



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
DE LA IMPLEMENTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA
FOTOVOLTAICA EN HOGARES DE FAMILIAS MAPUCHES DE
LA VILLA VISTA HERMOSA, EN LA COMUNA DE
HUECHURABA**

**Proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente**

Alumno: Iván Aarón Curinao Rodríguez

Profesor guía: Mg. Ing. Gustavo Adolfo Cáceres Cruz

SANTIAGO DE CHILE

2023

Autorización para la Reproducción del Trabajo de Titulación

1. Identificación del trabajo de titulación

Nombre del alumno: Iván Aaron Curinao Rodríguez

E-mail: aaron.curinao@gmail.com

Título de la tesis: Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la implementación de generación distribuida fotovoltaica en hogares de familias mapuches de la villa Vista Hermosa, en la comuna de Huechuraba.

Escuela: Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.

Carrera: Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.

Título al que opta: Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.

2. Autorización de Reproducción

Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma (marque con una X):

| | |
|-------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Inmediata |
| <input type="checkbox"/> | A partir de la siguiente fecha: __ (mes/año) |

Fecha: 06/06/2023 Firma: 

Esta autorización se otorga en el marco de la ley N°17.336 sobre Propiedad Intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la Institución.

NOTA OBTENIDA:

6,3



Firma y timbre Autoridad Responsable

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad evaluar, la factibilidad técnica y económica de la implementación de generación distribuida fotovoltaica para hogares de familias mapuches de la villa Vista Hermosa, en la comuna de Huechuraba, sustentado en la Ley N° 20.571 de generación distribuida, la cual establece para viviendas, establecimientos, negocios, entre otros clientes regulados, el derecho a autoabastecer su consumo eléctrico mediante equipos de autogeneración y de vender los excedentes a la empresa distribuidora inyectándolos a la red a un precio regulado.

Solo se consideró una vivienda piloto para la obtención de información, la que posee $30m^2$ de área disponible para la implementación del sistema fotovoltaico, cuya potencia instalada máxima es de 2,3kW y un consumo energético promedio mensual de 195,4 kWh. Se utilizó el software gratuito Explorador Solar. Gracias a las herramientas que posee este software que trabaja con una base de datos de radiación, vientos, sombras, entre otros, en conjunto con las características propias de la vivienda prototipo, fue posible estimar la generación fotovoltaica y el ahorro en la cuenta de luz.

De los resultados cabe señalar que, solo en los meses de invierno junio, julio y agosto se produce un déficit de generación, sin embargo, se logra cubrir anualmente ya que, de acuerdo al autoconsumo y los excedentes generados, es posible recuperar la inversión en un horizonte de 20 años. El proyecto es rentable y se traduce como una alternativa real a la diversificación de la matriz energética a nivel país. Si bien la energía solar fotovoltaica llegó para quedarse, aún es necesario incentivar a la implementación de energía distribuida, para que familias de escasos recursos también la consideren como una alternativa real a su realidad de vida.

ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the technical and economic feasibility of the implementation of photovoltaic distributed generation for homes of Mapuche families in the Vista Hermosa villa, in the Huechuraba commune. Supported by Law No. 20,571 on distributed generation, which establishes for homes, establishments, businesses, among others regulated customers, the right to self-supply their electricity consumption through self-generation equipment and to sell the surplus to the distribution company, injecting it into the network at a regulated price.

Only one pilot house was considered to obtain information, the one with 30m² of available area for the implementation of the photovoltaic system, whose maximum installed power is 2.3kW and an average monthly energy consumption of 195.4 kWh. The free Solar Explorer software was used. Thanks to the tools that this software has that works with a database of radiation, winds, shadows, among others, in conjunction with the characteristics of the prototype house, it was possible to estimate the photovoltaic generation and the savings in the electricity bill.

From the results it should be noted that only in the winter months June, July and August there is a generation deficit, however, it is managed to cover annually since, according to the self-consumption and the surpluses generated, it is possible to recover the investment in a horizon of 20 years. The project is profitable and translates as a real alternative to the diversification of the energy matrix at the country level, although photovoltaic solar energy is here to stay. It is still necessary to encourage the implementation of distributed energy so that low-income families also consider it as a real alternative to their reality of life.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Teresa y Ricardo por apoyarme desde siempre en esta etapa universitaria brindándome lo necesario para mi desarrollo como persona, a mis hermanas Javiera y Rosa que siempre han confiado en mis capacidades y a mi difunto abuelo Santiago que fue muy importante en mi vida.

También quiero agradecer a mi pareja Leonor y mi pequeño hijo Alon quienes han sido fundamental en el culmine de este proceso conteniéndome y apoyándome incluso cuando las cosas se tornan difíciles.

Por ultimo agradezco a mis amistades quienes me ayudaron en distintos momentos y circunstancias, a la señora Ruth por proporcionar información para el desarrollo de este trabajo y, por supuesto, agradecer a mi profesor guía Gustavo Cáceres por su disponibilidad y apoyo en todo momento que lo requerí para realizar este proyecto de título.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Antecedentes Generales | 1 |
| 1.2 Definición del Problema | 3 |
| 1.3 Justificación del Problema | 4 |
| 1.4 Objetivos | 6 |
| 1.4.1 Objetivo general | 6 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1 Energías Renovables No Convencionales (ERNC) | 7 |
| 2.2 Energía Solar Fotovoltaica | 10 |
| 2.3 Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571) | 12 |
| 2.4 Funcionamiento de Sistema Fotovoltaico | 16 |
| 2.4.1 Sistemas aislados | 18 |
| 2.4.2 Sistemas conectados a la red | 19 |
| 2.5 Criterios a Considerar para el Diseño de Instalaciones Fotovoltaicas | 21 |
| 2.5.1 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos | 21 |
| 2.5.2 Tipo de tejado y espacio o superficie disponible | 24 |
| 2.5.3 Radiación solar | 24 |
| 2.5.4 El efecto sombra | 26 |
| 2.5.5 Tipos de celdas fotovoltaicas | 27 |
| 2.6 Mantenciones al Sistema Fotovoltaico | 28 |
| 2.7 Ventajas y Desventajas del Sistema Fotovoltaico | 29 |
| 2.8 Grupos Demográficos con Índices Vulnerables de Pobreza | 30 |
| 2.9 Evaluación de Proyectos | 34 |
| 3. METODOLOGÍA | 39 |
| 3.1.1 Recopilación de información acerca del funcionamiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica | 40 |
| 3.1.2 Determinación de las condiciones óptimas para el funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica a implementar | 40 |
| 3.2 Determinación de las Necesidades Energéticas de una Vivienda Prototipo | 41 |
| 3.2.1 Caracterización de las necesidades energéticas de la vivienda prototipo | 41 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2.2 | Cálculo del consumo energético de la vivienda prototipo..... | 42 |
| 3.3.1 | Estudio de la factibilidad técnica de instalar la tecnología fotovoltaica | 42 |
| 3.3.2 | Estimación y análisis de datos para el diseño del proyecto..... | 42 |
| 3.3.3 | Diseño del proyecto para la vivienda prototipo, modelando mediante software. | 42 |
| 3.4 | Determinación de la Factibilidad Económica de la Implementación de Energía Distribuida Fotovoltaica en Vivienda Prototipo | 43 |
| 3.4.1 | Cálculo de los costos de instalación..... | 43 |
| 3.4.2 | Estimación del consumo eléctrico para la vivienda prototipo..... | 43 |
| 4. | RESULTADOS..... | 44 |
| 4.1 | Mecanismos de Implementación del Sistema de Generación Distribuida en Modificación de la Ley N°20.571..... | 44 |
| 4.1.1 | Funcionamiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica..... | 44 |
| 4.1.2 | Condiciones óptimas para el funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica a implementar | 46 |
| 4.2 | Necesidades Energéticas de una Vivienda Prototipo..... | 63 |
| 4.2.1 | Necesidades energéticas de la vivienda piloto..... | 63 |
| 4.2.2 | Consumo energético de la vivienda prototipo | 64 |
| 4.3 | Proyecto de Generación Distribuida Fotovoltaica para una Vivienda Prototipo | 66 |
| 4.3.1 | Factibilidad técnica de instalar la tecnología fotovoltaica..... | 66 |
| 4.3.2 | Estimación y análisis de datos..... | 73 |
| 4.3.3 | Proyecto para la vivienda prototipo, modelado mediante software | 76 |
| 4.4 | Factibilidad Económica de la Implementación de Energía Distribuida Fotovoltaica en Vivienda Prototipo | 83 |
| 4.4.1 | Costos de instalación | 83 |
| 4.4.2 | Consumo eléctrico para la vivienda piloto | 90 |
| 4.4.3 | Evaluación de la factibilidad económica de la implementación de energía solar fotovoltaica en vivienda prototipo | 91 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 93 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA | 97 |
| 7. | ANEXOS..... | 100 |
| 7.1 | Anexo A..... | 100 |
| 7.2 | Anexo B..... | 102 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1: Brecha consumo de electricidad. Chile versus países desarrollados | 2 |
| Figura 2.1: Consumo comparativo de energía primaria..... | 8 |
| Figura 2.2: Capacidad instalada neta de generación eléctrica..... | 10 |
| Figura 2.3: Ley para la Generación Distribuida (Ley 20.571) | 13 |
| Figura 2.4: Sistema pequeño fotovoltaico de hasta 10 kW | 14 |
| Figura 2.5: Celda fotovoltaica | 15 |
| Figura 2.6: Paneles implementados en vivienda..... | 21 |
| Figura 2.7: Trayectoria del sol con respecto al Hemisferio Sur..... | 22 |
| Figura 2.8: Orientación e inclinación recomendada por la SEC | 23 |
| Figura 2.9: Representación de instalación panel en casa piloto | 23 |
| Figura 2.10: Clasificación de la radiación solar | 25 |
| Figura 2.11: a) radiación incidente en invierno; b) radiación incidente en verano | 26 |
| Figura 2.12: a) celdas sin sombra; b) sombra incidente homogénea; c) sombra parcial..... | 27 |
| Figura 2.13 Medida ampliada de pobreza multidimensional, con entorno y redes..... | 31 |
| Figura 2.14 Incidencia de la pobreza y pobreza extrema en población urbana y rural | 31 |
| Figura 2.15 Incidencia de la pobreza y la pobreza extrema en la población por pertenencia a pueblos indígenas. 2006-2017. (porcentaje) | 33 |
| Figura 3.1: Diagrama del diseño metodológico | 39 |
| Figura 4.1: Capacidad y cantidad de instalaciones inscritas en la SEC mediante formulario TE4 entre 205 y 2018 | 45 |
| Figura 4.2: Casas sociales con pertinencia mapuche | 47 |
| Figura 4.3: Frontis de casas sociales mapuche..... | 48 |
| Figura 4.4: Plano de planta nivel 2 de la vivienda..... | 49 |
| Figura 4.5: Plano de corte de la vivienda | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.6: Mapa satelital del sitio seleccionado | 52 |
| Figura 4.7: Orientación e Inclinación de paneles fotovoltaicos | 52 |
| Figura 4.8: A) Ciclo anual de frecuencia de sombras, B) Ciclo diario de frecuencia de sombras..... | 54 |
| Figura 4.9: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes..... | 55 |
| Figura 4.10: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado | 57 |
| Figura 4.11: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano..... | 58 |
| Figura 4.13: Promedio anual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado para cada año de simulación | 60 |
| Figura 4.14: Promedio de la radiación global horizontal para cada hora y mes..... | 61 |
| Figura 4.15: Promedio de la radiación global incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio, para cada hora y mes..... | 62 |
| Figura 4.16: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes | 63 |
| Figura 4.17: Gráfico Artefactos Eléctricos y Electrónicos..... | 64 |
| Figura 4.18: Tecnología de paneles fotovoltaicos..... | 67 |
| Figura 4.19: Lista de proveedores e instaladores autorizados por la SEC..... | 69 |
| Figura 4.20: Cotización 1, Aquitosolar | 70 |
| Figura 4.21: Cotización 2, FLUX SOLAR..... | 71 |
| Figura 4.22: Cotización 3, Solinet Electricidad Solar | 72 |
| Figura 4.23: Consumo eléctrico mes de mayo 2019 | 75 |
| Figura 4.24: Ubicación casa piloto | 76 |
| Figura 4.25: Datos desplegados de estimar capacidad | 77 |
| Figura 4.26: Polígono Área Disponible | 78 |
| Figura 4.27: Tipo de arreglo, Panel fijo inclinado..... | 79 |
| Figura 4.28: Características y Pérdidas de la Instalación | 80 |
| Figura 4.29: Resultados Mi Sitio Escogido..... | 81 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.30: Generación Mensual Promedio | 82 |
| Figura 4.31: Calcular el ahorro en la cuenta de luz..... | 84 |
| Figura 4.32: Ubicación..... | 84 |
| Figura 4.33: Distribuidora, Tipo de Tarifa y Consumo..... | 85 |
| Figura 4.34: Consumo mensual aproximado..... | 86 |
| Figura 4.35: Características del sistema fotovoltaico..... | 87 |
| Figura 4.36: Orientación paneles fotovoltaicos | 88 |
| Figura 4.37: Resumen..... | 89 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1 Ingresos ocupacionales, mapuche versus no mapuche | 34 |
| Tabla 4.1 Frecuencia de Sombras, porcentaje de tiempo con sombras cada mes en horario diurno | 53 |
| Tabla 4.2 Porcentaje del año con sombras en cada hora | 54 |
| Tabla 4.3: Radiación incidente en el plano horizontal | 56 |
| Tabla 4.4: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio | 56 |
| Tabla 4.5: Radiación incidente en el plano horizontal | 57 |
| Tabla 4.6: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio | 58 |
| Tabla 4.7: Radiación incidente en el plano horizontal | 59 |
| Tabla 4.8: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio | 59 |
| Tabla 4.9: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio. | 60 |
| Tabla 4.10: Estimación de Consumo mensual (kWh/día) | 65 |
| Tabla 4.11: Consumos | 73 |
| Tabla 4.12: Facturaciones | 74 |
| Tabla 4.13: Características del sistema fotovoltaico | 81 |
| Tabla 4.14: Resultados de la generación fotovoltaica | 82 |
| Tabla 4.15: Ciclo anual de la generación fotovoltaica kWh | 83 |
| Tabla 4.16: Resultados Generales | 90 |
| Tabla 4.17: Información de la inversión | 90 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

La energía eléctrica es indispensable en la actualidad a nivel mundial, debido a su capacidad para iluminar a conveniencia. Además, debido al uso de artefactos eléctricos y electrónicos que satisfacen las necesidades de la humanidad y que permiten entablar una comunicación a larga distancia. Sin la energía eléctrica no existiría iluminación, comunicaciones de radio y televisión, servicios telefónicos, entre otros aparatos eléctricos que pasan a ser imprescindibles en los hogares.

En la actualidad, el proceso productivo de energía va cambiando paulatinamente. Pese a que aún los combustibles fósiles, como el petróleo y sus derivados, el carbón y gas natural lideran la matriz eléctrica a nivel mundial, se han instaurado nuevas políticas en pro del medio ambiente buscando una producción más limpia y más verde.

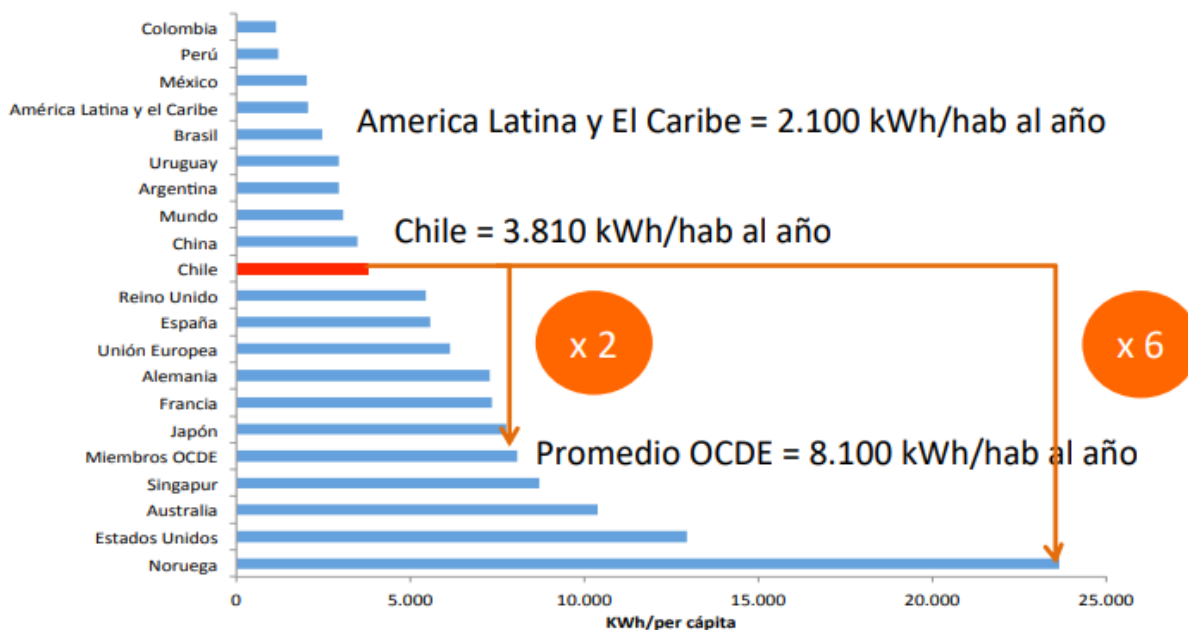
Bajo este contexto es que Chile también poco a poco ha ido diversificando su matriz energética, en donde al igual que en el escenario mundial, los combustibles fósiles lideran las producciones de electricidad. Cabe señalar que, las emisiones de gases contaminantes provenientes de combustibles fósiles, constituyen una gran amenaza para el planeta puesto que, son gases de efecto invernadero que aceleran el efecto de cambio climático.

Cuando se comienza a considerar una nueva forma de generar energía eléctrica, surge lo que son las energías renovables no convencionales (ERNC) y Chile es un país que posee territorio y condiciones políticas que permiten incorporar nuevas inversiones que busquen variar la matriz energética del país, como es con las energías eólicas y solares.

Chile, a pesar de estar en la OCDE, claramente es un país en vías de desarrollo, por lo tanto, aumentar la capacidad de su matriz energética es necesario para abarcar la

demanda por parte del mundo industrial y empresarial, así como también la demanda de los habitantes de Chile. En la Figura 1.1 se muestra como Chile, siendo un país inmerso en la OCDE, está muy lejos de consumir lo que consumen los países desarrollados de energía eléctrica.

Figura 1.1: Brecha consumo de electricidad. Chile versus países desarrollados



Fuente: Banco Mundial, 2015.

Como se muestra en la Figura 1.1, Chile posee una amplia brecha de consumo energético con respecto al promedio de países pertenecientes a la OCDE. Por esta razón, es que se necesita generar más energía pensando en que Chile tiene como objetivo ser un país desarrollado, por ende, la demanda energética en este escenario será significativa.

Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una energía limpia, sustentable y con este proyecto, aunque sea mínimo el cambio, lo que se busca es aportar una energía más limpia, incluso generada desde los pobladores y sus pueblos indígenas, desde la base de una sustentabilidad y legitimidad en donde las comunidades y los pueblos indígenas sean partícipes activamente (Seebach, 2018). Por ende, con este proyecto se considerará a la

comunidad indígena mapuche, que reside en Santiago, comuna de Huechuraba, con sus aportes y soluciones.

1.2 Definición del Problema

La Villa Vista Hermosa ubicada en la población La Pincoya, de la comuna de Huechuraba, emerge en el año 2011 a las faldas del cerro. Este proyecto fue llevado a cabo por Cristian Undurraga, arquitecto a cargo de la construcción de estas viviendas sociales y que tuvo la consideración de aceptar parte de la cosmovisión del pueblo Mapuche y emplearla en parte de la infraestructura, logrando una armonía entre lo urbano y lo rural.

