

Estrategia Energética Local de San Fernando

20 24



Estrategia Energética Local Ilustre Municipalidad de San Fernando Proyecto a cargo de Ingeniería Sustentable SpA.

Equipo Técnico

Nombre

Cristian Rojas González.
Víctor González Muñoz.
Yessenia Álvarez Herrera.
Iván Rojas Aleman.
Vicente Urrutia Acuña.
Valentina Carrasco.
Javiera Briones
Karen Caimi Kobler

Cargo

Jefe de proyecto
Especialista de energías renovables
Profesional de participación
ciudadana
Coordinador de proyecto
Coordinador de proyecto
Ingeniera analista
Ingeniera analista
Revisión y edición de texto

Revisores

Nombre

Carola Baez Contreras
Carmen León Garcés.
María López Cabezas
Nicolas Espinoza Petruzzi

Institución

Ilustre Municipalidad de San
Fernando
SEREMI de Energía
Agencia de Sostenibilidad
Energética
Agencia de Sostenibilidad
Energética

Documento preparado para la Municipalidad de San Fernando, en el marco del Programa "Comuna Energética" impulsado por la Agencia de Sostenibilidad Energética y el Ministerio de Energía.

Las opiniones vertidas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no representan necesariamente el pensamiento de la Agencia de Sostenibilidad Energética y del Ministerio de Energía.

San Fernando, 2024

Contenido

1.1.	Definiciones	5
2.	Diagnóstico territorial	6
2.1.	Antecedentes de la comuna	6
2.1.1.	Límites de influencia	6
2.1.2.	Ámbito económico productivo	9
2.1.3.	Ámbito ambiental	9
3.	Diagnóstico energético	14
3.1.	Diagnóstico pobreza energética	14
3.2.	Dimensión de acceso físico	14
3.3.	Dimensión de calidad	15
3.4.	Dimensión de habitabilidad	16
3.5.	Dimensión de asequibilidad o equidad	16
3.6.	Energías renovables y generación local	17
3.7.	Situación energética de la comuna	19
3.7.1.	Oferta de energía eléctrica	19
3.7.2.	Calidad de suministro	22
3.8.	Energía eléctrica	25
3.8.1.	Demanda eléctrica residencial	26
3.8.2.	Demanda eléctrica del sector público	27
3.8.3.	Demanda eléctrica del sector privado	29
3.9.	Energía térmica	30
3.9.1.	Demanda de combustibles de uso térmico	30
3.9.2.	Demanda de combustibles para uso de transporte	34
3.10.	Demanda energética total	35
3.11.	Huella de carbono del sector energético	36
4.	Potencial disponible de generación ERNC	37
4.1.	Potencial de biomasa	37
4.1.1.	Potencial de producción de biodiesel	37
4.1.2.	Potencial de producción de biogás	38
4.2.	Potencial solar	40

4.2.1.	Producción de energía solar fotovoltaica a gran escala	41
4.2.2.	producción de energía solar fotovoltaica a nivel residencial	42
4.3.	Potencial eólico	44
4.4.	Potencial geotérmico.....	49
4.4.1.	Potencial geotérmico de baja entalpía.....	50
4.5.	Potencial hídrico	51
4.6.	Resumen de potencial de generación ERNC.....	54
5.	Potencial de eficiencia energética	56
5.1.	Eficiencia energética	56
5.1.1.	Sector residencial.....	56
5.1.2.	Sector público.....	64
5.1.3.	Sector privado	66
5.2.	Resumen de ahorro energético	70
6.	Procesos participativos	71
6.1.	Resumen de resultados	71
6.1.1.	Asistencia al taller	71
6.1.2.	Buzón energético.....	74
7.	Plan de Acción	75
7.1.	Objetivos y Metas.....	75
8.	Visión Energética	79

Presentación

Vecinas y vecinos de San Fernando:

Hoy quiero compartir con ustedes un proyecto transformador para nuestra comuna: la **Estrategia Energética Local (EEL)**, una hoja de ruta que nos guiará hacia un futuro más sostenible y equitativo.

Esta no es solo un plan técnico; es el reflejo del espíritu de nuestra comunidad, un testimonio de nuestra capacidad para unirnos, soñar en grande y trabajar con determinación. Cada idea expresada en los talleres participativos y el buzón energético ha sido clave para construir esta estrategia, que honra nuestra identidad y abraza la modernidad.

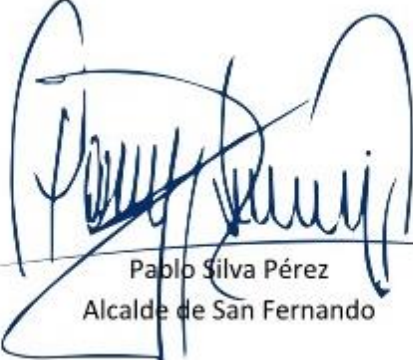
Sabemos que enfrentamos grandes desafíos: reducir la contaminación, mejorar la eficiencia energética, potenciar las energías renovables y fomentar la movilidad sostenible. Pero también sabemos que, con compromiso y visión, podemos convertir estos desafíos en oportunidades.

Queremos que San Fernando lidere el camino hacia una gobernanza energética real, donde nuestras organizaciones sociales y nuestro equipo municipal sean protagonistas de la transición hacia un modelo más justo y sustentable.

Desde esta administración, junto al Concejo Municipal y nuestros funcionarios, seguiremos impulsando proyectos que no solo mejoren la calidad de vida de nuestros vecinos, sino que también hagan realidad la visión de esta estrategia.

Como alcalde de San Fernando, reafirmo mi compromiso inquebrantable de convertir esta estrategia en acciones concretas.

Los invito a sumarse, a aportar sus ideas, con energía y su pasión. Juntos, construiremos un San Fernando más próspero, justo y respetuoso con nuestro planeta. Este será nuestro legado para las futuras generaciones.



Pablo Silva Pérez
Alcalde de San Fernando

1.1. Definiciones

- **Demanda de energía eléctrica:** Es la cantidad de energía eléctrica real que se necesita para satisfacer el consumo de energía eléctrica de la comuna.
- **Demanda de energía térmica:** Es la energía térmica real que se necesita para satisfacer el consumo de energía térmica de la comuna.
- **Líneas de transmisión:** Es el tendido eléctrico de mayor envergadura que se utiliza para transportar la energía a grandes distancias, desde los puntos de generación de la energía hasta los puntos de distribución o consumo.
- **Sistema Eléctrico Nacional:** Conocido por sus siglas SEN, es el sistema que incluye las instalaciones de generación, transmisión y distribución de electricidad para abastecer casi la totalidad del territorio nacional, desde la ciudad de Arica por el norte, hasta la Isla de Chiloé, en el sur.
- **Matriz energética:** Es la combinación de fuentes de energía primaria que se utiliza en la comuna. La matriz energética no solo incluye las fuentes empleadas, sino también el porcentaje de cada fuente.
- **Eficiencia Energética (EE):** Se refiere al uso optimizado de la energía par, minimizando el consumo de recursos y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este concepto implica la implementación de tecnologías y prácticas que permiten realizar las mismas actividades con menos energía, sin comprometer la calidad de vida o la productividad.
- **Energías Renovables (ER):** Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes de energía limpias, que al ser utilizadas respetando su ciclo de recuperación, tienen la capacidad de regenerarse y no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes. Algunas de estas energías son la solar, eólica, hidráulica, undimotriz, entre otras.
- **Pobreza Energética:** Es la situación en la que un hogar no puede satisfacer sus necesidades básicas de energía de manera asequible, segura y sostenible. Se reconocen cuatro dimensiones centrales e interconectadas: **la habitabilidad, el acceso físico a las fuentes de energía y artefactos, la calidad del suministro y la asequibilidad.**
- **Resiliencia Energética:** Es la capacidad de una red, edificios y comunidades para resistir y recuperarse ante contingencias y cortes de energía acompañado de una estrategia que busca garantizar un suministro de energía estable y seguro, y el diseño de un plan de emergencia para hacer frente a contingencias por fenómenos meteorológicos, catástrofes naturales, fallos en los equipos o errores humanos.

2. Diagnóstico territorial

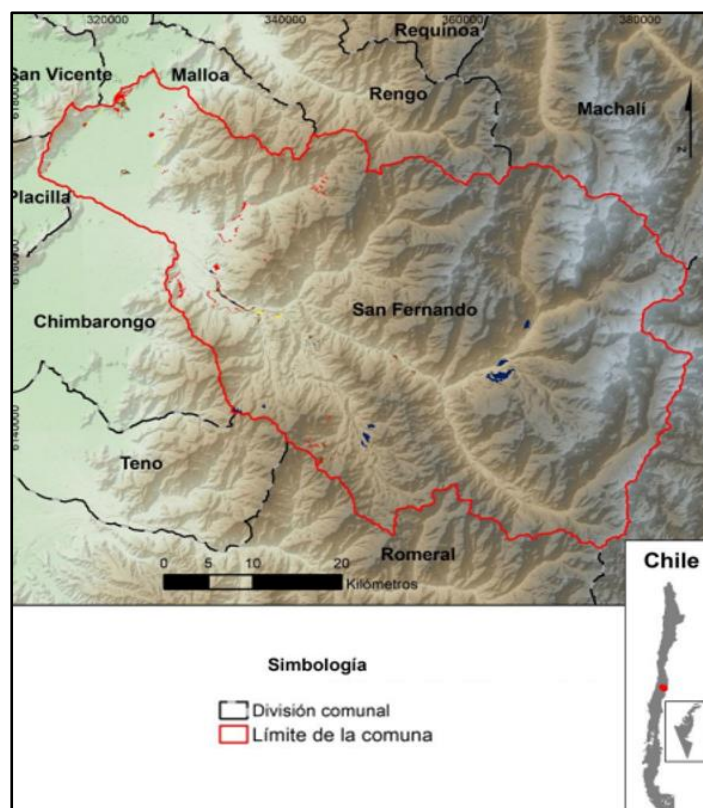
2.1. Antecedentes de la comuna

2.1.1. Límites de influencia

La comuna de San Fernando se encuentra ubicada en latitud 34° 34' 60" Sur y longitud 70° 58' 60" Oeste. Limita al norte con las comunas de Malloa, Rengo, Machalí y San Vicente, al sur limita con Romeral y Teno. Al este limita con Argentina y, al oeste, con las comunas de Placilla y Chimbarongo. San Fernando cuenta con una superficie total de 2.441,3 km², donde 194 km² corresponden a terreno plano y 2.247,3 km² corresponden a cerro.

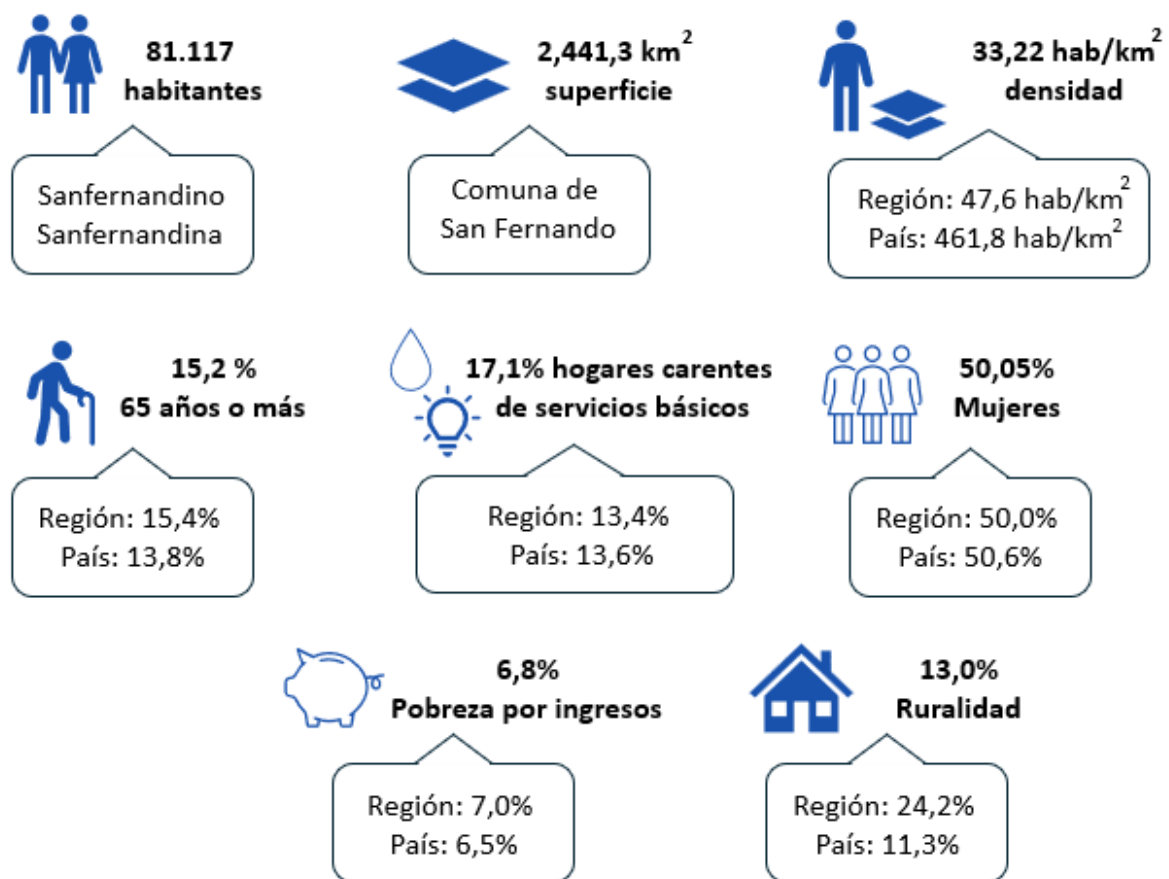
A continuación, en la **Figura 1** se aprecia la ubicación geográfica de la comuna.

Figura 1. Límites de la comuna de San Fernando.



Fuente: Sistema de monitoreo de ecosistemas forestales, SIMEF 2019.

Figura 2. Resumen y contexto comunal de San Fernando



Fuente: Elaboración propia en base a BCN, 2024.

En la comuna de San Fernando, se utilizan varios instrumentos de planificación territorial y gestión local para lograr un desarrollo urbano ordenado y sostenible. Algunos de estos instrumentos incluyen:

- **Sistema de Certificación Ambiental Municipal (SCAM) Nivel básico (2022 - 2023)**

En 2023, San Fernando alcanzó la Certificación Ambiental Municipal en su nivel básico. Este reconocimiento destaca la importancia de la participación activa de la ciudadanía en las acciones y decisiones ambientales adoptadas por las autoridades locales. Fomentando un enfoque colaborativo, la certificación subraya el compromiso de la comuna con la sostenibilidad y la protección del medio ambiente.

- **Plan Regulador Comunal PRC 1998 – 2008 (en proceso de actualización)**

El Plan Regulador Comunal (PRC) es un instrumento de planificación territorial a nivel local que define el uso y aprovechamiento del suelo dentro de una comuna. Establece las normas y directrices para el desarrollo urbano y rural, estableciendo una

zonificación de acuerdo al sector, tales como residenciales, comerciales, industriales o agrícolas. Además, regula aspectos ligados a infraestructura, conectividad, protección ambiental y normas de edificación. Su objetivo es ordenar el crecimiento urbano, garantizar la sostenibilidad y mejorar la calidad de vida de los habitantes, alineándose con las políticas nacionales de desarrollo y los principios de planificación urbana integral.

○ **Plan de Desarrollo Comunal 2021 – 2026**

El Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de San Fernando establece 27 objetivos específicos locales de desarrollo. Estos objetivos están orientados a resolver problemas sociales y a fomentar el desarrollo económico, social y cultural de la comunidad. Además, el PLADECO incluye elementos que se alinean con la Estrategia Energética Local en los ejes de planificación energética con el lineamiento de “Gestión ambiental local y sustentabilidad”, movilidad sostenible con su lineamiento de “Movilidad sustentable e infraestructura vial”, y sensibilización y cooperación con su lineamiento de “Desarrollo social y comunitario”.

● **Instrumentos Regionales**

○ **Estrategia Regional de Desarrollo de O'Higgins**

La Estrategia Regional de Desarrollo de O'Higgins es un plan integral diseñado para guiar el crecimiento y el desarrollo sostenible de la región de O'Higgins en Chile. Este plan establece objetivos y acciones específicas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, fomentar el desarrollo económico, proteger el medio ambiente y fortalecer la cohesión social.

○ **Plan Regional de Desarrollo Urbano de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins**

El Plan Regional de Desarrollo Urbano de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins es una guía estratégica para el ordenamiento y crecimiento de las áreas urbanas en la región. Se centra en equilibrar el crecimiento urbano con la protección del medio ambiente y la calidad de vida de los habitantes. Además, fomenta la coordinación entre las autoridades locales, el sector privado y la comunidad para implementar políticas y proyectos que beneficien a toda la región.

○ **Plan de Acción Climático Región de O'Higgins (PARCC)**

El PARCC es una estrategia diseñada para enfrentar los desafíos del cambio climático en la región de O'Higgins, Chile. Este plan establece medidas concretas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promover la adaptación al cambio climático y proteger los recursos naturales. Incluye acciones específicas en sectores como la energía, el transporte, la agricultura y la gestión de residuos, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental y mejorar la resiliencia de las comunidades locales.

○ Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central

El Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central es una iniciativa diseñada para mejorar la calidad del aire en el Valle Central de la Región de O'Higgins, Chile. Este plan establece medidas específicas para reducir la contaminación del aire, especialmente las emisiones de material particulado y otros contaminantes provenientes de fuentes residenciales, industriales y del transporte.

2.1.2. **Ámbito económico productivo**

La comuna de San Fernando se destaca por ser un centro agrícola que se beneficia de un clima mediterráneo privilegiado, caracterizado por inviernos lluviosos y veranos secos. Este entorno crea condiciones ideales para una agricultura diversificada y de alta calidad, sin embargo, se ve altamente afectado y vulnerable frente al cambio climático. Se distingue especialmente por su producción frutícola, siendo notable el cultivo de uvas, tanto de mesa como para vinificación, así como de manzanas, peras, ciruelas y kiwis. La viticultura es un pilar fundamental de la economía local, con numerosas viñas que producen vinos reconocidos a nivel nacional e internacional. Además de la fruticultura, San Fernando tiene una significativa producción de hortalizas y cereales. Cultivos como el maíz, el trigo y la cebada pertenecen a gran parte de la producción. Dentro de la extensión territorial de la comuna, 208.320,4 hectáreas son utilizadas exclusivamente para la explotación agropecuaria (PLADECO 2021-2026)¹.

2.1.3. **Ámbito ambiental**

● Clima

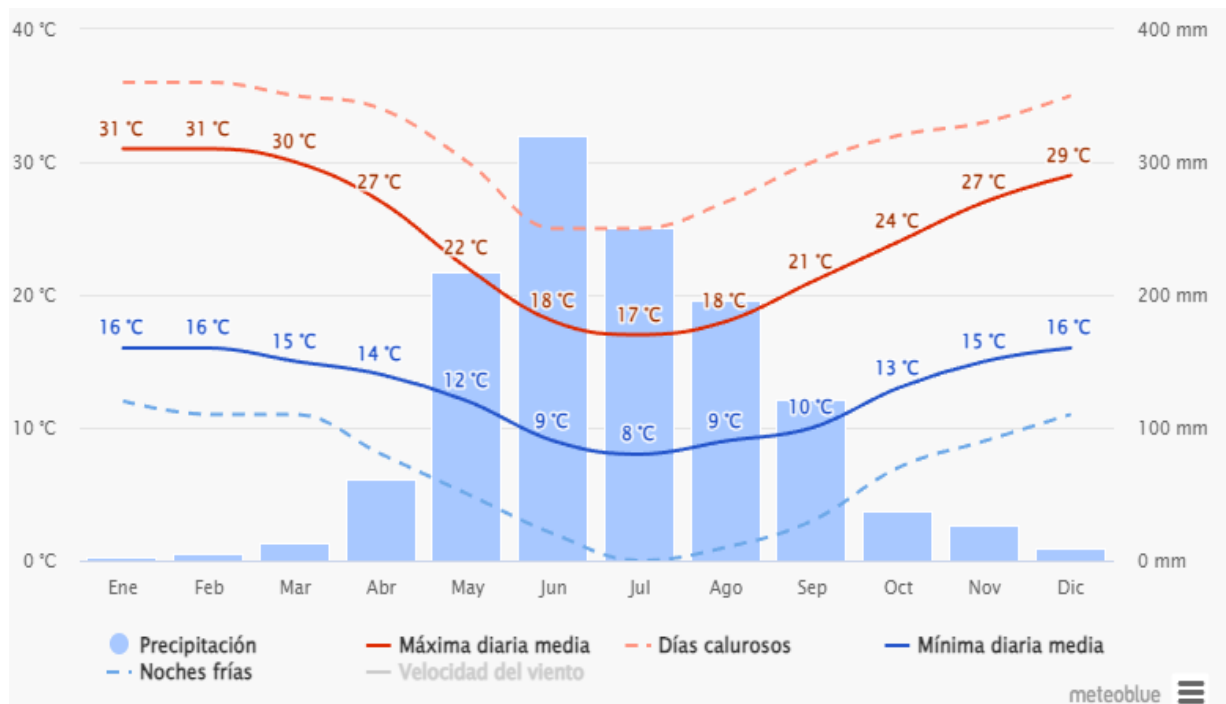
La comuna de San Fernando abarca una variedad de climas que se distribuyen de oeste a este en tres categorías distintas.

- Clima templado
- Clima templado frío
- Clima de tundra

Es importante resaltar que estas características climáticas han variado debido a la influencia del cambio climático en todas las estaciones del año.

¹ Actualización Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) San Fernando 2021-2026.
<https://municipalidadesanfernando.cl/wp-content/uploads/2023/03/PLADECO-1.pdf>

Figura 3. Temperaturas anuales en la comuna de San Fernando

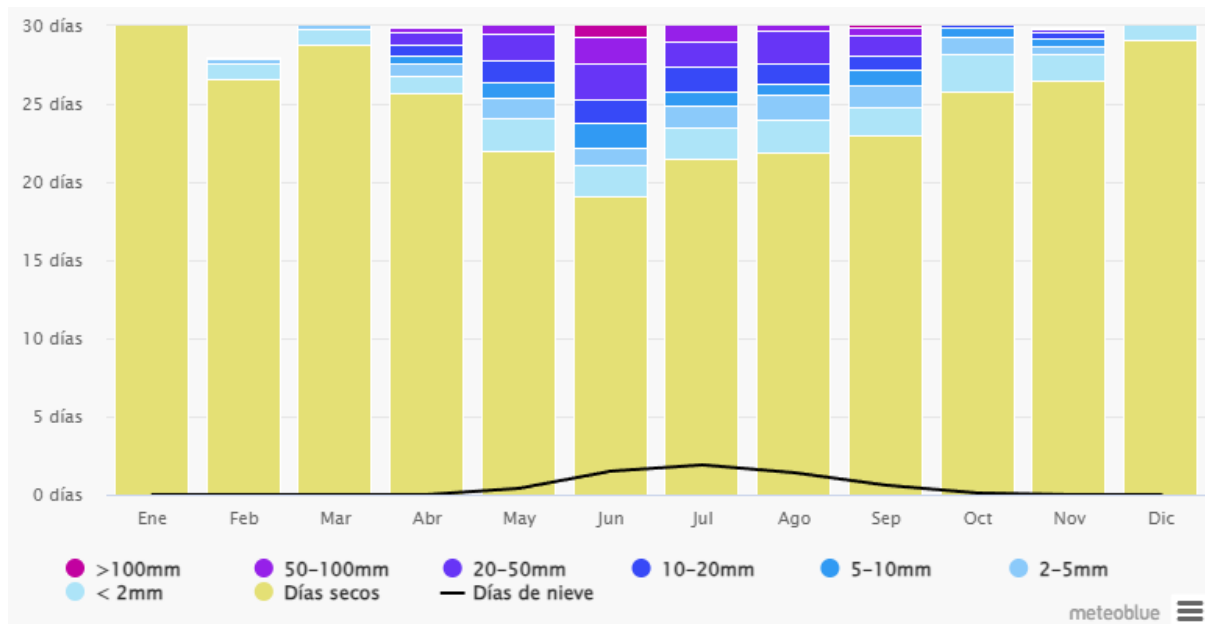


Fuente: Meteoblue Weather².

En cuanto a las precipitaciones, San Fernando experimenta su mayor acumulación de lluvias durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Este patrón de precipitaciones concentrado en los meses invernales es característico de los climas mediterráneos, donde los veranos son secos y los inviernos húmedos, proporcionando una clara estacionalidad en el régimen de lluvias de la comuna.

²Datos climáticos y meteorológicos,
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/san-fernando_chile_7576314

Figura 4. Gráfico de barras de precipitación en San Fernando



Fuente: Meteoblue Weather.

• Suelos

En la comuna de San Fernando, los suelos presentan características notables según su ubicación geográfica. En las formaciones montañosas que conforman la angostura de Pelequén, los suelos tienen fuertes inclinaciones, creando un contraste evidente con la horizontalidad del valle adyacente, donde la pendiente promedio es de alrededor del 4%. Este contraste en la topografía influye en el uso y manejo de los suelos en diferentes partes de la comuna.

El llano intermontano de San Fernando está compuesto por suelos de llano de sedimentación fluvio glacio volcánico y se caracterizan por su buen drenaje y tienen pocas limitaciones para el cultivo. Como resultado, esta zona se ha especializado en la agricultura intensiva y tradicional. Se cultivan principalmente viñedos, frutales y cultivos de rotación anual, aprovechando las ventajas naturales del suelo y el clima.

