (1 ha / 7 cultivos). En el siguiente cuadro, se evidencia cada cultivo y su residuo orgánico en kg. En donde, el trigo, por cada tonelada de grano se generan 1,6 toneladas de residuos, lo que se traduce en aproximadamente 6,4 t/ha considerado un rendimiento promedio de 4 t/ha (INIA 2022).

Para cultivos hortícolas como la papa, el tomate y la lechuga, se reportan mayores volúmenes de residuos debido a la biomasa no comercializable, aunque no se encontró una cifra específica para el residuo de la papa, se reconoce que estos constituyen una parte importante de la biomasa total del cultivo. El tomate alcanza a generar de 15 a 30 toneladas y 8 a 12 toneladas para la lechuga (INIA 2017).

En leguminosas como habas, arvejas y porotos, los residuos generados corresponden mayoritariamente a tallos y vainas, con una estimación que varía entre 3 y 6 t/ha (Tafa y Asfaw 2015, Krenz *et al.* 2023, Teagasc s/f)

Para mayor precisión se seleccionó la mínima cantidad de residuos generados por cultivo, como se evidencia en el cuadro 5, esto debido a que los datos obtenidos pertenecen en su mayoría a agroindustrias, la cual tiene una producción concentrada por área de cultivo.

**Cuadro 5.** Estimación de residuos orgánicos generados por cultivos presentes en Huapi, proyectados por superficie cultivada. Elaboración propia.

<b>Productos orgánicos presentes en Huapi</b>	<b>Estimación de residuos por ha</b>	<b>Residuo estimado por 0,1428 ha</b>	<b>Estimación mínima en kg</b>	<b>Estimación de residuos diaria</b>
Trigo	6,4 t/ha	0,914 t	914 kg	2,50 kg
Papa	6 – 10 t/ha	0,857 – 1,428 t	857 kg	2,35 kg
Habas	3 – 6 t/ha	0,428 – 0,857t	428 kg	1,17 kg
Arvejas	3 – 6 t/ha	0,428 – 0,857 t	428 kg	1,17 kg
poroto	3 – 6 t/ha	0,428 – 0,857 t	428 kg	1,17 kg
tomate	15 – 30 t/ha	2,142 – 2,856 t	2.142 kg	5,87 kg
Lechuga	8 - 12 t/ha	1,428 – 2,142 t	1.428 kg	3,91 kg

El total mínimo estimado de residuos orgánicos generados en una hectárea de cultivo, es decir 0,1428 ha para cada cultivo, es de 6.625 kg la cual, genera un aproximado de 18,24 kg/día.

En el caso de la cría de animales, se utilizaron los datos de las entrevistas para realizar un promedio de la cantidad de especies de animales presentes. Una evidencia de los resultados se encuentra en la entrevista N°1 y N°5.

*“Las aves, eso sí que hay hartas Sí, como 30 por todo. Sí, para comer igual, los pollos se venden igual Gallinas (...) Tenemos una yunta de buey y dos vacas para él”.* (Entrevista N°1).

*“El resto del año hago lo que es la siembra y crío animales, tengo cuatro vacunos, como diez ovejas, vendemos la lana y tenemos muchas aves.”* (Entrevista N° 5).

En base a datos promedio de producción diaria de estiércol por especie de animal presente en la isla, se consideró que, las gallinas ponedoras generan en promedio 0,1 kg de estiércol, lo que equivale a una producción total de 3 kg diarios para las 30 aves (ScienceDirect Topics s.f.). Una vaca al igual que el buey produce aproximadamente 50 kilos de estiércol diarios (Arellano, Cruz y Huerta 2014).

Las ovejas, con un promedio de 2 kg/día (ScienceDirect Topics s.f.), mientras que los chanchos, con una tasa de producción de 28,6 kg/día (OSEI 2023).

Los cálculos estimados para los residuos de origen animal se encuentran representados en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Estimación de residuos orgánicos de origen animal generados por cría de animales de una vivienda en Isla Huapi.

<b>Especie de animal</b>	<b>Cantidad de animales por vivienda</b>	<b>Residuo orgánico por animal</b>	<b>Residuo total diario (kg)</b>
Gallinas	30	0,1 kg/día	3
Vacas	3	50 kg/día	150
Ovejas	7	2 kg/día	14
Bueyes	2	50 kg/día	100
Chanchos	5	28,6 kg/día	143

Los resultados evidencian que el total de la generación de estiércol generada por los animales en un día promedio es de 412 kg.

Sin embargo, la cantidad de estiércol que se utiliza eficazmente para la producción de biogás depende de varios factores clave, incluida la tasa de producción inicial, la eficiencia de recolección, las prácticas de manejo del ganado.

Se estima que se puede recolectar el aproximadamente el 30% del estiércol total producido diariamente por el ganado, el cual está especialmente dado por el factor de accesibilidad, que representa la proporción de tiempo que el ganado permanece en un establo donde se puede recolectar el estiércol, excluyendo el estiércol producido durante los períodos de pastoreo (Arshad *et al.* 2022).

Por lo tanto, si se recolecta solo el 30 % del estiércol disponible, serían 123,6 kg efectivamente utilizables para la biodigestión.

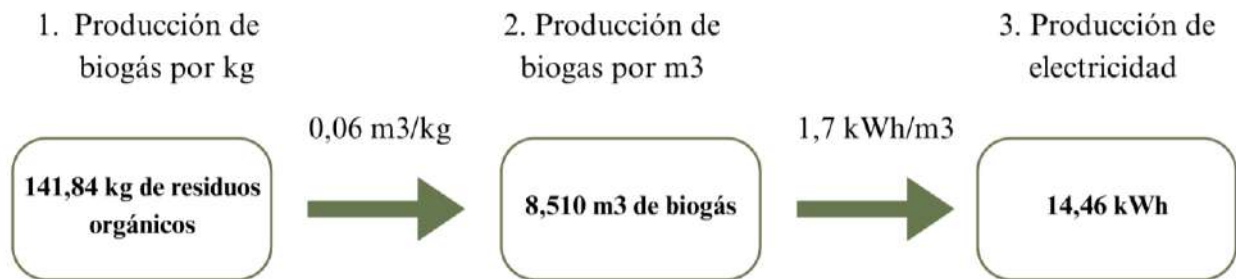
Los residuos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal, se presentan como una alternativa viable para la producción de energía, tal como lo plantean Venegas, Carrasco y Aguilera (2016). En este sentido, una de las tecnologías más empleadas para aprovechar este tipo de biomasa es la digestión anaerobia, la cual ha sido ampliamente reconocida por su efectividad en la generación de energía (Hidaka *et al.* 2013).

Cabe destacar que el biogás no solo puede obtenerse a partir de residuos animales, sino también mediante la combustión de paja de cereal, restos de madera o incluso a través del compostaje, lo que amplía las posibilidades de su producción (Nogués, García-Galindo y Rezeau 2010).

En suma, la co-digestión del estiércol junto a otros sustratos orgánicos ha emergido como una alternativa eficaz y rentable, permitiendo optimizar el rendimiento del proceso y mejorar la viabilidad económica de las plantas de digestión anaerobia (Mata-Álvarez *et al.* 2014).

En esta misma línea, se ha comprobado que la biomasa proveniente de pastizales también constituye una materia prima adecuada para la producción de biogás, lo que amplía aún más el abanico de recursos disponibles para este tipo de generación energética (Prochnow *et al.* 2009).

Dado los factores de conversión de biogás, se identifica que el potencial energético diario generado por la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos de origen vegetal (18,24 kg/día) y animal (123,6 kg) 141,84, el cual genera 14,46 kWh/día por vivienda, calculo representado en el siguiente diagrama (fig. 10).



**Figura 10.** Representación gráfica de energía eléctrica generada por residuos orgánicos diaria en base a los factores de conversión. Elaboración propia.

Este valor representa una fuente significativa de energía renovable no convencional que podría ser aprovechada de manera sostenible, siempre que las condiciones del proceso de digestión anaerobia sean óptimas y se mantenga un contenido adecuado de metano en el biogás.

Durante los meses de invierno, la biomasa presenta una disminución en su capacidad energética, atribuible a las bajas temperaturas y al alto contenido de humedad presente en los residuos orgánicos disponibles, lo que afecta negativamente su poder calorífico y eficiencia de conversión energética.

Según Villegas (2006) la digestión anaerobia dentro de los biodigestores es muy sensible a los cambios de temperatura, en donde, en zonas frías de Europa, la producción de biogás disminuye hasta un 50% en el invierno.

Un estudio más reciente indica que una caída de la temperatura ambiente de ~26 °C (verano) a ~9 °C (invierno) provocó que la temperatura del digestor bajara de ~22 a ~13 °C, y que la producción de metano fue 23–30 % menor comparado con la producción de verano (Bhuiyan *et al* 2021).

Dada las condiciones climáticas de Huapi, se estima que la producción de biogás descienda alrededor de un 50%, es decir 4,255 m3 en invierno, por lo que, la cantidad de energía disponible sería de 7,23 kWh/día.

Es importante considerar que la producción de biogás no ocurre de forma inmediata una vez que se incorporan los residuos orgánicos al biodigestor. La digestión anaeróbica requiere de un periodo de tiempo para que el sistema comience a generar gas de manera continua y eficiente.