El mapu, o la tierra, viene a constituir la materia misma en la filosofía mapuche y, desde que se instaló aquí, denominó en su creatividad esencial ontológica, mapu no sólo al suelo y al subsuelo, sino que a todo el planeta (Ñanculef, 2016). Bajo esta definición es que, cuando se consulta por la implementación de energía distribuida fotovoltaica para el caso de la casa piloto, inmediatamente se acepta, pues todo lo que conlleve a una mejora del medio ambiente es bienvenido por la familia mapuche, donde la dueña de casa Ruth Meñaco Antipan, concede una entrevista y conversación sobre el proyecto (ver Anexo A).

Por otra parte, en lo que respecta a la implementación de energías renovables no convencionales de tipo fotovoltaica, aún la información suele ser difusa y poco conocida por los sectores de familias de hogares de bajos recursos, quienes, si poseen la calidad de cliente regulado, por ende, pueden llevar a cabo la Ley de energía distribuida. Un cliente regulado es aquél que paga una tarifa definida por la autoridad calculada en base a una empresa distribuidora modelo (Palma, Jimenez, & Alarcón, 2009).

En este contexto, el Estado de Chile promueve e incentiva por medio de la Ley N° 20.571, conocida como Ley Netbilling o Generación Distribuida, un sistema que permite la autogeneración de energía en base a energías renovables no convencionales y

cogeneración eficiente. Además, esta ley entrega el derecho a los usuarios a vender sus excedentes directamente a la distribuidora eléctrica, a un precio regulado y normado. Cabe señalar que, esta ley no tan solo contempla comercio e industrias, sino que también hogares que estén debidamente regulados.

La importancia de evaluar la factibilidad técnica y económica para la implementación de energía distribuida fotovoltaica en viviendas sociales, permitirá una real comprensión de lo que significa el sistema, además de verificar si la ley realmente considera y/o está pensada en gente de sectores vulnerables, que puedan implementar este sistema debido a sus condiciones energéticas propias de las viviendas, considerando un análisis de las características geográficas de la zona, que permita determinar las horas de sol presentes durante el día, así como también las horas de sol punta. Además, se deben tener en cuenta las características energéticas propias de la vivienda, principalmente el consumo eléctrico mensual y anual, y la infraestructura propia de la casa, que permita determinar la posición e inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos.

1.3 Justificación del Problema

Las energías renovables no convencionales poseen un potencial considerable para el país. En este caso, la energía solar fotovoltaica es una de las mejores elecciones que se puede llevar a cabo, ya que la luz solar y la radiación del país es óptima para la instalación de paneles fotovoltaicos.

El estudio de factibilidad técnica y económica de la implementación de la energía solar fotovoltaica, se basará en viviendas sociales de la Villa Vista Hermosa, perteneciente a la comuna de Huechuraba. Las viviendas poseen una particularidad ya que, aparte de ser viviendas sociales, son 25 viviendas construidas bajo el alero de la cultura y parte de la cosmovisión mapuche, sintonizando parte de la infraestructura e incentivando una

convivencia comunitaria entre sus vecinos. Las familias mapuches, que habitan en esta villa, poseen una vulnerabilidad socioeconómica interesante de comprender, ya sea como poblador y/o perteneciente al pueblo originario Mapuche versus alguien que no lo es (CASEN, 2017).

Por esto es que, mediante la instalación de paneles fotovoltaicos, se busca reducir el consumo energético y también el coste económico promedio de estas familias, pertenecientes entre los grupos económicos con menor ingreso del país. Además, en caso de que se generen excedentes de energía eléctrica, su venta a la distribuidora eléctrica proporcionaría un ingreso más para la familia.

La Ley N° 20.571 entrega el derecho de generar su propia energía, auto consumirla y, a la vez, vender los excedentes de electricidad generados. Los paneles fotovoltaicos sin duda que podrían ayudar significativamente en la tarea de diversificar la matriz energética del país.

Para efectos de este proyecto, se contemplará una casa prototipo que forma parte de las 25 existentes, estableciendo todas las características necesarias para la instalación de los paneles fotovoltaicos, cuyas características van desde el aprovechamiento de la luz solar, sombra, vientos, ángulo de inclinación de los paneles, entre otros. Así como también, los cálculos y análisis de factibilidad teniendo en consideración que es un proyecto social de costo-beneficio.

El país se encuentra en un periodo clave para replantearse la idea de una nueva matriz energética, pues los recursos son limitados, sobre todo en Chile donde, principalmente, su matriz energética la lideran el petróleo y el carbón. Al incorporarse Chile a la OCDE debe generar políticas más verdes, es decir, alcanzar una producción limpia que permita posicionarlo no tan solo como un país en pro del medio ambiente, sino que también más competitivo, abriéndose nuevos mercados económicos que cada vez son más exigentes.

Por su parte, la energía fotovoltaica suministra una alternativa para diversificar la matriz energética.

Es importante señalar que, como Universidad Tecnológica Metropolitana, la búsqueda de aportar a la comunidad mediante el uso de las tecnologías se condice con la formación académica obtenida durante los años cursados, logrando un real aporte y, porque no, ayudar a la reducción de la brecha social.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de generación distribuida fotovoltaica para hogares de familias mapuches de la villa Vista Hermosa, en la comuna de Huechuraba.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los mecanismos de implementación del sistema de generación distribuida en modificación de la Ley N°20.571.
- Determinar las necesidades energéticas de una vivienda prototipo.
- Diseñar un proyecto de generación distribuida fotovoltaica para una vivienda prototipo.
- Determinar la factibilidad económica de la implementación de energía distribuida fotovoltaica en vivienda prototipo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Energías Renovables No Convencionales (ERNC)

Las energías renovables no convencionales, o ERNC, poseen por característica ser todas aquellas fuentes de generación energéticas en las cuales no se incurre en el consumo, gasto o agotamiento de su fuente generadora, es decir son inagotables a escala humana (Aravena, 2012). Dentro de las ERNC es posible identificar la energía solar y la energía eólica pues, estas energías renovables aún no penetran de manera masiva, a diferencia de la hidráulica, por ejemplo, que si posee de un lugar significativo dentro de la matriz energética mundial.

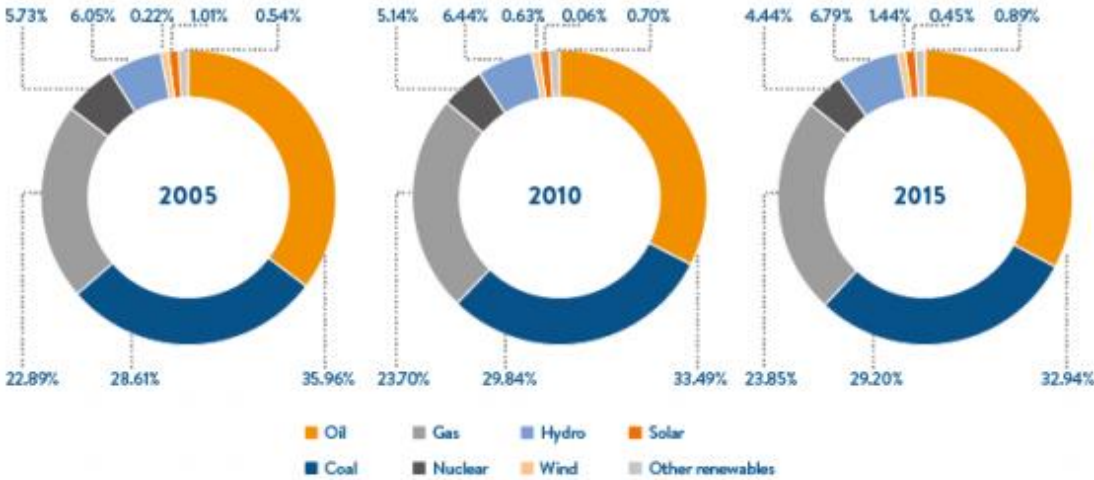
El potencial que poseen las energías renovables no convencionales todavía no se explota en su totalidad. La energía solar, eólica, mareomotriz, hidráulica de baja escala y geotérmica principalmente son tecnologías en vías de desarrollo tanto tecnológico como industrial, en donde su lenta promoción y por lo tanto expansión en la industria ha demandado mayores inversiones, que junto con sus desventajas posee complicaciones en su operación e integración a nivel mundial.

Las investigaciones para promover y utilizar ERNC nacen desde la problemática del agotamiento de los recursos energéticos provenientes de fuentes fósiles. Es inconmensurable determinar cuánto tiempo le queda al petróleo para continuar liderando la matriz energética y lo propio pasa con el carbón. Sin embargo, existen estudios que datan de una baja considerable de demanda petrolera, en donde a los grandes países extractores de petróleo se les asoma un panorama poco positivo (Salas, 2018). A raíz de esto es que se busca modificar la matriz energética incorporando nuevas tecnologías que permitan alcanzar una energía más verde, es decir que, sea menos contaminante y a la vez sostenible. La humanidad, siempre ha tenido la necesidad y dependencia de la energía, ejemplo de esto son los primeros guiños de energía eólica que se daban en contexto de

barcos que mediante la vela eran capaces de trasladarse de un lugar a otro por vía marítima, es decir el ser humano constantemente está en busca de nuevas tecnologías.

En el contexto nacional y mundial es importante considerar la época en la que se encuentra el planeta, pues el cambio climático no es una problemática que se pueda omitir o dejar pasar. Buscar activamente alternativas para diversificar la matriz energética es necesario. Ya que como se muestra en la Figura 2.1, el petróleo lidera la matriz seguido por el carbón, los cuales generan una dependencia de este recurso que ya es posible aseverar que son recursos limitados.

Figura 2.1: Consumo comparativo de energía primaria



Fuente: World Energy Council. 2015

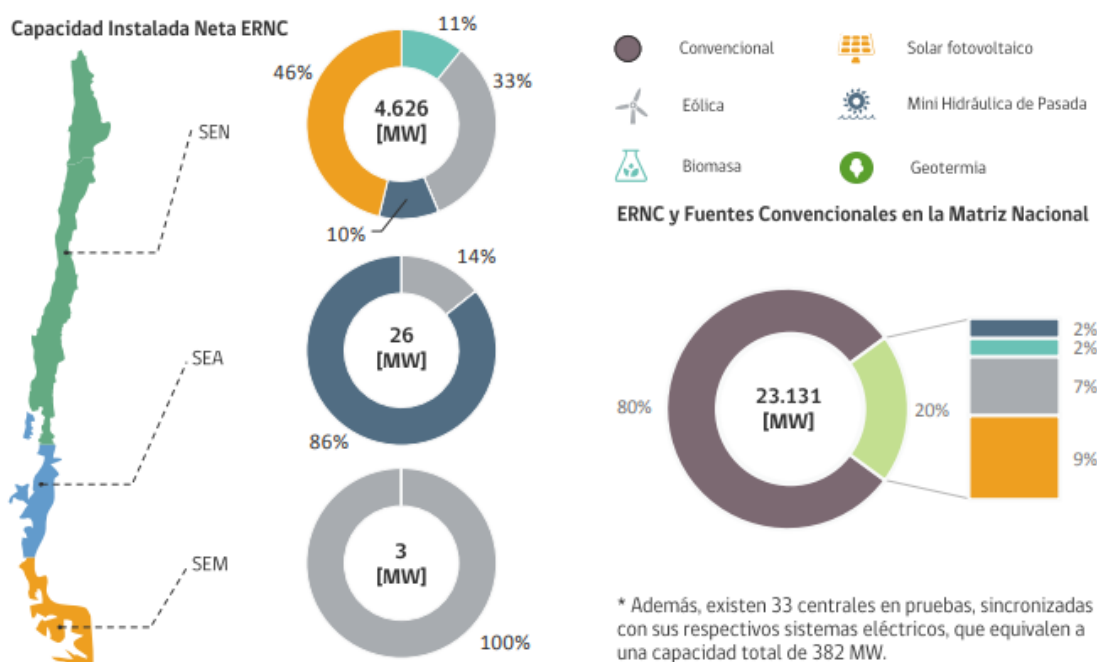
A nivel país, el no ser una potencia mundial económica, no ha sido la excusa para no invertir en la implementación de una energía más verde, que permita un desarrollo sostenible, es por esto que Chile cuenta con un potencial solar fotovoltaico de alrededor de 1.300.000 MW, son más de 1.400 MW de energía solar fotovoltaica en operación en el país. También ha sido pionero en Latinoamérica con la primera planta termo solar de torre, además, en el año 2017 entra en fase de operación la primera planta geotérmica del país. Por otra parte, también ha incursionado con plantas de bioenergía (biomasa/biogás), la energía eólica no está ausente, son 1.300 MW de capacidad instalada de esta energía

(Generadoras Chile, 2017). El territorio chileno es propicio para implementar e innovar en distintas energías renovables no convencionales.

Indudablemente que la situación llama a un crecimiento, es así como el país promueve e incentiva el uso de Energías Renovables No convencionales destacando el 20% de la matriz energética que ocupan las ERNC a diciembre del año 2018. Como se muestra en la Figura 2.2, la potencia neta instalada a base de ERNC asciende a un total de 4.665 MW (Comisión Nacional de Energía, 2018).

Este contexto de cambio es el que ha ido motivando a empresarios a realizar inversiones para proyectos de ERNC, destacando entre ellos el de las energías de bajo costo, la solar y la eólica. Estas energías en Chile tomaron un importante lugar siendo las fuentes más relevantes en los proyectos nuevos, dados sus bajos costos, las condiciones naturales del país y el marco regulatorio que avanza de manera paralela a la implementación de energías renovables no convencionales. Si bien la maduración tecnológica de muchas ERNC y el aumento de los precios de la energía son parte de estas nuevas condiciones, las medidas emprendidas por el Estado de Chile en la remoción de las barreras que limitan el desarrollo de los proyectos ERNC han tenido un rol fundamental para acelerar el desarrollo del mercado asociado, en donde han excedido de esta forma las expectativas y pronósticos más osados, sorprendiendo a los distintos actores (Rodríguez, 2017).

Figura 2.2: Capacidad instalada neta de generación eléctrica



Fuente: Reporte mensual ERNC (CNE), Coordinador Eléctrico Nacional, 2018

Mirando de cara al futuro, los cambios estructurales que ocurrirán en la industria serán más significativos que los ya mencionados. Aspectos claves en el mundo energético serán la digitalización de la red, una participación creciente de la energía distribuida, tarifas flexibles y redes y sistemas energéticos dinámicos, entre otros. Con los elementos expuestos se prevé una reestructuración en lo que se conoce como sector energético (Rodríguez, 2017).

2.2 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar puede ser transformada directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir luz sobre unos materiales denominados semiconductores, de tal manera que se genera un flujo de electrones dentro del material que puede ser aprovechado para producir electricidad (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).

En el contexto mundial, la energía solar fotovoltaica (ANPIER, 2018) se encuentra en su etapa de mayor crecimiento a nivel mundial, fenómeno experimentado debido al alza del desarrollo de estas tecnologías en países de Asia como China, Japón o India.

China es el primer país del mundo, con 253,4 GW de potencia acumulada. En diciembre del 2020, confirmando su dominio en los mercados, en China se instalaron 48,2 GW, lo que implica que China instaló aproximadamente un 35% de la potencia total mundial (Barrero, 2021).

El escenario mundial es sin duda prometedor, alcanzar una diversificación de la matriz energética se ve cada vez más real, intensificando las predicciones sobre la baja de demanda de combustibles fósiles.

En lo que respecta a Chile, tanto sus características geográficas como políticas, han posicionado al país dentro de los más prometedores a nivel mundial como una de las potencias solares con más futuro a nivel internacional. El desierto de Atacama no tan solo es el desierto más árido del mundo, sino también posee el índice con mayor radiación del mundo, lo que lo convierte en un escenario óptimo para la generación de energía solar (Aravena, 2012).

Es tanto el entusiasmo que el gobierno de la expresidenta Bachelet estimaba que en el año 2050 Chile debería poseer una matriz energética con al menos el 70% proveniente de energías limpias. Sin embargo, al ritmo con el que crece la situación se torna cada vez más prometedora, de tal manera que, el gobierno de Sebastián Piñera añadió que al 2040 el 100% de la matriz energética de Chile debiera ser de Energías Renovables (Miranda, 2016).

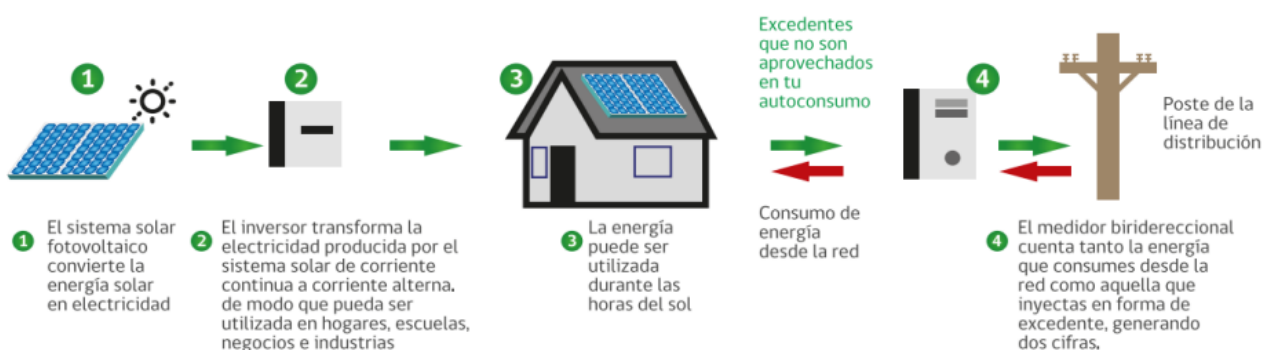
Esta cifra se sustenta gracias al potencial natural del país y también la legislación. Entre ellas destaca la Ley N° 20.571 que impulsa la generación distribuida o netbilling.

2.3 Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571)

La Ley 20.571 de generación distribuida, o Ley de Net Billing (Facturación neta), que entró en vigencia el año 2014, establece para hogares, escuelas, negocios, entre otros (clientes regulados), el derecho a autoabastecer su consumo eléctrico a través de equipos de autogeneración e inyectar los excedentes de energía en caso de que los hubiese a la red, generando una compensación económica traducida en un ingreso más. Un cliente regulado es aquél que paga una tarifa definida por la autoridad calculada en base a una empresa distribuidora modelo que opera en forma eficiente y al precio de compra por parte de la empresa de distribución (Palma, Jimenez, & Alarcón, 2009).

El funcionamiento de un sistema fotovoltaico consiste en que este recibe la luz solar transformándola de energía solar a energía eléctrica. Luego un inversor es el encargado de transformar la corriente continua recibida del sistema fotovoltaico a corriente alterna, la cual es la necesaria para consumir en hogares, escuelas, negocios, etc. Cabe señalar que, la energía puede ser consumida durante las horas de sol al día. La tecnología net billing implementada contempla un medidor bidireccional que registra el autoconsumo y también los excedentes propios que se conectarán a la red para recibir una compensación económica más tarde, como se explica en la Figura 2.3.

Figura 2.3: Ley para la Generación Distribuida (Ley 20.571)



Fuente: Ministerio de Energía.

Los requisitos generales para acogerse a la Ley 20.571, son los siguientes:

- Ser cliente con una tarifa regulada (ejemplo: una casa, escuela, comercio, etc.).
- Utilizar un sistema de generación basado en energías renovables o cogeneración eficiente, cuya capacidad instalada no supere los 100 kW.
- Contar con un medidor bidireccional.
- Declarar el sistema en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) por un electricista autorizado.
- Tramitar la conexión ante la empresa distribuidora.
- Utilizar inversores y módulos autorizados por SEC.

Cuando se desee ser parte de la generación distribuida será necesario escoger el tipo de sistema, luego tramitar la conexión con su empresa distribuidora de energía, para que esta autorice y revise la conexión propiamente tal. Después de la tramitación, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) juega un rol fundamental, ya que el sistema debe construirse bajo la autorización de un electricista experto y equipos autorizados por la SEC. Una vez construido el sistema, este debe ser declarado por un instalador eléctrico autorizado por la SEC.