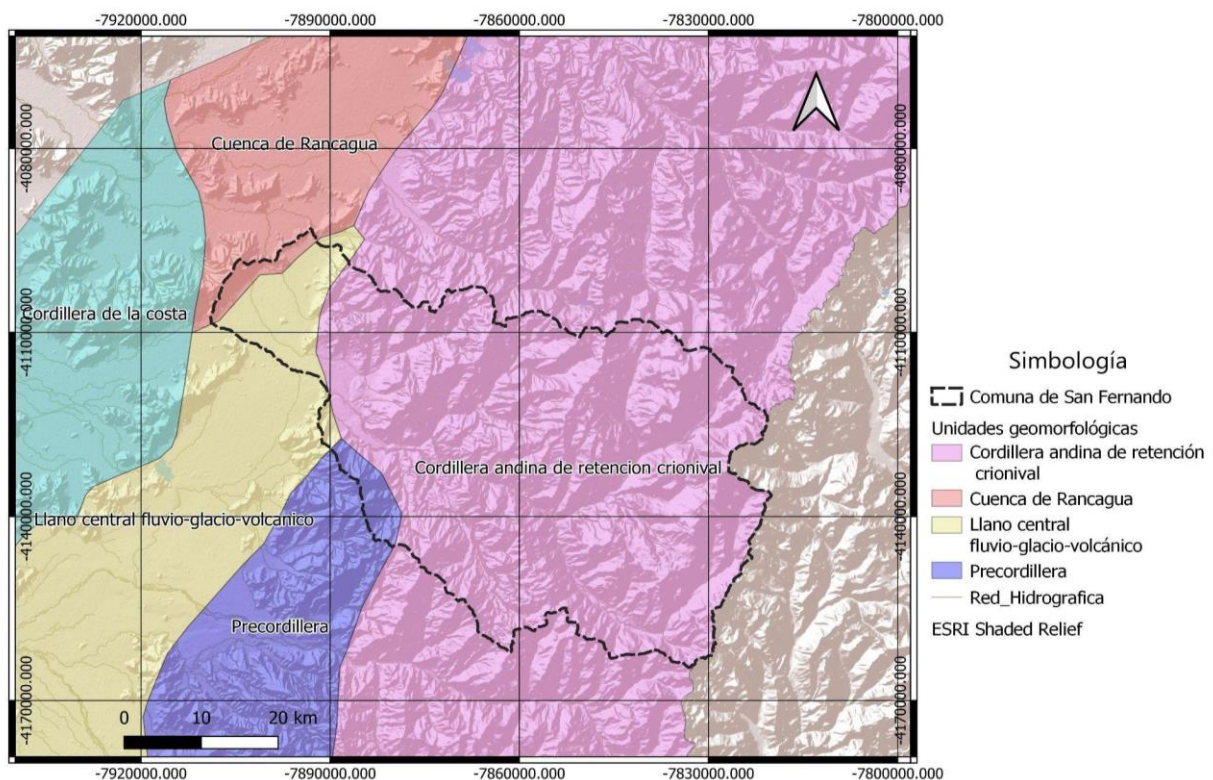
• Geomorfología

La comuna de San Fernando está conformada por distintas unidades geomorfológicas:

- **Cordillera de los Andes**, abarca la mayor parte del territorio comunal, tiene alturas que oscilan entre los 3.000 y 4.000 metros sobre el nivel del mar, dominando el paisaje y ejerciendo una influencia considerable en el clima y la hidrología de la región.

- **Llano central fluvio-glacio-volcánico**, dentro de esta unidad destaca la presencia del valle del río Tinguiririca, sistema fluvial que ha sido modelado por numerosos episodios de glaciación y actividad volcánica a lo largo de su historia geológica. El río Tinguiririca proporciona recursos hídricos vitales para la agricultura, el riego y otras actividades humanas, además, el valle es un corredor natural que facilita la conectividad ecológica y el movimiento de especies entre diferentes zonas altitudinales.

Figura 5. Unidades geomorfológicas de San Fernando.

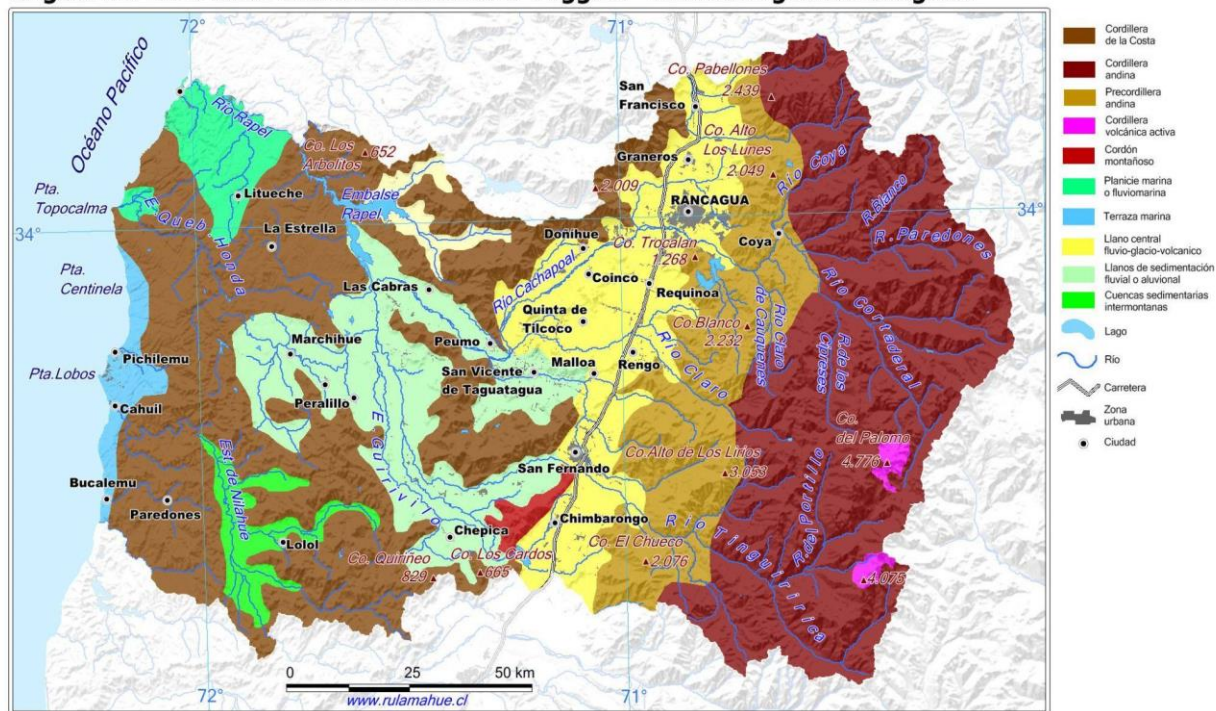


Fuente: Rulamahue, 2024.

Tal como es posible observar, la principal unidad geomorfológica presente en la comuna de San Fernando, es la Cordillera andina de retención crionival, seguido por una superficie que corresponde a Llano central, luego Precordillera y finalmente Cuenca de Rancagua.

• Hidrografía

Conforme con la **Figura 6**, San Fernando se encuentra situada dentro de la subcuenca del río Tinguiririca, el cual constituye el principal sistema hidrográfico de la comuna. El río Tinguiririca tiene un régimen hidrológico de carácter mixto, su caudal está influenciado tanto por las precipitaciones como por los deshielos de la cordillera. En promedio, el caudal del río es de aproximadamente 205 metros cúbicos por segundo.



El río Tinguiririca nace en la cordillera de los Andes, formado por la confluencia de los ríos Las Damas y Azufre. A medida que avanza hacia el oeste, recibe aportes adicionales de los ríos Claro y Clarillo en las proximidades de San Fernando, incrementando su caudal y extensión. Finalmente, el río Tinguiririca desemboca en el río Rapel, tras recorrer un total de 167 kilómetros y abarcar una cuenca de aproximadamente 4.730 kilómetros cuadrados.

3. Diagnóstico energético

3.1. Diagnóstico pobreza energética

La pobreza energética es un desafío complejo en términos de política pública, tanto en sus dimensiones como en las acciones que se llevan a cabo para reducirla. El Ministerio de Energía en su Política Energética 2050 (actualización 2022) ³definió las cuatro dimensiones de pobreza energética.

Figura 7. Dimensiones de la Pobreza Energética.

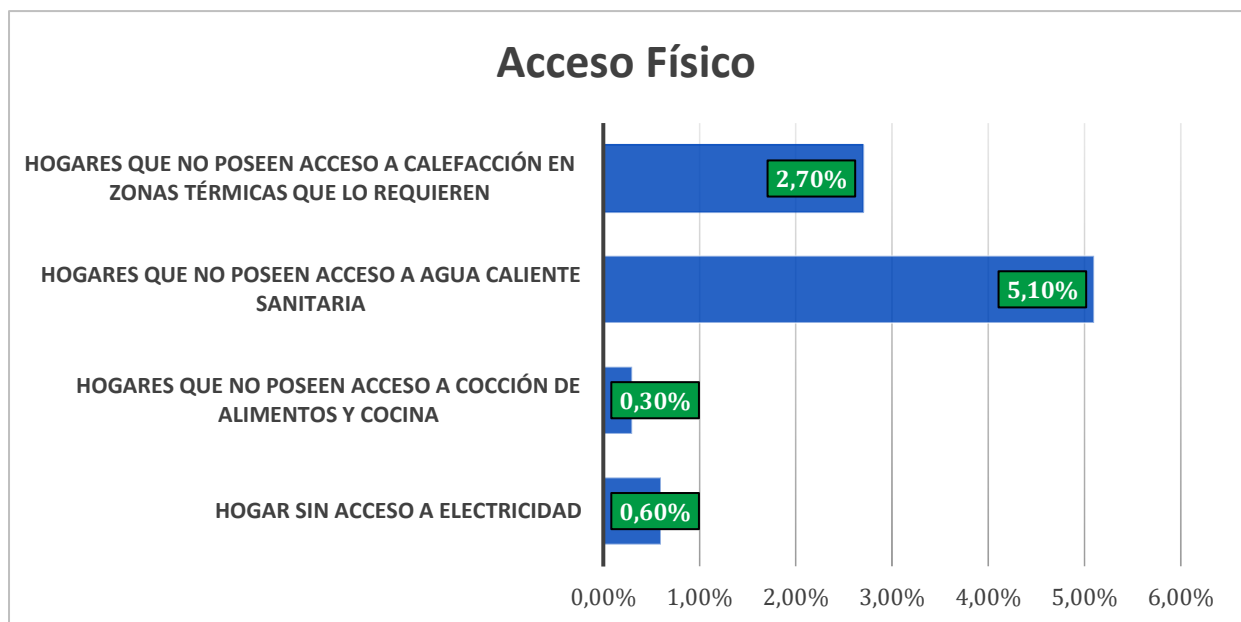


Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.2. Dimensión de acceso físico

La dimensión de Acceso Físico corresponde a la existencia de las fuentes de energía, artefactos y tecnologías apropiadas para satisfacer las necesidades energéticas de los miembros de un hogar. A continuación, se presentan los indicadores asociados a la dimensión en porcentajes respecto al total de hogares de la comuna.

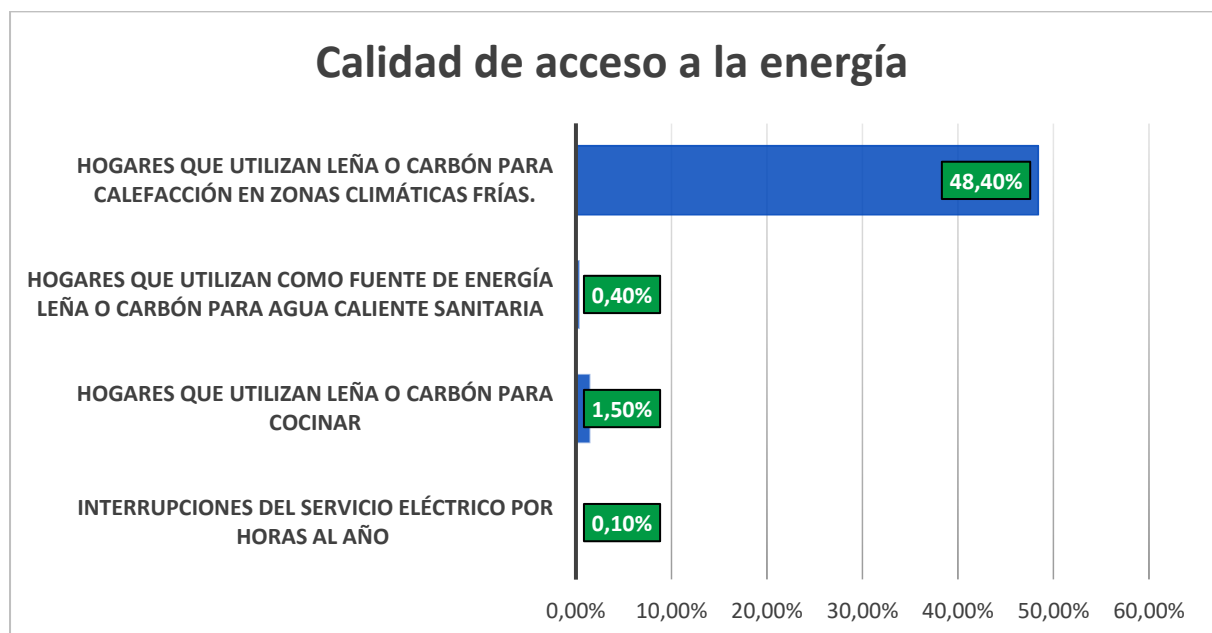
³ https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pen_2050_-_actualizado_marzo_2022_0.pdf



Fuente: Elaboración propia en base a CASEN 2022 con estimaciones a partir de factor de expansión comunal, 2024.

3.3. Dimensión de calidad

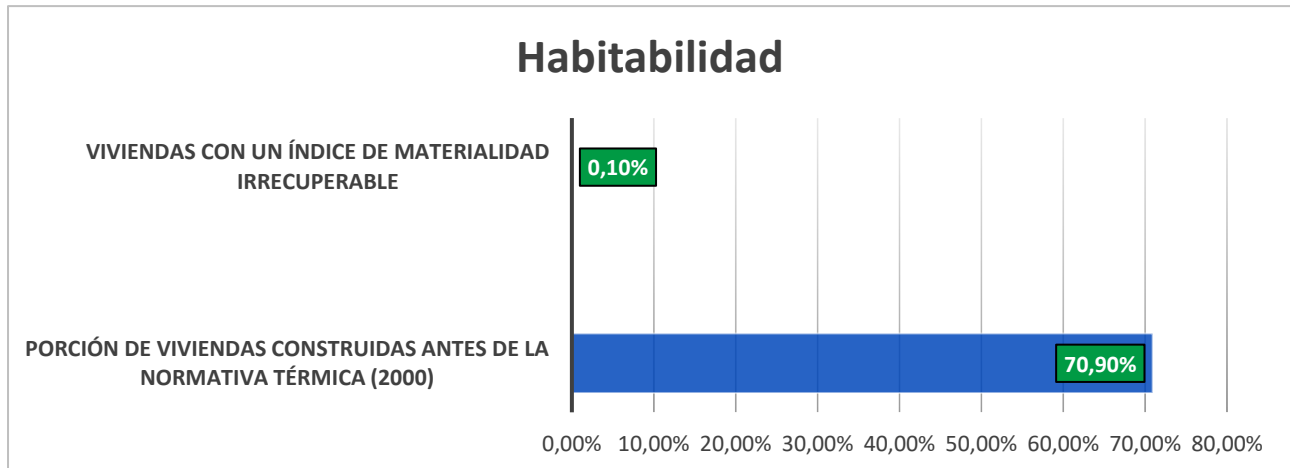
La dimensión de calidad se refiere a las condiciones en que se accede a los servicios energéticos, considerando las características de seguridad y continuidad de la fuente energética utilizada, la seguridad y eficiencia de los artefactos, el tipo de suministro utilizado y su impacto en la salud de las personas.



Fuente: Elaboración propia en base a CASEN, 2024.

3.4. Dimensión de habitabilidad

Hace referencia a las características constructivas y de eficiencia energética de las viviendas, las que tienen un rol fundamental para lograr el confort térmico de los miembros del hogar y reducir el consumo energético para calefacción.

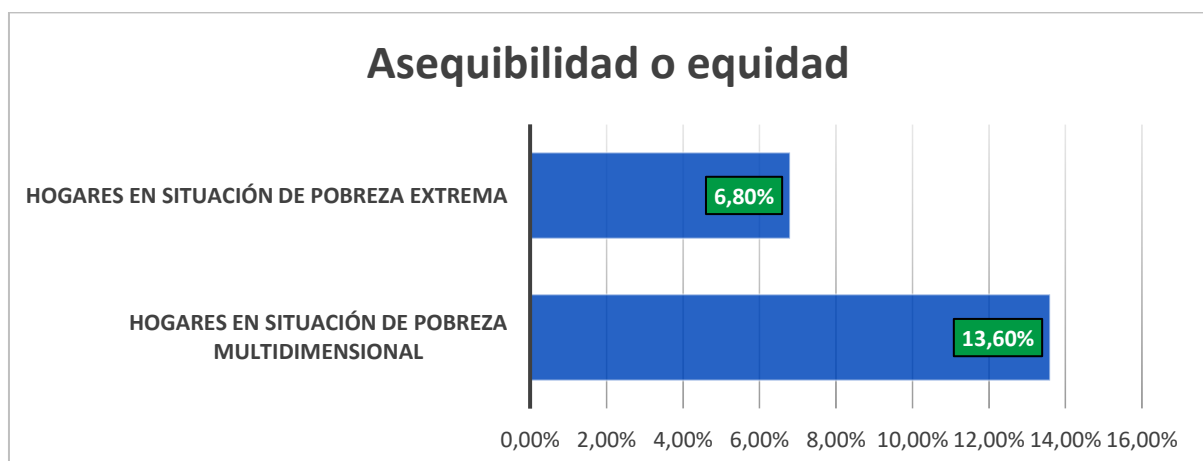


Fuente: Elaboración propia en base a CASEN, 2024.

Se consideran las viviendas de autoconstrucción que forman parte de los 7 campamentos existentes cuyo número estimado de viviendas, hasta el año 2024, sería de 300 viviendas aproximadamente.

3.5. Dimensión de asequibilidad o equidad

Se refiere a la capacidad de las personas de costear los servicios energéticos sin sacrificar otras necesidades. Bajo esta dimensión se evalúa el gasto en energía de los hogares en relación con los ingresos familiares disponibles y el impacto que ello tiene (o no) sobre la satisfacción de otras necesidades básicas.



Fuente: Elaboración propia en base a CASEN, 2024.

La comuna enfrenta grandes desafíos para erradicar la pobreza energética, los cuales están principalmente relacionados con la calidad de las viviendas. El indicador más destacable en este aspecto es la cantidad de viviendas construidas antes de la normativa del año 2000, correspondiente al 70.9% y equivalente a 19.176 viviendas.



Fuente: <https://turismosanfernando.cl/>.

3.6. Energías renovables y generación local

En el territorio comunal, existen dos plantas de generación solar fotovoltaica con una potencia instalada de 9 MW (PFV Las Cachañas) y 3 MW (PFV Don Matías). Estas centrales son propiedad de empresas del sector privado y comenzaron a operar desde el año 2022 y 2023 respectivamente.

En la actualidad, hay dos centrales fotovoltaicas que se encuentran en periodo de pruebas con un total de 9 MW de potencia. Adicionalmente, existen 9 proyectos de centrales de generación solar fotovoltaica que se encuentran sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para evaluar su construcción en la comuna de San Fernando. De esta manera, la generación ERNC presente en la comuna se muestra a continuación.

Tabla 1. Centrales de generación eléctrica ERNC de la comuna.

Nombre de la central	Tecnología	Estado
PFV Las Cachañas	Solar Fotovoltaica	Operación
PFV Don Matías	Solar Fotovoltaica	Operación
Central Hidroeléctrica Punta del Viento	Mini hidráulica de pasada	Operación
Dos Valles	Mini hidráulica de pasada	Operación
MCH Río Palacios	Mini hidráulica de pasada	Operación
Minicentral Hidroeléctrica de Pasada Corrales	Mini hidráulica de pasada	Operación
Minicentral Hidroeléctrica de Pasada Piedras Negras	Mini hidráulica de pasada	Pruebas
Parque Fotovoltaico Parque Roma	Solar Fotovoltaica	Pruebas
Parque Solar Aldebarán	Solar Fotovoltaica	Pruebas
Nueva Central Solar Fotovoltaica Las Guindillas	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Nuevo Parque Solar Fotovoltaico La Correana	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Parque Fotovoltaico Aguas Buenas I	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Parque Fotovoltaico Fontana del Verano	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Parque Fotovoltaico Las Garzas	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Parque Solar Pelequén	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
Planta Fotovoltaica Firenze Solar	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
PMGD Quilapilán	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental
San Eugenio	Solar Fotovoltaica	Evaluación de Impacto Ambiental

Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por SEREMI de Energía, 2024.

Las mini centrales hidráulicas de pasada son consideradas ERNC debido a que poseen una potencia menor a 20 MW, no tienen un gran impacto ambiental y funcionan con el caudal natural sin el uso de represas.

3.7. Situación energética de la comuna

Tabla 2. Distribuidores de insumos energéticos en la comuna.

Distribución Eléctrica	Gas Licuado	Combustibles Líquidos	Combustibles Sólidos
CGE	- Abastible - Gasco - ENAP	- COPEC - PETROBRAS - ENEX	Leña

Fuente: Elaboración propia en base a consultas al municipio.

3.7.1. Oferta de energía eléctrica

- Generación de energía eléctrica**

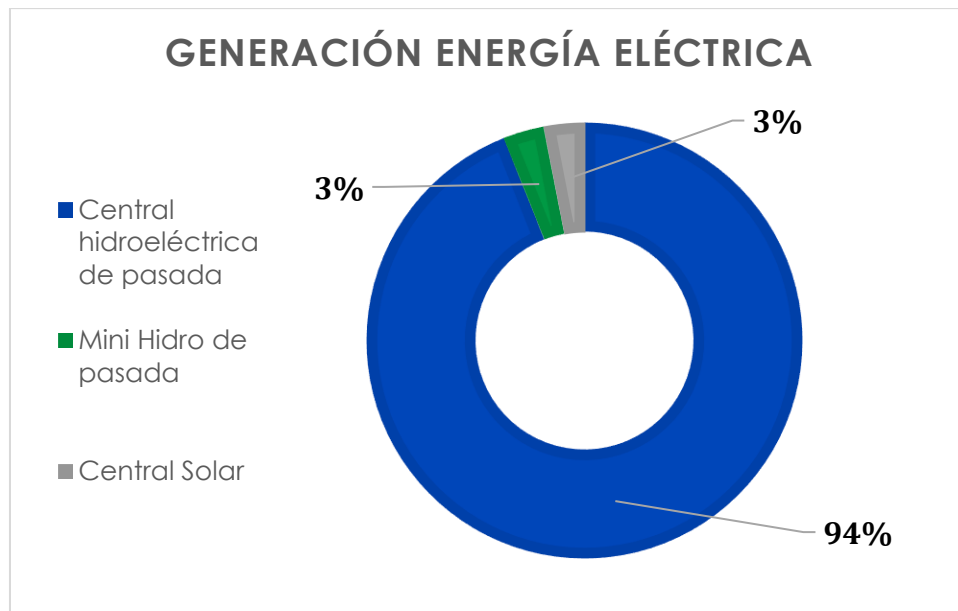
La comuna de San Fernando posee una capacidad instalada de 443,50 MW de potencia bruta, divididas en centrales hidráulicas de pasada, mini hidráulicas de pasada (Mini hidro), y solar fotovoltaica.

Tabla 3. Centrales de generación eléctrica en San Fernando.

Central	Unidades de generación	Tipo de tecnología	Potencia bruta MW
HP Corrales	1	Mini hidro	3
HP Dos Valles	1	Mini hidro	4,5
HP El Paso	3	Hidráulica de pasada	60
HP La Confluencia	2	Hidráulica de pasada	163
HP La Higuera	2	Hidráulica de pasada	155
HP Palacios	1	Mini hidro	3
HP Punta del Viento	1	Mini hidro	3

HP San Andrés	2	Hidráulica de pasada	40
PFV Las Cachañas	-	Solar Fotovoltaica	9
PFV Don Matías	-	Solar Fotovoltaica	3

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Coordinador Eléctrico Nacional, 2024.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Coordinador Eléctrico Nacional, 2024.

● Sistema de transmisión de energía

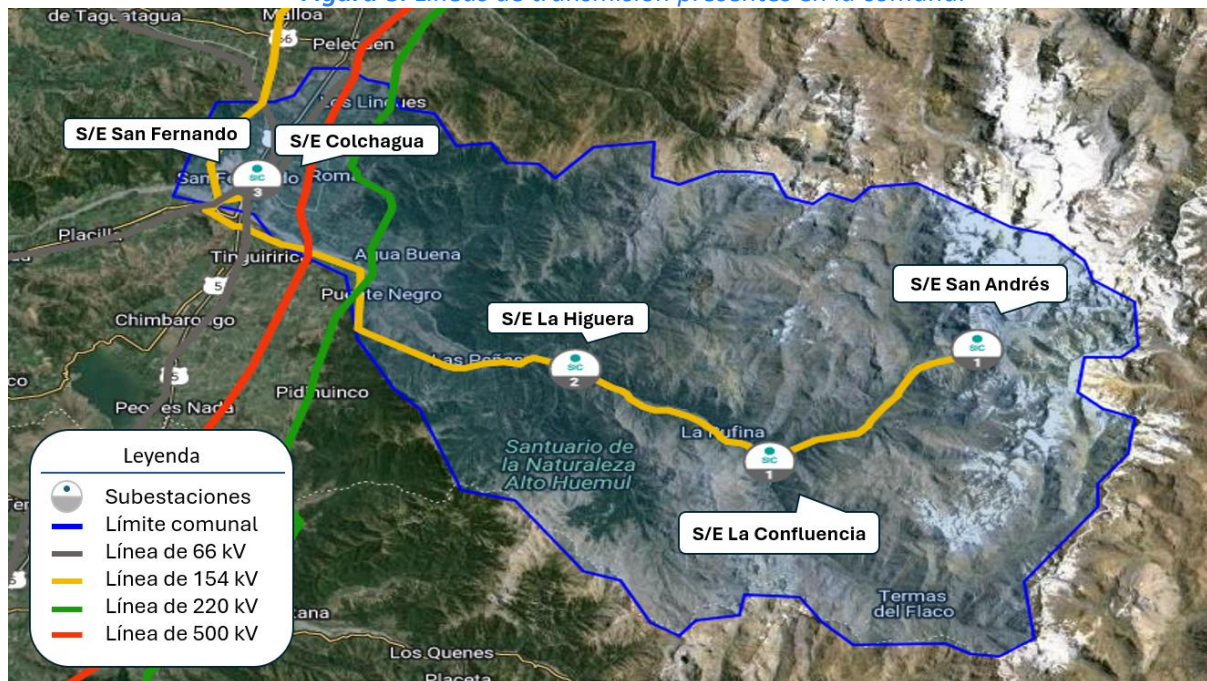
La comuna de San Fernando es un importante generador de energía eléctrica, lo que ha llevado a la presencia de varias líneas de transmisión que la atraviesan.