Este proceso depende principalmente de la temperatura del medio, el tiempo de retención del material en el digestor puede extenderse hasta dos meses, mientras que en condiciones más cálidas el promedio se reduce a aproximadamente un mes (Energypedia 2024).

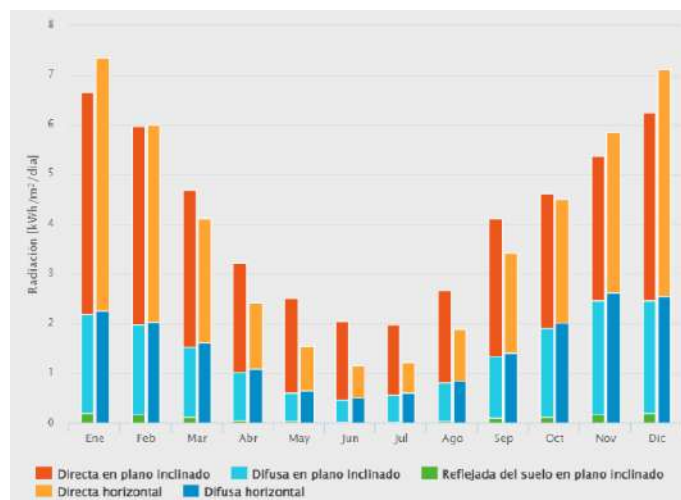
En términos generales, la digestión anaeróbica puede llevarse a cabo en un rango de temperaturas que va desde 0 °C hasta 65 °C, siendo el rendimiento óptimo en ambientes mesofílicos o termofílicos (Energypedia 2024).

Si bien los resultados presentados en este trabajo estiman un uso diario del biogás, dicha aproximación fue desarrollada con fines metodológicos y analíticos, para permitir una estimación cuantitativa del potencial energético del sistema. En la práctica, el patrón de uso deberá adaptarse a las condiciones reales de producción y almacenamiento del recurso.

## b) Energía solar

Según los datos entregados por el explorador solar del Ministerio de Energía, Chile. La radiación solar anual promedio del territorio corresponde a 3.88 kWh/m<sup>2</sup>/día.

En el siguiente gráfico (fig. 11) se puede ver la radiación solar de cada mes durante un año, siendo enero el mes con mayor radiación solar 7,35 kWh/m<sup>2</sup>/día y junio con la menor 1,15 kWh/m<sup>2</sup>/día.



**Figura 11.** Radiación anual isla Huapi (fuente: explorador solar Ministerio de Energía Chile 2024)

En el mes de enero, la radiación solar promedio alcanza los 7,35 kWh/m<sup>2</sup>/día (306,25 W/m<sup>2</sup> de potencia solar promedio durante el día).

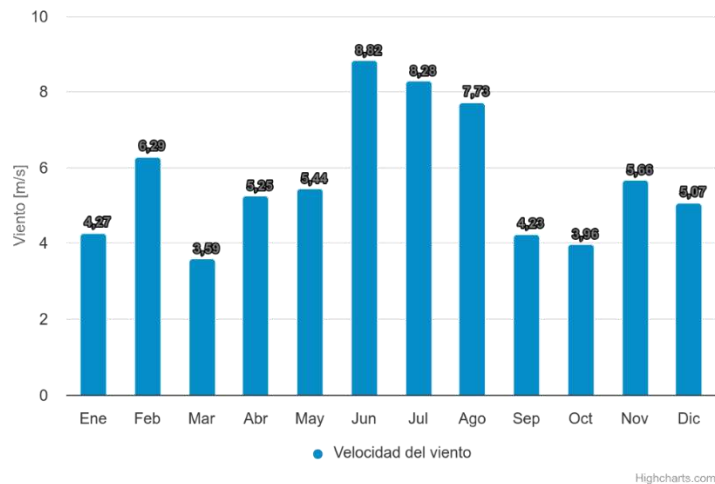
Considerando el sistema fotovoltaico instalado por parte del proyecto, es decir, con una potencia instalada de 1.800 W (1.8 kW), la energía solar teórica captada directamente es de 13.23 kWh/día, y con el factor de eficiencia al 80%, se estima una energía útil disponible de 10.58 kWh/día.

Durante el mes de junio, la radiación solar promedio diaria se reduce considerablemente a 1,15 kWh/m<sup>2</sup>/día. Bajo esta condición, el sistema fotovoltaico con potencia de 1.800 W puede generar teóricamente hasta 2,07 kWh/día, y con el factor de eficiencia al 80%, se estima una energía útil disponible de 1,66 kWh/día.

### c) Energía eólica

En cuanto al potencial eólico, el territorio presenta una velocidad promedio anual de viento de 4.7 m/s. Siendo el mes enero con menor velocidad de 4.27 m/s y el mes de junio con mayor velocidad de viento con 8.82 m/s.

En el siguiente gráfico (fig. 12) se aprecia las distintas velocidades según cada mes del año.



**Figura 12.** Velocidad del viento en isla Huapi. (Fuente: Explorador solar, Ministerio de Energía 2024).

De acuerdo con los cálculos realizados, la velocidad promedio del viento en Isla Huapi durante enero (mes representativo del verano) es de 4,27 m/s, lo que limita significativamente la potencia que puede entregar el aerogenerador Natura Energí AD2422, bajo estas condiciones, se estima que este equipo podría generar una energía diaria de 1.343 kWh/día, mientras que en junio esta cifra asciende a 1.925 kWh/día.

En contraste, al analizar la generación energética del aerogenerador EWT DW54-500, la estimación realizada a través del Explorador Eólico indica una generación diaria de 2.031 kWh/día en enero y de 4.535 kWh en junio, evidenciando una capacidad de generación ampliamente superior, adecuada para abastecer demandas de escala comunitaria, estas comparaciones se evidencian en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Energía eólica generada a partir de dos modelos de aerogeneradores, durante el mes con menor velocidad del viento (enero) y el mes con una mayor velocidad del viento (junio).

<b>Aerogenerador/Estación</b>	<b>Energía disponible en verano (enero)</b>	<b>Energía disponible en invierno (junio)</b>
<b>Natura Energí AD2422</b>	1.343 kWh/día	1.925 kWh/día.
<b>EWT DW54-500</b>	2.031 kWh/día	4.535 kWh/día

La comparación entre ambos modelos permite dimensionar la brecha existente entre soluciones individuales y comunitarias, y entregar una visión más realista sobre el potencial eólico aplicable a diferentes escalas de implementación, lo que resulta fundamental para definir estrategias de transición energética justas y adecuadas al territorio.

### **3.6 Diseño conceptual de propuesta energética renovable**

La propuesta energética desarrollada en este estudio considera activamente las prácticas culturales locales identificadas durante el trabajo de campo, reconociendo que estas configuran los modos de vida comunitarios y sus formas de relación con la energía.

Como se ha evidenciado en los objetivos previamente expuestos, la agricultura constituye la principal fuente de ingreso para las familias que habitan en la isla Huapi. Esta actividad productiva se encuentra estrechamente vinculada a las costumbres y tradiciones de la comunidad mapuche, donde tanto el cultivo de la tierra como la crianza de animales son prácticas fundamentales para el auto sustento

familiar. El uso de residuos orgánicos incorpora el potencial de valorización de residuos agrícolas y domésticos mediante biodigestores, lo cual permite aprovechar prácticas ya existentes de compostaje, manejo animal o recolección de restos vegetales, integrando estos saberes en la generación de biogás, el cual permite la obtención de energía y además la producción de subproducto fertilizante. Este residuo orgánico retorna al sistema como insumo para la producción agrícola, cerrando así un ciclo sustentable que integra saberes tradicionales y tecnologías limpias.

A ello se suma la comercialización de productos agrícolas en mercados locales y ferias costumbristas, especialmente durante la temporada estival. La propuesta contempla la ampliación del acceso energético durante temporadas de alta afluencia turística, asegurando el funcionamiento de servicios básicos (iluminación, refrigeración, conectividad) en espacios colectivos o emprendimientos turísticos familiares, promoviendo el desarrollo económico sustentable sin comprometer la autonomía energética de las familias durante el resto del año.

Las fuentes energéticas identificadas en la isla, es decir, biogás, solar y eólica, son la base para la generación energética de la Microred propuesta, la cual, será gobernada a través de la organización comunitaria mapuche, respetando los principios de autonomía, toma de decisiones colectiva y liderazgo tradicional. En este modelo, se contempla que el Lonko, como autoridad ancestral y representante político-cultural de la comunidad, tenga un rol orientador en la toma de decisiones estratégicas, velando por la coherencia del proyecto con el buen vivir.

A nivel operativo y de gestión, se sugiere continuar con el comité de energía ya presente en la comunidad, el cual asumiría el rol de coordinar el uso y la mantención del equipamiento, además de mantener vínculos con actores externos, como el municipio y servicios públicos, para fortalecer las capacidades técnicas y administrativas sin comprometer la autonomía decisional de la comunidad. Junto con ello, se contempla la realización de capacitaciones dirigidas tanto al comité como a todas las personas interesadas de la comunidad, con el objetivo de explicar el funcionamiento técnico del sistema, los desafíos operativos y las responsabilidades asociadas a su uso.