Por otra parte, de existir excedentes, como se dijo anteriormente, estos serán inyectados a la red. Los precios de estos excedentes serán valorizados al precio de la energía que las distribuidoras traspasan a sus clientes regulados, vale decir, al mismo valor que los clientes consumen la energía pero, también, esta valorización debe incorporar las menores pérdidas eléctricas de la concesionaria de servicio público de distribución asociadas a las inyecciones de energía señalada, las cuales deberán valorizarse del mismo modo que las pérdidas medias y ser reconocidas junto a la valorización de estas inyecciones (en términos prácticos el valor de la tarifa por venta de excedentes será un 60% aproximadamente de la tarifa pagada por el cliente regulado a la distribuidora). El pago monetario tendrá lugar, solo cuando los excedentes no sean descontados, por lo que en el periodo de un año se recibirá el pago monetario añadiendo los detalles en la boleta mensual.

La tramitación de la conexión de un equipamiento sustentado en la Ley 20.571 es sencilla y puede demorar entre 30 y 60 días hábiles, dependiendo de la envergadura del sistema y las características de la red a la cual se va a conectar. Un sistema fotovoltaico pequeño puede demorarse 30 días hábiles que sumados al tiempo de construcción del sistema, puede durar 6 semanas aproximadamente, en caso de existir controversias el cliente debe acudir a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. La Figura 2.4 señala el método para tramitar un sistema pequeño.

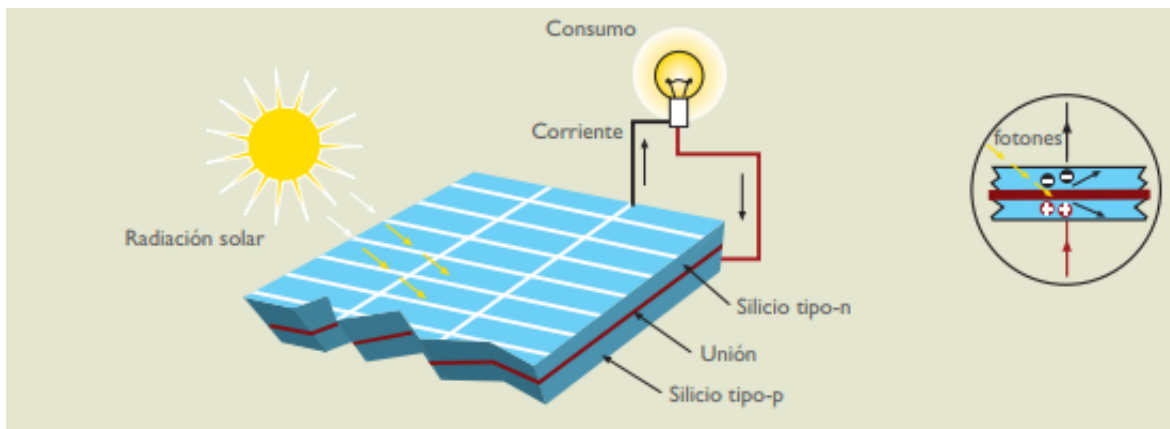
Figura 2.4: Sistema pequeño fotovoltaico de hasta 10 kW



Fuente: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

Un sistema fotovoltaico de hasta 10 Kw, conectado en baja tensión, es considerado un sistema pequeño, como el representado en la Figura 2.5. La potencia del sistema fotovoltaico, sumada a los generadores que están conectados a un mismo transformador, no supera el 10% del transformador antes mencionado.

Figura 2.5: Celda fotovoltaica



Fuente: Instituto Tecnológico Canarias, 2008

El Decreto Supremo N° 71 es el que modificó el reglamento de la Ley 20.571. La Figura 2.3 muestra las modificaciones que a continuación se exponen (Energía M. d., 2018):

- Las solicitudes de Conexión no pueden ser rechazadas.
- Las expansiones de la red deben ser pagadas por el generador, pero ejecutadas por la Distribuidora.
- Hay regulaciones que definen cuando es necesaria la expansión de la red.
- Los costos de las expansiones son valorizados en conformidad con la regulación.
- SEC resuelve controversias entre la empresa distribuidora y Clientes.
- Distribuidoras deben informar tarifas de inyecciones y precios de actividades para conexión.

2.4 Funcionamiento de Sistema Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).

La energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna mediante el uso de inversores, la cual posee las mismas características que la red eléctrica. Por otra parte, cuando se desea caracterizar, se debe tener en cuenta las condiciones estándar correspondiente a 1000 W/m^2 de radiación solar y a 25°C de temperatura ambiente. La máxima potencia de este sistema se mide en Wp (vatios punta), que es la potencia nominal del sistema. La energía generada por los sistemas fotovoltaicos se calcula multiplicando la potencia nominal por el número de horas sol punta (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).

El material que se emplea para la construcción de las celdas fotovoltaicas es el silicio, que corresponde al segundo material más abundante de la tierra después del oxígeno.

Tradicionalmente han existido tres tipos de células fotovoltaicas:

- *Silicio monocristalino*: utiliza lingotes puros de silicio, los mismos que emplea la industria de los chips electrónicos. Poseen la mayor eficiencia, superior al 12%.
- *Silicio policristalino*: se fabrica a partir de los desechos de silicio monocristalino, en donde su bajo costo de producción le ha permitido ser considerado, no importando su menor rendimiento.

- *Silicio amorfo*: se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrios. Su uso no es común ya que posee un rendimiento menor con respecto a los dos mencionados anteriormente. Por esta razón es que, su uso queda limitado a pequeñas aplicaciones de muy baja potencia, como calculadoras, relojes, entre otros.

También están presentes dos particulares tecnologías:

- Silicio en bandas.
- Película de silicio.

Estas tecnologías a base de silicio poseen la característica de ser flexible. Por lo tanto, sus aplicaciones son mucho más versátiles. Es importante señalar que, la energía solar fotovoltaica se encuentra definida como energía renovable no convencional, lo que propicia un constante estudio de nuevas tecnologías para abaratar costos y la eficiencia apropiadamente tal. Actualmente se realizan pruebas con materiales que reemplazan el silicio, proporcionando nuevas características. Ejemplo de esto es perovskita híbrida, que contiene materiales inorgánicos como el yodo y el plomo, material orgánico metil-amonio.

Ya transcurrido 13 años, aproximadamente, de las pruebas con este material, se ha logrado alcanzar una eficiencia de conversión de 25,5% de luz solar a electricidad, cifra muy parecida al 33% que se espera en teoría. Cabe señalar que, se ha mejorado bastante en lo que respecta a la estabilidad ante los agentes externos como la humedad y el oxígeno ya que, actualmente, la perovskita no se degrada en horas. Si bien aún falta mejorar el encapsulado final de las células solares para asegurar una larga vida útil del producto final, la perovskita ha permitido disminuir los costos de fabricación, por su fácil y rápida síntesis, además de que se emplean materiales abundantes y baratos, sumado a que no es necesario utilizar temperaturas muy elevadas de procesamiento como ocurre con el silicio. Todas estas características de síntesis permiten que la fabricación de un panel solar de perovskita sea mucho más económico que uno de silicio.

Por otra parte, la perovskita no tan solo funciona como un sustituto del silicio, sino que también como un aliado, en donde, al combinarse se obtiene una mayor eficiencia de conversión de 29,5%, dado que, absorben ondas de luz en distintas longitudes, el silicio absorbe en el rojo y el infrarrojo, y a su vez, la perovskita absorbe luz en el verde, azul y ultravioleta, aprovechando prácticamente toda la radiación solar que llega a la Tierra desde el Sol.

Actualmente, los paneles solares comerciales que se observan en los tejados, principalmente, son los compuestos a base de silicio, ya que el mercado de paneles de perovskita no se encuentra muy desarrollado. Sin embargo, es inminente su desarrollo, ya que los paneles de perovskita jugarán un papel crucial en el necesario cambio energético que se enfrenta la sociedad (Barea, 2022). Así como estas investigaciones, existen otras que se llevan a cabo en la actualidad.

Las aplicaciones que se dan en los sistemas fotovoltaicos son dos: sistemas aislados y sistemas conectados a la red, siendo este último parte de la generación distribuida, Net Billing.

2.4.1 Sistemas aislados

Los sistemas aislados corresponden a la implementación de sistemas fotovoltaicos en donde el lugar o espacio posee difícil acceso y, por ende, es mucho más barato y fácil implementar un sistema fotovoltaico que conectar a la red eléctrica mediante una línea de enganche. Estos sistemas se pueden encontrar, por ejemplo, en zonas rurales aisladas, países en vías de desarrollo sin conexión a red, iluminación de áreas aisladas y carreteras, suministros de energía en yates, sistemas de bombeo de agua, pequeñas aplicaciones como calculadoras, relojes, entre otros.

Estos sistemas suelen contar con paneles fotovoltaicos, inversor, baterías y regulador de carga. Los paneles fotovoltaicos transforman la energía solar en corriente continua. El regulador de carga aparece con la utilización de baterías pues, como su nombre lo dice, es el encargado de cargar y descargar la batería, para de esta manera evitar sobrecargas y alargar la vida útil de la batería y el sistema.

Los sistemas aislados cobran vital importancia en países en vías de desarrollo, donde la red no es extendida por todo el territorio. Por lo cual, se hace indispensable implementar un sistema fotovoltaico.

El número de paneles a disponer para un sistema fotovoltaico, debe tener en cuenta dos principales aspectos:

- La demanda energética del mes más desfavorable, que suele ser un mes en la estación del año de invierno.
- La radiación disponible en dicho mes, la cual dependerá de las características propias del lugar, así como también la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos.

2.4.2 Sistemas conectados a la red

Se utilizan en zonas donde existe conexión a la red. Es el caso de la Ley Net Billing, donde incluso los excedentes generados se ingresan al sistema interconectado respectivo, para que la empresa distribuidora de energía compense al cliente regulado que implementa la energía fotovoltaica con excedentes.

Estos sistemas cuentan con:

Paneles fotovoltaicos: que generan corriente continua a partir de energía solar, se añade ejemplo de paneles fotovoltaicos conectados en una vivienda en la Figura 2.6.

- *Inversor*: es el encargado de, como su nombre lo dice, invertir la corriente continua a corriente alterna, con las mismas características que la de la red eléctrica. La potencia del inversor suele ser entre un 10% y 20% menor que la potencia pico de la instalación (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).
- *Medidor bidireccional*: es un equipo cuya principal función es mantener dos registros. En primer lugar, corresponde al consumo de energía eléctrica de la red en horas donde no existe energía solar y, el segundo registro, corresponde a los excedentes que genera el cliente regulado para una compensación, ya sea de descuento en la boleta a cancelar a fin de mes o una compensación monetaria dependiendo de la cantidad de excedentes, todo en consecuencia de un precio regulado y normado.

Estos equipos presentes en un sistema fotovoltaico deben ser debidamente autorizados por la entidad competente, así como también el personal que lleve a cabo la instalación. El mercado dispone de una gran variedad de paneles fotovoltaicos: grandes o pequeños; rígidos o flexibles (incluso enrollables); en forma de placa, de teja, de ladrillo o de ventana; con soporte marco incorporado o sin él; con seguidores solares o no (para que los paneles se orienten para captar la mayor radiación solar a lo largo del día) y de distintas tonalidades (el azul oscuro y el negro son los colores predominantes, pero también los hay de colores claros).

En Chile, es la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) quien suministra la información de equipos y electricistas autorizados para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Figura 2.6: Paneles implementados en vivienda



Fuente: Patricia Marchetti, Emol, 2016

2.5 Criterios a Considerar para el Diseño de Instalaciones Fotovoltaicas

2.5.1 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

Para aprovechar al máximo la luz solar, la orientación de los paneles se realiza hacia el Sur en el hemisferio norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur mirando siempre hacia la línea del Ecuador y teniendo como referencia el medio día solar (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).

La inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos depende de:

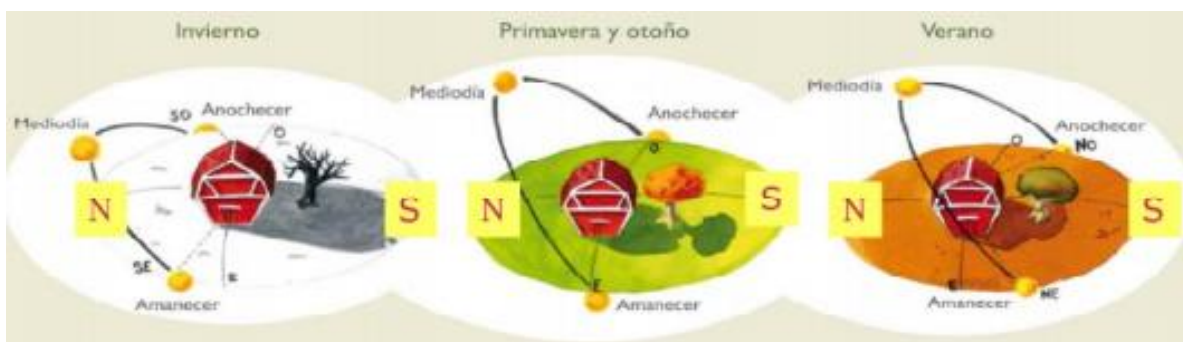
- La latitud del lugar donde se van a instalar.
- La tipología, según sea una instalación conectada o aislada de la red eléctrica.

En las instalaciones conectadas a la red eléctrica se persigue la máxima producción anual, por lo que los paneles se inclinan preferentemente con un ángulo un tanto inferior con respecto a la latitud propia del lugar, a diferencia de las instalaciones aisladas, en donde se garantiza el suministro de electricidad para todo el año, especialmente en los meses de invierno, donde suele ser más crítico el suministro eléctrico. Así, la inclinación en estas

instalaciones es de + 10° a +15° sobre la latitud del lugar para aumentar la captación en invierno (Aravena, 2012).

La Figura 2.7 señala la trayectoria del sol para el Hemisferio Sur para cada estación del año a lo largo de los días.

Figura 2.7: Trayectoria del sol con respecto al Hemisferio Sur.

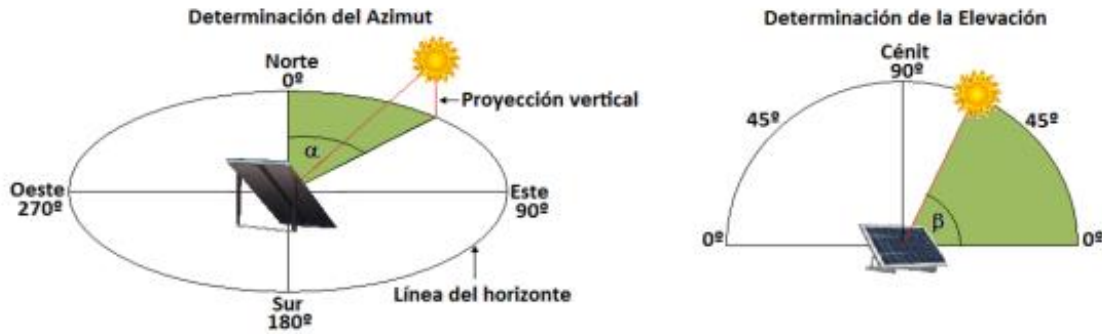


Fuente: Instituto Tecnológico Canarias, 2008

Según la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Orientación Norte Desviación recomendada Max. 45° Oeste y Este. Inclinación recomendada 15° y 40°¹ siendo lo mejor respetar la pendiente del techo. Estas son las recomendaciones que realiza la SEC, a continuación, en la Figura 2.8 y 2.9 se mostrará ejemplificado la recomendación de la SEC.

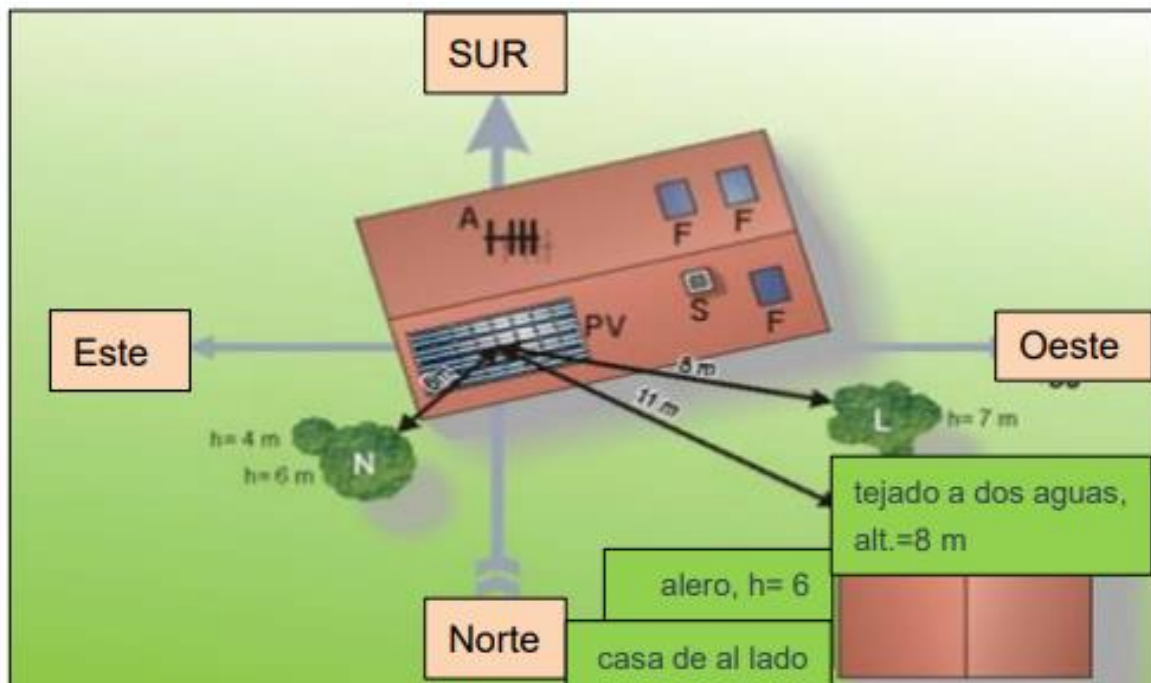
¹ Óptimo la latitud donde se ubica la instalación, ejemplo: Santiago 33° inclinación recomendada 30°. (Información obtenida de la página web oficial SEC, 2018)

Figura 2.8: Orientación e inclinación recomendada por la SEC



Fuente: Solar Energy Research Center (SERC Chile), Ayllu Solar, 2018

Figura 2.9: Representación de instalación panel en casa piloto



Fuente: Página web oficial SEC, 2018

2.5.2 Tipo de tejado y espacio o superficie disponible

Este aspecto a considerar tiene por lugar la capacidad de implementar los paneles fotovoltaicos en condiciones favorables de tal manera que la infraestructura y material de construcción del tejado no ocasione dificultades. Es conocer el tejado y su superficie, ya que, con esto, sabremos cuantos paneles instalar a la hora de modelar un sistema fotovoltaico. Además de los posibles elementos propios del tejado que proporcionen sombras que en algún momento puedan ser perjudiciales para el sistema de energía fotovoltaica.

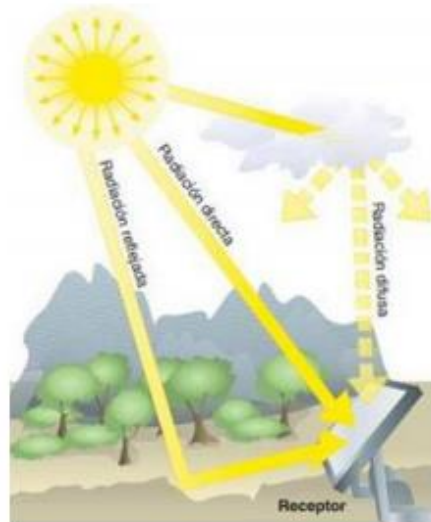
2.5.3 Radiación solar

La radiación solar se puede clasificar según su incidencia con respecto a la superficie de la Tierra, cuyas formas son (ver Figura 2.10):

- *Radiación directa*: es la que proviene directamente del sol y posee sombras definidas.
- *Radiación difusa*: es la radiación absorbida y dispersada por la atmosfera que llega a la superficie terrestre.
- *Radiación reflejada*: es aquella reflejada por los obstáculos y componentes de la superficie terrestre.