Primero se encuentran las líneas de 154 kV, las que permiten inyectar la energía producida por las centrales hidráulicas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) a través de las subestaciones de elevación de tensión El Paso, La Confluencia, La Higuera y San Andrés. Estas líneas se conectan a la subestación San Fernando, integrándose así al SEN.

Además, las subestaciones San Fernando y Colchagua realizan la conversión de alta tensión a niveles de media y baja tensión, permitiendo la distribución de energía *tanto generada localmente como la que llega del SEN a los residentes de San Fernando.*

De igual manera, la comuna es atravesada por las líneas de transmisión Ancoa - Alto Jahuel de 500 kV y Candelaria - Colbún de 220 kV. Aunque estas líneas no se conectan directamente a ninguna subestación dentro de San Fernando, pasan por la comuna, contribuyendo a la robustez de la red de transmisión.

Figura 8. Líneas de transmisión presentes en la comuna.



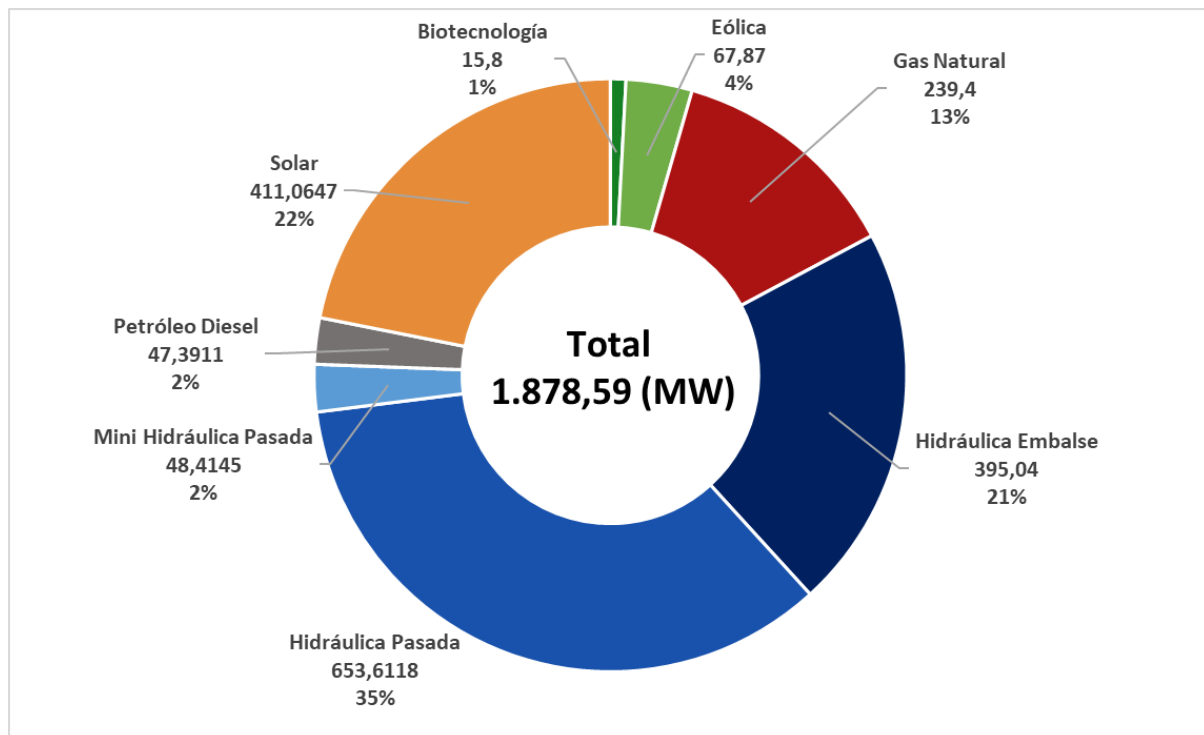
Fuente: Energía maps, 2024.

• Matriz energética

La matriz energética de San Fernando se compone principalmente de suministro eléctrico, consumo de combustibles gaseosos de uso residencial, combustibles líquidos como gasolina y diésel para uso de transporte y consumo de combustibles sólidos, particularmente leña.

En el caso del suministro eléctrico, cuya concesión de distribución eléctrica corresponde a CGE, la capacidad instalada de la región posee centrales de generación que se dividen entre hidráulica de embalse, hidráulica de pasada, mini hidro, solar fotovoltaica, eólica, biotecnologías, gas natural y petróleo diésel. En este aspecto, la capacidad instalada en noviembre del año 2023 corresponde a 1.878,59 (MW) (Coordinador Eléctrico Nacional).

Figura 9. Capacidad instalada en Región de O'Higgins.



Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional, 2024.

3.7.2. Calidad de suministro

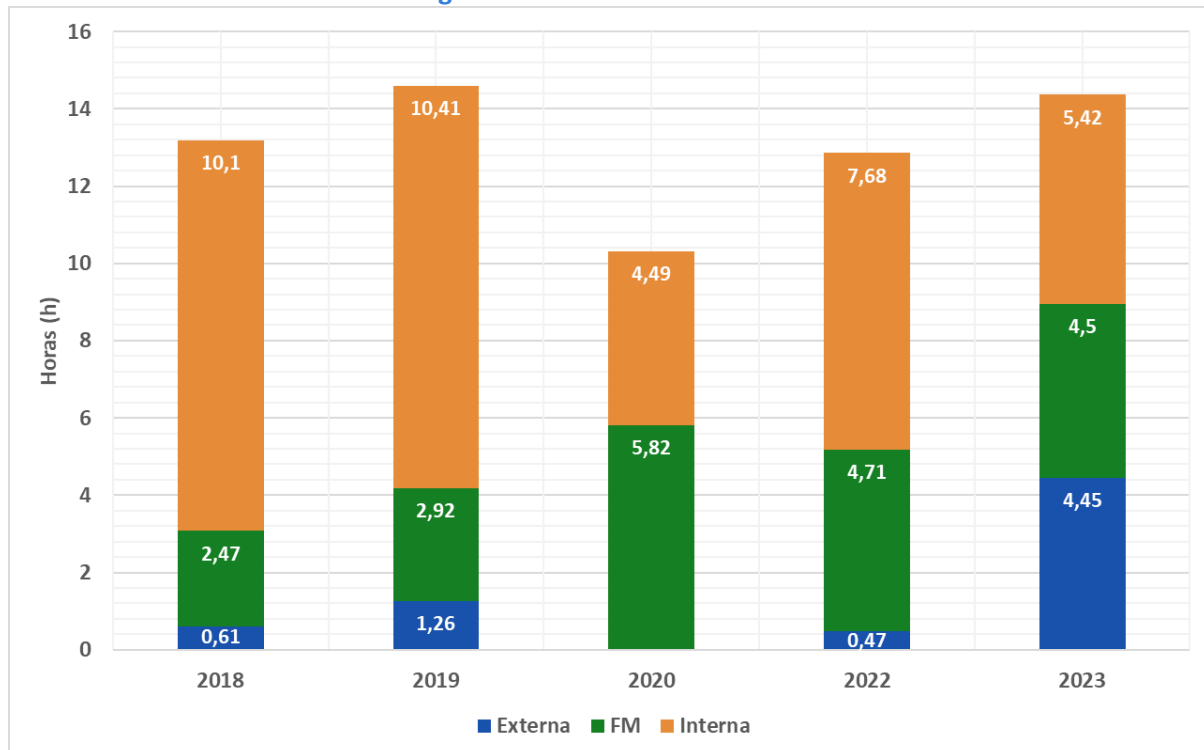
La calidad del suministro eléctrico puede ser medida en base a varios parámetros que determinan la confiabilidad del sistema eléctrico entre los que se encuentran los niveles de tensión, frecuencia, niveles de armónicos, la cantidad de interrupciones del suministro, entre otros. Para los usuarios finales, las interrupciones que resultan en la pérdida total de suministro eléctrico son uno de los factores más relevantes. Para poder medir la calidad de suministro respecto a las interrupciones del sistema eléctrico se utiliza el indicador SAIDI (System Average Interruption Duration Index). Este indicador de duración de interrupciones, "es un parámetro que muestra, en promedio, el tiempo que un usuario se encuentra sin suministro eléctrico durante un período determinado." (Ministerio de Energía, 2019).

Existen tres clasificaciones para evaluar la interrupción del suministro eléctrico, las cuales son:

- **Interna (INT):** Son aquellas interrupciones que ocurren en instalaciones de la empresa distribuidora y por causas NO atribuibles a Fuerza Mayor.
- **Externa (EXT):** Son aquellas interrupciones que ocurren en instalaciones que no son de la empresa distribuidora.
- **Fuerza Mayor (FM):** Son aquellas interrupciones que ocurren en instalaciones de la empresa distribuidora y por causas atribuibles a Fuerza Mayor.

A continuación, en la **Figura 10** se presenta un gráfico del SAIDI para la comuna de San Fernando de los últimos 5 años que se tiene registro, comparando su evolución.

Figura 10. Índice SAIDI comunal.



Fuente: Elaboración propia en base a Energía Abierta, 2024.

En la figura es posible observar las variaciones de las horas de interrupción anuales para los distintos años en la comuna de San Fernando. El índice del año 2021 no se encuentra disponible en las bases de datos de Energía Abierta, por lo que no se muestra.

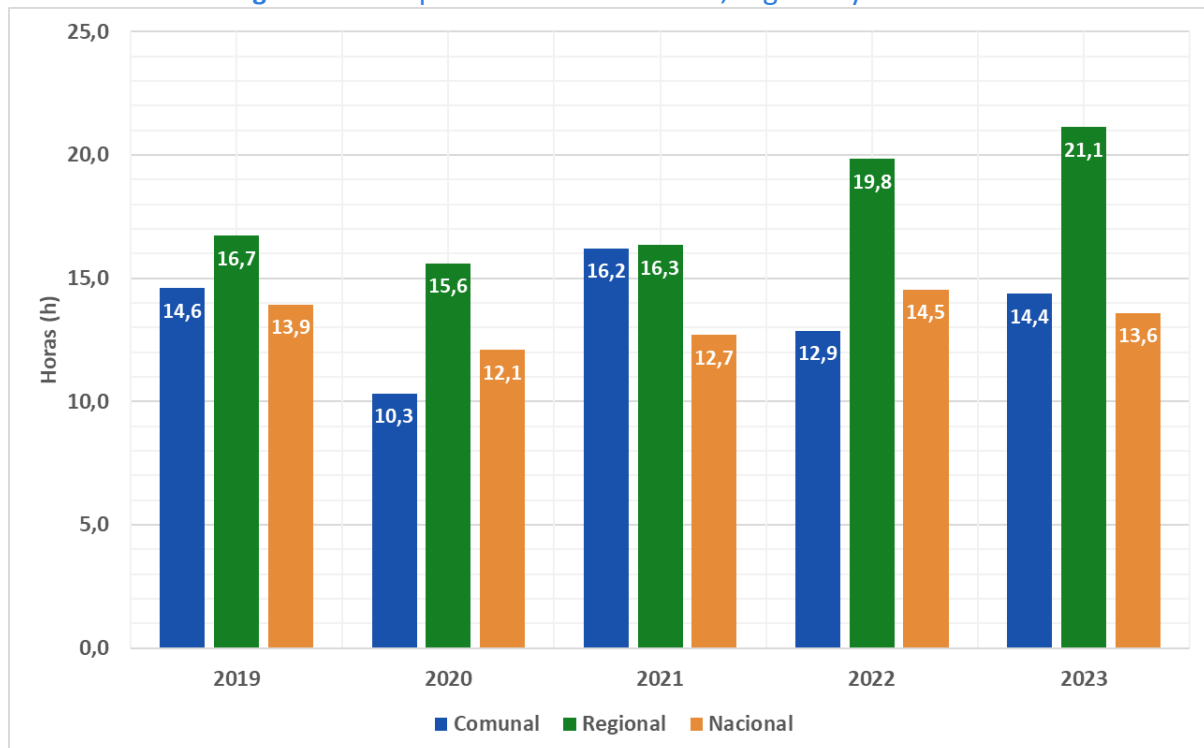
Las variaciones de las horas de interrupción durante los años no presentan un patrón identificable. Previo al año 2020 las interrupciones del suministro producto de contingencias internas tenían una duración alta y esto lo han ido trabajando con planes de mantención de las líneas⁴. Estas interrupciones de suministro tienen su fuente en las condiciones climáticas que afectaron a distintas zonas del país como ellos lo explican en la memoria anual.⁵ Para años posteriores las interrupciones por contingencias externas e internas han disminuido de manera significativa, mejorando el SAIDI comunal.

Para complementar este análisis, se presenta la **Figura 11**, la cual proporciona una comparación del SAIDI comunal, regional y nacional de los últimos 5 años.

⁴ <https://www.cge.cl/cge-ejecuta-importante-plan-de-mantenimiento-en-el-area-de-transmision-de-energia/>

⁵ <https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2020/03/Memoria-CGE-2019.pdf>

Figura 11. Comparativa SAIDI comunal, regional y nacional.



Fuente: Elaboración propia con datos de Energía Abierta, 2024.

Se puede observar que la comuna de San Fernando tiene un índice de interrupciones menor al promedio regional y que varía en comparación al promedio anual, siendo mayor a este durante los años 2019, 2021 y 2023, y menor a este durante los años 2020 y 2022. En particular, para la comuna de San Fernando que corresponde a una comuna de densidad de red baja⁶ según la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución (Comisión Nacional de Energía⁷), las interrupciones del suministro eléctrico se encuentran dentro de los estándares aceptados.

En el informe Energía 2050 se establece una meta para que en el año 2050 las interrupciones de suministro eléctrico en cualquier zona del país deben ser menores a 1 hora anual considerando sólo efectos producidos por contingencias externas o internas. Para llegar a ese punto habrá que trabajar sobre las mejoras en las redes de distribución.

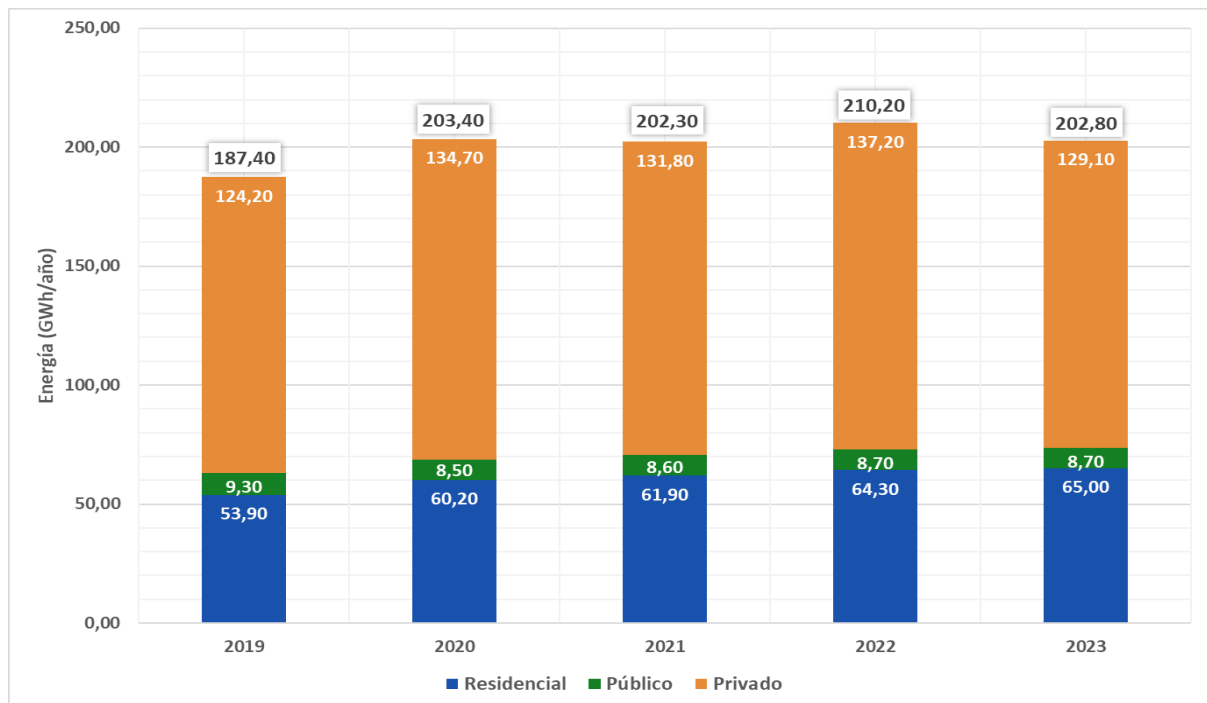
⁶ La densidad de red es una clasificación de los sistemas de distribución con la finalidad de dar cuenta de sus características principales, utilizando para ello un índice que representa la dificultad de entregar el servicio de suministro eléctrico en una determinada zona. En la norma técnica se define la densidad de red para cada comuna.

⁷ Comisión Nacional de Energía, Norma Técnica de Seguridad y calidad de servicio para sistemas de distribución. https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/Norma-T%C3%A9cnica-de-Calidad-de-Servicio-para-Sistemas-de-Distribuci%C3%B3n_vf.pdf

3.8. Energía eléctrica

La energía eléctrica en la comuna de San Fernando ha presentado pequeñas variaciones durante los últimos años. El año 2019 la comuna tuvo una demanda energética de 187,40 GWh, siendo el menor consumo de los últimos 5 años y, el año 2022, la comuna tuvo una demanda energética de 210,20 GWh, siendo esta la mayor de los últimos años.

Figura 12. Consumo de energía eléctrica anual en la comuna de San Fernando.



Fuente: Elaboración propia con datos de Energía Abierta y oficio a Superintendencia de electricidad y combustibles (SEC), 2024.

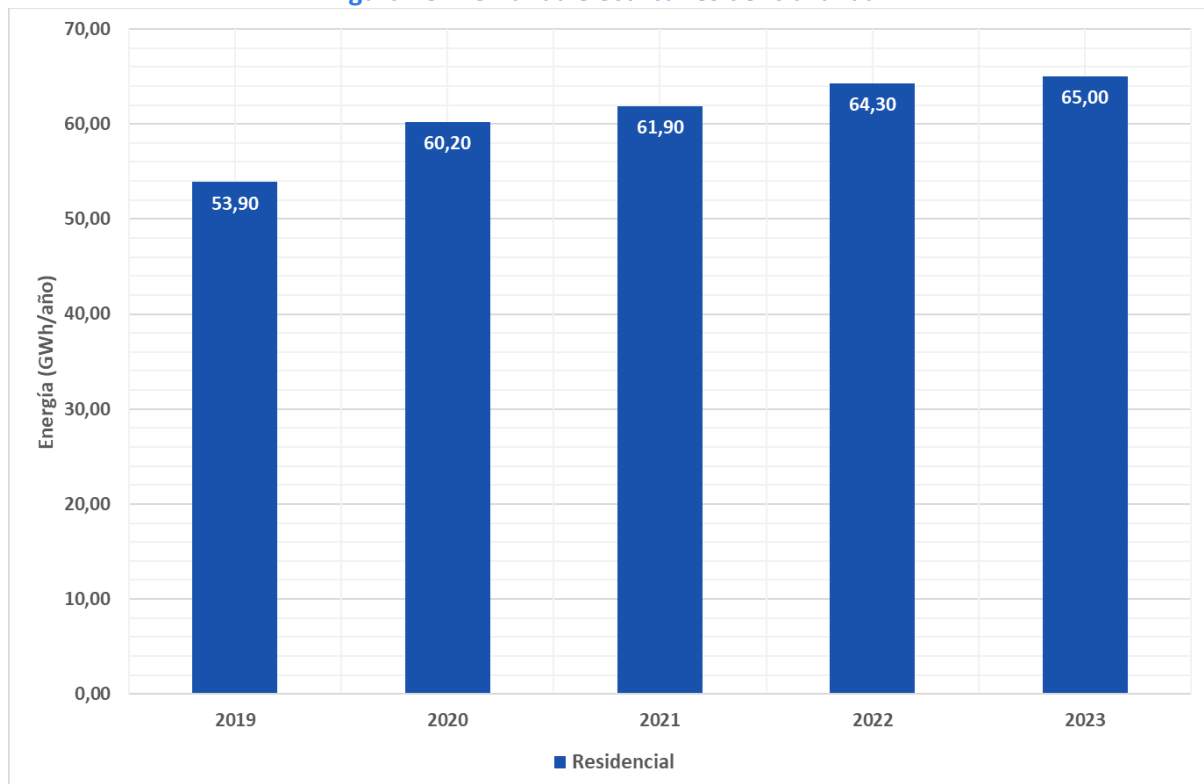
En la **Figura 12**, se puede observar que entre los años 2019 y 2022 existe un aumento del consumo de energía en los sectores residenciales y privados. El consumo del sector público se ha mantenido prácticamente constante durante los últimos años.

En la misma figura es posible observar que la comuna tiene una fuerte participación del sector privado, ya que la demanda energética de este sector resulta ser aproximadamente el 65% del consumo energético total de la comuna. A su vez, el sector residencial posee una demanda energética de aproximadamente el 30% del consumo energético y, finalmente, el sector público tiene un consumo aproximado del 5% de la energía total.

3.8.1. Demanda eléctrica residencial

La demanda eléctrica residencial se refiere al consumo de energía eléctrica por parte de los hogares y se considera uno de los principales segmentos de consumo dentro del sector energético. Este tipo de demanda incluye el uso de electricidad para iluminación, calefacción, refrigeración, electrodomésticos, y otros dispositivos eléctricos en las viviendas.

Figura 13. Demanda eléctrica residencial anual.



Fuente: Elaboración propia con datos de Energía Abierta, 2024.

La demanda energética del sector residencial ha ido incrementando con los años, lo cual tiene una relación directa con el incremento poblacional de la comuna y, además, con el incremento de clientes regulados residenciales que tiene la compañía de distribución eléctrica. La siguiente tabla muestra la cantidad de clientes residenciales desde el año 2018 hasta el año 2022.



CONSUMO POR VIVIENDA

2.262,79
KW/AÑO



CONSUMO PER CÁPITA

801,60
KW/AÑO

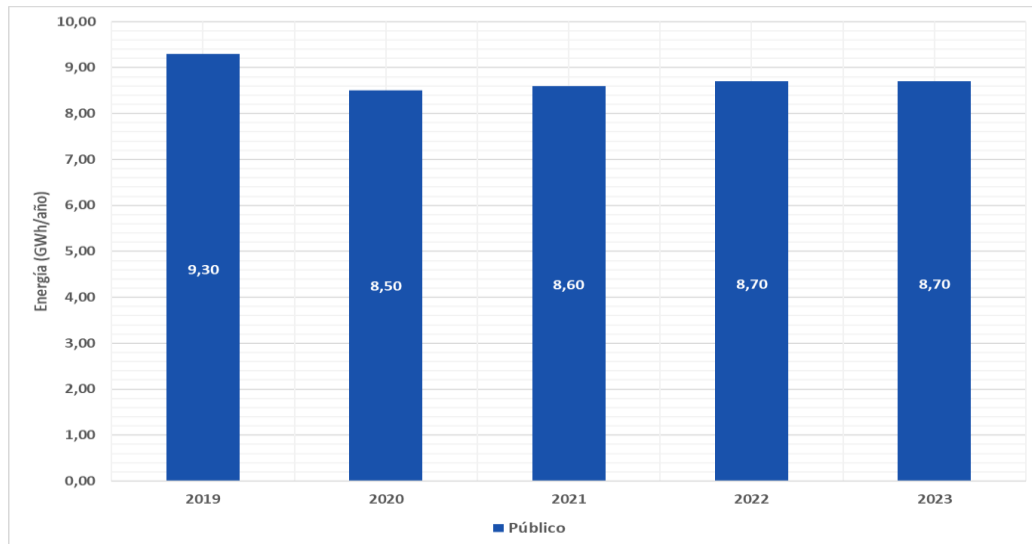
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Según los datos de Energía Región, para la región de O'Higgins, el consumo residencial por cliente equivale a 172 kWh/mes. En este caso, para la comuna de San Fernando, el consumo por cliente corresponde a 188,23 kWh/mes, por lo que se encuentra sobre el promedio de la región.