Estas instancias permitirán fortalecer la comprensión colectiva sobre el sistema energético y promover una gestión comunitaria informada. Adicionalmente, se propone implementar un plan de monitoreo técnico trimestral durante el primer año de operación, a cargo de la municipalidad o del organismo ejecutor que licite el proyecto, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema, identificar oportunamente eventuales fallas o desviaciones, y resolver dudas o inquietudes de los usuarios. Asimismo, el comité garantizará la participación de todos los sectores de la comunidad mediante asambleas periódicas para evaluar colectivamente el desempeño y sostenibilidad del sistema.



Por otra parte, la combinación de fuentes energéticas utilizadas en un sistema de microrred depende de la disponibilidad estacional de cada recurso, como también, de la demanda energética promedio.

En este sentido, no se privilegia una fuente por sobre otra, sino que se busca una integración simultánea y complementaria de todas las fuentes disponibles (solar, biomasa y eólica), permitiendo así un abastecimiento continuo y equilibrado.

Dado que la propuesta de microrred se basa en un diseño gobernado por los propios integrantes de la comunidad, se plantean dos opciones de implementación, cuya viabilidad y elección dependen directamente del nivel de organización, cohesión y decisión colectiva de la comunidad.

Los sistemas fotovoltaicos ya se encuentran instalados a nivel domiciliario, por lo que se mantendrán como soluciones energéticas individuales dentro del sistema y la energía generada que no se consume de inmediato será almacenada en un sistema de baterías, asegurando su uso en momentos de baja generación o alta demanda.

#### *Opción A: Soluciones comunitarias*

Contempla la instalación de un biodigestor comunitario, gestionado por el comité de energía local. En este modelo, cada familia aportaría insumos al sistema común según su producción de residuos agrícolas y/o derivados de la crianza de animales, estableciéndose una cuota (de residuos) de acuerdo con sus posibilidades productivas. El subproducto generado —un fertilizante orgánico— sería repartido de forma equitativa entre los aportantes y/o comercializado colectivamente en la feria costumbrista durante la temporada de verano, como una forma de generar ingresos comunitarios que refuercen la sostenibilidad del sistema.

Considerando que cada vivienda dispone de aproximadamente una hectárea de terreno, se estima que el total de residuos vegetales generados por las 276 viviendas de la isla podría alcanzar los 5.034 kg/día (ver cuadro 8).

En cuanto a los residuos animales, si bien no se dispone de información precisa sobre el número exacto de viviendas que practican la crianza de animales, se toma como referencia la estimación entregada por INDAP, según la cual existen alrededor de 800 cabezas de ganado bovino y ovino en la isla (INDAP, 2016). Estas generarían un total aproximado de 20.800 kg/día de residuos orgánicos de origen animal.

**Cuadro 8.** Estimación de residuos orgánicos vegetales y animales con respecto a los residuos estimados para una vivienda en isla huapi.

Residuos orgánicos	Individuales	Comunitarios	Totales
Vegetal	18,24 kg/día	276 viviendas	5.034 kg/día
Bovino	50 kg/día	400	20.000 kg/día
Ovino	2 kg/día	400	800 kg/día

Los residuos de origen animal corresponden a 20.800 kg/día en toda la isla, sin embargo, aproximadamente el 30% será realmente utilizado para la generación de biogás, es decir 6.240 kg/día.

La suma de los residuos orgánicos comunitarios, serian aproximadamente 11.274 kg/día. Aplicando los factores de conversión correspondientes para estimar el potencial energético de estos residuos, se proyecta un total de kWh/día en verano y 574,97 kWh/día en invierno, como se evidencia en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Energía eléctrica de la biomasa generado por los factores de conversión para los residuos orgánicos comunitarios.

Residuos comunitarios totales	Factor de conversión m <sup>3</sup>	Factor de conversión kWh/m <sup>3</sup>	kWh total (verano)	kWh total (invierno)
11.274 kg/día	0,06 m <sup>3</sup> /kg	1,7 kWh/m <sup>3</sup>	1.149,9 kWh/día	574,97 kWh/día

En conjunto con esta solución comunitaria, se contempla también la integración de un aerogenerador modelo tipo EWT DW54-500, cuya potencia instalada permitirá complementar la generación energética y cubrir de manera eficiente las demandas eléctricas de la comunidad.

La estimación del potencial energético disponible por fuente y por estación del año es fundamental para comprender la dinámica de generación en una microrred híbrida.

Como se observa en la siguiente figura (fig. 14), es posible visualizar el comportamiento comparado de las fuentes solares, eólicas y de biomasa durante verano e invierno, lo que facilita la evaluación de su contribución relativa al sistema propuesto. A su vez, el cuadro 10 presenta la oferta energética diaria estimada (kWh/día) para cada fuente en ambas estaciones del año, correspondiente a la Opción A (soluciones comunitarias).

**Cuadro 10.** Oferta energética diaria (kWh/día) de tres fuentes de energía renovable —solar, eólica y biomasa— diferenciada según el mes representativo de la estación del año, verano (enero) e invierno (junio), de la Opción A, Soluciones Comunitarias.

<b>Oferta / Estación</b>	<b>Verano</b>	<b>Invierno</b>
<b>Solar</b>	10,58 kWh/día	1,66 kWh/día.
<b>Eólica</b>	2.031 kWh/día	4.535 kWh/día
<b>Biomasa</b>	1.149,9 kWh/día	574,97 kWh/día
<b>Total</b>	3.191,48 kWh/día	5.111,63 kWh/día

La combinación de las tres fuentes de energía —solar, eólica y biomasa— permite cubrir la demanda energética promedio por hogar. Según los datos obtenidos a través de la herramienta aplicada en terreno durante el trabajo de campo, se estimó que la demanda diaria promedio de las familias de Isla Huapi corresponde a 1,92 kWh/día por vivienda.

Si bien los resultados de estas estimaciones pueden estar subrepresentados debido a que algunas personas no cuentan con electrodomésticos en sus hogares por la falta de soluciones fotovoltaicas, se eliminó del cálculo los dos hogares que no cuentan con energía eléctrica continuo (las soluciones fotovoltaicas), estimándose en total un promedio por hogar de 2,397 kWh por día.

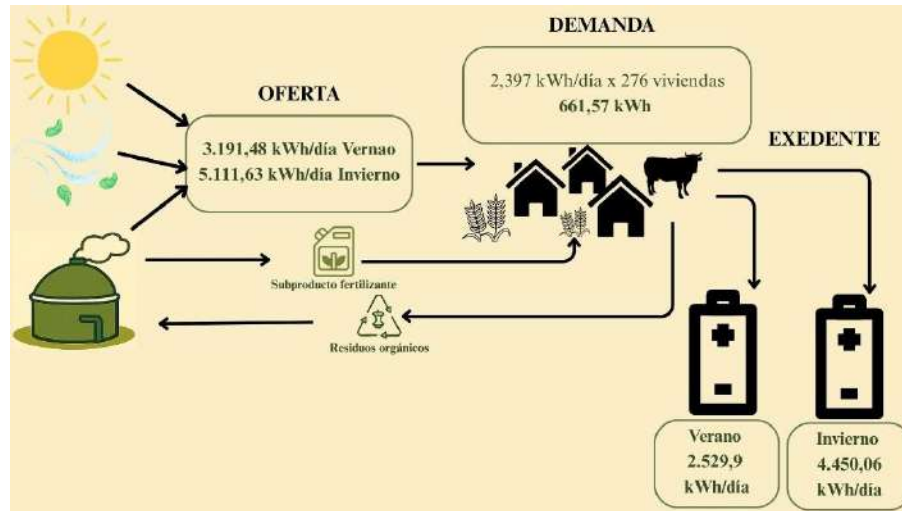
Si bien la demanda energética de los hogares varía según la estación del año —por ejemplo, en invierno aumenta el uso de iluminación, mientras que, en verano, debido a la disponibilidad de energía solar, se intensifica el uso de bombas de agua—, los resultados de demanda obtenidos en este estudio no presentan diferencias entre estaciones.

Esto se debe a que la herramienta aplicada en terreno no contempló una distinción explícita entre invierno y verano, sino que se basó en una estimación general del uso horario de los artefactos eléctricos. Por lo tanto, los datos representan un promedio referencial, útil como aproximación para el dimensionamiento energético del sistema propuesto.

En la siguiente figura se representa el funcionamiento general del sistema energético propuesto, basado en la combinación de tres fuentes renovables: solar, eólica y biomasa. Se observa que la oferta energética diaria estimada alcanza 3.191,48 kWh/día en verano y 5.111,63 kWh/día en invierno, las cuales se destinan a cubrir la demanda energética total de 276 viviendas, equivalente a 661,57 kWh/día (basado en un consumo promedio de 2,397 kWh por vivienda).

La diferencia entre la oferta y la demanda genera un excedente energético considerable, que se estima en 2.529,9 kWh/día durante el verano y 4.450,06 kWh/día en invierno, el cual puede ser almacenado para asegurar la continuidad del suministro o destinado a otros usos comunitarios.

Además, el sistema incorpora el uso de residuos orgánicos generados por la agricultura y animales de la comunidad (casas), los cuales son transformados mediante un biodigestor que, además de energía, produce un subproducto fertilizante, fortaleciendo el enfoque circular del modelo energético.



**Figura 14.** Esquema del sistema energético propuesto, que integra la generación de energía renovable como oferta energética, la demanda por todas las viviendas y el almacenamiento de energía con sus respectivos excedentes según estación del año para la Opción A (Soluciones comunitarias). Elaboración propia.

Opción B: Soluciones individuales.