La radiación incidente corresponde a la sumatoria de estas 3 maneras de radiación, donde en general se puede despreciar la radiación difusa, debido a su baja incidencia con respecto a la radiación global (Aravena, 2012).

Figura 2.10: Clasificación de la radiación solar

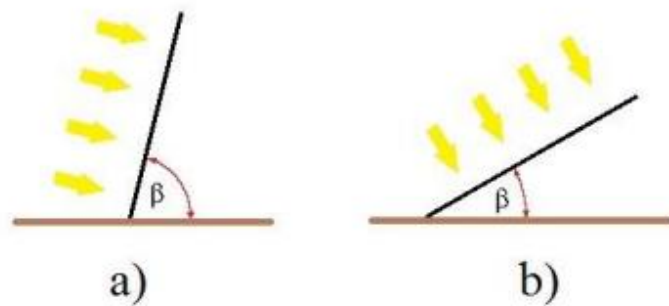


Fuente: CalculationSolar Blog (2013)

Bajo este contexto, es que la radiación solar es mejor aprovechada cuando incide de forma perpendicular sobre los paneles solares, en este momento cobra importancia la inclinación de los paneles (Aravena, 2012).

Para este efecto el rayo del sol respecto a la superficie varía durante las estaciones del año, teniéndose que en verano los rayos solares llegan en un ángulo máximo con respecto a la horizontal de los paneles, mientras que en invierno llegan en el ángulo mínimo. De esta manera, según se muestra en la Figura 2.11, los paneles solares debieran estar más inclinados con respecto a la horizontal durante en invierno que en verano (Aravena, 2012).

Figura 2.11: a) radiación incidente en invierno; b) radiación incidente en verano



Fuente: Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la ley n° 20.571, Miranda (2016)

2.5.4 El efecto sombra

Dada la condición de sombra sobre un arreglo solar, ya sea por árboles, edificaciones cercanas, nubes o sombras entre los mismos paneles, provoca eliminación de la radiación directa, la cual, corresponde a la mayor parte de energía que recibe el panel. Traduciéndose en menos potencia instantánea generada (Aravena, 2012).

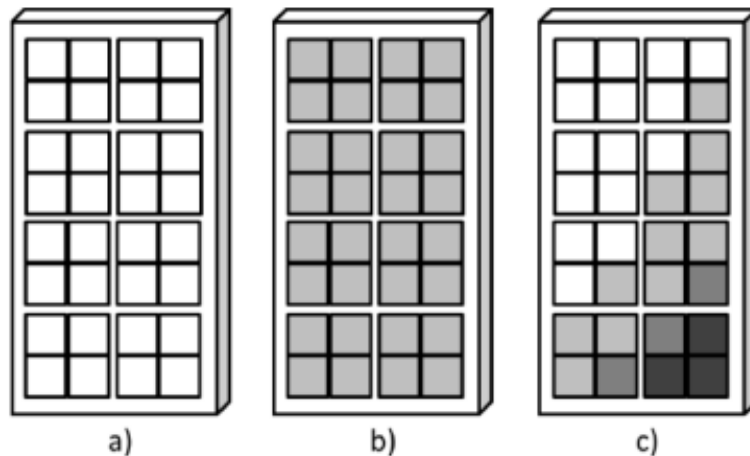
El efecto sombra:

- Produce menos energía.
- Aumenta la temperatura en el módulo afectado.
- Reduce la vida útil y produce puntos calientes.
- Disminuye el rendimiento del sistema.

El efecto de la sombra depende en gran parte de la configuración de los paneles y lo homogénea que pueda ser la sombra incidente, es decir, si la sombra es homogénea provocará una disminución notable de energía eléctrica. Por otra parte, si la sombra afecta de manera parcial al panel, el rendimiento dependerá de la configuración serie paralelo interna entre las celdas (Aravena, 2012). Cuando las celdas están en paralelo el voltaje de ambas sigue siendo el mismo por lo que suman voltaje de manera

independiente. En cambio, si están en serie, la configuración de las celdas limita la generación de corriente de las siguientes celdas, comprometiendo más la disminución que en el caso de paralelo (ver Figura 2.12.).

Figura 2.12: a) celdas sin sombra; b) sombra incidente homogénea; c) sombra parcial.



Fuente: Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la ley n° 20.571, Miranda (2016)

2.5.5 Tipos de celdas fotovoltaicas

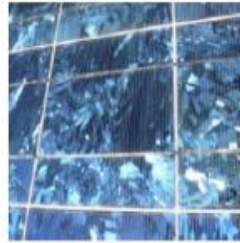
A continuación, se describen los tipos de celdas fotovoltaicas más comunes:

- *Silicio monocristalino*: se reconoce a simple vista, ya que su superficie es uniforme. Expuestas a la luz actúan como un espejo grisáceo.



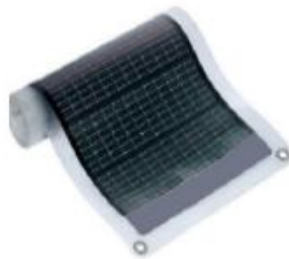
Eficiencia 18-22%

- *Silicio policristalino*: refleja la luz en forma no uniforme, pudiéndose observar las imperfecciones en el cristal. Tienen una coloración azulada.



Eficiencia 14-17%

- *Silicio amorfo*: como su forma lo indica, estas células no poseen una estructura cristalina. Son más económicos. Se usa línea de producción continua (además son flexibles y transparentes).



Eficiencia 8-12%

2.6 Mantenciones al Sistema Fotovoltaico

El mantenimiento de sistemas fotovoltaicos es mínimo y de carácter preventivo. No tiene partes móviles sometidas a desgaste ni requiere cambios de piezas y lubricación. De igual manera, se recomienda realizar revisiones diarias de las instalaciones para verificar que los componentes funcionan correctamente (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008). Principalmente se debe cerciorar el correcto funcionamiento de las celdas fotovoltaicas y que el panel esté libre de sombras producidas por algún obstáculo.

Por otro lado, en las instalaciones aisladas a la red, su mantenimiento básicamente corresponde a la batería, se ha de controlar que el nivel del electrolito sea el

recomendado, al igual que se hace con la batería de un vehículo. En la actualidad existen baterías que no necesitan mantenimiento. Hay que considerar que las baterías son componentes que pueden generar gran contaminación y un gran impacto para el medio ambiente si no se reciclan, además es uno de los elementos más caros y delicados del sistema (Schallenberg, Piernavieja, Hernandez, & Unamunzaga, 2008).

2.7 Ventajas y Desventajas del Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos poseen ventajas y desventajas, estas se enmarcan en el ámbito económico, ambiental y social (Figueroa, Parra, & Rodríguez, 2014). A continuación, se dará a conocer las ventajas y desventajas a la hora de implementar un sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico posee ventajas considerables, siendo una energía renovable de fuente inagotable, además de al ser tecnología, esta puede ir mejorando y siendo más eficiente a medida que pase el tiempo incorporando distintas mejoras al sistema.

Ventajas de un sistema fotovoltaico (Figueroa, Parra, & Rodríguez, 2014):

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración. La vida útil de los módulos fotovoltaicos es hasta 20 años aproximadamente.
- No requerir apenas mantenimiento.
- Dependiendo de las dimensiones del sistema, puede transformarse en una fuente de ingresos por concepto de venta de energía.
- Tener una elevada fiabilidad.
- Contribuye con el desarrollo sostenible

- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Es de bajo impacto visual
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.

Por otra parte, los sistemas fotovoltaicos, aunque en menor cantidad, si poseen desventajas que son necesarias de considerar.

Desventajas de un sistema fotovoltaico (Figueroa, Parra, & Rodríguez, 2014):

- Costoso en su implementación.
- Intermitente debido a los efectos del clima, lluvia, nieve, etc.
- En caso de ser un sistema aislado a la red, es costoso su almacenamiento.
- Para su construcción los materiales son exóticos: telurio de cadmio o selenio galio indio y cobre.
- Son afectados por el entorno que los rodea (casas, árboles y todo lo que dificulte la luz del sol).

2.8 Grupos Demográficos con Índices Vulnerables de Pobreza

Chile posee una brecha social considerable la cual busca reducir constantemente. La medición de los grupos demográficos con índices vulnerables de pobreza la realiza periódicamente a través del Ministerio de Desarrollo Social quien se encarga de impulsar la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) identificando los principales grupos de estudio y análisis.

De acuerdo al impacto que tiene la pobreza y extrema pobreza, generando condiciones adversas para el fortalecimiento y surgimiento del grupo vulnerable (ver Figura 2.13), es que se generan medidas estratégicas acompañadas de acciones para reducir la brecha

social. El análisis de la realidad de la pobreza, conlleva ejes prioritarios considerando el área de salud, educación, ingresos, vivienda, redes y cohesión social (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

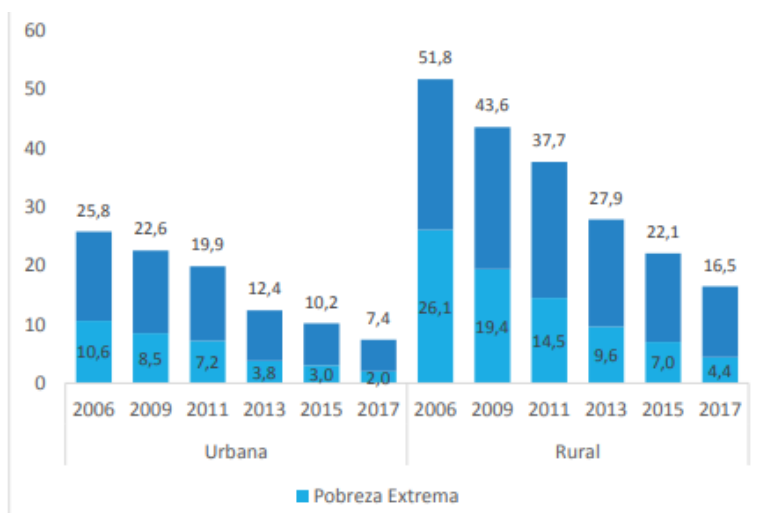
Figura 2.13 Medida ampliada de pobreza multidimensional, con entorno y redes



Fuente: Ministerio de Desarrollo Social

El país propone eliminar la pobreza y brindar protección social para los grupos vulnerables, promoviendo la movilidad social, la integración y la participación con igualdad de oportunidades para todos. Si bien Chile ha logrado mitigar la brecha social, aún existe un porcentaje significativo de personas del país con carencias y situaciones de vulnerabilidad, estas se encuentran principalmente en los niños, las mujeres, los pueblos indígenas y el mundo rural (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

Figura 2.14 Incidencia de la pobreza y pobreza extrema en población urbana y rural



Fuente: CASEN, 2017

En la Figura 2.14 se evidencia la disminución de la pobreza en el país entre los años 2006-2017. Por medio del análisis de la figura, es posible afirmar que la mayor incidencia se da sobre la población rural (16,5% de pobreza y 4,4% de pobreza extrema) que en la población urbana (7,4% de pobreza y 2,0% de pobreza extrema). Cabe señalar que estadísticamente las cifras son significativas, por lo tanto, es necesario trabajar en esta brecha social (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

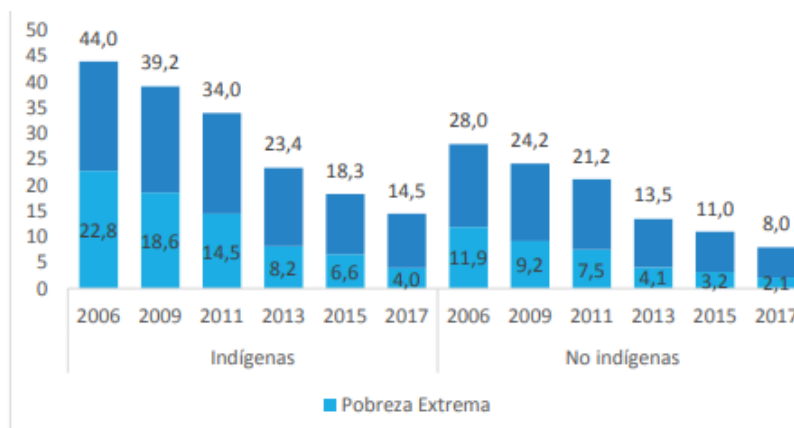
Los tratados internacionales y las convenciones ambientales que ha participado el país ressignifica la importancia de mejorar las condiciones de vida y oportunidades para todos los sectores socioeconómicos, sobre todo para lograr un desarrollo sostenible. Las viviendas sociales, pese a ser de menor coste, pueden llegar a realzar el aspecto comunitario con unas cuantas mejoras en dichas viviendas para de alguna manera equipararse con una de mayor coste, ejemplo de esto sería la posibilidad de implementar la energía distribuida.

2.8.1 Pueblos indígenas y su vulnerabilidad

Los pueblos indígenas constituyen un grupo identificado como vulnerable debido a la carencia existente en ámbitos de salud, educación, vivienda, entre otras. Inclusive por sobre el que no es indígena. Según Censo de Población y Vivienda, 2.185.792 personas se reconocen como perteneciente a algún pueblo originario reconocido por la ley, los que equivalen al 12,8% de la población total. Según el Registro de Calidad Indígena, existen 258.129 indígenas inscritos, a marzo de 2018, de los cuales 85,6% son Mapuches, 8,2% Aymaras y 2,8% Atacameños. El resto de los pueblos originarios representan el 3,4% del total de indígenas inscritos (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

En la siguiente figura se grafica la diferencia de ingresos percibidos de los indígenas en comparación con los no indígenas:

Figura 2.15 Incidencia de la pobreza y la pobreza extrema en la población por pertenencia a pueblos indígenas. 2006-2017. (porcentaje)



Fuente: CASEN 2017

En la Figura 2.15 es posible apreciar la significativa diferencia que presenta la población indígena en comparación con la no indígena en los distintos niveles de pobreza, pues los indígenas poseen una mayor pobreza con respecto a los no indígenas (14,5% y 8,0%) respectivamente (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

En lo que respecta al pueblo indígena Mapuche, constituyen el 85,6% del total de la población inscrita como indígena. En donde la mayor concentración pertenece a la región Metropolitana, que tenía un 32,8% seguido por la región de la Araucanía con un 23,2% del total, datos basados de las encuestas CASEN 2015 (Cerda, 2017).

Por lo tanto, se hace hincapié de que la mayor parte de la población mapuche se encuentra en la zona urbana, repartida en las distintas comunas de la región Metropolitana.

En la Tabla 2.1 es posible observar la brecha con respecto a los ingresos ocupacionales de los mapuches con los no mapuches. Si bien se reduce al paso de los años, aún sigue persistiendo (Cerdea, 2017).

Tabla 2.1 Ingresos ocupacionales, mapuche versus no mapuche

| | 2009 | 2011 | 2013 | 2015 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Salario promedio Chile | | | | |
| No mapuche | 421.859 | 448.448 | 426.246 | 471.457 |
| Mapuche | 259.483 | 279.424 | 284.442 | 328.982 |
| Brecha | -38,5% | -37,7% | -33,3% | -30,2% |

Fuente: CASEN, 2009 - 2015.

La población sobre la que se focaliza el estudio de la factibilidad técnica y económica de implementación de energía distribuida en viviendas sociales mapuche, de la comuna de Huechuraba, es parte de este sector vulnerable perteneciente a la población indígena mapuche urbana.

Por otra parte, el desarrollo económico, político y social en una sociedad cohesionada e inclusiva requiere un mayor respeto, autonomía y participación de los pueblos indígenas. Para esto el Estado necesita de una mayor vinculación con los pueblos indígenas para lograr un desarrollo integral entre las personas y comunidades que debe fortalecerse. La estrategia se acompaña con iniciativas laborales y educacionales que permitan avanzar a una convivencia multicultural en el país (Ministerio de Desarrollo Social, 2018).

2.9 Evaluación de Proyectos

Los proyectos poseen clasificación, separando proyectos privados de proyectos sociales. Cada cual se evalúa mediante sus respectivos métodos. El trabajo se enmarca dentro de

los proyectos sociales, por esta razón, se abordará la evaluación acorde a estos tipos de proyectos.

Viabilidad técnica: consiste en verificar si es posible implementar y/o llevar a cabo un proyecto. Debido a esto es que es necesario identificar y evaluar las características del equipo y la tecnología a implementar, en conjunto con todos los factores ambientales presentes en el entorno, tales como temperatura, radiación, velocidad de viento, sombra, dimensiones del lugar, entre otros. Es necesario conocer este aspecto para ver si el proyecto es armonioso con el entorno situado en la vivienda prototipo.

Viabilidad económica: la viabilidad económica para este proyecto es de carácter social, en donde, los recursos se obtienen con una financiación gubernamental, ya sea una obra pública y/o un beneficio para la sociedad.

La viabilidad económica contempla tres aspectos:

- a) Estudio de inversión
- b) Estudio de beneficios positivos y negativos
- c) Evaluación de la relación Beneficio-Costo

Estudio de Inversión: el estudio corresponde a identificar los recursos que son necesarios para llevar a cabo el proyecto, por lo tanto, cuando se conversa sobre inversión hace referencia a la cantidad de dinero necesario de todos los recursos que van a permitir la realización del proyecto.

Estudio de Beneficios Positivos y Negativos: el proyecto de carácter social, generará impactos positivos y negativos vislumbrados en la fase de estudio preliminar del proyecto. Por ende, sabremos mediante este estudio, si es que el proyecto es viable ya que, se entenderá por proyecto atractivo todo aquel que sus beneficios derivados de su

implementación y reducidos por los beneficios negativos esperados exceden los costos asociados (Salgado, 2017).

Evaluación de la relación Beneficio-Costo: según el análisis de la razón Beneficio-Costo, un proyecto de inversión será rentable cuando los beneficios sean mayores que los costos de inversión, y no será rentable cuando los beneficios sean iguales o menores que los costos de inversión (Cáceres, 2018).

- i) Beneficios (B): Ventajas percibidas por el propietario.
- ii) Beneficios Negativos (BN): Desventajas para el propietario cuando el proyecto sea implementado.
- iii) Costos (C): corresponde a todo tipo de gastos anticipados por construcción, operación, mantenimiento, etc., menos el valor de salvamento.

A continuación, se expone la razón convencional b/c calculada de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{B - BN}{C}$$

En donde:

B = Beneficio (Ingresos)

BN = Beneficio negativo

C = Costos para el propietario

Por otra parte, los Costos para el propietario (C) corresponde a:

$$C = MO + A$$

En donde:

MO = Costos de mantenimiento y operación

A = Valor anualizado de la inversión

Además, es necesario precisar identificando el valor anualizado:

$$A = P * \left(\frac{A}{P, i, n} \right) = P * \left\{ \frac{[i * (1 + i)^n]}{[(1 + i)^n - 1]} \right\}$$

Donde:

A = Valor anualizado

P = Valor presente (inversión inicial)

i = Tasa de interés periodo

n = Cantidad de periodos

Por consiguiente, si la relación $B/C \geq 1$, quiere decir que el proyecto es económicamente ventajoso (Cáceres, 2018).

2.9.1 Herramientas Tecnológicas computacionales para la evaluación de proyectos fotovoltaicos

Las herramientas tecnológicas computacionales existen para poder aportar mayores antecedentes y una mejor proyección ante una eventual instalación fotovoltaica. De tal manera que, en su fase previa, es necesario utilizar herramientas que permitan dimensionar y modelar las instalaciones fotovoltaicas, considerando que los distintos softwares deben ser alimentados con una serie de datos que permitan su funcionamiento, tales como, coordenadas geográficas, tipo de panel fotovoltaico a utilizar, ángulo de inclinación del panel a instalar, área disponible para instalación, montos de inversión, entre otros. Dentro de los distintos softwares existentes se tienen, por ejemplo (Cuytronic, 2017):

- Pvsyst: Software de cálculo fotovoltaico que permitirá realizar una simulación de sistemas fotovoltaicos.
- GeoClock: Posiciones y coordenadas del Sol.