3.8.2. Demanda eléctrica del sector público

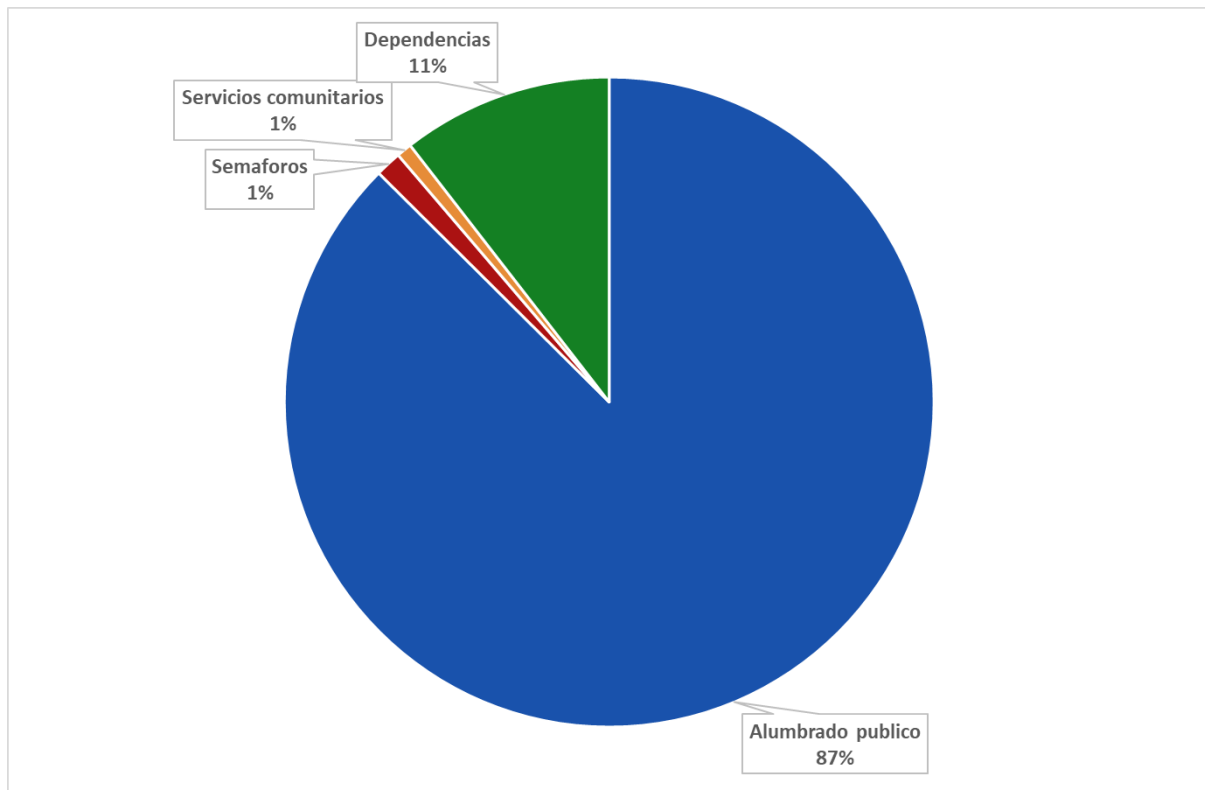
El año 2019 resultó ser el año con mayor consumo energético del sector público. Posteriormente, el año 2020 hay una disminución de la demanda de energía y durante los próximos años se evidencia un incremento paulatino.

Figura 14. Demanda eléctrica pública anual.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

Figura 15. Demanda eléctrica pública segregada por infraestructura.



Fuente: Elaboración propia con datos recabados por el municipio, 2024.

En la **Figura 15** se puede observar que el consumo de energía eléctrica del sector público contempla en gran medida la demanda energética del alumbrado público. Por otra parte, las dependencias del municipio corresponden a un 11% del consumo energético y, finalmente, los semáforos y servicios comunitarios tienen el orden del 2%.

Dentro de las dependencias municipales, se pueden encontrar:

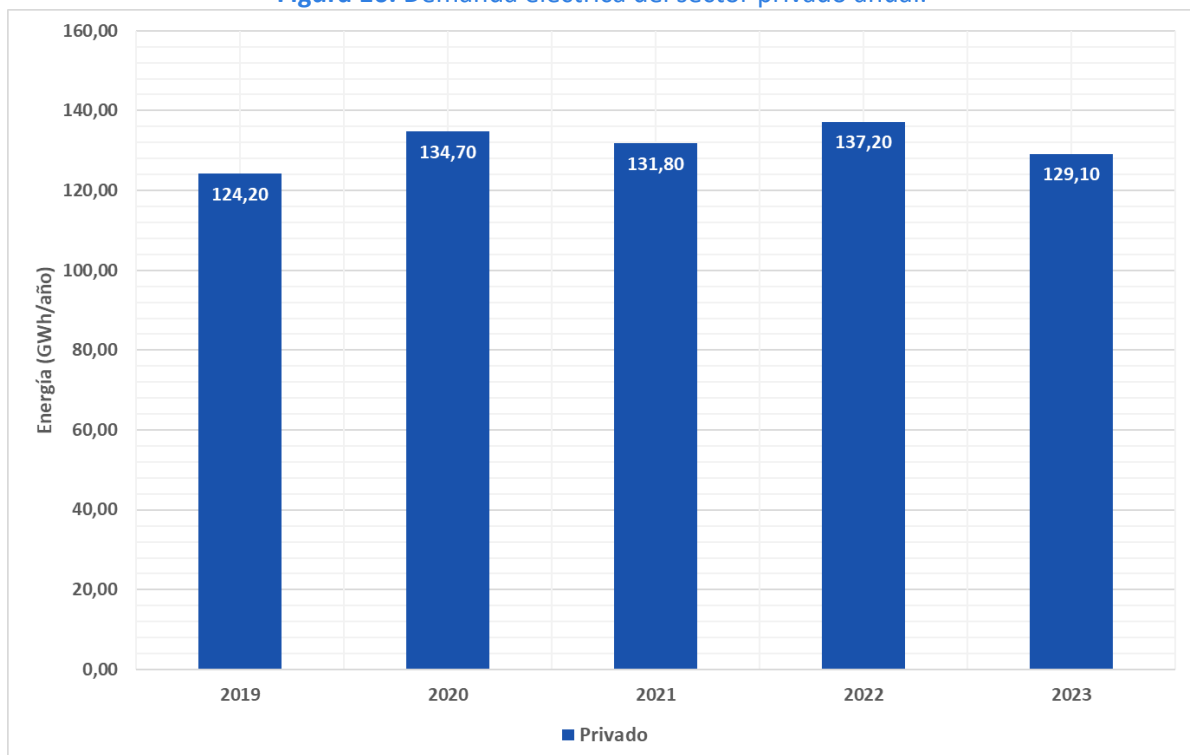
- Edificio consistorial.
- Estadio municipal.
- Gimnasio techado.
- Edificio de Tránsito.
- Organizaciones comunitarias.
- Edificio DIDECO.
- Cementerio.
- Biblioteca.
- Otros.

Estos establecimientos no están ordenados de manera particular y se mencionan para desglosar de alguna forma la cantidad de infraestructura que consume el 11% de la energía eléctrica comunal y que queda atrás en comparación al alumbrado público.

3.8.3. Demanda eléctrica del sector privado

La demanda eléctrica del sector privado representa una gran parte del consumo energético de la comuna. Este sector incluye industrias, comercios, oficinas, y servicios diversos, por lo tanto, el consumo eléctrico en el sector privado es importante para la economía local, ya que alimenta procesos productivos, servicios, y actividades comerciales.

Figura 16. Demanda eléctrica del sector privado anual.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

El gráfico muestra que, dentro de la comuna, el consumo de energía eléctrica por privados ha ido incrementando en promedio a medida que avanzan los años teniendo pequeñas variaciones entre años. En este aspecto, el rango de consumo energético se encuentra entre 124,20 GWh/año y 137,20 GWh/año, alcanzados en los años 2019 y 2022 respectivamente.

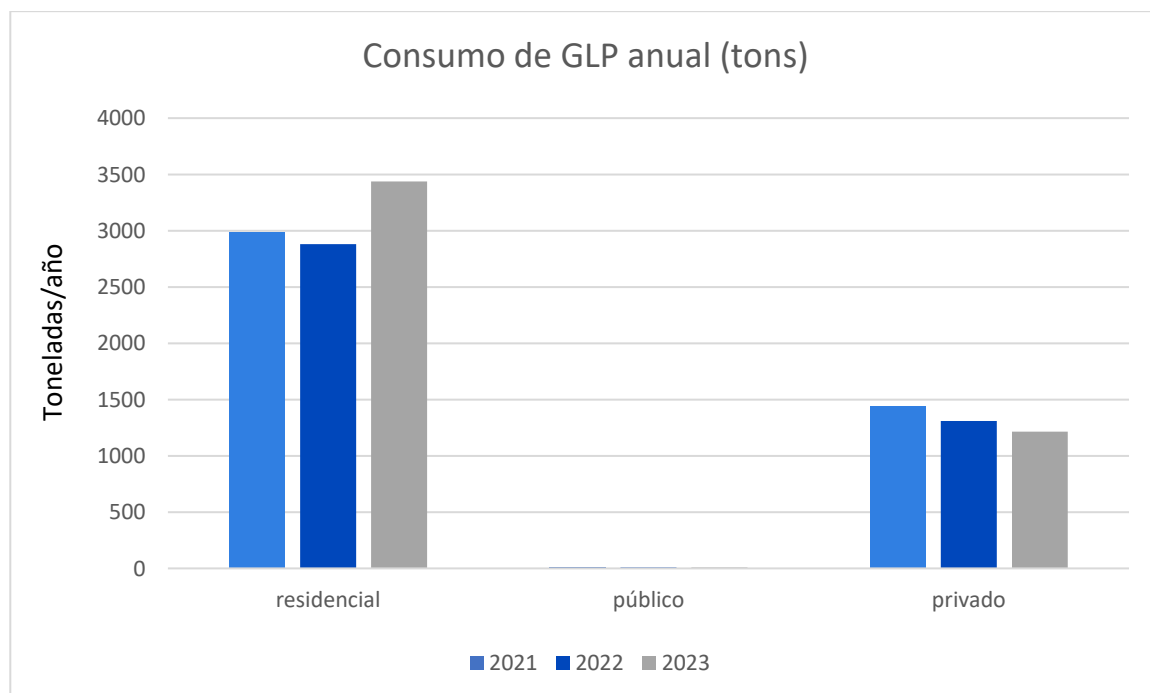
3.9. Energía térmica

3.9.1. Demanda de combustibles de uso térmico

- Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El GLP es una fuente de energía ampliamente utilizada en todo el mundo. Se compone principalmente de propano y butano, que son hidrocarburos gaseosos que se licúan bajo presión para facilitar su almacenamiento y transporte.

Figura 17. Consumo de GLP comunal total (toneladas) anual.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

Tabla 4. Consumo de GLP comunal total (toneladas) anual.

Sector	2021	2022	2023
Residencial	2.989,63	2.879,68	3.438,65
Público	12,92	9,93	9,36
Privado	1.446,09	1.309,36	1.214,48
Total	4.448,64	4.198,97	4.662,49

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

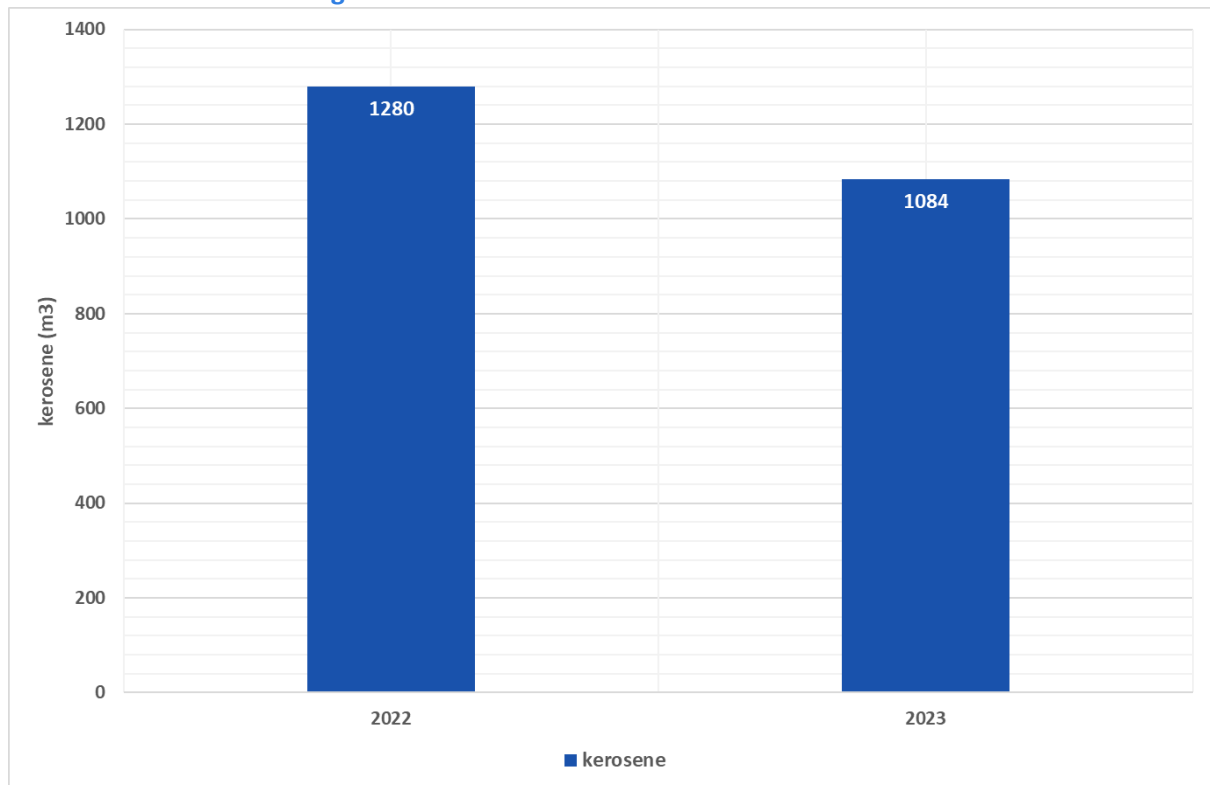
Como se puede observar en la **Tabla 4**, el consumo residencial de GLP predomina en la comuna; el uso domiciliario en cocina, calefacción, agua caliente, entre otros, lo hacen un insumo muy versátil y por este motivo tiene una gran penetración en este sector en particular.

- **Kerosene**

El queroseno es un combustible líquido derivado del petróleo que se utiliza en aplicaciones domésticas, especialmente en regiones donde el acceso a otras fuentes de energía es limitado o en situaciones donde se busca una opción de calefacción económica.

La mayor utilización de este insumo en la comuna de San Fernando corresponde a la calefacción. A continuación, se muestra la **Figura 18** que muestra la venta de kerosene en la comuna en metros cúbicos.

Figura 18. Venta de kerosene anual San Fernando.



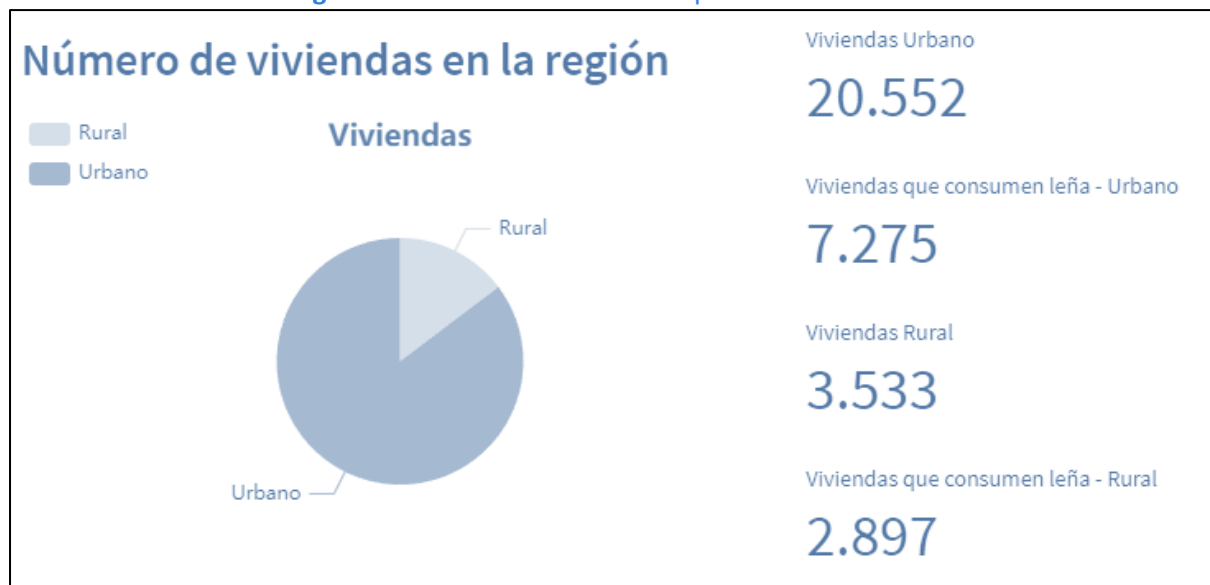
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

• Leña

La leña es un combustible natural tradicionalmente usado en hogares para calefacción y cocción en chimeneas, estufas, cocinas y hornos de leña. En áreas rurales sigue siendo una fuente de energía crucial para cocinar y calentar. Su uso como combustible es valorado por ser renovable, aunque su eficiencia y sostenibilidad dependen de prácticas de recolección y manejo responsables ya que el uso de leña húmeda en combustión genera más humo y hollín, contribuyendo a la contaminación atmosférica sobre todo durante el invierno.

Para el año 2023, el consumo de leña residencial correspondía a 27.384 m3 de leña segregado en viviendas de zona rural (consumo de 10.719 m3) y urbana (consumo de 16.665 m3) como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 19. Cantidad de viviendas que consumen leña.



Fuente: Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile, SIMEF 2024.

La proporción de consumo de leña entre las viviendas urbanas y rurales se ha mantenido prácticamente similar durante los últimos años, donde el sector rural tiene una participación de aproximadamente el 40% del consumo de leña comunal a nivel residencial. Esto demuestra la importancia que tiene la leña en este sector, ya que siendo menos viviendas (aproximadamente la mitad de viviendas que el sector urbano), tienen un consumo promedio mayor. En este aspecto, el consumo promedio de leña para una vivienda del sector urbano corresponde a 2,9 m³/año, mientras que una vivienda en el sector rural tiene un consumo promedio de 3,7 m³/año.

Tabla 5. Consumo de leña residencial anual.

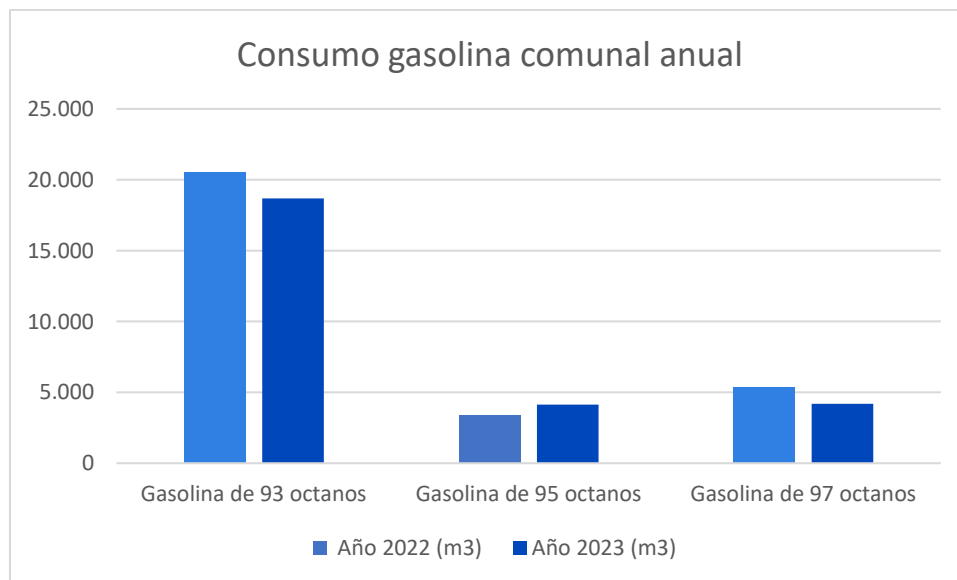
Tipo	Año 2021 (m ³)	Año 2022 (m ³)	Año 2023 (m ³)
Residencial Urbano	16.385	16.523	16.665
Residencial Rural	10.702	10.733	10.719
Total	27.087	27.259	27.384

Fuente: Elaboración propia en base a informe de consumo de leña, INFOR 2024.

3.9.2. Demanda de combustibles para uso de transporte

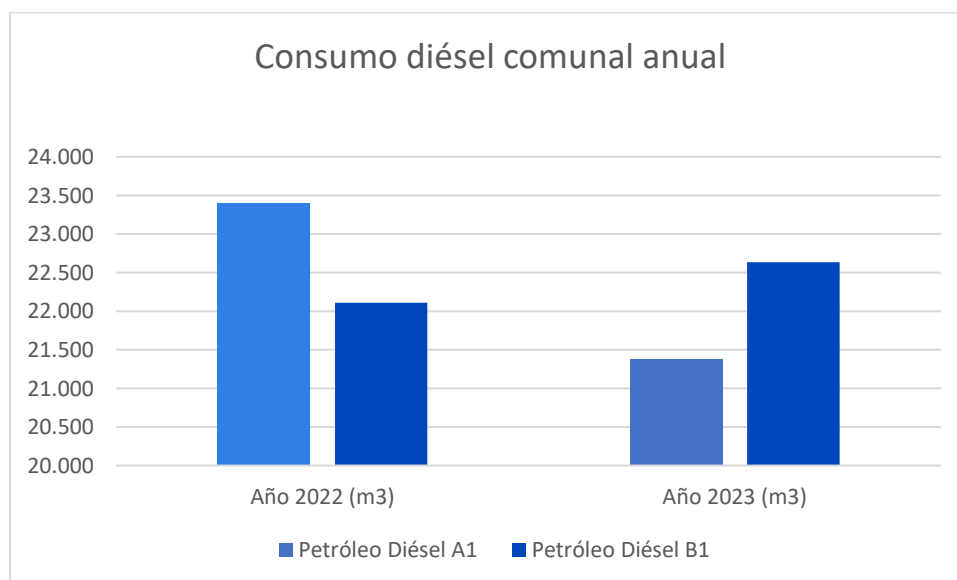
La gasolina y el petróleo son fundamentales para el transporte, siendo utilizados en una variedad de vehículos, desde automóviles y motocicletas hasta camiones. Las ventas de combustibles líquidos en la comuna de San Fernando corresponden principalmente a gasolina de 93, 95 y 97 octanos y petróleo diésel A1 y B1. El consumo de la comuna se muestra a continuación en las tablas 15 y 16.

Figura 20. Consumo de gasolina comunal anual.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

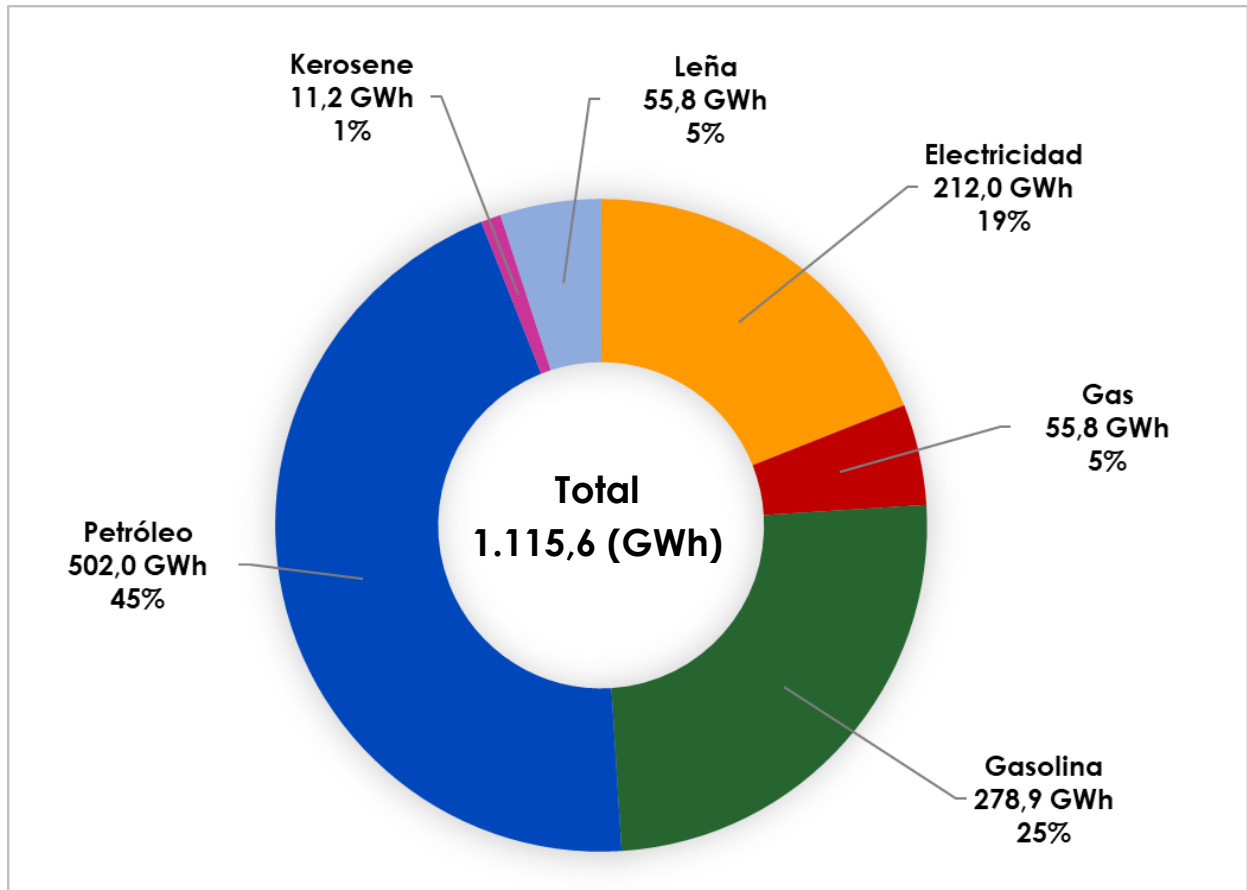
Figura 21. Consumo de petróleo diésel comunal anual.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEC, 2024.