Cada hogar cuenta con su propio biodigestor individual, lo que permitiría una mayor autonomía energética familiar, vinculada directamente al esfuerzo productivo de cada unidad doméstica. En este esquema, cada familia sería responsable tanto del mantenimiento del sistema como de la gestión de sus residuos, estableciendo un modelo descentralizado que promueve la autosuficiencia.

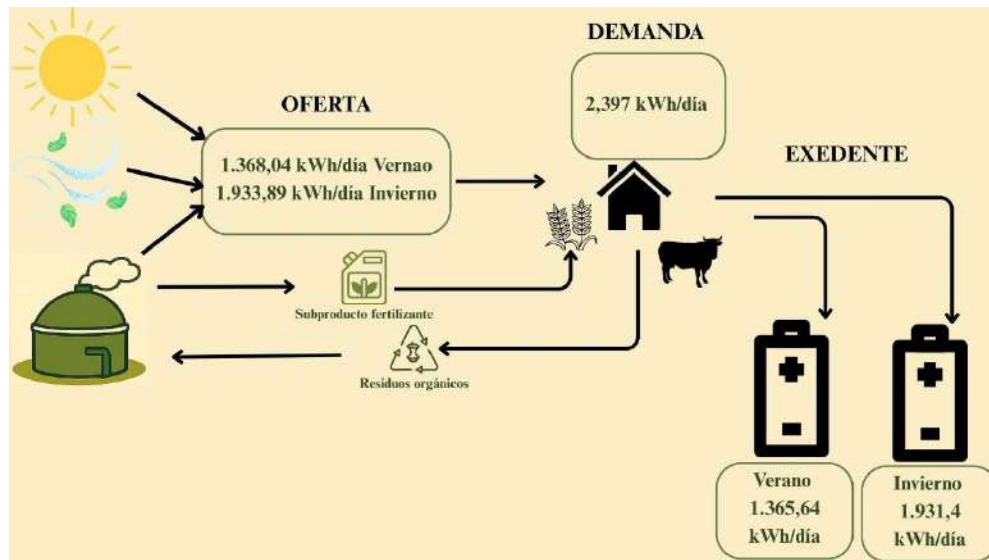
Así mismo, se implementará un aerogenerador de modelo en base al Natura Energí AD2422 con el fin de cubrir la demanda energética por hogar.

En el cuadro 11 se evidencia la oferta diaria de cada fuente de energía según la opción B.

**Cuadro 11.** Oferta energética diaria (kWh/día) de tres fuentes de energía renovable —solar, eólica y biomasa— diferenciada según el mes representativo de la estación del año, verano (enero) e invierno (junio), de la Opción B, Soluciones individuales.

Oferta / Estación	Verano	Invierno
<b>Solar</b>	10,58 kWh/día	1,66 kWh/día.
<b>Eólica</b>	1.343 kWh/día	1.925 kWh/día.
<b>Biomasa</b>	14,46 kWh/día	7,23 kWh/día.
<b>Total</b>	1.368,04 kWh/día	1.933,89 kWh/día

La oferta energética disponible para ambas estaciones del año permite cubrir la demanda eléctrica de una vivienda en particular, dado que tanto el biodigestor como el aerogenerador están diseñados para un uso individual, tal como se mencionó anteriormente. En la siguiente figura (fig. 15) se representa la relación entre la demanda energética diaria de una vivienda y los excedentes generados durante el verano e invierno. Esta visualización permite comprender la suficiencia y la variabilidad estacional del sistema propuesto a escala domiciliaria.



**Figura 15.** Esquema del sistema energético propuesto, que integra la generación de energía renovable como oferta energética, la demanda por una vivienda y el almacenamiento de energía con sus

respectivos excedentes según estación del año para la Opción B (Soluciones individuales). Elaboración propia.

En ambos casos analizados (Opción A y Opción B), el excedente energético resultante es considerable, lo que permite concluir que una parte de los residuos orgánicos de origen vegetal podría seguir siendo utilizada como alimento para el ganado sin comprometer el funcionamiento del sistema. Aun así, se generaría un excedente de energía suficiente para cubrir con la demanda energética de los centros comunitarios de Huapi, los cuales se incluyen cuatro iglesias, una escuela rural y una posta presentes en toda la isla, además de, ser almacenado y utilizado posteriormente en períodos de mayor demanda o baja generación.

Es importante señalar que esta etapa del proyecto no contempla un análisis de costos económicos, ya que su propósito es presentar una propuesta piloto basada en las necesidades energéticas de los habitantes y en los recursos disponibles en el territorio.

#### *Sistema de almacenamiento energético.*

Los sistemas de almacenamiento de energía ayudan a superar los obstáculos relacionados con la generación de energía a partir de fuentes renovables que varían en su disponibilidad y en escalas de tiempo, como la fuente solar y la eólica. Estos sistemas son capaces de acumular energía en momentos de alta producción y liberarla cuando la demanda es alta o la generación es baja, garantizando un suministro energético constante y seguro, reduciendo así la necesidad de consumir fuentes de energía no renovables de respaldo (Repsol 2024).

En este contexto, en los últimos años la Comisión Nacional de Energía (CNE) (2024), en su rol de permanente monitoreo y análisis de los mercados energéticos, ha colaborado con las políticas públicas del Ministerio de Energía en lo que respecta al desarrollo de un marco regulatorio que incentive la instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía.

Un estudio de Darbrari (2024) evalúa las alternativas actuales disponibles de sistemas de almacenamiento, entre estas, se destacan las baterías de litio-ferrofosfato ( $\text{LiFePO}_4$ ) como una de las opciones más eficientes, seguras y estables, superando significativamente a otras tecnologías tradicionales.

Las baterías  $\text{LiFePO}_4$  (litio ferrofosfato) presentan una eficiencia de ciclo completo (round-trip efficiency) que puede alcanzar hasta un 98 %, y una eficiencia de carga/descarga superior al 90 %,

presentan, además, una retención de capacidad estable y una alta estabilidad térmica, lo que permite gestionar descargas exigentes sin pérdida sustantiva de rendimiento (Darbari 2024).

Otra ventaja relevante es su larga vida útil, que puede superar los 2.000 ciclos de carga-descarga aún bajo condiciones de descarga profunda (80–90 % DoD), sin que ello implique una degradación significativa (Dabari 2024).

En contraste, las baterías de plomo-ácido (las cuales son utilizadas hoy en día para almacenar la energía de los sistemas fotovoltaicos instalados en el año 2017) operan con una eficiencia significativamente menor, con valores de ida y vuelta por debajo del 65 %, y una eficiencia de carga/descarga que oscila entre 70 y 80 % (Darbari 2024).

Este sistema presenta limitaciones importantes, ya que su eficiencia global es más baja, el proceso de carga es más lento, y su tolerancia a descargas profundas es limitada. Además, su mayor resistencia interna provoca una mayor caída de tensión durante el uso, generando más calor y reduciendo su eficiencia operativa (Darbari 2024).

En base a las características comparativas de las tecnologías de almacenamiento evaluadas, se recomienda la implementación de baterías de litio-ferrofosfato ( $\text{LiFePO}_4$ ) como componente clave del sistema de almacenamiento de la microrred.

Tanto su bajo requerimiento de mantenimiento y como su buen desempeño frente a condiciones de carga variables las convierten en una opción robusta y sostenible para garantizar la autonomía energética pertinente para contextos rurales aislados como Isla Huapi.

### *Potenciales riesgos y desafíos de implementación de la Microrred*

Sin perjuicio de los beneficios técnicos asociados a una microrred híbrida (solar, eólica y biogás), existen diversos desafíos que deben ser considerados en su diseño e implementación, especialmente en contextos rurales y aislados como Isla Huapi.

En primer lugar, las condiciones climáticas adversas durante el invierno, como bajas temperaturas, alta humedad y limitada radiación solar, afectan directamente la eficiencia energética tanto de los sistemas fotovoltaicos como de los biodigestores.

En zonas rurales frías, los usuarios de tecnologías de biogás suelen carecer de los medios técnicos necesarios para mantener condiciones térmicas óptimas que aseguren una producción estable, en donde, el rendimiento de los biodigestores domésticos se ve comprometido (Pilloni y Abu-Hamed 2021).

Para mitigar este problema, se han desarrollado soluciones de diseño como el aislamiento térmico del digestor o la integración con tecnologías de calefacción complementarias, tales como calentadores solares de agua, sin embargo, estas estrategias pueden representar un desafío económico y logístico para las comunidades rurales (Pilloni y Abu-Hamed 2021).

Por otro lado, la disminución de la irradiancia solar durante los meses de invierno reduce significativamente el potencial de generación fotovoltaica, afectando directamente la continuidad del suministro eléctrico. Tal como se evidencia en los resultados de este estudio, durante la temporada invernal la radiación solar disminuye aproximadamente un 84,35 % respecto al valor máximo de verano, presentando limitaciones técnicas para cubrir de forma autónoma la demanda energética a partir de esta fuente.

En este escenario, durante los meses más fríos, la comunidad dependerá más intensamente de la energía eólica y de los sistemas de almacenamiento eléctrico, como las baterías, que aseguran una capacidad adecuada de almacenamiento energético permitiendo mantener la autonomía eléctrica durante varios días consecutivos con baja generación.

Asimismo, el sistema debe incorporar componentes que aumenten su resiliencia, tales como monitoreo en tiempo real y una gobernanza comunitaria activa que permita responder con flexibilidad a eventos climáticos extremos o prolongados.