- PVCAD Software: Permite crear diseños de proyectos fotovoltaicos, para sistemas montados en techo o en el suelo.
- Solarius PV: Instrumento para el diseño y la simulación económica de instalaciones fotovoltaicas de cualquier tipo y dimensión.

Los softwares mencionados anteriormente son pagados, sin embargo, existe un programa llamado “Explorador Solar”, con importantes características que al igual que los ya mencionados, permite modelar una instalación fotovoltaica y además proyectar una factibilidad económica tras una serie de datos que el programa solicita. Explorador Solar es promovido por el Ministerio de Energía, la herramienta permite estimar la generación de un sistema fotovoltaico con un modelo simple o avanzado.

3. METODOLOGÍA

Para efectos de un mejor entendimiento, en la Figura 3.1 se muestra un diagrama del diseño metodológico que se utilizará en el presente proyecto.

Figura 3.1: Diagrama del diseño metodológico



Fuente: Elaboración Propia

3.1 Identificación de los Mecanismos de Implementación del Sistema de Generación Distribuida en Modificación de la Ley N°20.571

3.1.1 Recopilación de información acerca del funcionamiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica

En esta actividad se recopila toda la bibliografía necesaria para desarrollar el proyecto, así como también los antecedentes y características propias de la vivienda prototipo.

- *Conocer el funcionamiento de la energía distribuida (energía solar fotovoltaica):* Se investigará sobre la tecnología existente tanto a nivel internacional como nacional. Esencialmente se estudiará el funcionamiento de la energía distribuida para luego investigar sobre los proveedores calificados por la ley 20.571.
- *Identificación de los mecanismos de la implementación de la energía distribuida a partir de la Ley 20.571:* Se realizará una revisión exhaustiva de la Ley para diferenciar todos los aspectos a considerar a la hora de implementar la energía distribuida. La revisión del marco normativo entrega datos importantes a la hora de cotizar, pues también es posible conocer los equipos y empresas calificados para implementar la energía distribuida.

3.1.2 Determinación de las condiciones óptimas para el funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica a implementar

- *Determinar las condiciones óptimas para el funcionamiento de la tecnología a implementar:* Cada lugar geográficamente presenta características diferentes y el lugar donde se sustenta el estudio no pasa inadvertido a la hora de realizar una inspección visual del terreno, ya que, se encuentra situado a las faldas del cerro Villa Vista Hermosa. Por lo tanto, se recopilará información en detalle de la sombra, de las horas/sol recibidas, la inclinación adecuada del panel y sus materiales, de las

condiciones meteorológicas, entre otras variables que propician una correcta implementación.

- *Distinguir las características propias de la vivienda piloto:* La familia considerada como muestra para la evaluación, corresponderá a una familia protagonista en el proyecto de viviendas sociales mapuche. La comunicación se establecerá con una familia que tenga entre sus miembros a un dirigente de la organización mapuche y para que sea protagonista desde los inicios del proyecto, a la cual se le explicará la necesidad de estudio y su participación como vivienda piloto para la evaluación del proyecto de título. Se solicitará a la familia el plano de la casa para dimensionar el lugar de implementación. Se acudirá en terreno a tomar registro fotográfico y observación visual del entorno, además, se solicita el informe de pago de luz mensual para tener los datos fidedignos del consumo energético de la casa.

3.2 Determinación de las Necesidades Energéticas de una Vivienda Prototipo

3.2.1 Caracterización de las necesidades energéticas de la vivienda prototipo

Luego de recopilar la información necesaria y tomar todos los datos, se analizará con el fin de obtener los resultados del proyecto.

- *Calcular el potencial energético de la vivienda prototipo:* Mediante los datos recopilados de la casa piloto de estudio y el entorno de la vivienda, además de los artefactos eléctricos y electrónicos de uso cotidiano, se procederá a estimar cuanta energía es capaz de producir bajo las condiciones de la vivienda piloto.

3.2.2 Cálculo del consumo energético de la vivienda prototipo

Para realizar este cálculo será necesario conocer los aparatos eléctricos y su potencia correspondiente, además el tiempo en horas que se ocupa durante el mes. Multiplicando estas dos variables obtendremos el consumo energético.

3.3 Diseño de un Proyecto de Generación Distribuida Fotovoltaica para una Vivienda Prototipo

3.3.1 Estudio de la factibilidad técnica de instalar la tecnología fotovoltaica

Se revisarán exhaustivamente las condiciones óptimas para operar un equipo de energía distribuida y todos sus elementos de funcionamiento y adecuar el escenario para un correcto funcionamiento.

3.3.2 Estimación y análisis de datos para el diseño del proyecto

La estimación se realizará mediante la comparación de datos entre el potencial calculado mediante la operación de multiplicar el artefacto eléctrico o electrónico con las horas en que se mantiene encendido durante el día ($Kw * h/dia$), y las boletas de consumo energético de la empresa reguladora, de las cuales se desprenden los datos del suministro, por consiguiente, se procede con un análisis de datos.

3.3.3 Diseño del proyecto para la vivienda prototipo, modelando mediante software

Se utilizará la herramienta de cálculo dinámico, la que modela el funcionamiento durante un año. El software lleva por nombre “Explorador Solar”, disponible en línea y en forma gratuita por el Ministerio de Energía.

3.4 Determinación de la Factibilidad Económica de la Implementación de Energía Distribuida Fotovoltaica en Vivienda Prototipo

3.4.1 Cálculo de los costos de instalación

Basado en el análisis preliminar de factibilidad técnica sobre la implementación de energía distribuida, es que se obtendrá el costo de instalación considerando los materiales, insumos y la mano de obra, dato principal al momento de analizar la factibilidad económica del proyecto, el cual será reflejado en el posterior análisis económico financiero sustentado en la inversión inicial anualizada.

3.4.2 Estimación del consumo eléctrico para la vivienda prototipo

Al obtener los datos de consumo energético de la vivienda piloto, facilitado por el dueño o la empresa reguladora del cliente, será posible determinar el consumo energético de la vivienda.

3.4.3 Determinación del beneficio/costo al implementar tecnología de generación distribuida en vivienda prototipo.

Considerando los datos anteriores de consumo energético y potencial junto a los datos físicos del lugar, será posible determinar la relación beneficio/costo para evaluar si realmente el proyecto es económicamente factible para la vivienda prototipo, asumiendo las condiciones financieras y los ingresos propiamente tal, de sus propietarios, que les permitan implementar la tecnología de generación distribuida en la vivienda prototipo.

4. RESULTADOS

4.1 Mecanismos de Implementación del Sistema de Generación Distribuida en Modificación de la Ley N°20.571

4.1.1 Funcionamiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ha sido promovida de manera sustancial en Chile, de acuerdo a la promulgación de la Ley N° 20.521 o Ley de Generación Distribuida y últimamente también llamada Generación Ciudadana. Entre los años 2015 y 2016, presentaron 680 solicitudes de información con respecto a esta ley, que se tradujeron en 481 solicitudes de conexión. De esa cifra se concretaron 122 proyectos, los cuales equivalían a 1,76 MW². Proporcionando, un escenario promisorio para la implementación de proyectos fotovoltaicos que generen un cambio en la diversificación de la matriz energética del país.

De acuerdo a los valores mencionados en el párrafo anterior es que, en aquellos años en comparación con algunos países más avanzados en esta materia, era baja. El superintendente de la SEC, Luis Ávila señalaba que “algunos pensaban que esto se iba a desarrollar más lento (...) Hay una velocidad de crecimiento en aumento” (Ávila, 2017), sostenía la autoridad, a pesar de que sólo en 2015, Portugal registró 21 MW de instalaciones fotovoltaicas, Brasil de 5 MW y Estados Unidos de 7,4 GWh.

Sin embargo, la situación sobre la generación distribuida ha mejorado, las nuevas políticas y modificaciones para mejorar la Ley 20.571, han potenciado sobre todo en el mercado residencial el fomento de la energía fotovoltaica.

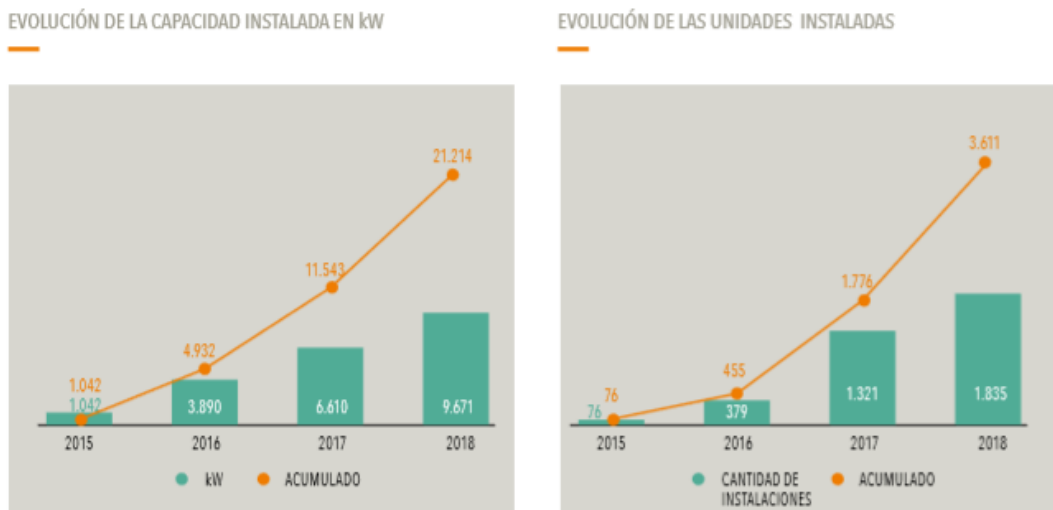
La recopilación de esta información establece que, actualmente totalizan 4.377 instalaciones, equivalente a 24,26 MW de capacidad instalada en el país, y que durante

² Esta información es suministrada por el ente fiscalizador Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

2018 “ingresaron proyectos equivalentes a 12,4 MW, suma que supera todo lo ingresado entre 2015 a 2017, y en la actualidad, la generación distribuida crece a una tasa de 1,1 MW mensual” (Valencia, 2019).

En la Figura 4.1 se muestra mediante una gráfica con las instalaciones realizadas entre el 2015 y el 2018:

Figura 4.1: Capacidad y cantidad de instalaciones inscritas en la SEC mediante formulario TE4 entre 2015 y 2018



Fuente: Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

Por otra parte, es preciso señalar la nueva Ley 21.118 vigente noviembre de 2018, la cual establece modificaciones precisas para incentivar aún más el mercado residencial de energía distribuida, puesto que de 100 kW de potencia nominal permitida se aumenta a 300 kW de potencia nominal. Además, permite a personas impulsar un proyecto colectivo, de tal manera que los proyectos comunitarios, o de propiedad conjunta, se aceptarían según corresponda.

Este proyecto, es sobre el sector residencial, por ende, se acoge a las restricciones y forma de implementar de acuerdo a lo estipulado en la Ley 20.521, su reglamento D.S. 71 y sus respectivas modificaciones.

En lo que respecta a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), proporciona el certificado TE4³ para instaladores y proveedores quienes, mediante este único trámite, el cual se realiza de manera digital, se les permite declarar las instalaciones de energías renovables no convencionales a implementar, puesto que, como bien lo estipula la ley, tanto los proveedores como los instaladores, deben ser calificados y certificados por la SEC. Cabe señalar que, en el sitio web⁴ de la SEC se encuentran los listados de instaladores y proveedores calificados que a lo menos han desarrollado una vez el TE4, permitiendo una gama de posibilidades a la hora de cotizar un sistema fotovoltaico.

4.1.2 Condiciones óptimas para el funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica a implementar

La casa piloto se ubica en Las Petunias 5889, Villa Vista Hermosa de la comuna de Huechuraba. Este hogar es una de las 25 viviendas sociales para la comunidad mapuche perteneciente a la periferia norte de la ciudad de Santiago. Estas 25 viviendas sociales pertenecen al conjunto total de 415 viviendas sociales particulares.

El porqué de la distinción de casa sociales mapuche, corresponde a la consideración en la construcción, en donde, el hogar presenta características que respetan la cosmovisión del pueblo originario mapuche. Esto se refleja en las puertas que todas están en dirección por donde sale el sol, además del frontis, cuya pared está recubierta por colihues (rüngi), simulando la sombra al interior de una ruka tradicional mapuche. El tronco diagonal que

³ El trámite “Comunicación de puesta en servicio de generadoras residenciales”, consiste en declarar a SEC todas las Puesta en Servicio de las Instalaciones Interiores Eléctricas que se quieran acoger a la Ley 20.571.

⁴ Proveedores e Instaladores: <https://www.sec.cl/gda/proveedores-e-instaladores/#1562504056294-58dcefbb-7745>

atraviesa la casa, representa la espiritualidad del pueblo mapuche, así como también el espacio vasto para la cocina dando lugar de importancia al fuego (kütral), aunque en este caso es netamente representativo.

En las imágenes mostradas en las Figuras 4.2 y 4.3 se logra apreciar las distinciones de esta vivienda social con respecto a las demás.

Figura 4.2: Casas sociales con pertinencia mapuche



Fuente: Pilar Undurraga, plataforma arquitectura

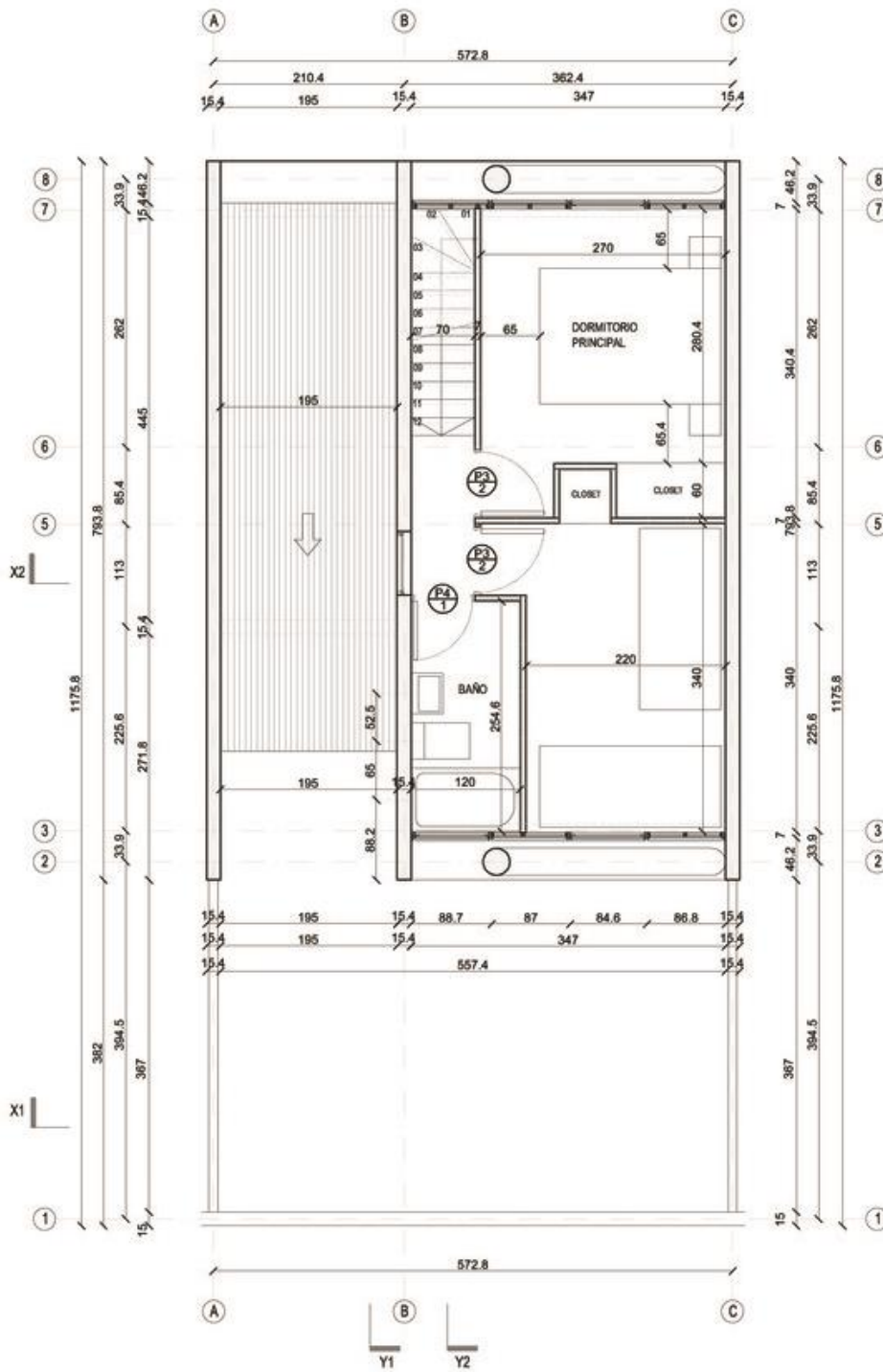
Figura 4.3: Frontis de casas sociales mapuche



Fuente: Pilar Undurraga, plataforma arquitectura

Para llevar a cabo el proyecto, fue necesario saber las dimensiones del techo, las cuales son identificadas de los planos estructurales de la vivienda. En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestran los distintos planos para determinar el área exacta que posee la casa y así poseer los primeros números para la consideración del proyecto fotovoltaico.

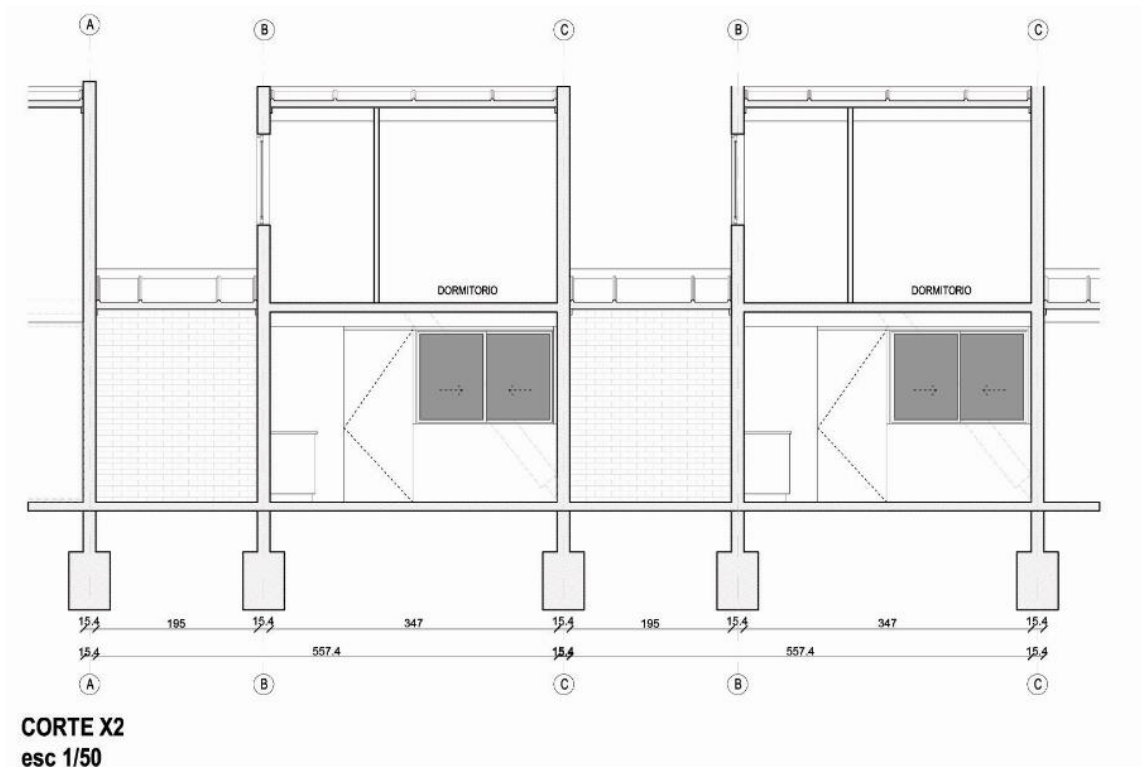
Figura 4.4: Plano de planta nivel 2 de la vivienda



**CASA TIPO CON AMPLIACION
PLANTA NIVEL 2 esc 1/50**

Fuente: ArchDaily viviendas ruca/Undurraga Devés Arquitectos

Figura 4.5: Plano de corte de la vivienda



Fuente: ArchDaily viviendas ruca/Undurraga Devés Arquitectos

Según los planos, es posible determinar el área correspondiente al techo considerando las dimensiones para el largo y ancho:

- Del primer plano: Largo = 793,8 cm = 7,938 m.
- De los ambos planos: Ancho = 15,4 cm + 347cm + 15,4 cm = 377,8 cm = 3,778 m.
- Área disponible en techo para energía fotovoltaica: Área = 7,938m * 3,778m = 29,98 m².