3.10. Demanda energética total

Figura 22. Resumen de la demanda energética de la comuna.

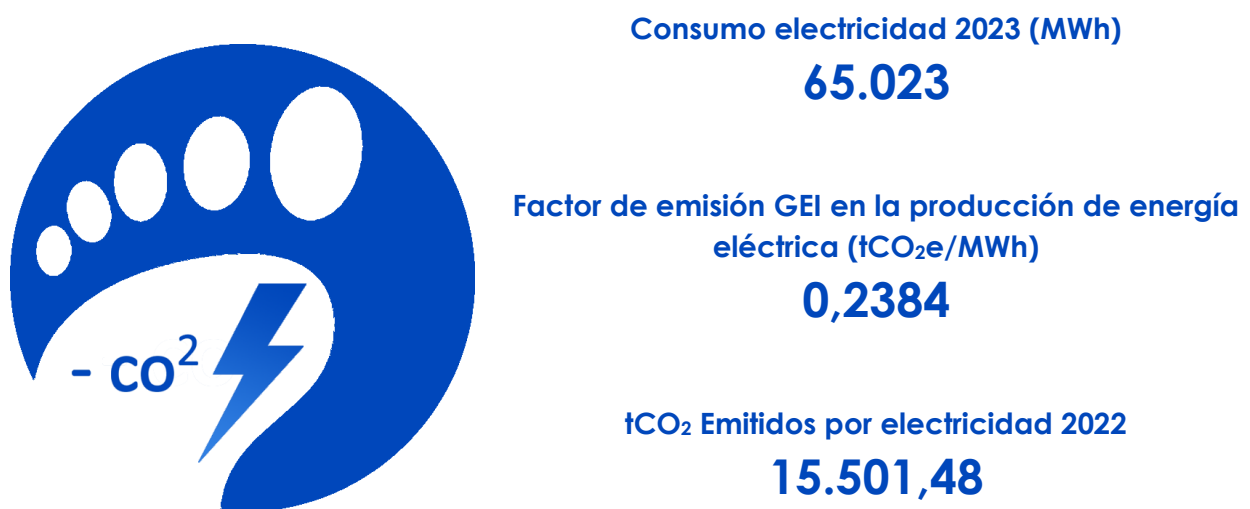


Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.11. Huella de carbono del sector energético

En este apartado se busca cuantificar el impacto de la generación eléctrica en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero de la comuna de San Fernando. Para esto, se observa que en el caso del SEN para el año 2023 se obtuvo un factor de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) promedio de 0,2384 (tCO₂e/MWh) (Energía Abierta 2023), el cual resulta ser menor a otros años principalmente debido a la inclusión de energías limpias en la matriz de generación y la salida de unidades de carbón.

Figura 23. Huella de carbono para la comuna.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Donde considerando la población para el año 2023 correspondiente a 81.117, las toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidos por persona corresponden a 0,19 (tCO₂e/año) para San Fernando.

4. Potencial disponible de generación ERNC

A continuación, se presentan los resultados de los potenciales de generación de energía renovable. Se revisará el potencial de:

- Biomasa.
- Solar.
- Eólica.
- Geotérmica.
- Hídrica

Para lo anterior, se utiliza un potencial teórico disponible para cada tipo de energía renovable y se estima cual es el potencial disponible según las restricciones ecológicas, sociales y técnicas.

4.1. Potencial de biomasa

La biomasa se refiere a toda materia orgánica que puede ser utilizada como una fuente de energía renovable, ya sea de origen vegetal, animal o artificial. Este recurso puede ser aprovechado para generar tanto energía eléctrica como térmica, a través de la producción de biogás o biodiésel. A continuación, se presentan los potenciales de producción de biodiesel y biogás en la comuna de San Fernando.

4.1.1. Potencial de producción de biodiesel

Para determinar el potencial de generación de biodiesel de la comuna de San Fernando, se trabajó bajo el supuesto de que en promedio se consumen en Chile 12,6 litros de aceite al año, de los cuales se desecha aproximadamente un 10% según la estimación realizada por BIOILS. Considerando los datos anteriores y que la proyección de habitantes para la comuna de San Fernando para el año 2025 es de 81.117 habitantes, se considera un volumen teórico de 1.022.074 litros al año.

Es importante tener en cuenta los desafíos que conllevan la recolección y el tratamiento de estos residuos a nivel comunal, por lo que se estima que es factible manejar un rango del 5-15% del volumen desechado.

Tabla 6. Potencial de producción de biodiesel en San Fernando bajo tres escenarios de recolección.

Variable	Conservador	Moderado	Optimista
	Cifra		
N.º de habitantes	81.117	81.117	81.117
Consumo per cápita promedio (L)	12,6	12,6	12,6
Generación de biodiesel teórico (L/año)	1.022.074	1.022.074	1.022.074
Porcentaje desechado (%)	10%	10%	10%
Factor de recolección (%)	5%	10%	15%
Generación de biodiesel (L/año)	5110,37	10.220,74	15.331,11
Densidad del aceite (kg/L)	0,91	0,91	0,91
Poder calorífico del aceite (PCI) (MJ/kg)	28	28	28
Potencial energético (MJ/año)	130.212,23	260.424,46	390.636,68
Potencial energético (MWh/año)	36,17	72,34	108,51

Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.1.2. Potencial de producción de biogás

Para estimar el potencial de producción de biogás de la comuna de San Fernando, se consideró la información proporcionada en la "Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos en Chile 2040" (Ministerios del Medio Ambiente), en el país se generan 1,22 Kg de residuos diarios per cápita. Considerando la cantidad de habitantes en la comuna, se estima que al año se producen 36.121,74 toneladas de RSD, sin considerar a la población flotante. Con el fin de estimar la cantidad de materia orgánica que se produce, el 58% de los RSD corresponden a este tipo de material según lo indicado en el estudio, lo cual entrega una cifra de 20.950,41 toneladas de materia orgánica al año.

Es importante considerar una efectividad de recolección entre el 5-15%, lo cual arroja una cantidad estimada de 1.047,52 toneladas al año bajo un escenario conservador (5% de recolección), 2.095,04 toneladas al año bajo un escenario

moderado (10% de recolección) y por último 3.142,56 toneladas al año bajo un escenario optimista (15% de recolección).

Es importante considerar, a pesar de la información anterior, que las labores de recolección de residuos y separación de la materia orgánica presentan un desafío adicional, lo cual puede limitar la capacidad de la comuna para aprovechar al máximo la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos.

Para el cálculo del potencial, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- El valor teórico de generación de biogás a partir de RSD es de 60 m³ de biogás por tonelada de residuo.
- El porcentaje de metano en el biogás que es producido por RSD es del 50%.
- El Poder Calorífico Inferior (PCI) del metano es de 9,96 kWh/m³.⁸

Tabla 7. Potencial de producción de biogás en San Fernando bajo 3 escenarios de capacidad de recolección.

Variable	Conservador	Moderado	Optimista
	Cifra		
RSD (TON/año)	36.121,74	36.121,74	36.121,74
Fracción orgánica	58%	58%	58%
RSD FO (TON/año)	20.950,41	20.950,41	20.950,41
Biogás a partir de RSD (m ³)	60	60	60
RSD Fracción orgánica (m ³ /año)	1.257.024,6	1.257.024,6	1.257.024,6
Porcentaje de metano	50%	50%	50%
Poder calorífico de metano (kWh/m ³)	9,96	9,96	9,96
Energía (MWh)	6.259,98	6.259,98	6.259,98
Capacidad de recolección	5%	10%	15%
Potencial final (MWh)	312,99	625,99	938,99

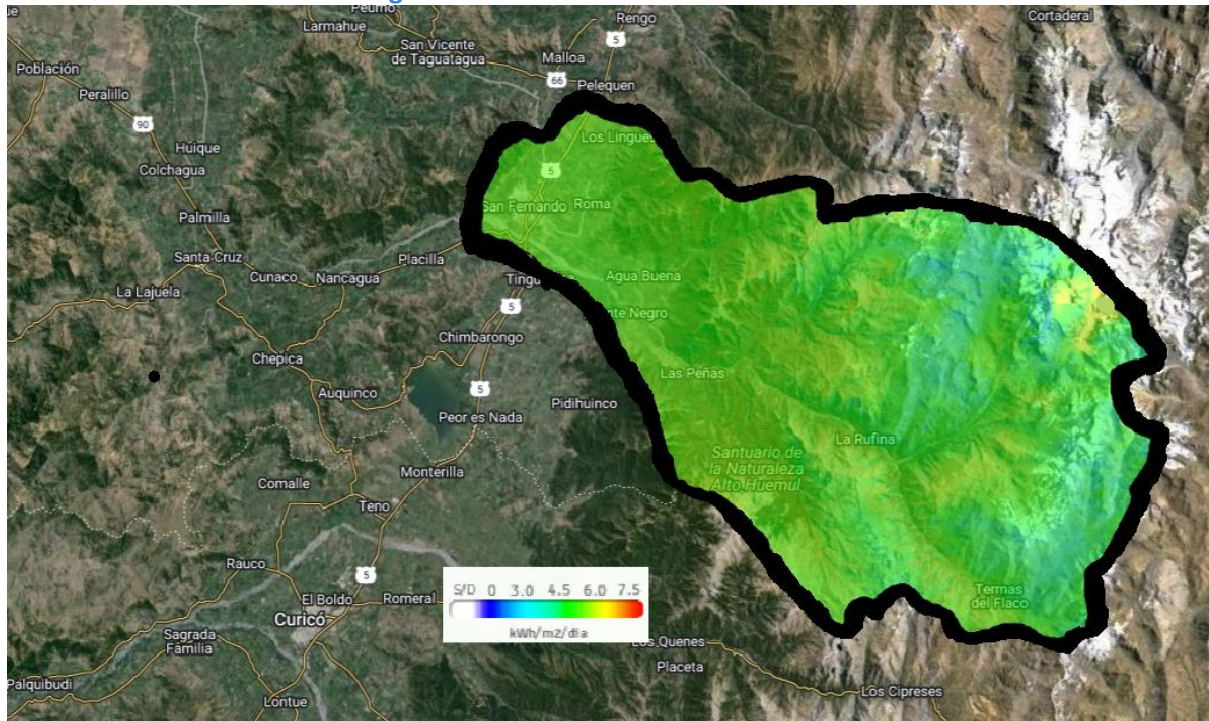
Fuente: Elaboración propia, 2024.

⁸ <https://ingemecanica.com/utilidades/objetos/tablas/calorifico/calor49.jpg>

4.2. Potencial solar

Los datos obtenidos del Explorador Solar, indican que la radiación directa que incide en la comuna es del orden de 2.529,45 (kWh/m²) anuales, con un promedio de 6,93 (kWh/m²) al día. La siguiente figura muestra la radiación dentro de la comuna.

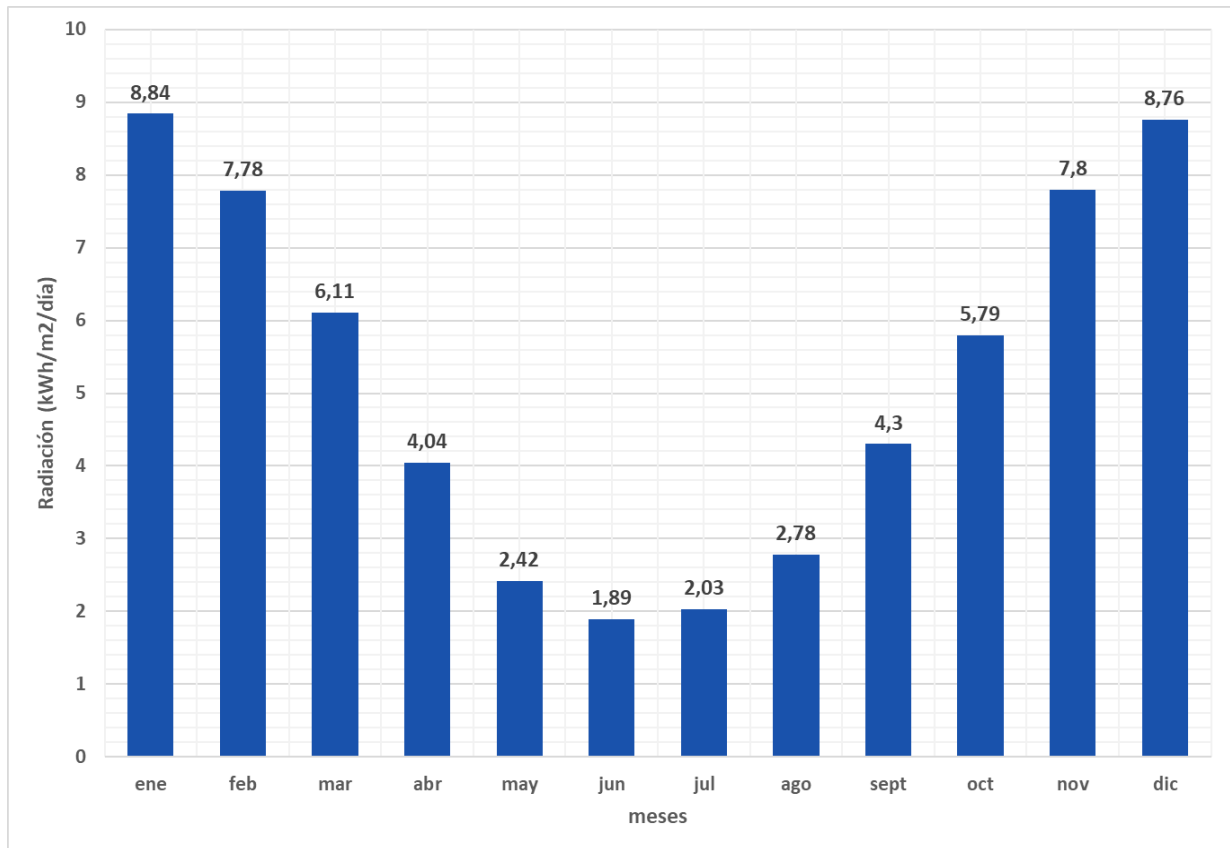
Figura 24. Radiación solar en la comuna.



Fuente: Elaboración propia en base al Explorador solar del Ministerio de Energía, 2024.

La variación de la radiación diaria promedio entre los diferentes meses del año varía en un rango de 1,88-8,83 (kWh/m²) diarios, como se puede observar en la **Figura 22**. El gráfico muestra claramente que las radiaciones máximas diarias se alcanzan en el período estival, mientras que los valores más bajos corresponden a los meses de otoño - invierno.

Figura 25. Promedios mensuales de Radiación Solar en la comuna de San Fernando.



Fuente: Elaboración propia en base al Explorador solar del Ministerio de Energía, 2024.

4.2.1. Producción de energía solar fotovoltaica a gran escala

Se consideraron diferentes escenarios para la superficie de una planta solar con el fin de estimar la producción de energía fotovoltaica a gran escala en la comuna. Estos serían de 2, 5 y 8 hectáreas de superficie y se ubicaría en el sector nororiental de San Fernando, superficie que recibe una mayor cantidad de incidencia de radiación relativa. Mediante el Explorador Solar del Ministerio de Energía, se estimó una capacidad instalada con paneles de superficie aproximada a 2 m² y una potencia de 360 kWp. bajo los tres escenarios mencionados:

Tabla 8. Potencial de generación de energía solar a gran escala en San Fernando bajo 3 escenarios

Variable	Cifra		
	Conservador	Moderado	Optimista
Superficie neta (m ²)	2.000	5.000	8.000
Potencia Instalada (kW)	360	900	1440
Cantidad de módulos	1.000	2.500	4.000
Radiación Anual Promedio (kWh/m ²)	2.529,45	2.529,45	2.529,45
Rendimiento módulo FV (%)	16%	16%	16%
Potencial Fotovoltaico (GWh/año)	0,51	1,28	2,05

Fuente: Elaboración propia en base al explorador solar del Ministerio de Energía, 2024.

4.2.2. producción de energía solar fotovoltaica a nivel residencial

A continuación, se presenta el potencial de generación de energía eléctrica y térmica mediante la utilización de la energía solar incidente en las superficies disponibles de las techumbres residenciales en la comuna de San Fernando. Para calcular el potencial de generación de energía solar fotovoltaica y térmica, se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- I. cantidad de viviendas existentes en la comuna,
- II. calidad de las techumbres
- III. número de habitantes
- IV. nivel de adopción de la tecnología.

En la comuna de San Fernando se registraron un total de 28.736 viviendas según el último censo realizado en 2017. De este total, 24.239 son casas, 3.361 son departamentos en edificio, 5 viviendas tradicionales indígenas, 61 piezas en casas antiguas o conventillos, 351 consideradas mediaguas, mejora, rancho o chozas, 5 móviles y por último 109 consideradas otro tipo de vivienda particular.

Teniendo en cuenta estos datos, se excluyen las viviendas que no son consideradas tradicionales indígenas, piezas en casas antiguas o conventillos, mediaguas y casas móviles, quedando un total de 28.130 viviendas. Además, se realiza una estimación considerando que por cada vivienda se implementa una planta fotovoltaica de 4 paneles solares que equivalen a un sistema de 2 (kWp)

aproximadamente, considerando una superficie aproximada de uso de 8 m² útiles del techo para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos. Con estos datos, se obtiene el siguiente resumen.

Tabla 9. Resumen de producción fotovoltaica y térmica.

Variable	Cifra
Superficie aproximada (m ²)	8
Cantidad de paneles fotovoltaicos	4
Radiación anual promedio (kWh/m ²)	2.529,45
Eficiencia módulo fotovoltaico (%)	16
Eficiencia colector solar térmico (%)	70
Potencial fotovoltaico vivienda tipo (kWh/año)	2.845
Potencial solar térmico vivienda tipo (kWh/año)	1.213

Fuente: Elaboración propia en base al explorador solar del Ministerio de Energía, 2024.

Se utilizaron distintos porcentajes de penetración de la tecnología para calcular el potencial solar total, es decir, la cantidad de viviendas que podrían instalar sistemas solares. Se establecieron tres escenarios: conservador, moderado y optimista, que corresponden a los siguientes porcentajes de penetración: 5%, 10% y 15%.

Dado que el promedio de personas por hogares en la comuna es de 3,5, según el CENSO 2017, se estimó una generación de energía considerando un hogar con la presencia de 4 personas.

Tabla 10. Escenarios de penetración de sistemas solares fotovoltaicos y térmicos a nivel residencial en San Fernando

Variable	Conservador	Moderado	Optimista
Cantidad de viviendas	1.406	2.813	4.219
Potencial solar fotovoltaico (MWh/año)	1.691,44	3.382,88	5.074,31
Potencial solar térmico (MWh/año)	721,16	1.442,33	2.163,49

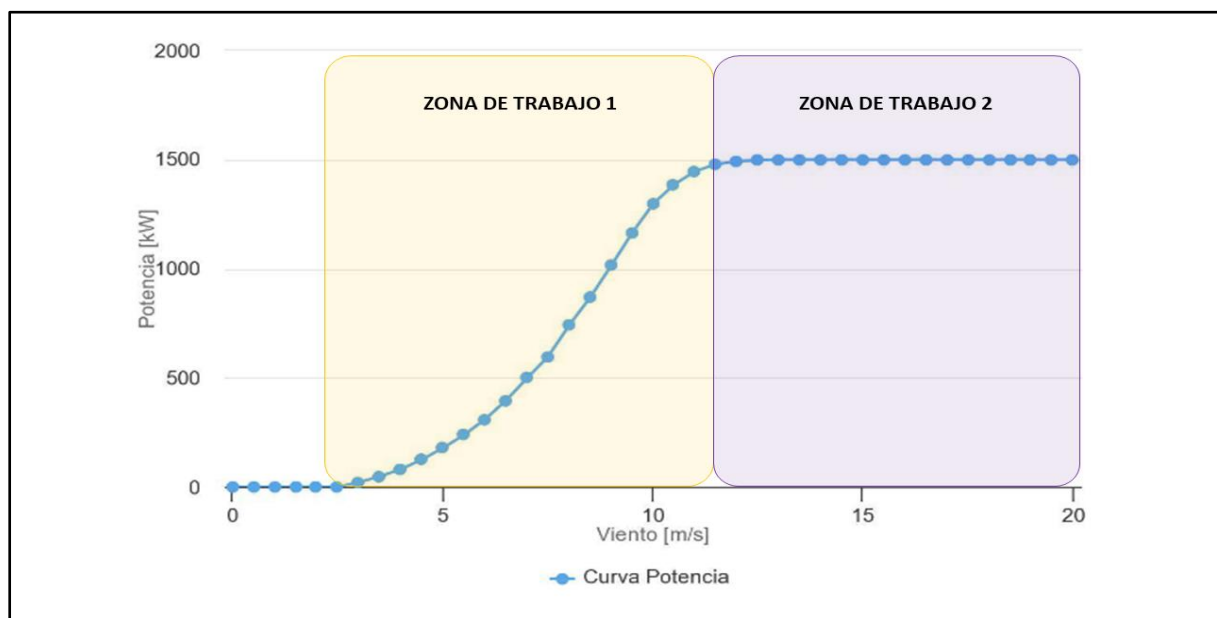
Fuente: Elaboración propia en base al explorador solar del Ministerio de Energía, 2024.

4.3. Potencial eólico

La energía eólica es la energía que se obtiene a partir del viento, se requiere una velocidad mínima de 3,5 (m/s) para la generación de energía, alcanzando una potencia máxima de 11 (m/s).

Un aerogenerador presenta dos zonas de trabajo que permiten obtener energía eólica a partir del flujo de viento transversal a las aspas de la turbina y, en este aspecto, estas dos zonas de trabajo presentan distintos niveles de eficiencia. El gráfico de potencia en función del viento para una turbina se muestra a continuación.

Figura 26. Curva de potencia en función del viento de un aerogenerador.

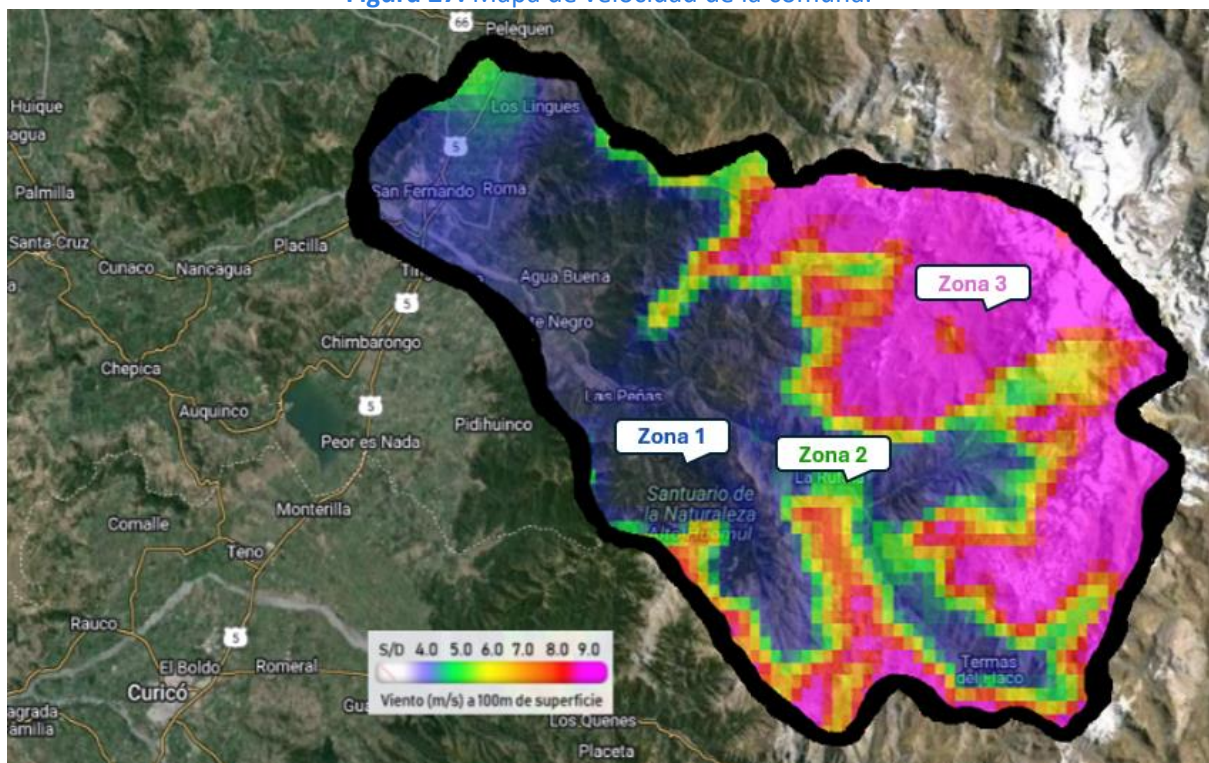


Fuente: Explorador Eólico, Curva de potencia de turbina Enercon E-33 kW.

La primera zona de trabajo se da entre los 3 (m/s) y los 12 (m/s) que es donde la turbina trabaja a una potencia variable dependiendo de la velocidad del viento, dentro de este rango, la generación de energía no es constante y representa una fracción de su capacidad de generación total. La segunda zona de trabajo se obtiene entre los 12(m/s) y los 20 (m/s) y en este rango de velocidades de viento el aerogenerador trabaja a potencia máxima. Para velocidades menores a 3 (m/s) la turbina eólica no puede generar energía porque el viento no genera un movimiento en las aspas y para velocidades mayores a 20 (m/s) el aerogenerador se debe apagar debido a que se pueden producir daños en los equipos eléctricos producto de la energía generada por el giro mecánico del eje. Estos datos son referenciales para la turbina de la figura, sin embargo, todas las turbinas tienen curvas de trabajo similares y los conceptos de zonas de trabajo se mantienen, cambiando la potencia y las velocidades del viento.