En segundo lugar, la instalación de una turbina eólica trae consigo externalidades negativas hacia el ecosistema. Entre los impactos ambientales se encuentra el tránsito de aves migratorias y residentes, siendo especialmente vulnerables aquellas especies que vuelan durante la noche, ya que tienen mayores dificultades para detectar las estructuras, provocando colisión (Martínez 2015).

También se deben considerar los efectos sobre el paisaje, particularmente por el impacto visual, así como las afectaciones por ruido, el cual proviene del funcionamiento de las turbinas eólicas y del generador eléctrico. Sin embargo, hay que destacar que estos efectos dependen del tamaño del sistema (Martínez 2015).

Por último, la sostenibilidad operativa del sistema microrred, que dependerá fuertemente de factores sociales y organizativos, además del soporte técnico.

Persisten desafíos vinculados a la falta de habilidades técnicas, capacitación y concientización en torno al uso y mantención de estas tecnologías, como el biodigestor.

Aunque se propone continuar con la estructura del comité de energía ya existente en la isla, será necesario asegurar que todos los participantes comprendan su rol dentro del sistema, estén de acuerdo

con las normas de uso y mantengan un compromiso sostenido en la entrega de materia orgánica, insumo clave para el funcionamiento del biodigestor.

Según mencionan Pilloni y Abu-Hamed (2021), la falta de formación técnica especializada es un factor crítico que puede afectar negativamente tanto la operación como la durabilidad de la instalación del biodigestor. En diversos casos internacionales, si bien se han otorgado apoyos financieros para la implementación de sistemas de biogás, estos no han sido acompañados de programas de capacitación ni protocolos de seguridad adecuados, lo que ha derivado en instalaciones mal operadas o abandonadas por fallas atribuibles a desconocimiento técnico.

Un ejemplo concreto es la falta de conocimiento sobre la relación entre el tamaño del biodigestor y el volumen de residuos orgánicos disponibles, lo que puede generar una baja producción de biogás, emisiones de olores, eutrofización de cuerpos de agua superficiales y posible contaminación de napas subterráneas (Pilloni y Abu-Hamed 2021).

Por lo tanto, para que el sistema propuesto opere de manera eficiente y sostenible, será necesaria una implementación cuidadosamente planificada, que contemple instancias de capacitación continua, soporte técnico permanente, mecanismos de seguimiento operativo y una gobernanza comunitaria fortalecida. Aspectos como una construcción adecuada del sistema, su mantenimiento periódico, el monitoreo constante del suministro de materia orgánica y el rol activo del comité local serán fundamentales para enfrentar los desafíos identificados y garantizar la viabilidad y autonomía energética de la microrred en el largo plazo.

#### **4. DISCUSIÓN**

Los resultados del estudio integran una metodología mixta que combina el análisis cualitativo con el cuantitativo, lo que permite una comprensión integral del contexto energético local. A través del enfoque cualitativo, se incorpora la perspectiva de los actores comunitarios, identificando sus intereses en torno a las energías limpias, sus proyecciones respecto al uso futuro de estas tecnologías y sus principales preocupaciones asociadas a la implementación de sistemas energéticos.

Por otro lado, el análisis cuantitativo permite estimar el potencial energético del territorio a partir de fuentes locales, visibilizando beneficios técnicos como la reducción de la dependencia externa y el avance hacia una mayor autonomía energética. Esta integración metodológica enriquece la propuesta y orienta su viabilidad tanto desde el punto de vista técnico como social.

Sin embargo, uno de los principales desafíos del análisis cuantitativo es la estimación de la oferta energética territorial, ya que se basa en datos teóricos y no en mediciones empíricas directas. Esta condición, si bien propia de estudios exploratorios en contextos rurales, limita la posibilidad de realizar análisis más robustos y comparables.

En particular, la energía eólica presentó resultados diferenciados según el tipo de aerogenerador considerado, lo que evidencia cómo la tecnología específica seleccionada incide significativamente en la proyección del potencial energético. Esta variabilidad dificulta la estandarización del análisis y resalta la necesidad de contar con mediciones locales para validar las estimaciones y fortalecer el diseño técnico de las soluciones propuestas.

Asimismo, los resultados obtenidos en terreno muestran percepciones contradictorias como "*poco viento*" y "*mucho viento*", lo cual evidencia la dificultad para determinar la viabilidad del territorio heterogéneo para la instalación de turbinas. Por ello, se propone instalar al menos dos estaciones meteorológicas en puntos estratégicos de la isla (colina arriba y colina abajo) para monitorear con mayor precisión la velocidad del viento y obtener estudios técnicos más específicos. Esta estrategia permitiría mejorar la gestión de recursos energéticos y definir zonas óptimas para la implementación de turbinas eólicas.

Además de su uso energético, las estaciones meteorológicas beneficiarían a Huapi en la planificación agrícola y la gestión del agua, optimizando los ciclos de siembra y cosecha, así como el uso del agua para riego. También podrían fomentar la educación ambiental y fortalecer la toma de decisiones basadas en evidencia para futuras iniciativas en el territorio.

Uno de los factores del por qué el proyecto fotovoltaico del año 2017 descartó la implementación de turbinas eólicas en Huapi es por motivos técnico-económicos. Esta solución se viabilizaba si el precio del diésel puesto en Huapi supera los \$1.000 por litro; para el año de evaluación del proyecto (2012), los precios en la región eran de \$450.

Sin embargo, en el contexto actual, marcado por el aumento sostenido de los precios de la electricidad y los combustibles fósiles tras la pandemia y eventos geopolíticos, el precio promedio del diésel en la Región de Los Ríos superó los \$1.400 pesos (Lira 2025), lo que permite una reevaluación para considerar la instalación de turbinas eólicas en un proyecto futuro. Un precio de \$1.000 por litro establece un umbral en el cual la energía eólica podría convertirse en una opción económicamente competitiva.

En relación con la generación de energía a partir de residuos orgánicos, los resultados muestran que una parte significativa de la comunidad se dedica a la agricultura y la crianza de animales. Como

parte de sus prácticas tradicionales, los residuos orgánicos son reutilizados como abono natural o como alimento para el ganado. En este contexto, su valorización a través de procesos como el compostaje o el uso de biodigestores representa una alternativa viable para complementar la matriz energética local.

El potencial estimado bajo las dos modalidades propuestas —biodigestores comunitarios e individuales— permite proyectar avances hacia una mayor autosuficiencia energética, reduciendo la dependencia de generadores a bencina.

A su vez, esta tecnología puede contribuir a la mitigación del cambio climático, dado que los gases de efecto invernadero (GEI), como el metano, son emitidos en gran parte por los rumiantes a través de procesos fermentativos (Ministerio del Medio Ambiente, s/f). En esta línea, un estudio realizado en Nepal señala que cada planta de biogás doméstica permite reducir aproximadamente 7,4 toneladas métricas de GEI por año (Adhikari y Adhikari 2021).

Asimismo, el uso de biodigestores reduce el empleo de fertilizantes químicos, el subproducto generado es un fertilizante orgánico rico en nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de reemplazar los agroquímicos tradicionales, con cualidades que permite conservar el uso del agua para riego (FAO 2021).

Este beneficio contribuye a fortalecer la sostenibilidad del sistema propuesto, promueve el avance económico de la familia local, otorgando un valor agregado a los productos de los cultivos que se comercializan en la feria costumbrista de Huapi, y también se proyecta como una posible fuente de ingreso adicional mediante la venta del fertilizante orgánico.

La implementación de biodigestores estaría en concordancia con algunas políticas públicas, como lo es, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO), lanzada en 2021, que plantea valorizar al menos un 66 % de estos residuos al año 2040, promoviendo tecnologías como la digestión anaerobia (Ministerio del Medio Ambiente 2021). Estas tecnologías se alinean con los principios de la economía circular y ofrecen beneficios ambientales, sociales y económicos. Sin embargo, para que este tipo de soluciones se mantengan en el tiempo, es clave que su implementación sea participativa y territorialmente gobernada.

En cuanto a la propuesta energética planteada (opción comunitaria e individual), basada en la combinación de energía solar, eólica y biomasa, se configura como una solución integral y adecuada para contextos rurales y aislados como el de Isla Huapi. Esta articulación permite aprovechar la complementariedad de las fuentes, equilibrando sus fortalezas y limitaciones a lo largo del año.

Cada fuente presenta desafíos particulares, como se menciona a lo largo del estudio, en donde, la implementación del aerogenerador de uso domiciliario o comunitario podría generar externalidades

negativas. Si bien se contemplan dos escenarios con distintos modelos de aerogeneradores, se propone el uso del aerogenerador Natura Energí AD2422 para satisfacer las demandas de la comunidad.

Esta opción se justifica porque, a pesar de su menor tamaño en comparación con otras alternativas, el equipo seleccionado cuenta con suficiente potencia para abastecer a más de una vivienda, lo que lo convierte en una solución técnicamente viable y adaptable a las necesidades locales.

Además, al ser una alternativa de menor escala frente a los parques eólicos industriales, esta elección reduce considerablemente el impacto ambiental asociado, ya que se trata de una unidad aislada, de menor altura y potencia, con efectos acotados sobre el paisaje y el entorno. No obstante, aún es necesario evaluar posibles impactos en la avifauna local, así como el nivel de ruido generado por el equipo.