Aproximadamente 30 m².

Por otra parte, para el diseño de instalaciones fotovoltaicas en Chile, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Ubicación del recinto donde se instalará el sistema fotovoltaico:
 - Orientación e Inclinación
 - Tipo de tejado y condiciones.

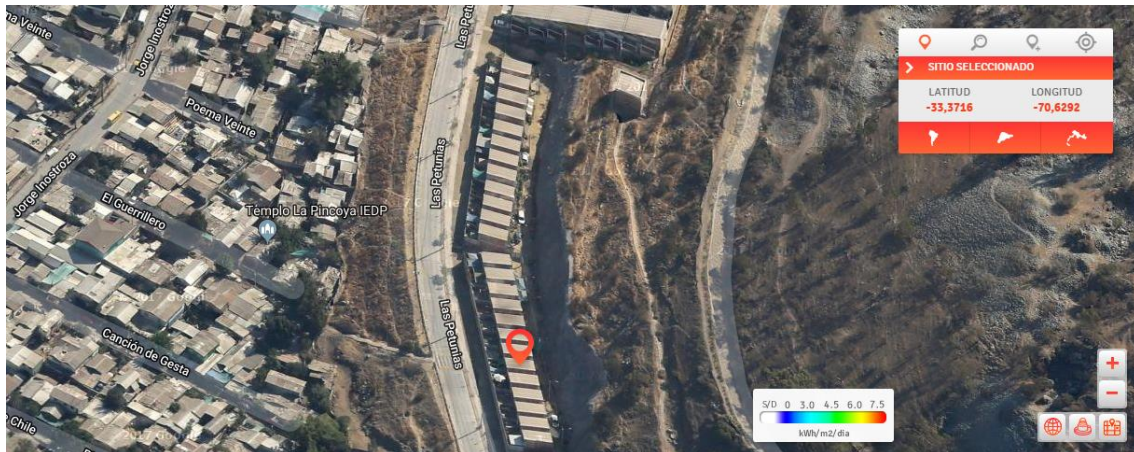
- Espacio (m^2)
- Sombras.
- Radiación solar del lugar

4.1.2.1 Ubicación del Recinto Donde se Instalará el Sistema Fotovoltaico

En lo que respecta a la ubicación del recinto, cabe señalar que, gracias al programa “explorador solar” es permitido saber variables de viento, radiación, sombras, nubes, entre otros aspectos que inciden en el diseño de generación distribuida. La particularidad del “explorador solar”, además de poder modelar, es la base de datos que mantiene a lo largo de todo el país, siendo de índole pública y gratuita. El trabajo es suministrado por los científicos Alejandra Molina, Mark Falvey & Roberto Rondanelli, cuyo trabajo lleva por nombre “A Solar Radiation Database For Chile” (Scientific reports, 2017).

- *Ubicación del Sitio* (ver Figura 4.6):
 - Nombre: Casa piloto, Las Petunias 5889, Huechuraba.
 - Latitud: 33.3715 °S
 - Longitud: 70.6292 °O
 - Elevación: 557 msnm

Figura 4.6: Mapa satelital del sitio seleccionado

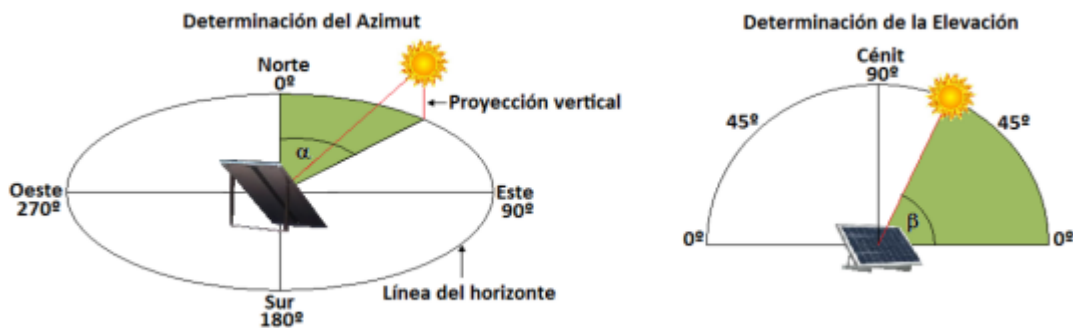


Fuente: Explorador Solar

- **Orientación e inclinación:**

Orientación Norte Desviación recomendada Max. 45° Oeste y Este. Inclinación recomendada 15° y 40° (Optimo la latitud donde se ubica la instalación, ejemplo: Santiago 33° inclinación recomendada 30°) lo Mejor es respetar la pendiente del techo. (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) (ver Figura 4.7).

Figura 4.7: Orientación e Inclinación de paneles fotovoltaicos



Fuente: Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas, Ayllu Solar, 2018

- *Tipo de tejado y condiciones:*

Tipo de tejado americano, tejas metálicas que no interrumpen visualmente la casa. El tejado posee una leve pendiente para que el agua caiga al patio trasero de la casa. Al ser prácticamente plano, es que asegura una instalación del módulo fotovoltaico de forma segura y resistente, además el techo no posee elementos o factores que añadan una sombra extra al lugar.

- *Espacio (m²):*

Como se determinó anteriormente, el área corresponde a 30 m².

- *Sombras:*

Se ha utilizado una base de datos de altura del terreno de 90 [m] de resolución y se ha considerado la topografía dentro de un radio de 180 [km] desde el sitio seleccionado, para obtener las sombras proyectadas por los obstáculos topográficos en el entorno del sitio. Este análisis no considera el impacto de otro tipo de obstáculos como, por ejemplo, edificios, árboles, cables, etc. De acuerdo al uso del software Explorador Solar, se generó un reporte de recursos meteorológicos del cual es posible identificar la frecuencia de sombras, ciclo anual y diario de las sombras, porcentaje de la hora con sombras de cada mes, como se muestra a continuación en las Figuras 4.8 y 4.9 y Tablas 4.1 y 4.2 (Solar, 2019).

Tabla 4.1 Frecuencia de Sombras, porcentaje de tiempo con sombras cada mes en horario diurno

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| % | 51.2 | 54.1 | 57.8 | 64.1 | 67.8 | 74.1 | 70.3 | 65.5 | 58.9 | 56.1 | 50.0 | 50.0 |
| | 1 | 7 | | 8 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 1 | | 2 |

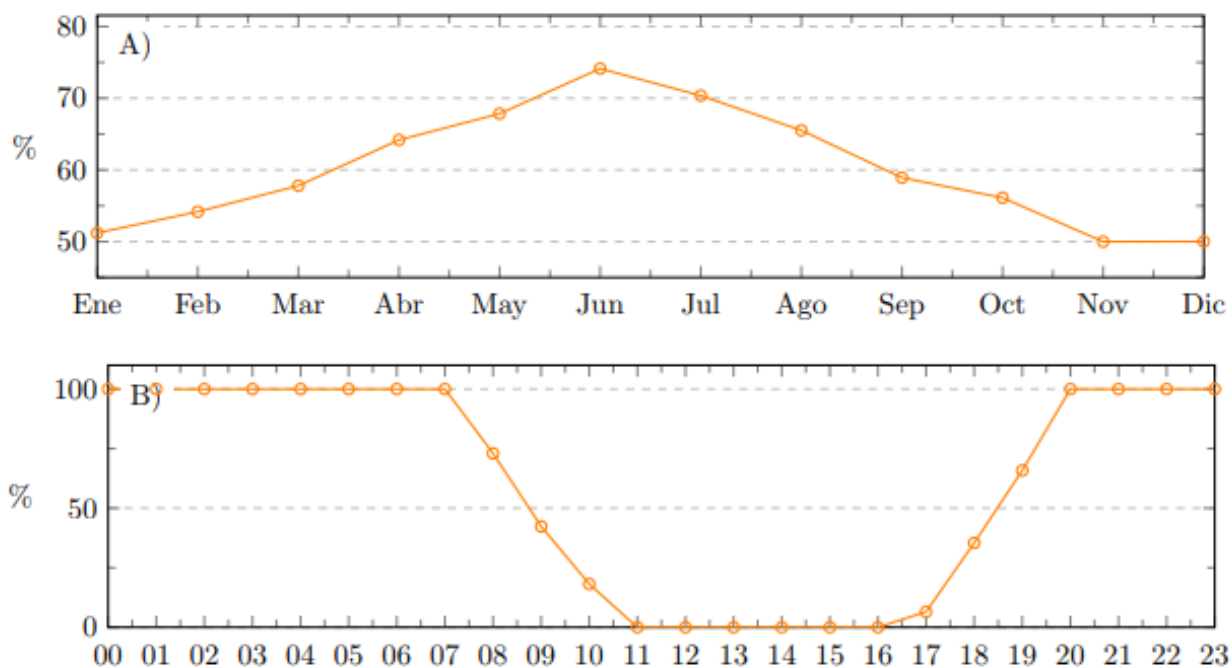
Fuente: Reporte recursos meteorológicos, Explorador Solar, 2019.

Tabla 4.2 Porcentaje del año con sombras en cada hora

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hora | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 |
| % | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 73.04 | 42.35 | 18.15 | 0.0 |
| Hora | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| % | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.51 | 35.41 | 65.83 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

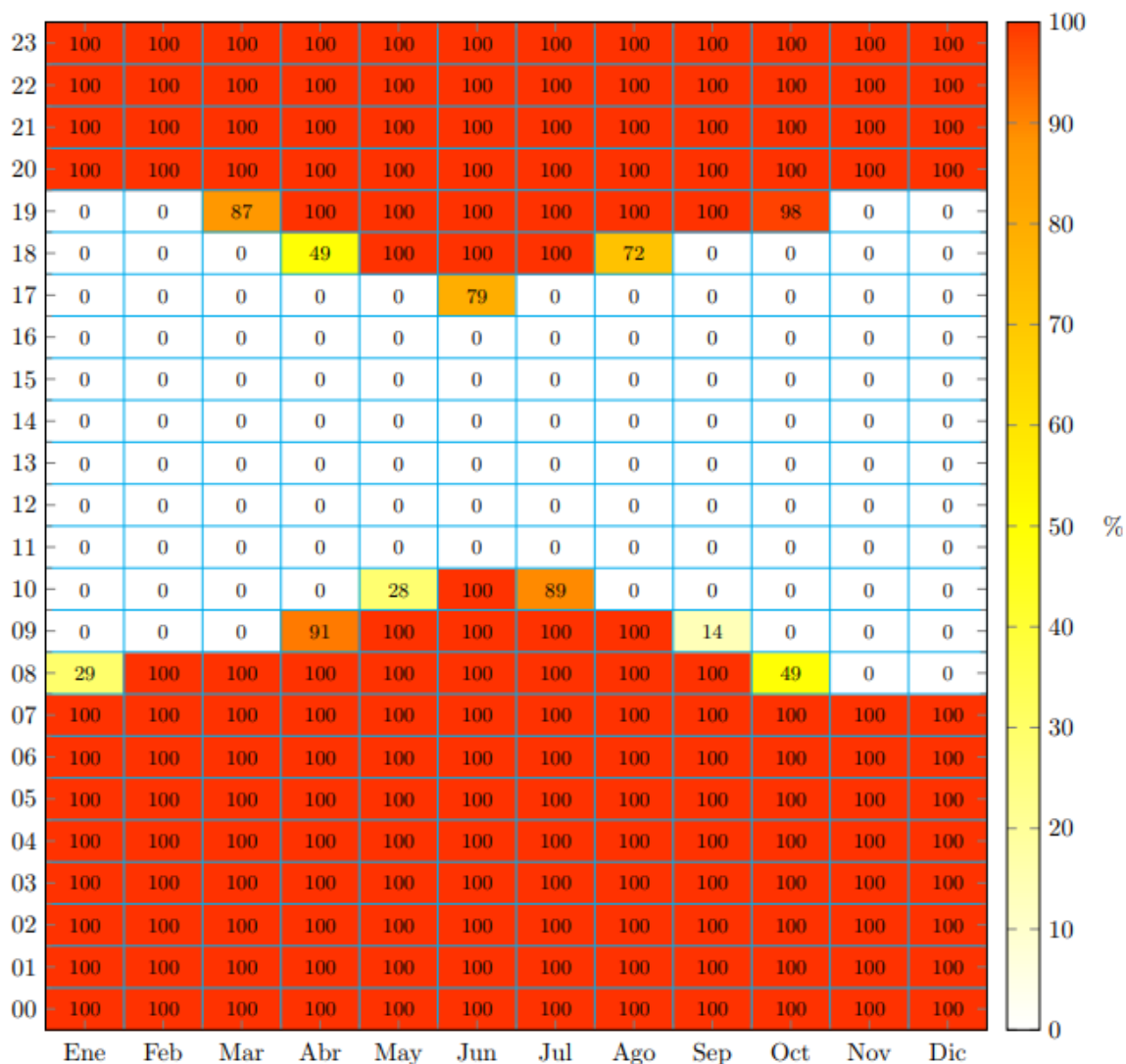
Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.8: A) Ciclo anual de frecuencia de sombras, B) Ciclo diario de frecuencia de sombras



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.9: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

- **Radiación solar del lugar:**

Las Tablas 4.3 y 4.4 y la Figura 4.10, se muestran los promedios de la radiación global, directa y difusa incidente sobre un plano horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte, con una inclinación igual a la latitud del sitio.

- *Insolación mensual:*

En las Tablas siguientes se muestra la cantidad de energía en forma de radiación solar.

Los promedios mensuales de la insolación diaria en unidades de [kW h/m²/día].

Tabla 4.3: Radiación incidente en el plano horizontal

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Directa | 6.13 | 5.4 | 4.37 | 2.77 | 1.66 | 1.21 | 1.33 | 1.86 | 2.91 | 3.93 | 5.37 | 6.18 |
| Difusa | 1.7 | 1.57 | 1.33 | 1.1 | 0.93 | 0.78 | 0.85 | 1.06 | 1.4 | 1.7 | 1.78 | 1.8 |
| Global | 7.83 | 6.97 | 5.7 | 3.87 | 2.59 | 1.99 | 2.18 | 2.92 | 4.31 | 5.63 | 7.15 | 7.98 |

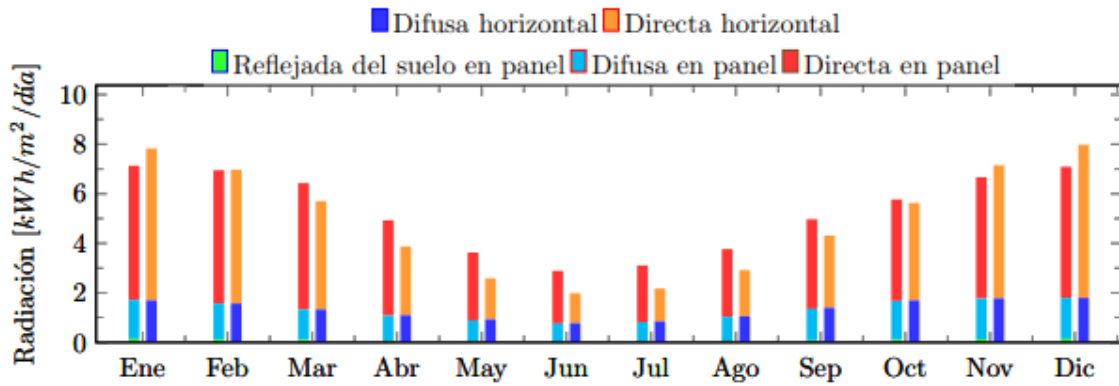
Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Tabla 4.4: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Directa | 5.41 | 5.38 | 5.1 | 3.85 | 2.73 | 2.13 | 2.29 | 2.73 | 3.61 | 4.1 | 4.9 | 5.29 |
| Difusa | 1.57 | 1.44 | 1.22 | 1.01 | 0.85 | 0.72 | 0.78 | 0.98 | 1.28 | 1.56 | 1.63 | 1.65 |
| Suelo | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.15 |
| Global | 7.13 | 6.95 | 6.43 | 4.93 | 3.63 | 2.89 | 3.11 | 3.77 | 4.97 | 5.77 | 6.67 | 7.09 |

Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.10: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado⁵



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

- *Ciclo diario de radiación:*

En las Tablas 4.5 y 4.6 y figura 4.11 se muestra el promedio horario de la radiación incidente en unidades de [W/m²].

Tabla 4.5: Radiación incidente en el plano horizontal

| Hora | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Directa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 72.9 | 208.56 | 339.51 | 451.57 |
| Difusa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.19 | 26.38 | 61.91 | 98.02 | 128.08 | 149.36 |
| Global | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.19 | 26.38 | 134.81 | 306.58 | 467.59 | 600.93 |

| Hora | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Directa | 506.45 | 515.85 | 478.55 | 406.96 | 314.98 | 190.97 | 80.22 | 15.55 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Difusa | 161.72 | 164.35 | 158.2 | 139.17 | 111.51 | 78.08 | 38.25 | 11.67 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Global | 668.17 | 680.2 | 636.75 | 546.13 | 426.49 | 269.05 | 118.47 | 27.22 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

⁵ Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo.