Para que un proyecto eólico sea económicamente rentable, es de gran importancia contar con vientos que superen los 6-7 (m/s), ya que en general, a esta velocidad de viento se puede establecer una buena relación entre la energía generada durante el día y la potencia máxima de los aerogeneradores. A continuación, se presenta un mapa de velocidades de la comuna a 100 metros de altura.

Figura 27. Mapa de velocidad de la comuna.



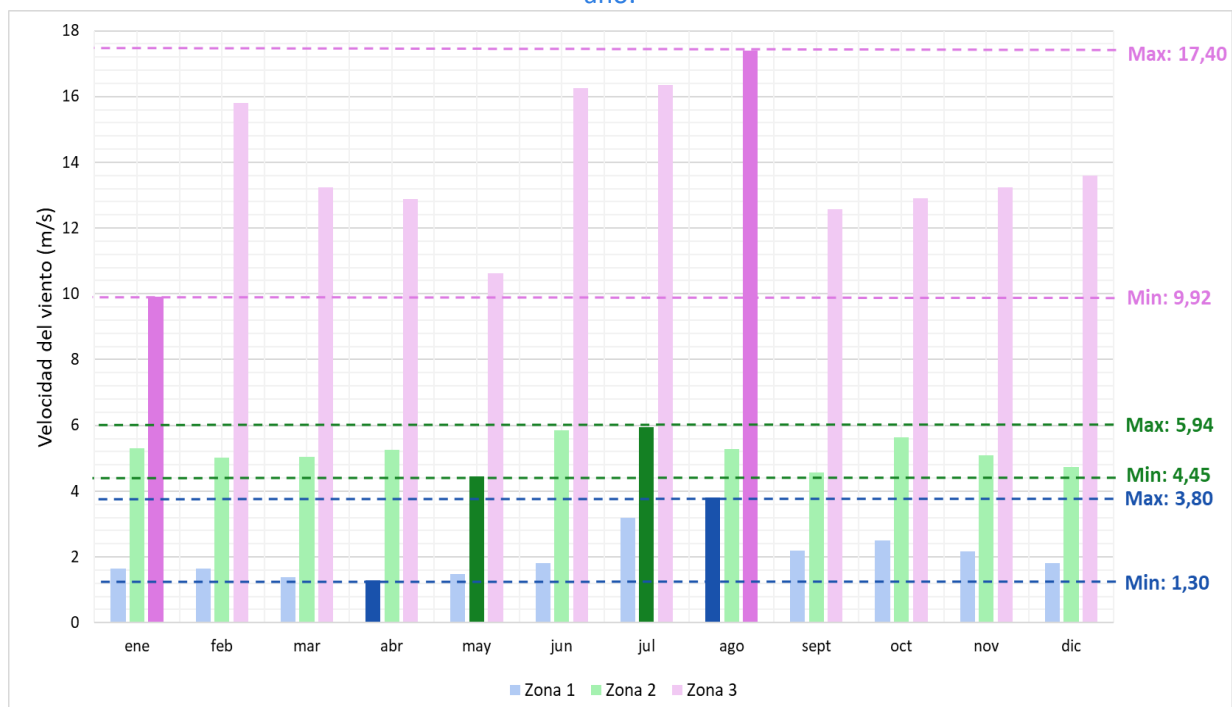
Fuente: Elaboración propia en base al explorador eólico del ministerio de energía (2023).

Como se observa en la **Figura 27**, San Fernando posee distintas zonas donde se pueden apreciar diferentes velocidades de viento. Cabe destacar que las

regiones con mayores velocidades se encuentran a mayor altura, ubicado principalmente en la zona montañosa. En este aspecto, para el análisis se destacan 3 zonas según el código de colores azul, verde y rosa, los que resultan ser más predominantes.

La zona azul (denominada Zona 1 en la **Figura 27**), está caracterizada por ser parte del valle y presentar una velocidad del viento promedio de 4,5 (m/s) anuales. Las zonas en color verde (denominada Zona 2 en la **Figura 27**), se presentan esencialmente en los sectores donde existe el comienzo del relieve natural entre el paso del valle a las montañas y presenta una velocidad de viento promedio de 5,2 (m/s) anuales. Finalmente, la zona rosa (denominada como Zona 3 en la **Figura 27**), se presenta en las zonas más altas, en sector montañoso y que presenta velocidades de viento promedio de 13,7 (m/s) anuales. En la siguiente figura se muestran las velocidades del viento de la comuna de San Fernando según las zonas descritas.

Figura 28. Velocidad del viento a 100 metros de altura en la comuna de San Fernando a lo largo del año.



Fuente: Elaboración propia en base al explorador eólico, 2024.

Considerando la generación de un aerogenerador tipo Enercon E-53 810 kW en zonas de mejor viento promedio de la comuna para considerar el mayor potencial eólico. Con estos datos se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 11. Resultados de generación para potencial eólico considerando 1 aerogenerador.

Aerogenerador (1)	Potencia (kW)	Generación anual (MWh)	Factor de Planta (%)
Zona 1	810	221,293	3,1%
Zona 2	810	944,596	13,3%
Zona 3	810	4.741,67	66,8%

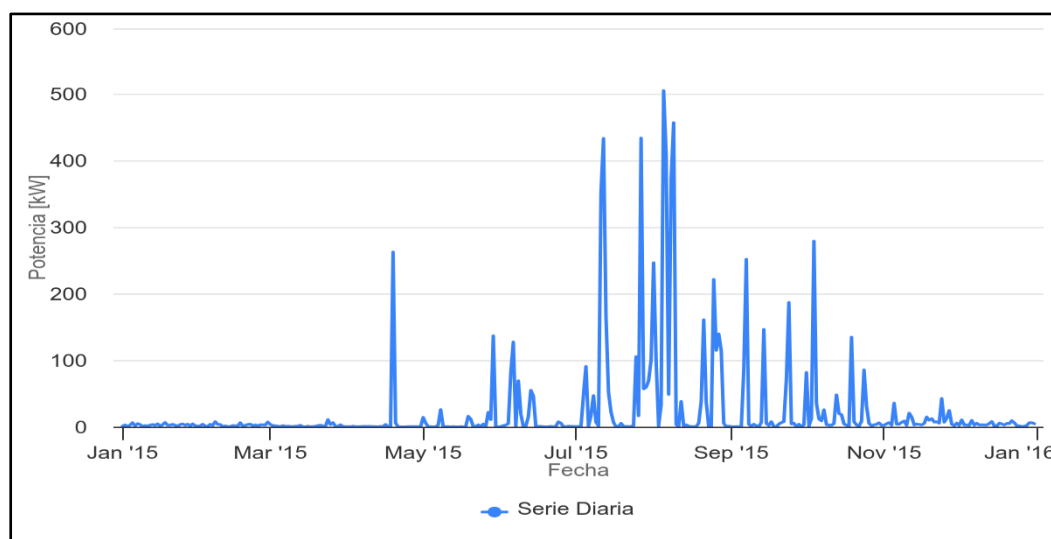
Fuente: Elaboración propia en base a Explorador Eólico.

El índice de factor de planta es una comparación entre la generación teórica anual que podría tener una central de generación eléctrica y la generación real. Para las plantas eólicas este factor varía entre un 10% y un 40%, sin embargo, se consideran buenos cuando los proyectos superan un 20% de factor de planta.

En la Zona 1, la generación anual resulta ser de 221,29 (MWh/año) con un factor de planta de 3,1%. Para la Zona 2, la generación anual de energía resulta ser de 944,59 (MWh/año) con un factor de planta del 13,3%. Finalmente, la Zona 3 cuenta con una generación anual de 4.741,67 (MWh/año) con un factor de planta del 66,8%, lo que resulta ser muy favorable para la comuna, sin embargo, hay algunos desafíos que en la práctica hacen que estos datos no sean tan favorables.

En este aspecto, la instalación de una central eólica en la Zona 1 no es factible principalmente por aspectos económicos. La velocidad del viento para esta zona no permite una inyección continua de energía, por lo que la central pasaría una gran parte del tiempo sin actividad. Esto se puede evidenciar en la siguiente figura.

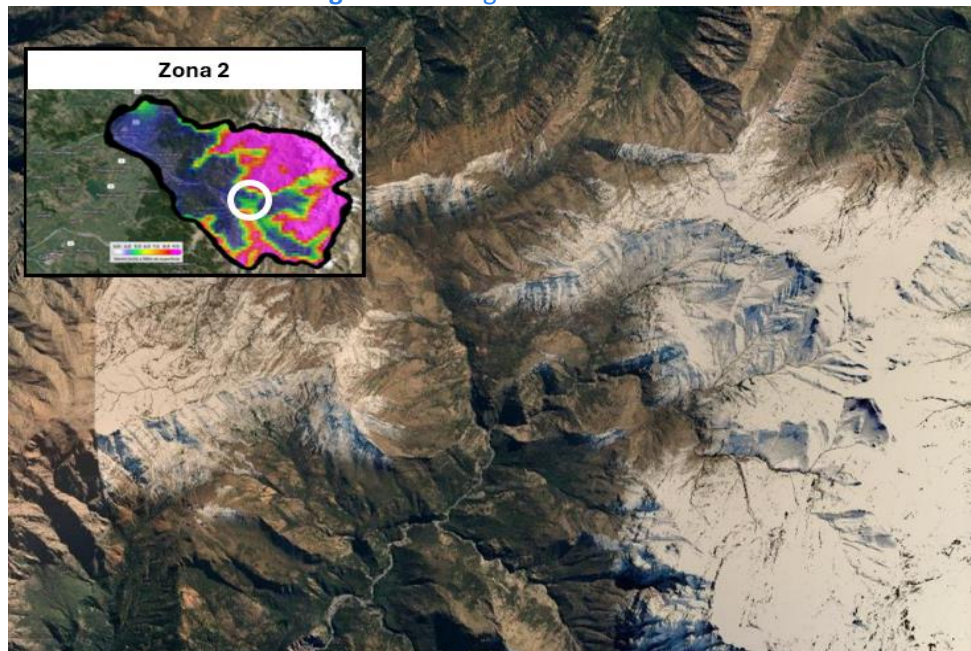
Figura 29. Potencia de operación instantánea de la unidad de generación eólica en la Zona 1.



Fuente: Elaboración propia en base a Explorador Eólico.

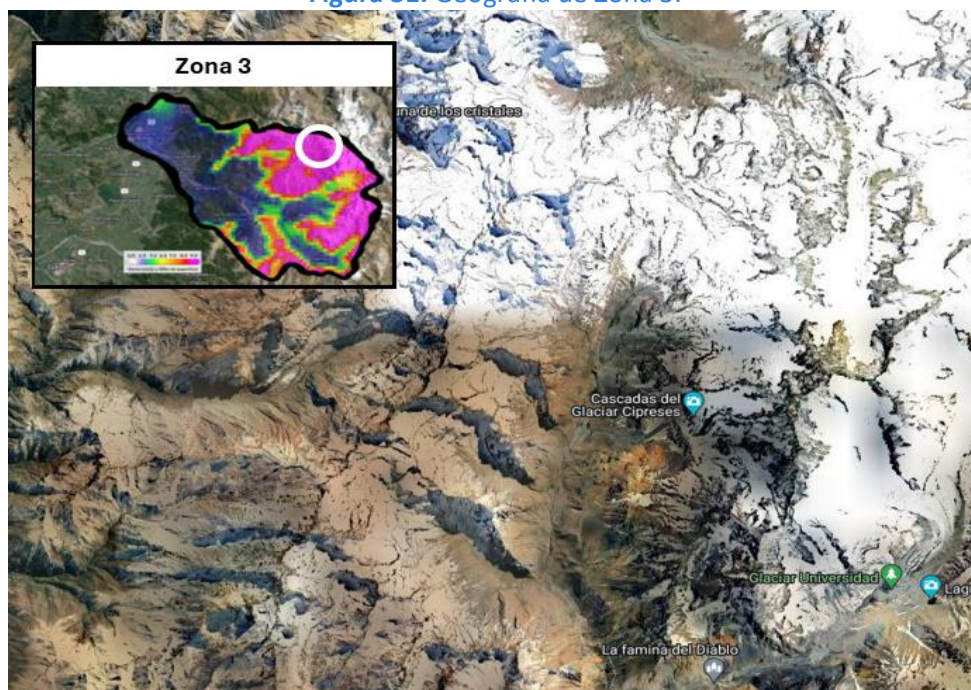
Por otro lado, la Zona 2 y Zona 3 de la comuna presentan un gran potencial para la instalación de parques eólicos, sin embargo, las zonas geológicas en las cuales se encuentran son regiones de terreno irregular y, debido al terreno y a las condiciones climáticas, podrían resultar ser no factibles para la instalación de estos parques. Esto se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 30. Geografía de Zona 2.



Fuente: Elaboración propia en base a Explorador Eólico.

Figura 31. Geografía de Zona 3.



Fuente: Elaboración propia en base a Explorador Eólico.

La estimación se realiza considerando tres escenarios sobre la implementación de centrales eólicas en la Zona 2. El realizar un análisis sobre esta zona en particular se debe a que se considera que aún es posible encontrar regiones idóneas que permitan la construcción de un parque eólico.

Los tres escenarios que se analizarán constan de un escenario conservador con sólo 3 aerogeneradores para el parque, un escenario moderado considerando 5 aerogeneradores y, un escenario optimista considerando 10 unidades de generación. La información se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Escenarios de generación de energía a través de aerogeneradores.

Variable	Conservador	Moderado	Optimista
Energía anual generada por cada aerogenerador (MWh)	944,596	944,596	944,596
Cantidad de aerogeneradores	3	5	10
Potencial eólico (MWh/año)	2.833,79	4.722,98	9.445,96

Fuente: Elaboración propia, 2024.

4.4. Potencial geotérmico

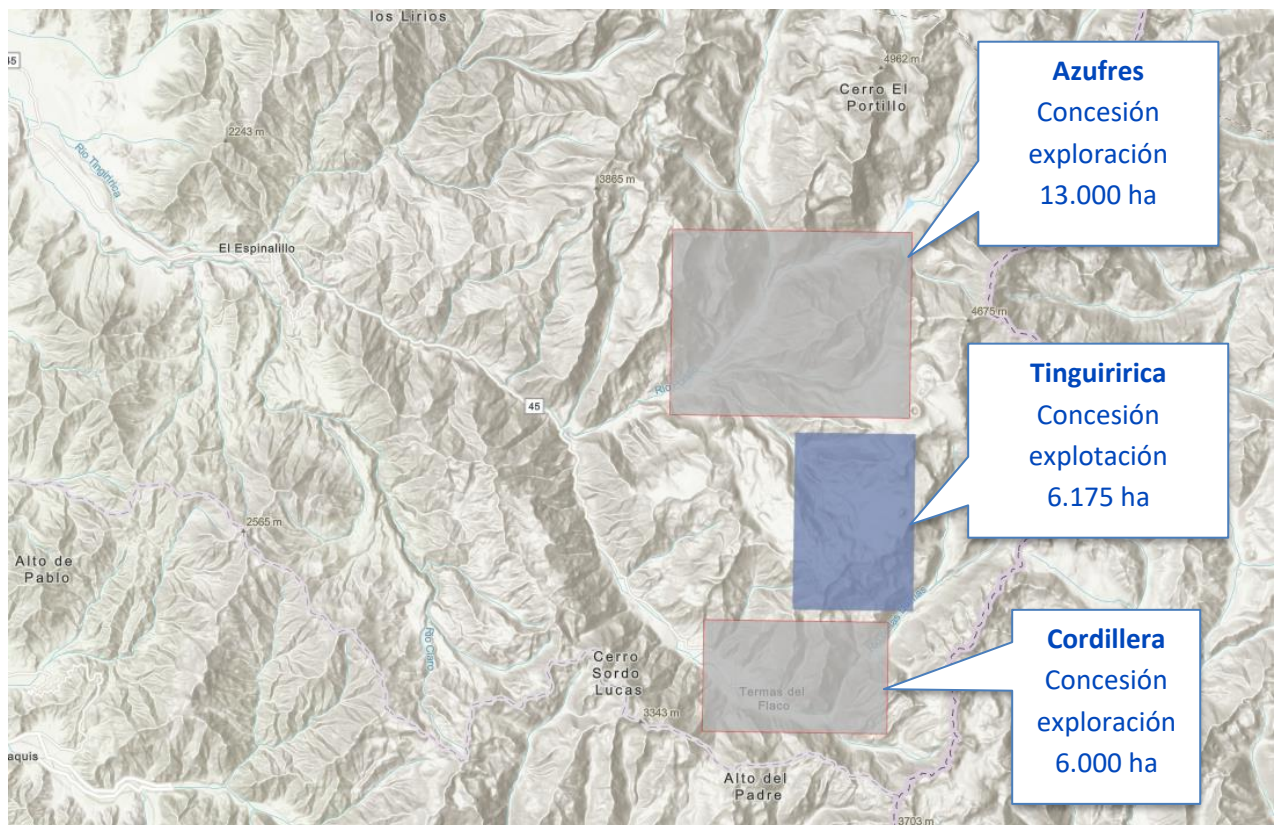
El potencial geotérmico se puede clasificar de la siguiente manera: alta entalpía (sobre 150°C), media entalpía (entre 150 y 100°C) y baja entalpía (bajo los 100°C). Las plantas geotérmicas utilizan el calor de las profundidades de la tierra para generar energía. De acuerdo con información proporcionada por Generadoras Chile, las plantas geotérmicas requieren de temperaturas superiores a 150°C para su funcionamiento. Una planta geotérmica de 80MW, podría producir entre 14,000 y 15,000 MWh de energía eléctrica por día, considerando un factor de capacidad promedio global de 73%. Esto equivaldría a generar alrededor de 340 GWh al año.

Para analizar el potencial geotérmico de alta y media entalpía en la comuna de San Fernando, se revisaron las bases de datos de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Energía. En este contexto, se aprecia que existen concesiones tanto para exploración como para explotación de esta fuente renovable en la comuna, en el año 2013 se otorga la concesión de 6.175 ha. para explotación en el sector cordillerano, considerando una capacidad de generación de 80 MW, eventualmente, cuando el proyecto denominado Tinguiririca entre en operación, podría llegar a generar un promedio de 340 GWh al año, este dato se basa en los resultados de la planta geotérmica en operación Cerro Pabellón de

Antofagasta. Por otra parte, existen dos solicitudes de licencias en el Ministerio de Energía para exploración:

- Azufres, 13.000 hectáreas
- Cordillera, 6.000 hectáreas

Figura 32. Áreas de concesión.



Fuente: Elaboración propia en base a Visor de capas del Ministerio de Energía.

Estos proyectos son vitales para estimar la viabilidad de la producción de energía sostenible y así contribuir a descarbonizar la matriz energética.

4.4.1. Potencial geotérmico de baja entalpía

Para la estimación del potencial geotérmico en cuanto a generación de energía, se utilizó el software RetScreen Expert, en este se utilizó una bomba de calor del tipo “fuente de tierra” del modelo “DWPG017” del fabricante “Addison” con un COP promedio de calentamiento de 3,1. La información de la comuna se presenta a continuación.

Tabla 13. Información de la comuna.

Variable	Valor
Temperatura del aire promedio (°C)	13,0
Humedad Relativa (%)	45,3
Presión atmosférica (kPa)	87,7
Temperatura del suelo (°C)	12,5
Grados-días de calefacción 18°C (°C d)	1.915
Grados-días de refrigeración 10°C (°C d)	1.411

Fuente: software RETScreen Expert, 2024.

A través de una simulación en RETScreen Expert, se obtuvo como resultado que la capacidad de generación de energía de una vivienda es de 6,7 MWh. Ahora bien, debido al bajo desarrollo tecnológico a nivel regional y nacional, y los altos costos que implica la instalación de este tipo de tecnologías, se consideró un escenario de penetración de la tecnología donde del total de viviendas de la comuna, sólo 20 viviendas puedan conseguir esta tecnología, lo cual entrega un potencial de 134 (MWh) al año.

4.5. Potencial hídrico

Para que un recurso hídrico se considere apto para la generación hidroeléctrica, debe cumplir con una serie de características y requisitos esenciales. Primero, es imprescindible contar con caudales abundantes y desniveles pronunciados que faciliten el funcionamiento eficiente de las turbinas. Además, las condiciones climáticas deben ser favorables para asegurar flujos constantes y significativos en los afluentes. Por último, la orografía del terreno debe ser adecuada para garantizar la confluencia y el aprovechamiento óptimo de estos caudales. Solo así, un recurso hídrico puede desplegar todo su potencial en la generación de energía hidroeléctrica.

En la Región de O'Higgins, estos requisitos se cumplen a través del Río Tinguiririca, el cual es el río principal que cruza la comuna de San Fernando, como se muestra en la **Figura 6**.

Adicionalmente, en la comuna es posible encontrar los ríos Claro, Clarillo, Azufre, Las Damas y Portillo. Todos estos tienen potencial hídrico para su uso, ya sea consuntivo (consumo total de agua para cualquier actividad), o no consuntivo (empleo del agua sin consumirla y se obliga a restituirla en su misma calidad, cantidad y oportunidad).

Para estimar el potencial hídrico para generación eléctrica, es necesario revisar los derechos de aprovechamientos de agua no consuntiva (DAANC), los cuales son otorgados y pueden ser consultados a la Dirección General de Aguas (DGA).

En la Comuna de San Fernando, hay 2 DAANC correspondientes a uso industrial y 54 DAANC correspondientes a generación de energía, riego y otros usos pertenecientes a compañías de generación eléctrica. Para este análisis, se tomará en consideración los 54 DAANC pertenecientes a las compañías de generación eléctrica.

Los DAANC se clasifican según la siguiente tabla:

Tabla 14. Información de los afluentes de la comuna.

Fuente	Subcuenca	Cantidad
Río del Azufre	Río Azufre entre Río Portillo y Río Tinguiririca	5
Arroyo de los piuquenes	Río Azufre entre Río Portillo y Río Tinguiririca	2
Río Claro	Río Claro	3
Río Portillo	Río Tinguiririca entre Río Azufre y Río Clarillo	3
Río San José o San Andrés	Río Tinguiririca entre Río Azufre y Río Clarillo	5
Estero Los Humos	Río Tinguiririca entre Río Azufre y Río Clarillo	4
Estero La Pascuala	Río Tinguiririca entre Río Azufre y Río Clarillo	2
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca Entre Río Clarillo y Bajo Junta Río Claro	1
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca Entre Río Clarillo y Bajo Junta Río Claro	1
Estero El Ciruelo	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	2
Estero La Gloria	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	2
Quebrada El Tapado	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	2

Río Cajón de las Yeguas	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	2
Río de Palacios	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	3
Río Las Damas	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	9
Río Tinguiririca 1° Sección	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	8

Fuente: Elaboración propia en base a información de la Dirección General de Aguas, 2024.

Como se puede observar, cada uno de estos DAANC pertenecen a tramos de los ríos, lo que se produce principalmente que los potenciales de cada uno de estos sean diferentes, ya que cambia el caudal, el desnivel y la distancia del río sobre el cual se tiene derechos.

Tabla 15. Resumen del potencial de generación hidráulica teórico de las cuencas de la comuna.

Nº	SUBCUENCA	POTENCIAL TEÓRICO (MW)
1	Río Azufre entre Río Portillo y Río Tinguiririca	25,82
2	Río Claro	19,90
3	Río Tinguiririca entre Río Azufre y Río Clarillo	44,47
4	Río Tinguiririca Entre Río Clarillo y Bajo Junta Río Claro	0
5	Río Tinguiririca entre Río Claro y Lo Moscoso	0
6	Río Tinguiririca hasta bajo junta Río Las Damas	225,34
	Total	309,54

Fuente: Elaboración propia en base a información de la Dirección General de Aguas, 2024.

Las subcuencas 4 y 5 presentan un potencial teórico de generación hidroeléctrica de 0 (MW) debido a que en los DAANC no presentan un desnivel significativo para la generación de energía eléctrica con turbinas convencionales de hidroeléctricas de pasada (0 m). En este aspecto, el potencial de generación hídrica para estas subcuencas queda ligada a la generación por centrales microhidro, que para este caso presentan menor capacidad que la analizada (órdenes de magnitud de potencia de kW).

Comparando el potencial teórico de generación hídrica con la situación actual de la comuna, la capacidad instalada de generación hidroeléctrica es de 431,5 MW, lo que resulta ser mayor al potencial teórico, sin embargo, esto tiene una explicación. El factor de planta o capacidad de generación de las centrales hídricas

anualmente es de aproximadamente un 60% en los mejores casos, siendo la realidad de estas más cercana a un 40% a 50% de su capacidad nominal⁹. En este aspecto, aunque hay una capacidad instalada de generación hidroeléctrica de 431,5 MW, en la práctica, estas centrales están inyectando energía en torno al 60% de este valor, equivalente a una central de 258,9 (MW) de inyección constante. Esto deja espacio para la instalación de aproximadamente 50 MW adicionales, dado que el potencial hídrico teórico es de 309,54 MW, lo que podría generar 262,8 GWh al año.

Debido a que los pronósticos para los años siguientes estiman que habrá una disminución de la generación de electricidad a partir de fuente hídrica, la mejor opción será optar por unidades más pequeñas como Mini Hidráulicas de pasada, ya que al poseer menos potencia requieren de menor inversión, tienen un menor impacto ambiental y son consideradas ERNC. Una central de mini hidráulica de 4 MW podría generar 14.016 (MWh) anuales con una eficiencia del 40%.