En cuanto a la energía solar, si bien es valorada positivamente por la comunidad —según los resultados del análisis cualitativo—, presenta una limitación importante en los meses de invierno, cuando la radiación solar disminuye de forma considerable, afectando la continuidad del suministro energético.

Por otro lado, la energía proveniente de residuos orgánicos requiere de una gestión comunitaria activa, tanto en su mantención como en el manejo constante de los residuos. A diferencia de las otras fuentes, no genera energía de forma inmediata, sino que depende del funcionamiento sostenido del sistema.

Pese a estas limitaciones, el conjunto de estas tres fuentes permite establecer una base sólida para la autonomía energética de la isla, favoreciendo una transición sostenible, adaptada al territorio y culturalmente pertinente. Apuntando a diversificar la matriz energética local y a fortalecer los vínculos comunitarios en torno al cuidado, uso y mantención de los recursos energéticos.

La apropiación local de estas tecnologías y su adaptación a las realidades culturales y sociales de cada comunidad es fundamental. Así lo plantea la Agenda de Energía 2025, que destaca la importancia de una planificación energética regional participativa, donde los intereses y visiones territoriales se reflejen en las decisiones políticas y técnicas (Alvial-Palavicino y Bunster 2021). Esto implica la necesidad de nuevos instrumentos de gobernanza a escala regional y municipal, capaces de articular planes energéticos coherentes con los modos de vida locales (Palavicino y Opazo-Bunster 2021).

Es necesario considerar las aspiraciones y prácticas de los habitantes al diseñar soluciones energéticas, promoviendo una gobernanza territorial sólida. Un enfoque de auto sustento energético permitiría que, incluso ante un aumento poblacional, la comunidad pueda abastecerse a partir de sus propios residuos. La participación directa en la generación energética fortalece el vínculo entre producción y cultura, promoviendo soluciones coherentes con los modos de vida locales.

Como señalan Hernando-Arrese y Blanco (2016), la planificación de energías renovables puede fortalecer la participación comunitaria y el empoderamiento local, al ajustar las iniciativas a las necesidades reales de la población. Más que una solución técnica, los proyectos energéticos pueden convertirse en herramientas clave para fortalecer la equidad territorial y mejorar la calidad de vida.

La energía desde una perspectiva territorial implica reconocer que existen caminos posibles que deben construirse desde los saberes, recursos y aspiraciones locales, apostar por sistemas descentralizados y participativos responde a una necesidad técnica y oportunidades de avanzar hacia formas más justas de habitar y producir energía. Por lo tanto, más que cerrar un proceso, lo que se plantea es abrir nuevas posibilidades para seguir profundizando en modelos energéticos que dialoguen con los territorios y con las vidas que ahí se sostienen.

## **5. CONCLUSIÓN**

En el presente estudio se proporciona un análisis sociocultural y territorial integrado para el diseño conceptual de una red energética renovable para la comunidad de isla Huapi.

Los hallazgos subrayan que las propuestas energéticas eficaces para zonas rurales aisladas deben integrar de forma coherente las variables técnicas con las prácticas socioculturales de la comunidad y los recursos disponibles localmente para garantizar soluciones sostenibles y equitativas.

En concreto, el estudio logró los objetivos propuestos mediante la caracterización de las prácticas socioculturales vinculadas al consumo energético en la comunidad de Huapi, en donde se identificaron que las principales prácticas socioculturales de la comunidad giran en torno a la agricultura y la ganadería, las cuales son fundamentales para el autoabastecimiento y también contribuyen a las actividades comerciales, especialmente durante la temporada turística de verano.

En donde, la reutilización tradicional de los residuos orgánicos de estas actividades como fertilizante natural o alimento para animales destaca una práctica circular que puede integrarse en las soluciones energéticas.

Se identificaron las diversas fuentes de energía disponibles en el territorio, evaluando el potencial de tres fuentes de energía renovables locales clave.

La biomasa, derivada de residuos orgánicos de origen vegetal y animal, estimando un mínimo de 18,24 kg/día de residuos orgánicos de una hectárea de cultivo y 123,6 kg/día de estiércol animal, los cuales son utilizables eficazmente para la biodigestión, proyectando un potencial diario de 14,46 kWh/día por hogar a partir de esta fuente.

La energía solar, en el territorio se recibe una radiación solar promedio anual de 3,88 kWh/m<sup>2</sup>/día, con un pico de 7,35 kWh/m<sup>2</sup>/día en enero (verano) y bajando a 1,15 kWh/m<sup>2</sup>/día en junio (invierno), generando teóricamente 10,58 kWh/día en verano, y 1,66 kWh/día en invierno.

Y, por último, la identificación de la energía eólica, que se expresa con la velocidad del viento presente en el territorio, con una velocidad media anual de 4,7 m/s.

Los cálculos muestran que un aerogenerador Natura Energí AD2422 más pequeño podría generar 1.343 kWh/día en enero y 1.925 kWh/día en junio. Para las necesidades a escala comunitaria, un modelo EWT DW54-500 más grande podría producir significativamente mayor potencia, con 2.031 kWh/día en enero y 4.535 kWh/día en junio.

Asimismo, se proponen dos opciones de implementación del sistema de energía renovable híbrida para garantizar un suministro de energía continuo y equilibrado durante todo el año, el cual dependerá de la decisión comunitaria, debido que esta propuesta enfatiza un modelo de gobernanza territorial, alineado con la organización comunitaria mapuche.

Para un trabajo futuro, se recomienda implementar un mapeo participativo que permita levantar información espacialmente situada sobre el uso del territorio y las dinámicas sociales.

Esta herramienta facilitaría una comprensión más profunda del contexto natural y social, permitiendo una mayor integración entre las necesidades de la comunidad y las soluciones propuestas.

Su aplicación podría realizarse en periodos alejados de las labores agrícolas prioritarias o mediante metodologías más flexibles que se adapten a los tiempos y ritmos cotidianos de los habitantes.

Asimismo, se sugiere avanzar hacia una estimación más precisa de la oferta energética mediante el levantamiento de datos directos y prácticos sobre la producción de la biomasa y la generación de energía eólica, lo que permitiría mejorar la pertinencia y eficiencia de futuras propuestas de energía.

En definitiva, el estudio proporciona un marco conceptual sólido para una transición energética sostenible y culturalmente pertinente en Isla Huapi. Al integrar los recursos locales, las prácticas tradicionales y la gobernanza comunitaria, ofrece una vía para reducir la pobreza energética y fomentar la autonomía territorial, transformando la comprensión de la energía a un elemento fundamental para el bienestar y el desarrollo colectivo en contextos rurales aislados.

## 6. REFERENCIAS

- Abt-bussines group. s/f. Climate, Environment & Energy. Consultado 27 mayo. 2024. Disponible en: <https://www.abtassociates.com/what-we-do/focus-areas/climate-environment-energy>
- Adhikari N, R Adhikari. 2021. Analysis of biogas production potential based on livestock dung availability: A case of household biogas plants in Nepal. *Biofuels* 12(8): 983–991. <https://doi.org/10.1080/17597269.2021.1899363>
- AGROMET. 2024. Red Agroclimática Nacional, Ministerio de Agricultura. Consultado 27 may. 2024. Disponible en: <https://www.agromet.cl/>.
- Alvial-Palavicino C, X Bunster. 2021. Intermediarios técnicos y energías renovables. In Ariztía T., S. Ureta (eds.). *La vida social de la energía: Políticas, fricciones y futuros de las transiciones sustentables*. p. 101.
- Arellano L, Cruz M, Huerta C. 2014. El estiércol, materia de desecho, de provecho y algo más. *Instituto de Ecología, A.C.*México. p. 40.
- Arshad M, A Ansari, R Qadir, M Tahir, A Nadeem, T Mehmood, H Alhumade, N Khan. 2022. Green electricity generation from biogas of cattle manure: An assessment of potential and feasibility in Pakistan. *Frontiers in Energy Research* 10:911485.
- Bhuiyan S, C Saha, R Nandi, M Uz Zaman, M Alam, S Sarker. 2021. Effects of seasonal temperature variation on slurry temperature and biogas composition of a commercial fixed dome anaerobic digester used in Bangladesh. *Sustainability* 13(19):11096. DOI: 10.3390/su131911096.
- Blanco G. 2019. La vida social de la energía. *sociologías*. Chile. p. 160–185.
- Bouzarovski S, S Petrova. 2015. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the

energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science* 10:31–40.

Center for Climate and Resilience Research (CR2). 2024. Explorador climático. Consultado 29 may. 2024. Disponible en: <https://explorador.cr2.cl/>.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 2023. Visor de mapas CIREN–ESRI: Información agroclimática y de uso del suelo en Chile. Consultado 22 jun. 2025. Disponible en: <https://esriciren.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=eac58528893041b89552bc2222366de0>.

CNE (Comisión Nacional de Energía). 2024. Reglamento ciudadano de generación y almacenamiento de energía. Consultado 16 jun. 2025. Disponible en: [https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/08/RCiudadano\\_v202408.pdf](https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/08/RCiudadano_v202408.pdf).

Darbari A. 2024. Batteries as an integral part of Microgrids: Can LiFePO<sub>4</sub> batteries be an efficient solution in the future? *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences* 12:524–534.

Departamento SECPLAN. s/f. Bases técnicas, “Construcción Sistema Fotovoltaico Domiciliario Isla Huapi, Futrono”. Ilustre Municipalidad de Futrono.