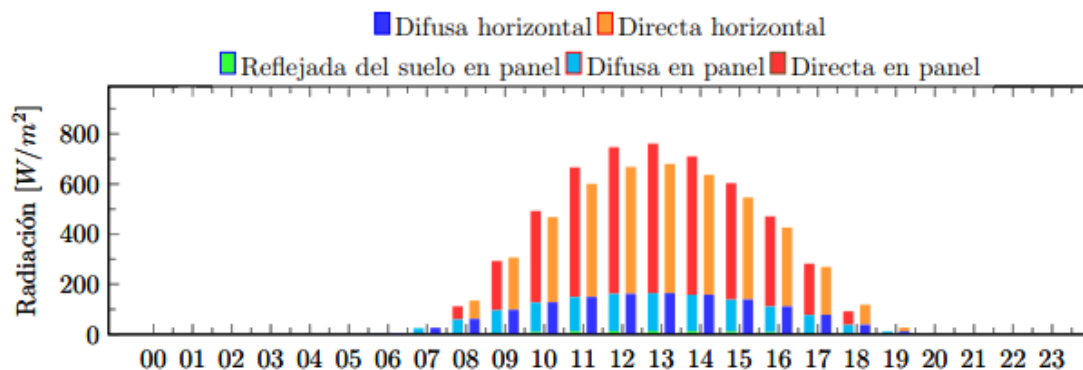
Tabla 4.6: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio

| Hora | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Directa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 52.5 | 196.75 | 365.77 | 517.27 |
| Difusa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.78 | 24.25 | 56.92 | 90.12 | 117.75 | 137.31 |
| Suelo | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.51 | 2.61 | 5.94 | 9.05 | 11.63 |
| Global | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.88 | 24.76 | 112.03 | 292.81 | 492.57 | 666.21 |

| Hora | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Directa | 585.08 | 596.87 | 552.37 | 465.06 | 360.11 | 205.14 | 54.52 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Difusa | 148.68 | 151.09 | 145.44 | 127.94 | 102.51 | 71.78 | 35.16 | 10.73 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Suelo | 12.94 | 13.17 | 12.33 | 10.57 | 8.26 | 5.21 | 2.29 | 0.53 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Global | 746.7 | 761.13 | 710.14 | 603.57 | 470.88 | 282.13 | 91.97 | 11.26 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.11: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano⁶



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

- **Variabilidad año a año:**

Con las siguientes Tablas 4.7, 4.8, 4.9 y la Figuras 4.12 y 4.13, se detalla el promedio anual de la insolación diaria en unidades de [kW h/m²/día]

⁶ Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

Tabla 4.7: Radiación incidente en el plano horizontal

| Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Directa | 3.51 | 3.4 | 3.55 | 3.63 | 3.68 | 3.43 | 3.89 | 3.86 | 3.63 | 3.68 | 3.58 | 3.41 | 3.32 |
| Difusa | 1.34 | 1.37 | 1.32 | 1.33 | 1.31 | 1.32 | 1.31 | 1.32 | 1.32 | 1.32 | 1.32 | 1.37 | 1.36 |
| Global | 4.85 | 4.77 | 4.87 | 4.96 | 4.99 | 4.75 | 5.2 | 5.18 | 4.95 | 5.0 | 4.9 | 4.78 | 4.68 |

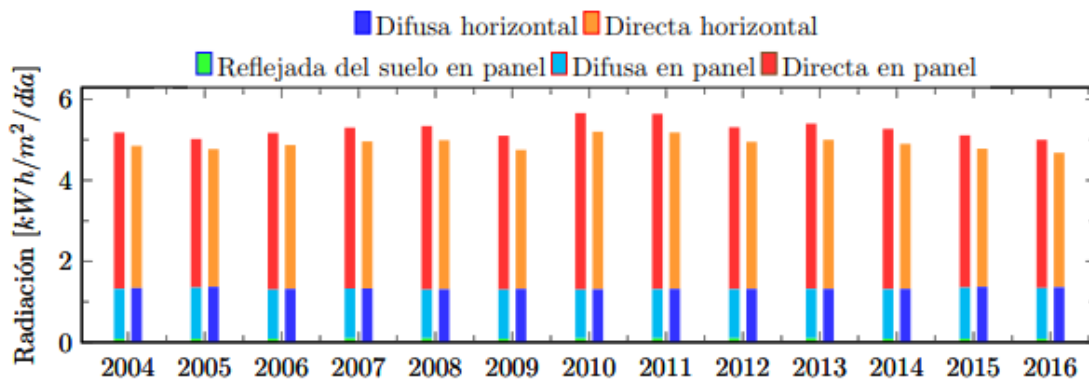
Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Tabla 4.8: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio

| Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Directa | 3.86 | 3.67 | 3.87 | 3.97 | 4.04 | 3.8 | 4.36 | 4.33 | 4.0 | 4.08 | 3.96 | 3.76 | 3.66 |
| Difusa | 1.23 | 1.26 | 1.21 | 1.23 | 1.2 | 1.21 | 1.2 | 1.21 | 1.21 | 1.22 | 1.22 | 1.26 | 1.25 |
| Suelo | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| Global | 5.18 | 5.02 | 5.17 | 5.3 | 5.34 | 5.1 | 5.66 | 5.64 | 5.31 | 5.4 | 5.27 | 5.11 | 5.0 |

Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.12: Promedio anual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado para cada año de simulación



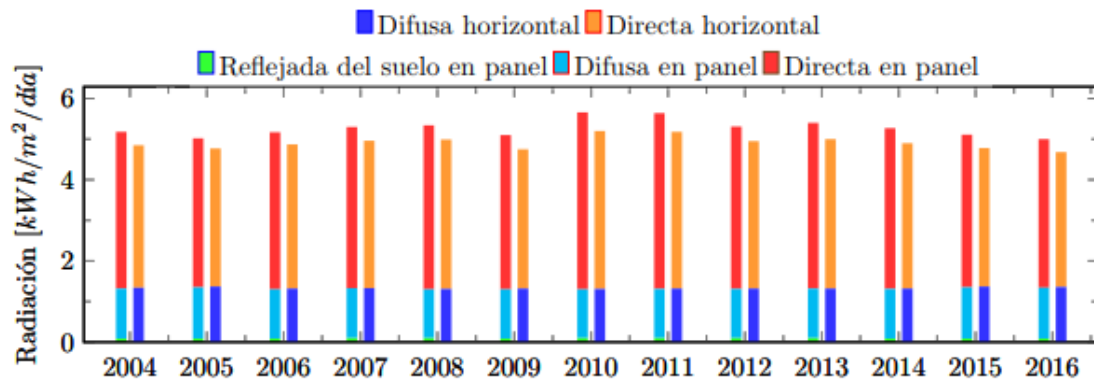
Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Tabla 4.9: Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

| Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Directa | 3.86 | 3.67 | 3.87 | 3.97 | 4.04 | 3.8 | 4.36 | 4.33 | 4.0 | 4.08 | 3.96 | 3.76 | 3.66 |
| Difusa | 1.23 | 1.26 | 1.21 | 1.23 | 1.2 | 1.21 | 1.2 | 1.21 | 1.21 | 1.22 | 1.22 | 1.26 | 1.25 |
| Suelo | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| Global | 5.18 | 5.02 | 5.17 | 5.3 | 5.34 | 5.1 | 5.66 | 5.64 | 5.31 | 5.4 | 5.27 | 5.11 | 5.0 |

Fuente: Reporte recurso solar y datos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.13: Promedio anual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado para cada año de simulación

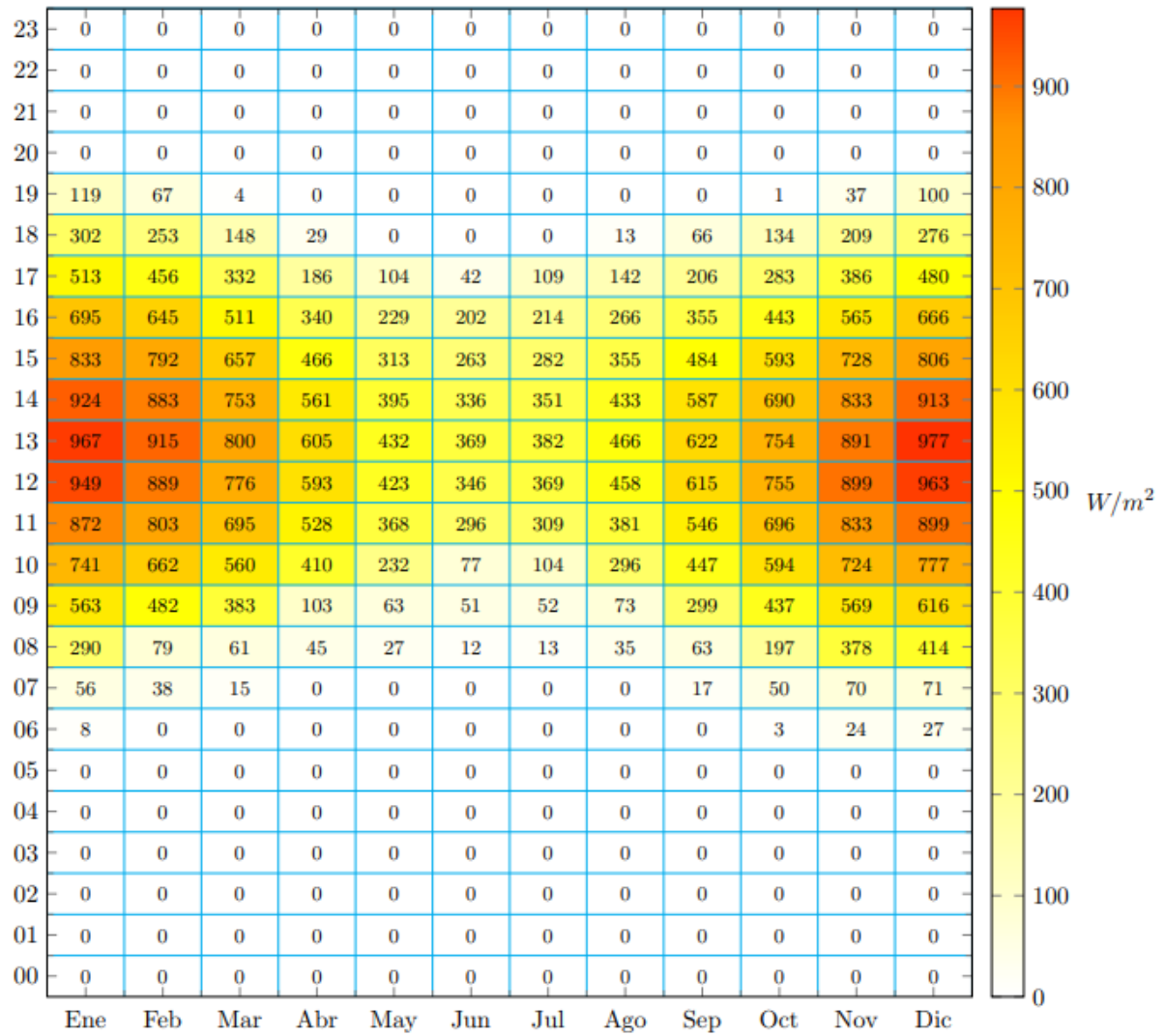


Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

- **Ciclo diario-anual:**

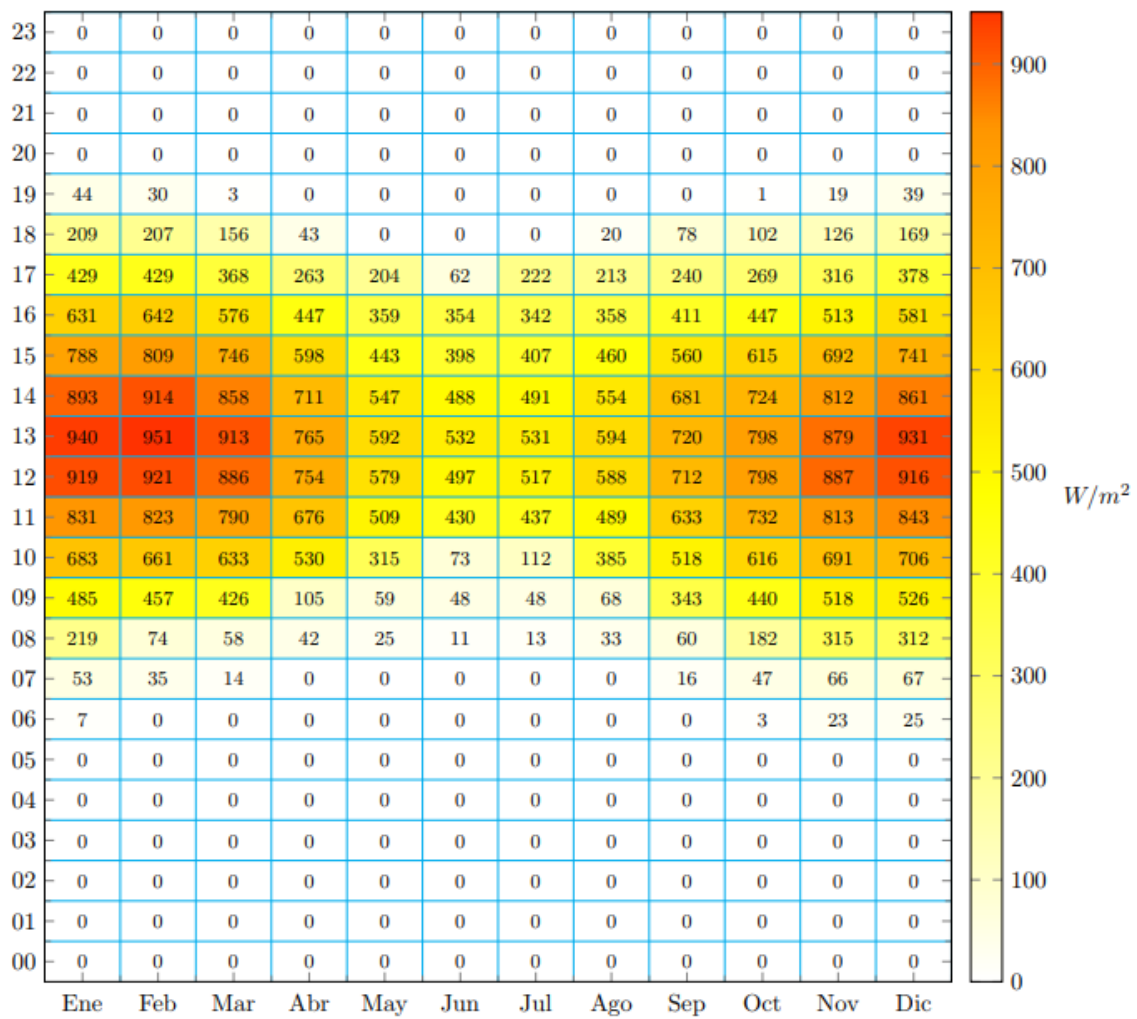
Las Figuras 4.14, 4.15 y 4.16 muestran el ciclo diario y el ciclo anual de la radiación solar incidente. El eje horizontal indica la hora del día (UTC-4) y el eje vertical indica el mes del año. La escala de colores indica el valor medio de la radiación instantánea incidente en el panel en $[W/m^2]$ para cada hora y mes.

Figura 4.14: Promedio de la radiación global horizontal para cada hora y mes



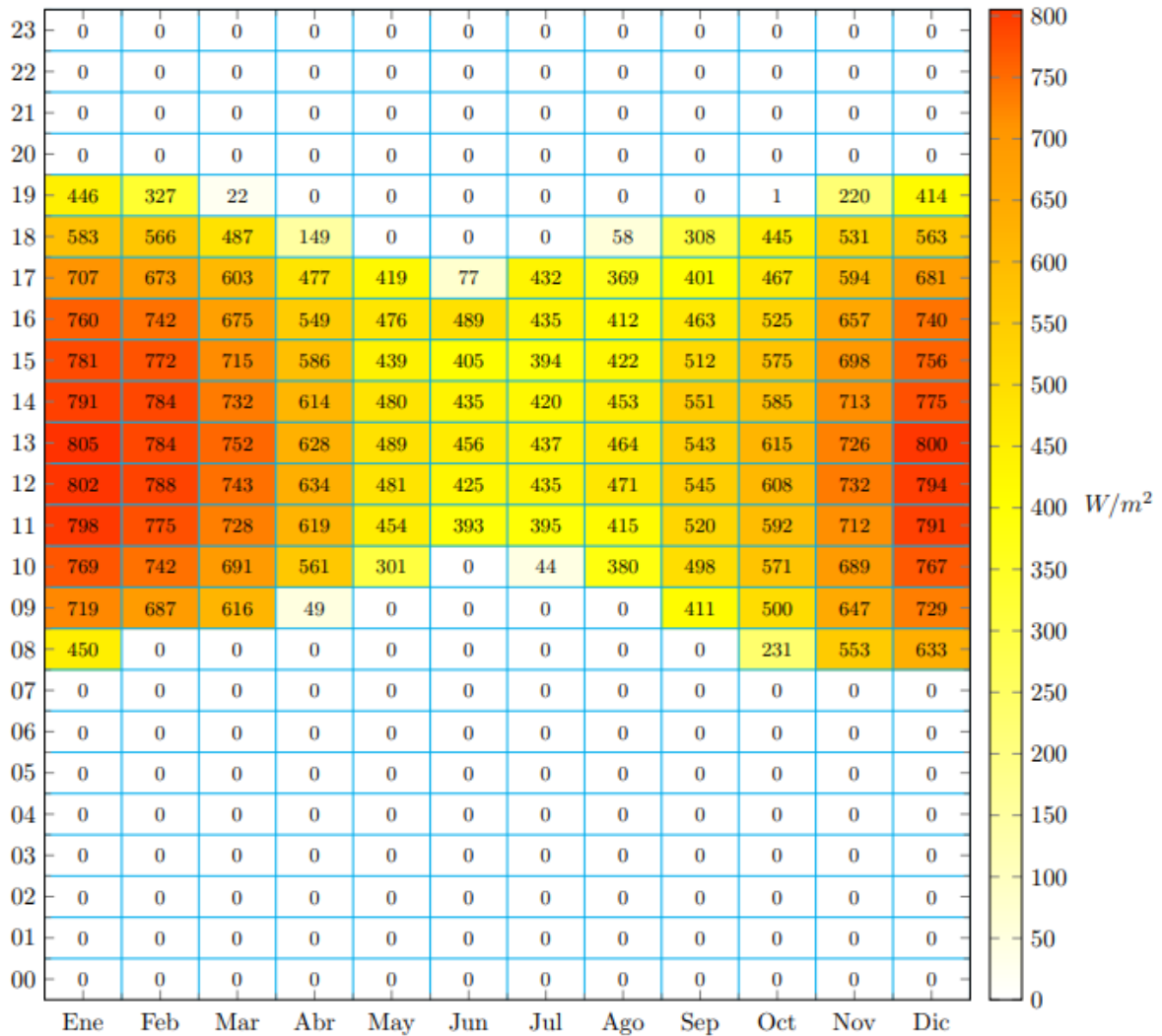
Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.15: Promedio de la radiación global incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio, para cada hora y mes



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

Figura 4.16: Promedio de la radiación directa normal para cada hora y mes



Fuente: Reporte de recursos meteorológicos, Explorador Solar 2019.

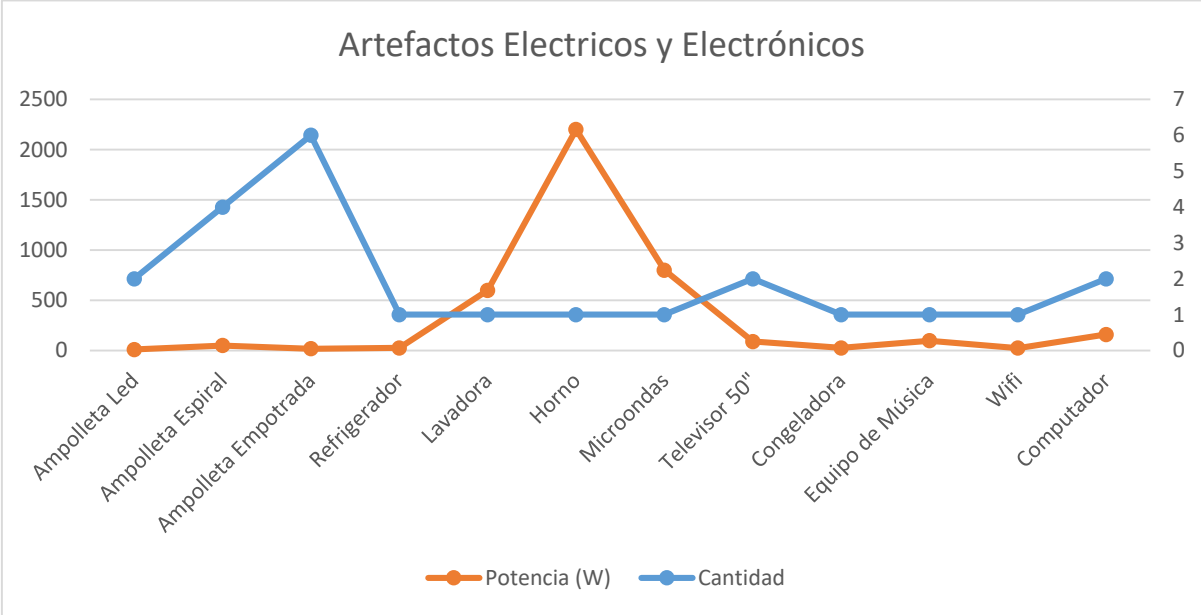
4.2 Necesidades Energéticas de una Vivienda Prototipo

4.2.1 Necesidades energéticas de la vivienda piloto

Para la caracterización de las necesidades energéticas de la vivienda piloto, fue necesario recurrir a la dueña de casa, conversar con ella en terreno a fin de conocer cuántas ampollas o luminarias y artefactos eléctricos y/o electrónicos posee en su vivienda, y

cuantas horas al día se mantienen encendidos cada uno respectivamente. Esta información fue importante para estimar el consumo a cubrir, de acuerdo a las variadas alternativas de paneles solares fotovoltaicos. En la Figura 4.17 se muestra el gráfico que detalla la información de la potencia eléctrica en la vivienda.