4.6. Resumen de potencial de generación ERNC

A continuación, se presenta un resumen de los potenciales de aprovechamiento de energías renovables en la comuna.

Tabla 16. Resumen de potenciales de aprovechamiento de energías renovables.

Fuente de Energía	Potencial energético (MWh/año)	Observaciones
Biomasa - biodiesel	72,34	Se definió como factor de recolección un 10% de los aceites generados y se realizó una estimación en base a la cantidad de población e información bibliográfica.
Biomasa - biogás	625,99	Se considera que la capacidad de recolección, segregación y traslado de la materia orgánica para la generación de energía permite abarcar el 10% de los residuos orgánicos disponibles actualmente.
Solar fotovoltaica de gran escala	1.217,65	Se considera la instalación de una planta solar a gran escala con una potencia instalada de 900 kw.
Solar fotovoltaica rooftop	3.382,88	Se considera la instalación de un sistema que busque generar energía eléctrica a través de 4 paneles solares, que equivale aproximadamente a una instalación fotovoltaica de 2 (kWp).

⁹ <https://www.statista.com/statistics/799518/hydropower-capacity-factor-by-project-size-and-region/>

Solar térmica <i>rooftop</i>	1.442,33	Se considera la instalación en un sistema solar térmico de 120 litros. Esto se considera un escenario de un 10% de penetración de la tecnología en las viviendas con materialidad de techumbre aptas.
Eólica	4.722,88	Se ha identificado un considerable potencial de generación de energía en la superficie terrestre. No obstante, este potencial se ve restringido por la limitada disponibilidad de propiedades fiscales para la eventual implementación de un proyecto de esta magnitud.
Geotérmica media-alta entalpía	340.000	Considerando la operación de la planta proyectada y su capacidad operativa de 80MW más la posible instalación de otras plantas si resultan positivos los estudios de exploración, el potencial de generación puede ser sobre los 500GWh al año.
Geotérmica baja entalpía	134,00	La principal dificultad del aprovechamiento de este potencial es la baja penetración de la tecnología a nivel nacional.
Hídrica	14.016	La tecnología hidráulica ha sido bastante explotada en el sector, siendo la principal fuente de generación eléctrica de la comuna. La inclusión de más centrales de generación a gran escala tiene sus principales dificultades en los derechos de agua y la sequía. Tecnologías hídricas de menor escala como minihidráulicas de pasada permitirían aprovechar el potencial hídrico con más facilidad.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Con estos datos, se observa que las tecnologías de generación eléctrica con mayor potencial teórico para la comuna resultan ser las centrales geotérmicas, hídricas y eólicas. Posteriormente le sigue la energía solar a gran escala fotovoltaica, rooftop fotovoltaica y luego termosolar rooftop. Finalmente, la biotecnología.

La energía eólica presenta desafíos de implementación principalmente debido a la geomorfología de la comuna

Por otra parte, los caudales del río y las lluvias de la zona presentan subcuencas que permiten el aprovechamiento de aguas para la generación eléctrica. En este aspecto, la energía hídrica tiene una explotación considerable en esta zona llegando a tener cuatro centrales hidráulicas de pasada y cuatro centrales minihidráulicas. En este aspecto, aún hay espacio para aprovechar la hidrografía de la comuna para generación de energía teniendo en cuenta centrales de menor potencia a las existentes.

Considerando todos los desafíos que tiene cada tecnología, las más prácticas resultan ser las de energía geotérmica, hídrica y solar.

5. Potencial de eficiencia energética

5.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética consiste en lograr un mismo resultado consumiendo menos energía, sin disminuir la calidad de vida, o la calidad de los productos o servicios entregados (Plan Nacional de Eficiencia Energética, Ministerio de Energía). Esta reducción se puede lograr a través de intervenciones tecnológicas, sensibilización de la población o por cambios en el comportamiento y hábitos de las personas. La Ley de Eficiencia Energética obligará a las empresas a reportar anualmente su consumo energético.

A continuación, se desarrollan las medidas de eficiencia energética que tienen como objetivo estimar el potencial de ahorro energético de la comuna en los sectores residenciales, públicos y privados.

5.1.1. Sector residencial

En el sector residencial se busca realizar cambios en la envolvente térmica de casas construidas previas al año 2000, previo a la promulgación de la normativa. Entre 2001 y 2007, periodo correspondiente a la primera implementación de la aislación térmica en techumbre y, posterior a 2007 que corresponde a la segunda etapa de la implementación de la envolvente térmica (aislación térmica de techumbre, paredes y piso ventilado). El año 2023, se establece dentro de las exigencias del Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, que las nuevas viviendas que se construyan en la zona saturada, donde la comuna de San Fernando tiene una participación del 10,4%, deben contar con medidas de aislación térmica mínima correspondientes a las siguientes transmitancias térmicas:

Tabla 17. Estándares mínimos de aislamiento térmico para viviendas nuevas en la zona saturada de la Región de O'Higgins.

Elemento	Estándar	Valor
Techo	Valor U (W/m ² K)	0,38
Muro		0,80
Piso ventilado		0,60
Puerta		1,70

Fuente: Elaboración propia en base a actualización del PDA, 2024.

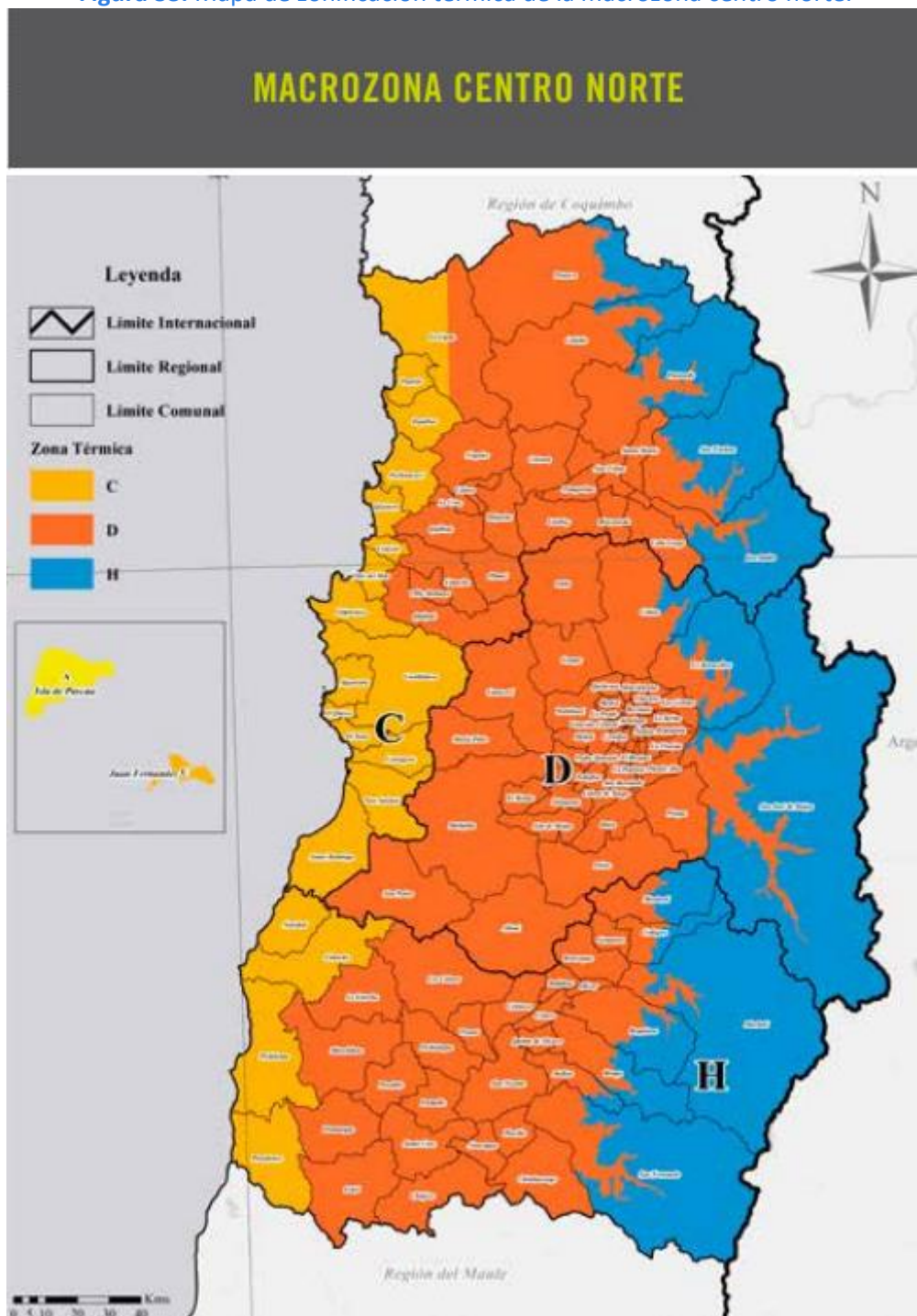
En general, los estándares de construcción deben contar con materiales adecuados para cumplir con la transmitancia térmica de los diferentes elementos de las envolventes térmicas. Entiéndase por transmitancia térmica la medida del calor que fluye entre un material que separa dos espacios con una diferencia de temperatura de más de un grado centígrado. En este aspecto, se definen distintas zonas térmicas a lo largo de Chile para poder categorizar las exigencias locales requeridas en los materiales de construcción según se define en la NCh 1079:2008 indicado de OGUC 4.1.10.

La zonificación térmica divide el territorio de Chile en nueve zonas, las cuales permiten identificar las necesidades de climatización y calefacción mínima para la construcción de una vivienda en una comuna. Cabe destacar, que a lo largo del país existen comunas que pueden pertenecer a más de una zona térmica, manteniendo estándares de aislamiento térmico y materialidad en las construcciones propias de cada zona.

Para el caso de San Fernando, debido a la extensión de su territorio, la comuna pertenece a dos zonas térmicas distintas. La zona urbana se encuentra en la zona térmica D, mientras que las zonas más rurales se encuentran en la zona térmica H. La zona térmica D es conocida como la zona interior por otra parte, la zona térmica H corresponde a las zonas de la cordillera de Los Andes. A continuación, en la **Figura 33** se puede observar la distribución de zonas térmicas en la macrozona centro norte definida en "Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile", del Ministerio de vivienda y urbanismo.¹⁰

¹⁰ <https://csustentable.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2018/09/ESTANDARES-DE-CONSTRUCCION-SUSTENTABLE-PARA-VIVIENDAS-DE-CHILE-TOMO-II-ENERGIA.pdf>

Figura 33. Mapa de zonificación térmica de la macrozona centro norte.



Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Para realizar un análisis respecto a la mejora de la envolvente térmica, se utilizará el Software Eficiencia Energética y Costos Sociales en Proyectos de Edificación (ECSE).

Según datos obtenidos por oficio a través del portal de transparencia al instituto nacional de estadísticas (INE), y las respuestas obtenidas en la encuesta

CASEN, la superficie de las viviendas de la comuna de San Fernando se puede encontrar en la siguiente tabla:

Tabla 18. Superficie de viviendas en San Fernando según zona urbana o rural.

Superficie	Zona urbana	Zona rural	Total
Menor a 30 m ²	1.016	224	1.240
Entre 30 m ² y 40 m ²	12.751	833	13.584
Entre 41 m ² y 60 m ²	31.803	4.109	35.912
Entre 61 m ² y 100 m ²	18.181	3.408	21.589
Entre 101 m ² y 150 m ²	4.010	1.357	5.367
Mayor a 150 m ²	2.170	0	2.170
Indeterminado	329	0	329
Total	70.260	9.931	80.191

Fuente: Información de INE y encuesta CASEN, 2024.

De la tabla se observa que la superficie con mayor frecuencia de las viviendas tanto en zonas urbanas como rurales, oscila entre 41 m² y 60 m². Es importante destacar que la columna 'superficie' se refiere al área total de la vivienda, sumando todos los pisos o plantas. Por ejemplo, una vivienda de dos plantas, con 36 m² en cada una, tendría una superficie total de 72 m², lo que la situaría en el rango de 'Entre 61 m² y 100 m²'. Aunque estos datos no permiten analizar la cantidad de plantas de cada vivienda, la mayoría de las viviendas se encuentran en un rango de superficie adecuado para una sola planta.

Por este motivo, para la simulación se trabajará tanto en la zona D como en la zona H con viviendas de 60 m² y una sola planta.

Respecto a los vanos, en el documento de Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile, se hace mención al porcentaje máximo de superficie vidriada por orientación, según la transmitancia y la zona térmica correspondiente. En este aspecto, para las zonas D y H se obtienen:

Tabla 19. Porcentaje máximo de superficie vidriada según orientación de fachada y zona térmica.

Zona térmica	Norte	Sur	Este - Oeste	Transmitancia (U W/m²K)
Zona térmica D	50%	40%	30%	3,6
Zona térmica H	30%	10%	10%	2,4

Fuente: Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile, Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

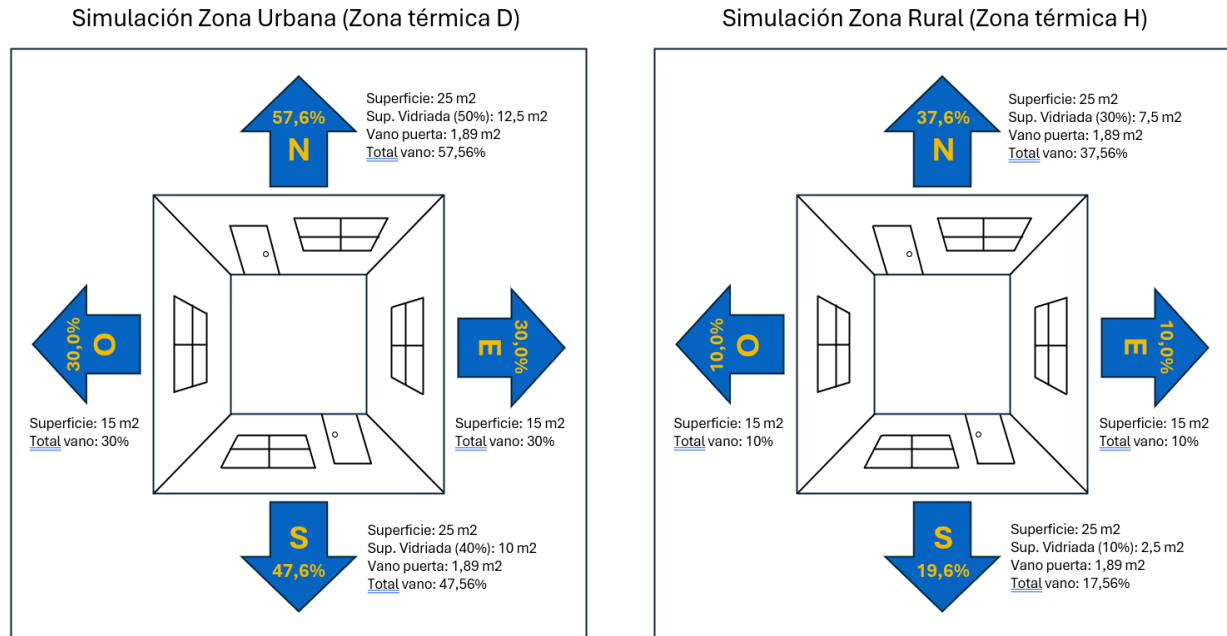
Es posible observar la diferencia de vanos para superficie vidriada de las viviendas para estas dos zonas térmicas. Adicionalmente, la transmitancia térmica corresponde al flujo de calor que pasa a través de cada unidad de superficie del elemento, por lo que un valor más bajo de transmitancia se traduce en un material que proporciona mayor aislación térmica.

A continuación, se desarrollarán los supuestos de la infraestructura base para las simulaciones:

- La edificación simulará a una casa debido a que resulta ser el tipo de vivienda más común en la comuna. La superficie de la casa será de 60 m², según lo visto en la **Tabla 18**.
- El edificio tendrá sólo 1 nivel, simulando una casa de 1 piso.
- La fachada norte y sur tendrán una distancia de 10 m y una superficie de 25 m². Los vanos de la fachada norte y sur estarán definidos por los porcentajes máximos de superficie vidriada en cada zona y, adicionalmente, se considerará una puerta tanto en la fachada norte como sur de 0,90m x 2,10m (1,89 m²).
- La fachada este y oeste cuentan con una distancia de 6 m y una superficie de 15 m². Los vanos de ambas fachadas están definidos por los porcentajes máximos de superficie vidriada en cada zona.
- La intensidad de uso es baja ya que se considera una familia de 4 personas en 60 m², lo que da una densidad de 0.067 personas/m². Adicionalmente, se considera la ocupación durante 24h.
- Se considera una inercia térmica alta debido a que la materialidad es de ladrillo.
- La envolvente base de la techumbre se considera metálica, ya que esta resulta ser la más común en casa según el cruce de variables entre el tipo de vivienda y la materialidad del techo.
- La envolvente base de los muros del edificio se considera de ladrillo, ya que la albañilería resulta ser el tipo más común de materialidad en casas según el cruce de variables entre el tipo de vivienda y la materialidad de los muros.
- Incorporación de luminaria LED.

De esta manera, el esquema de simulación queda de la siguiente manera para cada zona térmica:

Figura 28. Esquema de viviendas para simulación en ambas zonas térmicas.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Se trabajará con los TDRe del software, los cuales considera estrategias térmicas pasivas de medidas de eficiencia energética como lo son:

- Aislación térmica de muro de fachadas.
- Aislación térmica de complejo de techumbre.
- Aislación térmica de piso.
- Aislación térmica de ventanas.
- Hermeticidad del aire.

Estos supuestos se utilizaron para simular las mejoras de eficiencia energética en la zona central interior y la zona andina. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 20. Demanda energética en calefacción y luminaria para escenario base y mejorado en zona térmica D.

Estudio	Demanda de energía en vivienda base (MWh/año)	Demanda de energía en vivienda con mejora (MWh/año)	Ahorro energético (MWh/año)	Diferencia en ahorro (%)
Aislación térmica solo en muros de fachadas.	15,28	13,42	1,86	12,17%
Aislación térmica solo en ventanas y puertas (MWh/año).	15,28	12,11	3,17	20,74%
Aislación térmica solo en complejo de techumbre (MWh/año).	15,28	11,49	3,79	24,80%
Aislación térmica sólo de piso (MWh/año).	15,28	11,86	3,42	22,38%
Aislación térmica con todas las mejoras	15,28	3,86	11,42	74,74%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de ECSE, 2024.

Tabla 21. Demanda energética en calefacción y luminaria para escenario base y mejorado en zona térmica H.

Estudio	Demanda de energía en vivienda base (MWh/año)	Demanda de energía en vivienda con mejora (MWh/año)	Ahorro energético (MWh/año)	Diferencia en ahorro (%)
Aislación térmica solo en muros de fachadas.	13,41	10,35	3,06	22,82%
Aislación térmica solo en ventanas y puertas (MWh/año).	13,41	12,08	1,33	9,92%
Aislación térmica solo en complejo de techumbre (MWh/año).	13,41	9,38	4,03	30,05%
Aislación térmica sólo de piso (MWh/año).	13,41	9,59	3,82	28,48%
Aislación térmica con todas las mejoras	13,41	2,17	11,24	83,81%

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de ECSE, 2024.

El ahorro energético en ambos escenarios supera el 70%, sin embargo, las mejoras de envolvente térmica son costosas y muchas veces resulta un impedimento para tomar estas medidas de calefacción. Esto se debe principalmente a que algunas alternativas de estrategias térmicas activas como lo son la incorporación de equipos de calefacción y climatización tienen un menor costo y resultan ser más llamativas a ojos de las personas. Para este caso, en la comuna de San Fernando, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo posee el subsidio de Eficiencia Energética e hídrica para vivienda, donde los habitantes pueden optar ser beneficiados por un subsidio para el acondicionamiento térmico de sus viviendas.

Continuando con el análisis, se considerarán 3 posibles escenarios de mejora. Un escenario conservador donde 100 casas puedan optar por estas mejoras de

envolvente térmica, un escenario moderado donde 250 casas puedan optar por estas mejoras de envolvente y, finalmente, un escenario optimista donde 500 casas puedan optar por estas mejoras. En cada uno de estos escenarios se considera que el 50% de las casas pertenecen a la zona central y el otro 50% corresponden a la zona andina.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22. Resumen de ahorro energético por mejora de envolvente térmica y luminaria LED en viviendas construidas previo a la promulgación de la normativa térmica.

Escenario	Cantidad de viviendas	Consumo anual urbano - rural (MWh/año)	Consumo anual mejorado urbano - rural (MWh/año)	Ahorro energético anual (MWh/año)	Ahorro energético (%)
Conservador	100	1.434,5	301,5	1.133,0	78,98
Moderado	250	3.586,3	753,8	2.832,5	78,98
Alto	500	7.172,5	1.507,5	5.665,0	78,98

Fuente: Elaboración propia, 2024.

5.1.2. Sector público

Para el sector público se realiza un estudio sobre el recambio de luminaria del alumbrado público. Para esto, se ha solicitado información del catastro de luminaria al municipio donde se ha podido recabar la información presentada en la siguiente tabla.

Tabla 23. Catastro de luminaria promedio del alumbrado público.

Categoría	Cantidad de luminaria	Potencia promedio (W)
LED	10.999	80
Sodio a presión (SAP)	279	100
Total	11.278	-

Fuente: Elaboración propia en base a información recabada por la municipalidad.

Dentro del total de luminarias, el 97,5% del alumbrado público corresponde a tecnología LED. El recambio de las 279 luminarias restantes se puede analizar a continuación.

Las 279 luminarias SAP poseen una potencia instalada de 27,9 (kW). El recambio de luminarias en promedio bajaría la potencia de 100 W a 80 W, por lo que la nueva potencia instalada sería de 22,32 (kW). Estos proyectos se han financiado a través de PMU líneas de emergencia, energización y prevención del delito.

Al considerar que el alumbrado público se encuentra encendido en promedio unas 10 horas diarias, la energía consumida anualmente por el parque lumínico SAP actual corresponde a 101,8 MWh. Considerando el recambio de luminaria, el consumo anual de estas 279 luminarias LED sería de 81,5 MWh, generando un ahorro de 20,3 MWh/año, correspondiente al 20%.

Respecto a medidas de eficiencia energética en la infraestructura, el edificio consistorial del municipio cuenta con 3 plantas. El primer piso cuenta con una superficie construida de 2.805 m², el segundo piso cuenta con una superficie construida de 1.530 m² y el tercer piso cuenta con una superficie construida de 972 m². La complejidad de la construcción del edificio no permite utilizar la misma herramienta de simulación utilizada anteriormente para verificar una mejora de envolvente térmica sobre este establecimiento.

En este aspecto, se puede estimar el impacto del potencial ahorro energético de calefacción a través de información obtenida en el informe final de usos de la energía¹¹, el cual establece que en la zona térmica donde se ubica el edificio consistorial, la implementación de las medidas de aislación de mejora de muros, ventanas, techo y piso proporcionan un ahorro energético de 38,46 KWh/m²/año.

¹¹

https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

Considerando este valor, el potencial ahorro energético de este edificio se puede estimar como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24. Ahorro energético por plantas en edificio consistorial.

Planta	Superficie (m ²)	Ahorro energético (MWh/año)
Primer piso	2.805	107,88
Segundo piso	1.530	58,84
Tercer piso	972	37,38
Total	5,307	204.10

Fuente: Elaboración propia en base a información recabada por la municipalidad e informe final de usos de la energía.

5.1.3. Sector privado

Para el sector privado, se consideraron medidas de eficiencia energética enfocadas a la gestión energética a nivel comunal en la industria y el comercio.

En el aspecto industrial de la comuna, existe un gran enfoque en la agricultura. Esta industria se caracteriza principalmente por el uso de agua y de maquinaria, que en su conjunto llevan el consumo de aproximadamente el 70% de la demanda energética de este rubro.

Existe un ahorro potencial de energía en este sector, dado principalmente por 4 ejes importantes que son partes de medidas de eficiencia energética y que podrían reducir el consumo de energía hasta en un 10% del consumo total del sector. Estas medidas corresponden a:

- **Formación y capacitación:** Aprendizaje y traspaso de conocimientos en cuanto a técnicas y tecnologías eficientes en la actividad agrícola y ganadera.
- **Modernización de maquinarias:** Al realizar un recambio de maquinaria tanto de trabajo como de transporte por unas con mayor eficiencia, se puede disminuir el consumo energético y producir un ahorro.
- **Migración a sistemas de riego localizado o con sistemas solares:** La utilización de técnicas de riego o nuevas tecnologías permitirán disminuir el consumo energético necesario para las plantaciones, adicionalmente, podrían disminuir el consumo hídrico.

- **Otras medidas de eficiencia energética:** La adopción de otras medidas de eficiencia energética pueden impactar de manera indirecta a una disminución del consumo energético de este sector. La adopción de paneles fotovoltaicos o el cambio de hábitos como desenchufar los artículos electrónicos cuando no se usan, cambiar la luminaria a tecnología LED o simplemente apagar luces cuando no hay personas que las utilicen, pueden generar ahorro energético.

Respecto a las medidas de gestión energética, la norma ISO 50.001, establece los requisitos que debe poseer un sistema de gestión energética, con el fin de realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético de las organizaciones. Aplicar estas medidas puede resultar en la disminución del 3,8% en el consumo energético de una organización durante el primer año, 10,1% durante el segundo año, e ir elevándose a medida que los sistemas tengan un grado de madurez mayor (Berkeley National Laboratory, 2013). De esta manera, aplicar medidas de gestión energética en el sector comercial, puede resultar en un ahorro de entre el 5 y el 20% sobre su consumo energético.