Energypedia. 2024. Anaerobic Digestion – Biogas Production Process. Consultado 24 jun. 2025. Disponible en: [https://energypedia.info/wiki/Anaerobic\\_Digestion\\_-\\_Biogas\\_Production\\_Process](https://energypedia.info/wiki/Anaerobic_Digestion_-_Biogas_Production_Process).

Explorador Solar (2024). *Potencial solar de Chile: Datos y proyecciones*. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. Consultado 26 may 2024. Disponible en: <https://energia.gob.cl/explorador-solar>.

FAO. 2021. *Aplicaciones de la tecnología de biogás de pequeño tamaño para zonas rurales en el contexto de los países en desarrollo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Consultado 23 jun. 2025. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/355924390\\_Small-Size\\_Biogas\\_Technology\\_Applications\\_for\\_Rural\\_Areas\\_in\\_the\\_Context\\_of\\_Developing\\_Countries](https://www.researchgate.net/publication/355924390_Small-Size_Biogas_Technology_Applications_for_Rural_Areas_in_the_Context_of_Developing_Countries).

Fernández K, L Lezcano, A González. 2023. Medición de la pobreza energética con enfoque multidimensional: revisión sistemática de la literatura. *Revista INVI* 38(109):172–208.

Gharehpetian G, H Reza, M Shabestary. 2021. *Microgrids and Methods of Analysis*. Academic Press. p. 1–6.

Hernando-Arrese M, G Blanco. 2016. Territorio y energías renovables no convencionales: Aprendizajes para la construcción de política pública a partir del caso de Rukatayo Alto, Región de Los Ríos, Chile. *Gestión y Política Pública* 25(1):165–202.

Hidaka T, S Arai, S Okamoto, T Uchida. 2013. Anaerobic co-digestion of sewage sludge with shredded grass from public green spaces. *Bioresource Technology* 130:667–672.

INDAP. 2016. Isla Huapi cumple un sueño: inaugura su primera red de riego. Consultado jun. 2025.

Disponible en:

<https://www.indap.gob.cl/noticias/isla-huapi-cumple-un-sueno-inaugura-su-primera-red-de-riego-impulsada-por-indap>.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017. Resultados Censo 2017–Manzanas y Entidades.

Consultado 10 oct. 2024. Disponible en: <https://ine-chile.maps.arcgis.com/>.

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2017. Diagnóstico del manejo de residuos agrícolas orgánicos en el Valle de Azapa. In Barrera C., C. Cordero (eds.). *Manual de buenas prácticas en el manejo de residuos agrícolas orgánicos*. INIA. p. 15–26.

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2022. Técnicas para el manejo de residuos de

cosecha. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8304/>.

Köppen W. 1900. Clasificación climática en relación con las distribuciones vegetales. Consultado 28 may. 2024. Disponible en: <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>.

Krenz L, S Grebenteuch, K Zocher, S Rohn, D Pleissner. 2023. Valorization of faba bean (*Vicia faba*) by-products. *Biomass Conversion and Biorefinery* 14:26663–26680.

Lira G. 2025. Precio de la bencina: el valor de los combustibles en Chile 2025. Blog Autofact. Consultado 20 may. 2025. Disponible en: <https://www.autofact.cl/blog/noticias/autofact/precio-bencina>.

Manwell J, J McGowan, A Rogers. 2009. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Mata-Alvarez J, M Dosta, M Romero-Güiza, X Fonoll, S Peces, S Astals. 2014. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 36:412–427.

Martínez G. 2015. Energía eólica: una alternativa energética con bajo impacto ambiental. *Kuxulkab'* 19(38):62–71. Disponible en: <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/2851/2522>.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Chile. 2022. Estudio evaluación Ex Post de mediano plazo a proyectos de suministro eléctrico por sistemas de autogeneración. Subsecretaría de Evaluación Social.

Ministerio de Desarrollo Social. 2018. Estudio de prefactibilidad para la creación de un Área de Desarrollo Indígena (ADI) en Isla Huapi. Ministerio de Desarrollo Social, Santiago, Chile. 78 p.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Chile. s/f. Registro Social de Hogares. Consultado 29 nov. 2024. Disponible en: <https://registrosocial.gob.cl/>.

- Ministerio de Energía, Chile. 2016. Evaluación y formulación del proyecto de electrificación. Isla Huapi.
- Ministerio de Energía, Chile. 2019. Mapa de Vulnerabilidad Energética. División de Acceso y Desarrollo Social. Consultado 15 nov. 2024. Disponible en: <https://energia.gob.cl/>.
- Ministerio de Energía, Chile. 2024. Explorador solar. Gobierno de Chile. Consultado 20 nov. 2024. Disponible en: <https://solar.minenergia.cl/exploracion>.
- Ministerio del Medio Ambiente, Chile. 2021. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos: ENRO 2040. Gobierno de Chile. Consultado 29 nov. 2024. Disponible en: <https://mma.gob.cl/enro/>.
- Ministerio del Medio Ambiente, Chile. s/f. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Consultado 15 nov. 2024. Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/emisiones/>.
- Municipalidad de Futrono. 2023. Construcción sistema domiciliario fotovoltaico isla Huapi, segunda parte.
- Municipalidad de Futrono. s/f. Isla Huapi – Ven a Futrono. Consultado 30 may. 2024. Disponible en: <https://venafutrono.cl/isla-huapi/>.
- Navales A, E Martínez. 2008. *Energías renovables, energía eólica*. Zaragoza. 302 p.
- Newing H. 2011. *Conducting research in conservation: Social science methods and practice*. Routledge.
- Nogués F, D García, A Rezeau. 2010. *Energías renovables, energía de la biomasa*. Zaragoza. 173(1):620–95.
- OSEI. 2023. Manure from Horses, Chickens, Cows, and Hog Production Calculations. Consultado 13 abr. 2025. Disponible en: <https://www.osei.us/wp-content/uploads/>.
- Palavicino C, G Opazo-Bunster. 2021. Infraestructuras sociales de la energía. In Ariztía T., S. Ureta

(eds.). *La vida social de la energía*. Ediciones Universidad Diego Portales. p. 116.

Pilloni M, T Abu-Hamed. 2021. Small-size biogas technology applications for rural areas in the context of developing countries. *IntechOpen*.

Poblete M. 2019. *El Pueblo Mapuche: Breve Caracterización de su Organización Social*.

Ponce E. 2016. *Métodos Sencillos en Obtención de Biogás Rural y su Conversión en Electricidad*. IDESIA Chile.

Prochnow A, M Heiermann, M Plöchl, B Linke, C Idler, T Amon, P Hobbs. 2009. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100(21):4931–4944.

Red de Pobreza Energética (RedPe). 2019. Acceso Equitativo a Energía de Calidad en Chile. Consultado 30 may. 2024. Disponible en: <https://pobrezaenergetica.cl/>.

Repsol. 2024. Almacenamiento de energía: claves para el futuro de la transición energética. Consultado 16 jun. 2025. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/almacenamiento-de-energia/index.cshtml>.

Ryan G, H Bernard. 2003. Techniques to identify themes. *Field Methods* 15(1):85–109.

ScienceDirect Topics. s/f. Manure production. Consultado 7 may. 2024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/>.

SiTRural. 2021. Comuna de Futrono – Recursos Naturales. Disponible en: [https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2022/07/Futrono\\_rrnn.pdf](https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2022/07/Futrono_rrnn.pdf).

Tafa D, Z Asfaw. 2015. A Comparative Study on the Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Agronomic Performance. *Agriculture, Forestry and Fisheries* 4(6):263–268.

Teagasc. s/f. Beans. Consultado 5 may. 2025. Disponible en:

<https://www.teagasc.ie/crops/crops/break-crops/beans/>.

Venegas A, J Carrasco, C Aguirre. 2016. Manejo de rastrojos del cultivo de maíz. *Boletín INIA N.º 385*.

Villegas Aguilar P. 2006. *Development and perspectives of biogas technology in underdeveloped countries*.

Zambrano. s/f. Cálculo de la velocidad del viento para energía eólica; Guía completa. Consultado 4 abr. 2025. Disponible en: <https://energiasinlimite.bio/>.

## ANEXOS

Anexo 1. Información de estudio entregado a los entrevistados para la realización de las entrevistas.

### **Información de estudio.**

Este estudio es parte de un trabajo de titulación (Tesis) en **Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales, en la Universidad Austral de Chile**. Consiste en la realización de entrevistas abiertas para la Identificación de patrones de consumo energético y las necesidades específicas asociadas a diferentes actividades realizadas por los habitantes de Isla Huapi. Para el trabajo titulado “*Análisis sociocultural y territorial de alternativas de integración de energías renovables en Isla Huapi, región de Los Ríos, Chile.*”

Usted ha sido invitada(o) a participar de este estudio de forma **anónima y voluntaria**. La participación no tiene beneficios directos, pero tampoco riesgos o costos asociados. Usted puede rechazar la invitación sin consecuencias y sin que sus datos queden registrados, así como también **puede desistir de la entrevista en cualquier momento**. Sus respuestas serán utilizadas únicamente con fines de investigación.

Una vez terminada la entrevista puede conocer los resultados contactando a la encargada del estudio (**Antonia Paz Dewetak Gajardo**) y al profesor guía (**Felipe Valencia Arroyave**, contactos abajo de la página).

Datos de contacto:

- Dr. Felipe Valencia Arroyave Guía, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Austral de Chile. Correo: Felipe.valencia@uach.cl
- Antonia Paz Dewetak Gajardo. Estudiante de Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile. Correo: [antonia.dewetak@alumnos.uach.cl](mailto:antonia.dewetak@alumnos.uach.cl).

Anexo 2. Consentimiento informado, entregado a los entrevistados para la realización de las entrevistas.

### **Consentimiento informado.**

Yo, \_\_\_\_\_, mayor de edad, he sido invitada(o) a participar en el estudio “*Análisis sociocultural y territorial de alternativas de integración de energías renovables en Isla Huapi, región de Los Ríos, Chile.*”

Entiendo que mi participación consistirá en responder preguntas de una entrevista y conozco su finalidad. He leído o se me ha leído la información del documento de consentimiento informado. He tenido tiempo para hacer preguntas y se me han contestado claramente.

No tengo dudas sobre mi participación y **acepto voluntariamente participar**. Sé que **tengo derecho a terminar la entrevista en cualquier momento, sin riesgos ni costos para mí** y sin que quede guardada información alguna. Sé que tengo derecho a solicitar eliminar los registros de esta entrevista sin explicación alguna, y que puedo contactar a los responsables de la investigación.

Fecha: \_\_\_ / \_\_\_ / 2025

Firma del entrevistado(a):\_\_\_\_\_.

Anexo 3. Diseño herramienta entrevista cualitativa semiestructurada.

a) Entrevista cualitativa semiestructurada

**Entrevista comunidad isla huapi. Sábado 18 y domingo 19 de enero, 2025.**

Consentimiento

1. ¿Está de acuerdo con que la información que entregue anónimamente sea utilizada para este estudio?
2. ¿Puedo grabar esta entrevista con fines académicos?

Caracterización personal

3. ¿Hace cuánto tiempo es residente de la isla?
4. ¿Cuántas personas viven en su casa?
5. ¿Podrían contarme un poco sobre las actividades que realizas para sostenerse en el día a día?

Ganadería y agricultura

1. ¿Cuántos animales tiene?
2. ¿Que animales son?

3. ¿Qué cultivo tiene?
4. ¿Es para el comercio o para autoconsumo?
5. ¿Cuántas hectáreas/metros tiene de cultivo?
6. ¿Qué hace con los residuos (de los cultivos o animales)?
7. Otro:
8. ¿Usa energía para esa actividad? ¿cuántas horas al día?

#### Experiencia con los paneles solares (Etapa 1).

4. ¿Usted tiene paneles fotovoltaicos?
5. ¿Cuántas capacitaciones les hicieron? Y en qué consistieron
6. Me podrías contar tu experiencia con los paneles ¿Cubre sus necesidades?
7. ¿Y aparte de los paneles, utilizan otra fuente energética? ¿Como por ejemplo el gas?

#### Nuevo proyecto de paneles solares (Etapa 2).

1. Qué es lo que se espera de la segunda parte del proyecto
2. ¿Qué es lo que a ti te acomodará más, es decir, que fuente de energía crees que es la más adecuada para la isla?

Anexo 4. Herramienta para estimar la demanda energética en base a electrodomésticos de los hogares de los entrevistados.

Demanda de un día promedio dentro de la semana (Lunes a Viernes)																
Equipos	Refrigerador	Horno Eléctrico	Hervidor	tv	Plancha	Lavadora	Radio	Microondas	Ampolletas	Secador de Cabello	Congelador	Computador	Moto-bomba	Tel Celular	Licudora	Otro
Hrs/Potencia (Wh)																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																

Elaborado por Renato Godoy, 2024. Obtenido del proyecto *Micro-redes multi-energéticas con aprovechamiento de residuos orgánicos como soluciones energéticas descentralizadas para el sur de Chile*.

Referencias de la potencia según los electrodomésticos utilizados por los entrevistados.

Enel Chile. (s/f). *Consumo de artefactos eléctricos*. Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/consumo-artefactos-electricos.html>

Sodimac. (s/f). *Descubre cuánto gastan los aparatos eléctricos de tu hogar*. Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://sodimac.falabella.com/sodimac-cl/page/descubre-cuanto-gastan-los-aparatos-electricos-de-tu-hogar>

Worket. (s/f). *Bomba agua periférica 0.5 HP 370 watts 1x1*. Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://worket.cl/producto/bomba-agua-periferica-0-5hp-370-watts-1x1/>

Vtoman. (2024). *Freezer energy saving guide*. Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://vtoman.com/es/blogs/news/freezer-energy-saving-guide>

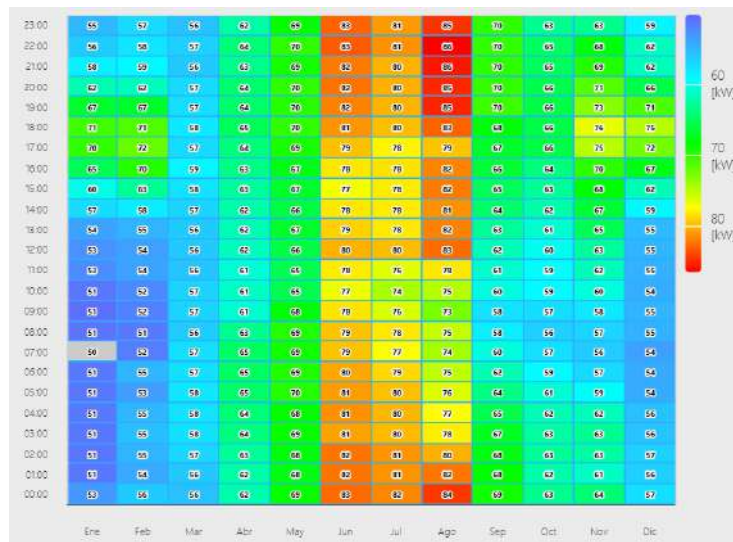
EnergySage. (s/f). *¿Cuánta electricidad usa un cargador de celular?* Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://www-energysage-com.translate.goog/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-phone-charger-use/>

DPEC (Dirección Provincial de Energía de Corrientes). (s/f). *Potencia de consumo de artefactos eléctricos comunes*. Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://www.dpec.com.ar/37>

Eligenio. (s/f). *¿Qué potencia debe tener una batidora para un buen ahorro energético?* Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://eligenio.es/blog/ahorro-energetico/que-potencia-debe-tener-batidora-para-ahorro-energetico/>

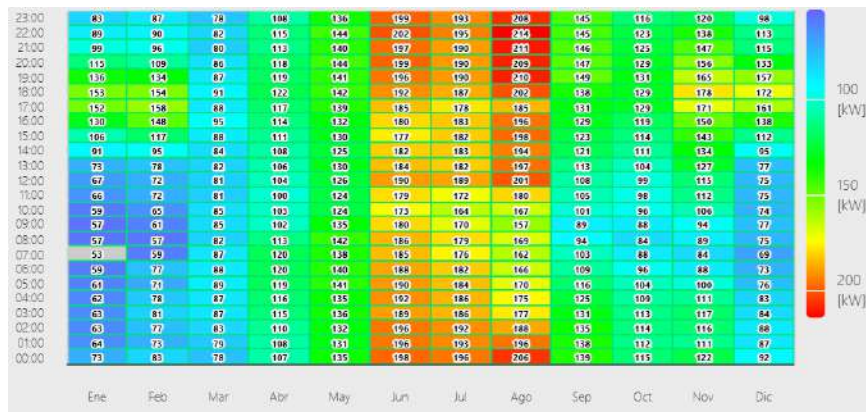
Extol Tools. (s/f). *¿Las herramientas eléctricas usan mucha electricidad?* Consultado 3 mayo. 2025. Disponible en: <https://extoltools.com/es/blog/do-power-tools-use-a-lot-of-electricity/>

Anexo 5. Matriz diaria anual del potencial eólico en isla Huapi, según el aerogenerador Natura Energí, modelo SKU: AD2422.



(Fuente: Explorador solar 2025)

Anexo 6. Matriz diaria anual del potencial eólico en isla Huapi, según el aerogenerador EWT DW54-500.



(Fuente: Explorador solar 2025).

Anexo 7. Representación cartográfica de usos de la tierra en isla Huapi solicitada de la herramienta SIMEF



(Fuente: CIREN,2023)

Anexo 8. Ecuación potencia instalada según el proyecto fotovoltaico parte uno (año 2017).

$$\begin{aligned}
 \text{Pot. Peak} &= \frac{\text{Demanda mensual (kWh)}}{\text{HSP (h)} \cdot \text{eficiencia}} \\
 &= \frac{85}{68/1000 \cdot 0,7} = 1786 \text{ (Wp)} \approx 1800 \text{ (Wp)}
 \end{aligned}$$

(Fuente: Ministerio de Energía 2016).

Anexo 9. Ecuación potencial de baterías, proyecto fotovoltaico primera parte (2017).

$$\begin{aligned}
 \text{Capacidad} &= \frac{\text{Demanda diaria } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{dia}}\right) \cdot \text{Autonomia(dia)}}{\text{Profundidad de descarga}} \\
 &= \frac{2,8 \cdot 4}{0,6} = 18,66 \text{ (kWh)} \approx 18,7 \text{ (kWh)}
 \end{aligned}$$

(Fuente: Ministerio de Energía, 2016).