En este aspecto, la norma busca levantar información y otorgar un control dándole seguimiento a través de la mejora continua, presentando una línea base energética para poder conocer en detalle los consumos energéticos y realizar la detección de uso significativo de la energía para verificar las maquinarias y equipos que representan el mayor consumo de la empresa. Además, se busca levantar indicadores energéticos para poder analizar sus variaciones mensuales y realizar detecciones tempranas para el desarrollo de medidas de ahorro energético.

Las medidas se pueden resumir en:

- Medición, control y seguimiento del consumo energético para analizar e identificar consumos innecesarios, manteniendo un control de la demanda de energía y evaluando el desempeño energético.
- Compra de equipos más eficientes y creación de protocolos para el uso eficaz de los equipos.
- Búsqueda continua y aplicación de medidas de ahorro energético y eficiencia energética asociado a las buenas prácticas.
- Propuestas de mejora a través de evaluación de los índices energéticos de las empresas

Las empresas grandes son las que tienen mayor capacidad de implementar sistemas de gestión de energía, lo que podría generar ahorros energéticos en su rubro. Para realizar este análisis, se tomará atención al consumo de energía eléctrica de clientes regulados y libres del sector eléctrico.

Los clientes libres son clientes del sector eléctrico que tienen un consumo de energía eléctrica muy elevado, superando la capacidad instalada de 500 kW (para

comparar, un departamento o casa promedio tiene una capacidad instalada aproximada de 6 kW). Estas empresas pueden negociar el precio al que compran la energía eléctrica directamente con las empresas generadoras de electricidad, de esta manera, la empresa de distribución (CGE en el caso de San Fernando), sólo hace la transmisión de energía. Para el caso de los clientes regulados, la empresa de distribución les vende y transmite la energía eléctrica, por lo que el costo de la energía eléctrica no es negociable.

Debido a que los clientes libres corresponden a grandes empresas del sector privado, podrían generar ahorros con los sistemas de gestión energética. Para analizar un caso estudio, se muestra a continuación la cantidad de clientes libres en la comuna y su consumo anual de energía eléctrica.

Tabla 25. Cantidad de clientes facturados según tipo.

Categoría	2018	2019	2020	2021	2022
Clientes libres	17	53	61	25	35
Consumo total de energía anual (GWh/año)	33,00	55,21	70,68	91,13	100,51

Fuente: Elaboración propia con datos de Energía Abierta, 2024.

La cantidad de clientes libres tiene una relación en cuanto al consumo de energía, sin embargo, esta no es directamente proporcional debido a que depende mucho de la magnitud de la empresa. En este aspecto, que el año 2020 tenga 61 clientes y un consumo anual de 70,68 (GWh), no es contradictorio con el hecho que en el año 2022 haya 35 clientes y un consumo de energía de 100,51 (GWh), debido a que las 35 empresas del año 2022 requieren de más energía que las 61 del año 2020.

Si estas grandes empresas consideran implementar medidas de gestión de energía y eficiencia energética, podrían generar un ahorro potencial.

Para estimar el ahorro energético que se puede obtener de la implementación de medidas de eficiencia energética en este, se presentan 3 casos relevantes en el ahorro energético, tomando en cuenta un escenario conservador que posee un ahorro del 2%, un escenario moderado que considera un ahorro del 5% y un escenario optimista que considera un ahorro del 10%. Se utilizarán los

consumos de energía del año 2022 para este supuesto. A continuación, se presenta la tabla con los datos.

Tabla 26. Resumen del potencial ahorro energético por gestión energética en el sector privado.

Descripción	Energía (GWh/año)	Porcentaje de ahorro (%)
Consumo energético del sector privado	100,51	100
Ahorro energético escenario conservador	2,01	2%
Ahorro energético escenario moderado	5,03	5%
Ahorro energético escenario optimista	10,05	10%

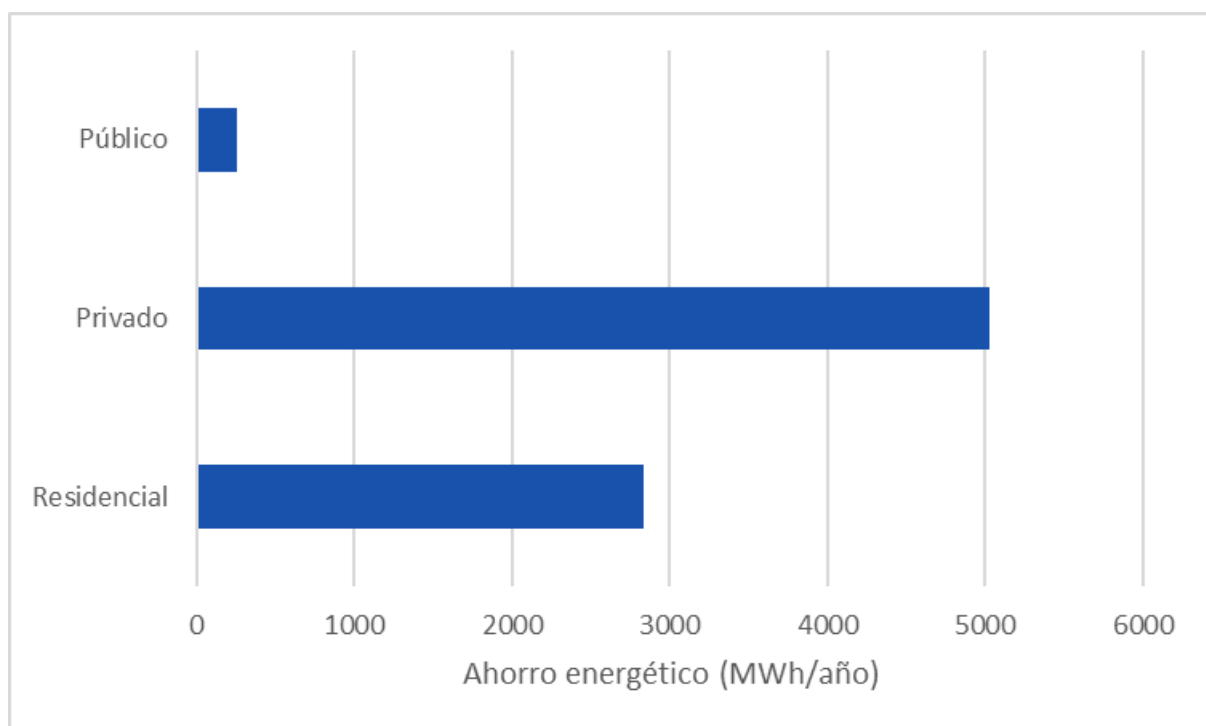
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En conclusión, a partir de las medidas antes descritas, la comuna de San Fernando tiene un potencial de ahorro gracias a las medidas de eficiencia energética presentadas que pueden variar entre 2,01 a 10,05 (GWh/año) en el sector privado.

5.2. Resumen de ahorro energético

En conclusión, a partir de las medidas antes descritas, la comuna de San Fernando tiene un potencial de ahorro gracias a las medidas de eficiencia energética presentadas que van desde 1,80 (GWh/año) para el sector residencial, 2,01 (GWh/año) para el sector privado y 258,46 (MWh/año) para el sector público a través del recambio de luminaria. A continuación, se muestra un gráfico a modelo de resumen.

Figura 29. Resumen de potencial de eficiencia energética.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

6. Procesos participativos

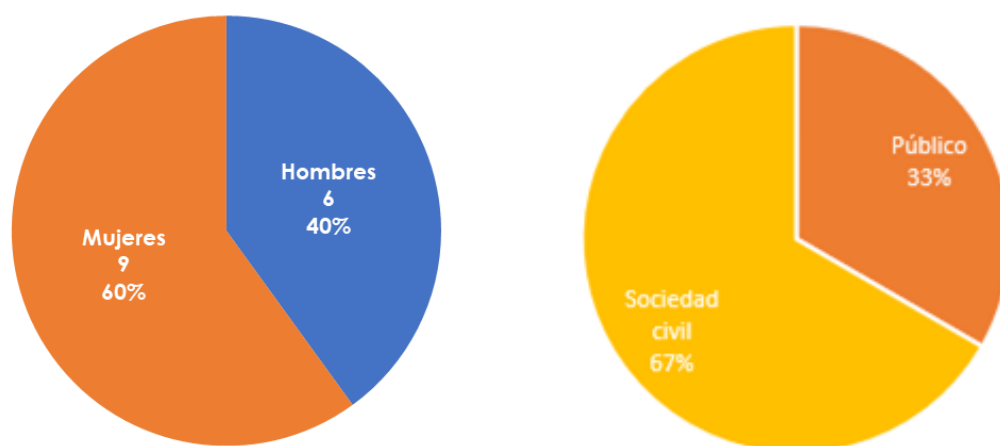
6.1. Resumen de resultados

El mecanismo de participación ciudadana propuesto para el desarrollo de la Estrategia Energética Local se basó en lineamientos otorgados por la Guía Metodológica para el Desarrollo de Estrategias Energéticas Locales 2023, y consideró el desarrollo de todos los talleres descritos en la Guía de manera presencial en 4 instancias participativas.

En la primera instancia, denominada "Taller participativo N°1 EEL de San Fernando" (taller tipo A), se expusieron los resultados de los diagnósticos territoriales y energéticos para luego comenzar con la elaboración de la visión energética y el levantamiento de conceptos y de proyectos para la comuna. Esto se realizó mediante el buzón energético, donde se recibieron respuestas tanto digitalmente como de manera presencial en la municipalidad. En el segundo taller, denominado "Taller participativo N°2 EEL de San Fernando" (taller tipo B), se validó la visión energética y se recabó información sobre los objetivos y metas para la comuna. En este taller se hizo entrega del kit energético y se priorizaron los proyectos de acuerdo a relevancia (alta, baja y media) y plazo (corto, mediano y largo).

6.1.1. Asistencia al taller

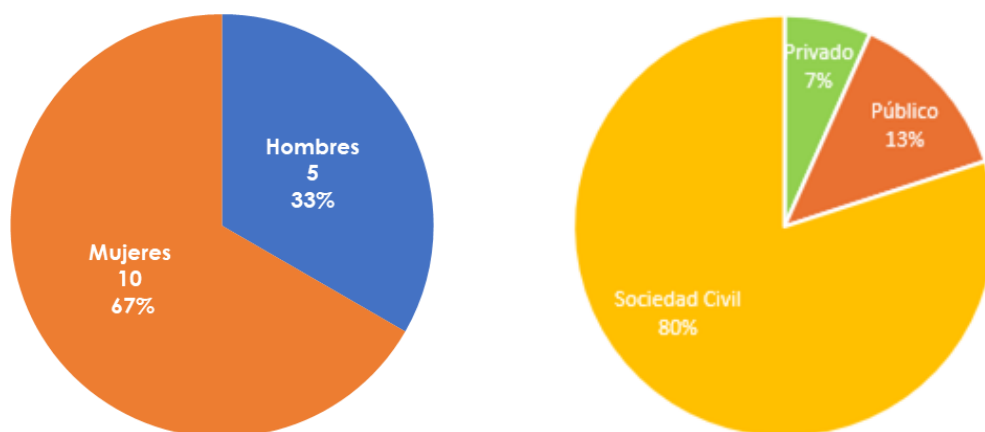
Figura 30. Proporción de asistentes taller tipo A rural, según género y sector al que pertenecen.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

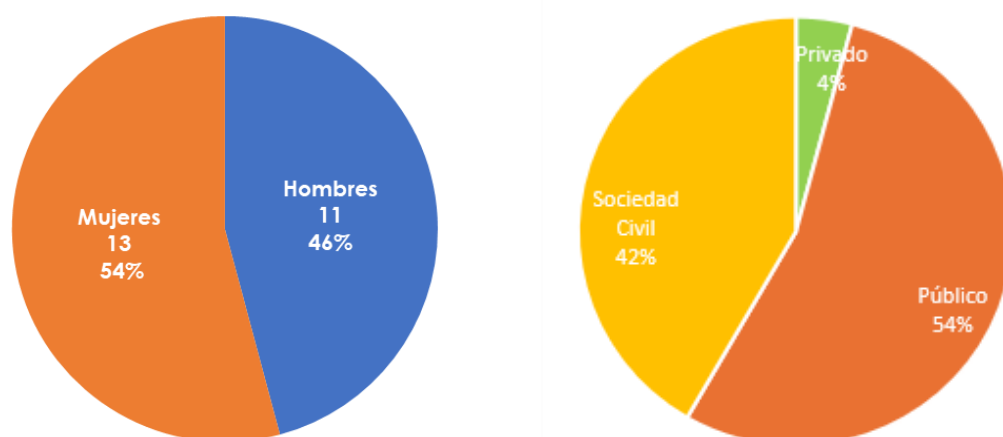
Al igual que en el taller tipo A del sector rural, en el taller tipo B también hubo una predominancia de mujeres:

Figura 31. Proporción de asistentes taller tipo B rural, según género y sector al que pertenecen.



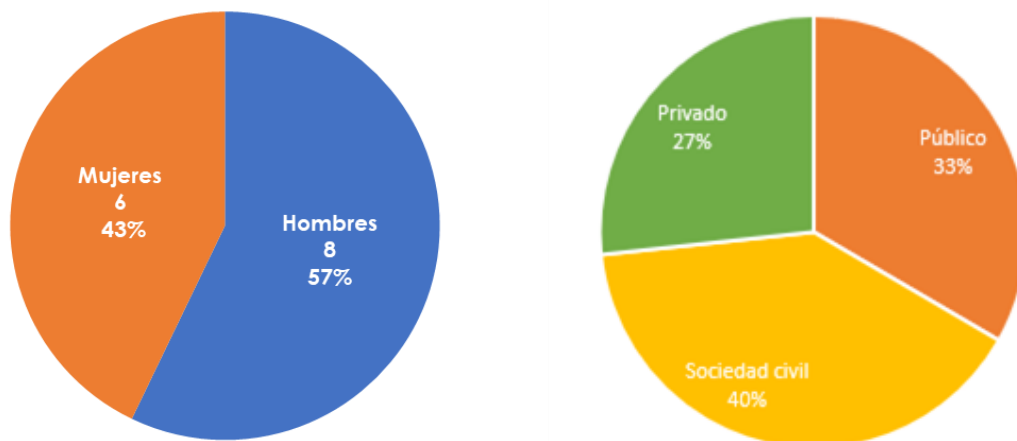
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 32. Proporción de asistentes taller tipo A urbano, según género y sector al que pertenecen.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 33. Proporción de asistentes taller tipo B urbano, según género y sector al que pertenecen.



Fuente: Elaboración propia, 2024.



6.1.2. Buzón energético

Se trató de una herramienta digital, en línea y a través de un formulario presencial en la municipalidad que buscó extender el proceso participativo de la EEL a más vecinos y vecinas de la comuna mediante un cuestionario sobre los principales desafíos, oportunidades e inquietudes que se percibían en la comuna, así como de un espacio para la incorporación de ideas de proyectos energéticos, medidas y soluciones para integrar en el Plan de Acción. El buzón energético comunitario fue difundido a través de redes sociales del municipio y a través de correo electrónico.

Figura 31. Desafíos energéticos en la comuna de San Fernando.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del buzón energético, 2024.

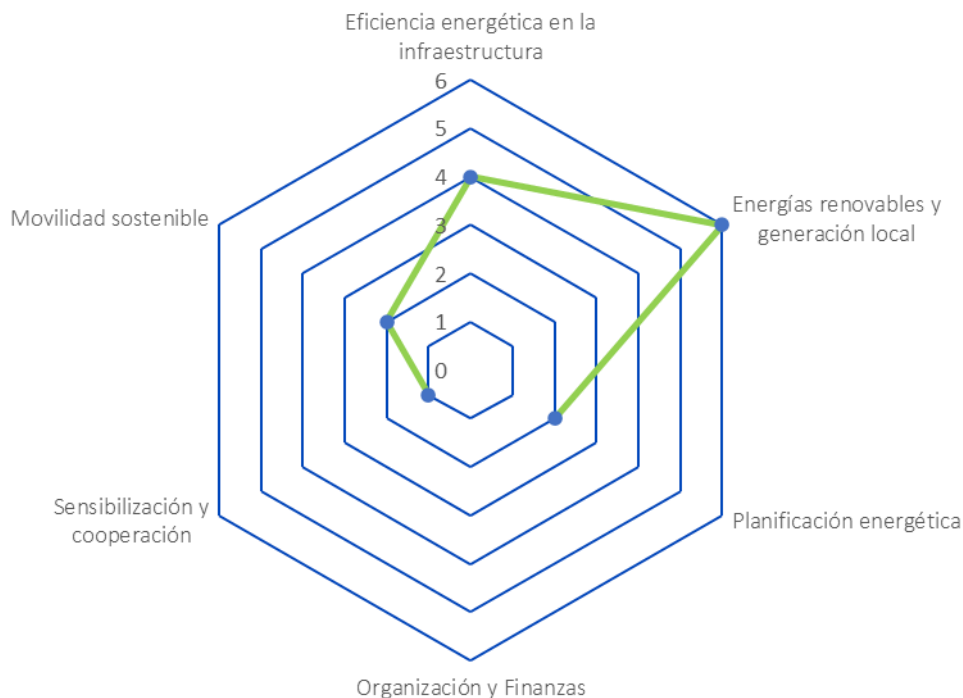
7. Plan de Acción

Una vez realizados los talleres participativos, se estableció el plan de acción energético para la comuna de San Fernando, en el cual se consideró la visión energética, objetivos, metas y perfiles de proyectos.

7.1. Objetivos y Metas

Objetivo 1: Desarrollar proyectos asociados a Eficiencia Energética, Energías Renovables y Movilidad Sostenible, en beneficio directo a las localidades de San Fernando.

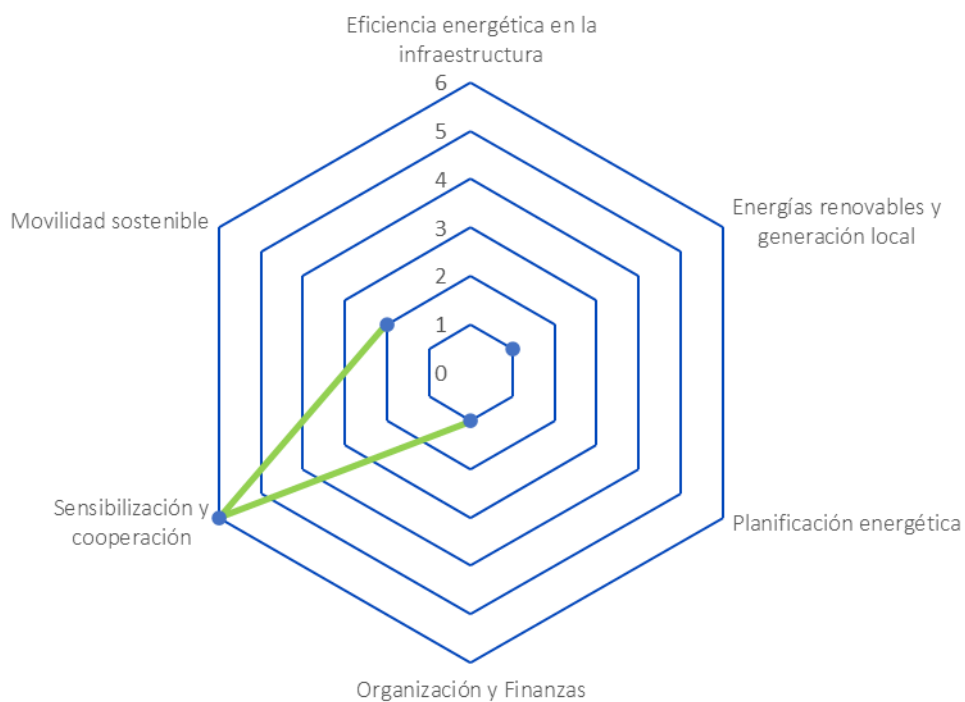
Meta 1: Ejecutar **10 proyectos** de eficiencia energética, en 10 localidades, en un plazo de 5 años (2030).



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Objetivo 2: Mejorar la gobernanza de las organizaciones sociales en materia de energía y gestión de proyectos energéticos.

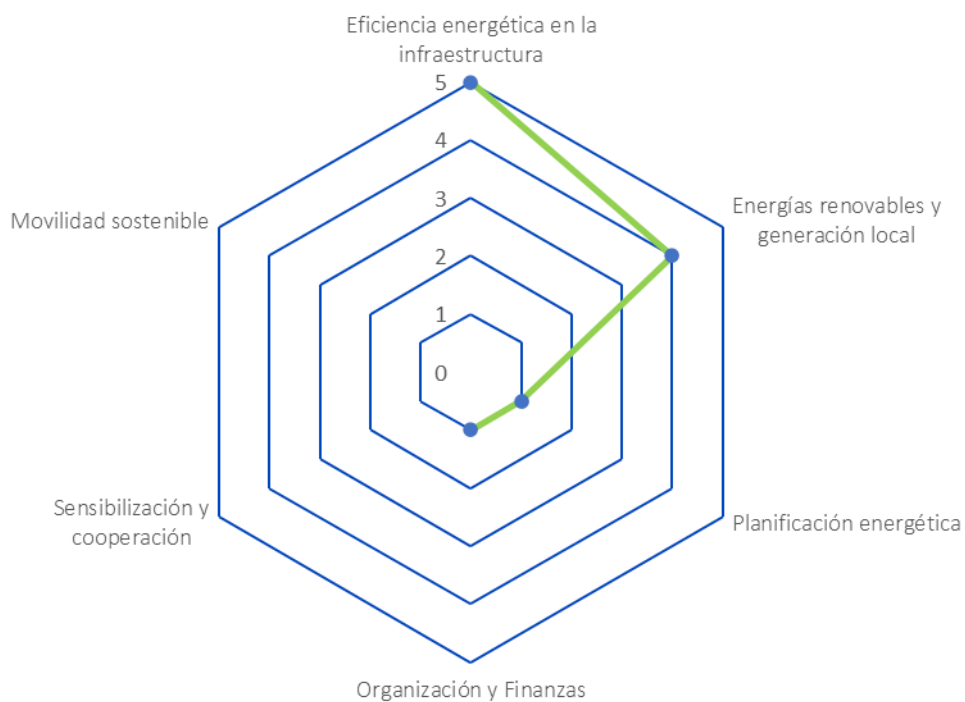
Meta 2: Realizar capacitaciones en materia de medio ambiente, energía y gestión de proyectos al 60% de las organizaciones sociales de la comuna mediante 6 proyectos en un plazo de 3 años.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Objetivo 3: Implementar proyectos de energías renovables y eficiencia energética en dependencias municipales, sector público y escuelas rurales.

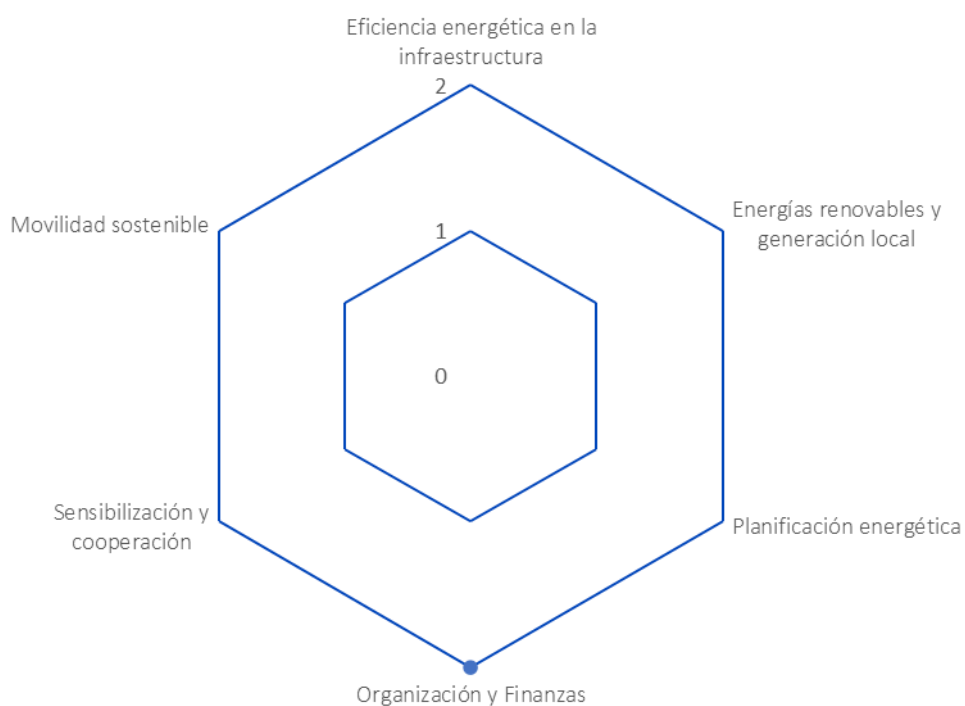
Meta 3: Desarrollar al menos **6 proyectos** de sistemas de energías renovables y/o eficiencia energética en 6 establecimientos públicos y/o escuelas rurales de San Fernando al 2030.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Objetivo 4: Capacitar al equipo municipal en la postulación a fondos para el desarrollo de proyectos de energía y eficiencia energética.

Meta 4: Crear un equipo municipal de apoyo en formulación y postulación de proyectos a fondos públicos para la comunidad y capacitar al 100% de los profesionales de la Dirección de Medio Ambiente del municipio, para la postulación a fondos concursables y la gestión de proyectos.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

8. Visión Energética

"San Fernando, conocida por sus tradiciones culturales, su agricultura familiar campesina y su patrimonio histórico, está firmemente comprometida con el cuidado del medio ambiente, el turismo y fortalecer la educación ambiental. A través de proyectos y programas de **energías renovables**, **eficiencia energética** y la **educación**, busca mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, comunidad y territorio para avanzar hacia un **desarrollo socioeconómico sostenible y resiliente**".



Fuente: Elaboración propia, taller participación ciudadana rural sede APR "Las Peñas" 2024.