Figura 4.17: Gráfico Artefactos Eléctricos y Electrónicos



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el gráfico de artefactos eléctricos y electrónicos se logró ordenar la información, especificando cada artefacto que repercute en el consumo mensual de electricidad. Los datos importantes registrados fueron la cantidad del mismo artefacto y su respectivo potencial en Watts.

4.2.2 Consumo energético de la vivienda prototipo

Cuando se recopiló la información con la cantidad de artefactos eléctricos y electrónicos, así como también su respectivo potencial eléctrico, sumado a la cantidad de horas de uso aproximadamente, se tuvo por respuesta, un valor demasiado variable que aleja de la

realidad la estimación del consumo energético ya que, la misma entrega de información por parte de la dueña es un aproximado.

Por consecuencia, para denotar el consumo energético de la vivienda se tomaron en consideración las 12 boletas impartidas por ENEL, en donde aparece cuanto se consumió de energía y cuanto fue el cobro por esta.

Tabla 4.10: Estimación de Consumo mensual (kWh/día)

| Artefacto eléctrico/ electrónico | Potencia artefacto (Watts) | Cantidad artefactos | Potencia total artefactos (Watts) | Horas uso al día | Días uso al mes | Consumo mensual (Wh) | Consumo mensual (kWh) | Tarifa promedio ENEL (\$/kWh) | Costo energía promedio mensual (\$) |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Ampolleta Led | 10 | 2 | 20 | 4 | 30 | 2400 | 2,4 | 106,405 | 255,37 |
| Ampolleta Espiral | 50 | 4 | 200 | 8 | 30 | 48000 | 48 | 106,405 | 5107,44 |
| Ampolleta Empotrada | 18 | 6 | 108 | 8 | 30 | 25920 | 25,92 | 106,405 | 2.758,02 |
| Refrigerador | 27 | 1 | 27 | 24 | 30 | 19440 | 19,44 | 106,405 | 2.068,5 |
| Lavadora | 600 | 1 | 600 | 0,4 | 30 | 7200 | 7,2 | 106,405 | 766,116 |
| Microondas | 800 | 1 | 800 | 0,5 | 30 | 12000 | 12 | 106,405 | 1.276,86 |
| Horno | 2200 | 1 | 2200 | 0,7 | 30 | 46200 | 46,2 | 106,405 | 4.915,91 |
| Televisor 50" | 90 | 2 | 180 | 3 | 30 | 16200 | 16,2 | 106,405 | 1.723,76 |
| Congeladora | 27 | 1 | 27 | 24 | 30 | 19440 | 19,44 | 106,405 | 2.068,51 |
| Equipo de música | 99 | 1 | 99 | 8 | 30 | 23760 | 23,76 | 106,405 | 2.528,18 |
| Wifi | 25 | 1 | 25 | 24 | 30 | 18000 | 18 | 106,405 | 1.915,29 |
| Computador | 160 | 2 | 320 | 8 | 30 | 76800 | 76,8 | 106,405 | 8.171,904 |
| TOTAL | | | 4.606 | | | | 315,36 | | 33.555,81 |

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la potencia instalada máxima (P), se consideró la potencia total de los artefactos eléctricos de la vivienda (PTA), y se consideró un factor de simultaneidad (f) de 0,5 el que, a pesar de ser alto, es aceptable por las características propias del tipo de familias que habitarían estas viviendas, por lo tanto, la cantidad de paneles necesarios para cubrir la demanda energética.

$$P = PTA * f$$

$$P = 4,606kW * 0,5$$

$$P = 2,3kW$$

Por otra parte, conocer la tarifa⁷ promedio, cobrada por ENEL (129,341 \$/Kwh) en conjunto del consumo eléctrico, fue necesario para el cálculo económico. Es importante señalar que realizar los cálculos de forma manual es más factible y certero cuando las viviendas están nuevas, puesto que toma mayor relevancia. Sin embargo, en este proyecto las viviendas llevan muchos años desde su formación.

4.3 Proyecto de Generación Distribuida Fotovoltaica para una Vivienda Prototipo

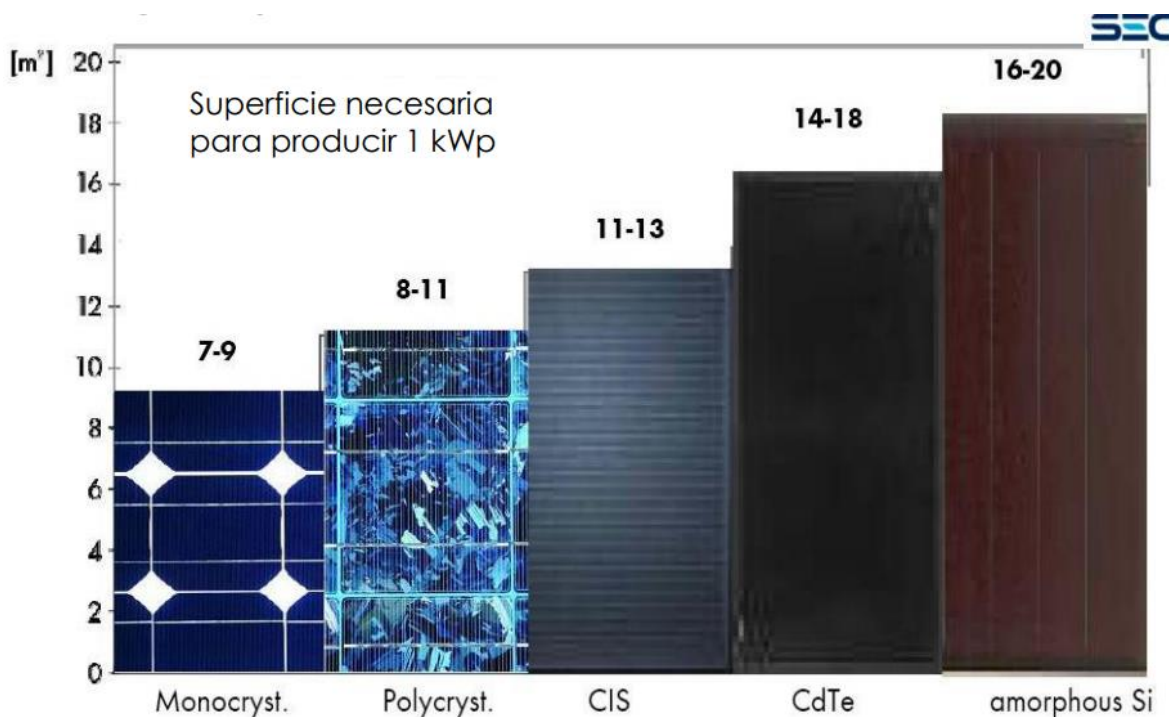
4.3.1 Factibilidad técnica de instalar la tecnología fotovoltaica

La superficie en la cual es posible instalar los módulos fotovoltaicos es igual a 30 m², donde es posible establecer algunas características del arreglo fotovoltaico, es decir la capacidad instalada, coeficiente de temperatura del panel, área total, fracción de área ocupada por el panel, eficiencia nominal del panel, etc.

La Figura 4.18 muestra la gráfica correspondiente a la cantidad de superficie necesaria para generar 1 kW de potencia, con la tecnología respectiva de modulo fotovoltaico.

⁷ Tarifa BT1, dato suministrado por ENEL correspondiente a Tarifa Base BT1 año 2023, calculado obteniendo la tarifa vigente del mes de abril del correspondiente año bajo conocimiento de datos que aparecen en boleta de cliente: Tipo de tarifa contratada (BT1-T0), Área típica (1Aa), Comuna Huechuraba.

Figura 4.18: Tecnología de paneles fotovoltaicos



Fuente: Superintendencia de Electricidad y Combustibles.


Para efectos de la estimación se consideraron paneles fabricados con silicio, puesto que son los que existen actualmente en el mercado. Están los paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos, ambos de excelente tecnología. Es preciso señalar que, los monocristalinos son una tecnología que posee la mayor eficiencia del mercado y mayor durabilidad, por lo que es ideal para superficies limitadas de espacio. Adicionalmente, el policristalino posee menos eficiencia y también menos durabilidad que el anterior, sin embargo, este panel posee un coste de producción más bajo.

Por otra parte, debido a que la superficie disponible es 30 m^2 , aproximadamente, es que se puede considerar una generación máxima aproximada de 3 kW de potencia, ya que para generar 1kW de potencia es necesario entre 7 m^2 y 9 m^2 con paneles monocristalinos, en cambio con paneles policristalinos 8 m^2 y 11 m^2 , respectivamente, según muestra la Figura 4.18. Es posible que no exista solo una solución adecuada, ya que

ningún panel es mejor que otro, pero de acuerdo al proyecto, se debe cumplir con ciertos requerimientos. De este modo, la superficie es suficiente para generar los 2,3kW requeridos para la vivienda.

En el caso de Chile, la SEC dispone en su página web de una lista con los proveedores autorizados y una lista con equipamiento autorizado (ver Figura 4.19), es decir, son a quienes se debe considerar a la hora de realizar un proyecto, pues son los certificados por la SEC, hecho relevante y necesario al implementar energía fotovoltaica. A continuación, la siguiente imagen da cuenta de cómo seleccionar proveedores y equipamiento según listado de la SEC.

Figura 4.19: Lista de proveedores e instaladores autorizados por la SEC



Personas
Información Ciudadana

Instaladores
Servicios y Tramitaciones


Industria
Gestión y Normativa Energética

Atención Ciudadana
Reclamos, Consultas, Denuncias, Solicitudes

SEC
Información Institucional

Generación Distribuida para Autoconsumo

- Generación Ciudadana
 - INFORMACION PARA PROPIETARIOS
 - Generación Distribuida para Autoconsumo
 - Proveedores e Instaladores
 - Sello Energías Renovables
 - INFORMACIÓN PARA INSTALADORES
 - Declaración TE4
 - Procedimiento de Conexión y Formularios
 - Presentaciones y Links de Interés
 - Equipamiento Autorizado
 - Marco Regulatorio y Normativo
 - Pronunciamientos
 - Plataforma Autorización de



Proveedores e Instaladores

A continuación se adjunta información de los Instaladores que conocen de la Ley 20.571, del proceso de conexión y que ya han presentado el TE4 a esta Superintendencia de Electricidad y Combustibles.





Productos

- Plataforma de Información Pública
- Reglamentos de SEC en Consulta Pública
- Tramitación de Conexión en Línea
- Almacenamiento de Energía (BESS)
- Generación Fotovoltaica Aislada (Off Grid)
- Seminarios Generación Distribuida
- Cogeneración Eficiente
- Pequeños Medios de Generación Distribuida
- Electro Movilidad (TE6)
- Consulta Pública
- Plataformas de energías renovables y electromovilidad

Los instaladores eléctricos que aparecen en esta página, son aquellos que ya han inscrito TE4 en la SEC (en la Región Metropolitana y otras Regiones)

Instaladores

Proveedores

| | |
|--|---|
| Descargar Listado actualizado Octubre 2019 |  |
| Descargar Listado actualizado Junio 2020 |  |
| Descargar Listado actualizado Marzo 2021 |  |
| Descargar Listado actualizado Junio 2021 |  |

Consultas Públicas

- Consulta Pública de Leyes, Normas y Reglamentos
- Consulta Pública de Protocolos de Productos

Fuente: Superintendencia de Electricidad y Combustibles

Una vez inspeccionado el listado de proveedores e instaladores impartidos por la SEC, se realizaron distintas cotizaciones, una de ellas referente a paneles policristalinos (ver Figura 4.20) y dos sobre paneles monocristalinos (ver Figuras 4.21 y 4.22), en donde las tres cumplían con el requerimiento de generar 2,3kW de potencia.

Figura 4.20: Cotización 1, Aquitosolar

KIT FOTOVOLTAICO 2250W PARA INYECCIÓN A LA RED



Kit solar ideal para autoconsumo e inyección a la red. Certificación IEC para net billing Chile.

[Más detalles](#)

\$ 3.340.599 IVA incluido
Ref.:KON2250NB
Cant.:

Stock: Producto a pedido.
Contáctenos para conocer plazos de entrega.

[Comprar](#)

[Seleccionar](#)

★ [in](#) [f](#) [t](#) [\]](#)

- > Imprimir datos
- > Ampliar imagen
- > Enviar a un amigo

Fuente: Aquitosolar/ aquitosolar.cl

De esta primera cotización se obtuvo la suma de \$3.340.599, IVA incluido, correspondiente a un kit fotovoltaico para conexión a la red de 2,25 kW que contempla 9 paneles policristalinos de 250 w, un inversor SMA SUNNY BOY SB2500TL, 30 metros de cable fotovoltaico 4MM2 negro, automáticos de protección, estructura básica para paneles paralelos a techo y un medidor bidireccional monofásico. Sin embargo, no incluye servicios de instalación ni gastos de envío.

Figura 4.21: Cotización 2, FLUX SOLAR



Fuente: FLUXSOLAR, COPEC.

La cotización número 2, presenta un monto de \$3.171.676, IVA incluido, en donde, a diferencia de la primera, esta corresponde a paneles monocristalino de 560w, alcanzando una potencia similar, incluyendo los costos de instalación y tramitación de certificación ante la SEC TE-4.

Figura 4.22: Cotización 3, Solinet Electricidad Solar



SOLINET ELECTRICIDAD SOLAR

Presupuesto_1636226987 On-Grid 2,25kWp ICurinao Huechuraba

Lunes, 8 de noviembre de 2021

Nombre: Iván Curinao
Comuna: Huechuraba
Teléfono:
Mail:

Ejecutivo: Marcela González
Teléfono: +569 95364851
Mail: mgonzalez@gmail.com
Validez: 15 días.

| Descripción General | Precio |
|---|--------------------------------------|
|  <p>Sistema Fotovoltaico On-Grid de 2,25 kWp (Genera 267 kWh promedio mes).</p> <ul style="list-style-type: none">• 5 paneles solares de 450 Watt (JA/Amerisolar/Risen).• 1 inversor de 2,0 kW (Solis/Goodwe/Sungrow).• Instalación sobre techo.• Hasta 20 metros lineales de cableado.• Regularización y Certificación SEC. <p>12 meses de garantía en instalación y equipos.</p> | \$3.100.000 (IVA Incluido) |

Fuente: Solinet Electricidad Solar.

Por último, la cotización número 3, entregó un monto que asciende a los \$3.100.000, IVA incluido, correspondiente a 5 paneles monocristalinos de 450w c/u con inversor e instalación sobre el techo, además de la respectiva regularización y certificación SEC. El detalle se encuentra en el Anexo B.

Como se mencionó anteriormente, ningún panel es mejor que otro, siempre y cuando cumpla con los requerimientos establecidos. Sin embargo, para el proyecto se consideró la tercera cotización, puesto que, presentaba mayor ahorro económico para la casa estudio. Así se deja establecido que, el gasto de la implementación del sistema fotovoltaico necesario para la demanda energética asciende a \$3.100.000 por concepto de materiales, equipos, implementos, instalación y servicios de tramitación y certificación SEC.

4.3.2 Estimación y análisis de datos

Los datos conseguidos mediante estimación de potencial eléctrico y consumo promedio mensual corresponden a los mencionados en la Tabla 4.10. Además, para mejor exactitud de análisis, se acudió a ENEL con el propósito de conseguir los datos reales necesarios de potencial eléctrico y consumo promedio mensual.

Debido a que existen variaciones notorias entre los resultados del cálculo aproximado que se hizo mediante la información, que proporcionó la familia de la casa en estudio, sobre los artefactos eléctricos/electrónicos más sus horas de uso, y los datos facilitados por la empresa ENEL. Es importante señalar que, para este proyecto, los datos a considerar son los suministrados por ENEL.

En las Tablas 4.11 y 4.12, se muestran los consumos energéticos y facturaciones, respectivamente, emitidas por ENEL.

Tabla 4.11: Consumos

| Fecha Evento | Consumo Energético (kWh) |
|--------------|--------------------------|
| 16/12/2021 | 140 |
| 18/11/2021 | 157 |
| 17/10/2021 | 173 |
| 16/09/2021 | 172 |
| 19/08/2021 | 282 |
| 17/07/2021 | 335 |
| 17/06/2021 | 244 |
| 17/05/2021 | 173 |
| 17/04/2021 | 169 |
| 20/03/2021 | 153 |
| 19/02/2021 | 163 |

| | |
|----------------------------|-------|
| 18/01/2021 | 184 |
| Promedio mensual \bar{X} | 195,4 |

Fuente: Reporte de Consumos, ENEL.

Tabla 4.12: Facturaciones

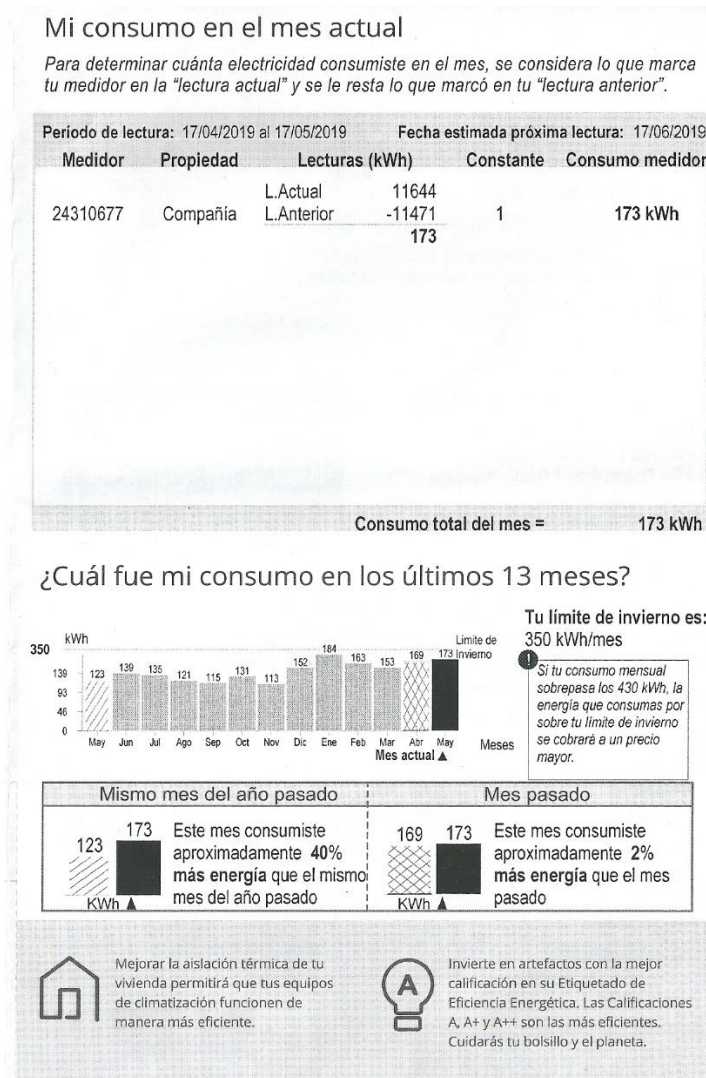
| Fecha de emisión | Total documento \$ |
|----------------------------|--------------------|
| 18/12/2021 | 15.218 |
| 20/11/2021 | 19.510 |
| 21/10/2021 | 24.026 |
| 17/09/2021 | 20.631 |
| 21/08/2021 | 34.601 |
| 19/07/2021 | 40.584 |
| 19/06/2021 | 29.906 |
| 22/05/2021 | 21.456 |
| 22/04/2021 | 18.697 |
| 20/03/2021 | 16.920 |
| 19/02/2021 | 18.269 |
| 20/01/2021 | 21.014 |
| Promedio mensual \bar{X} | 23.402 |

Fuente: Reporte de Facturaciones, ENEL.

También, pudo ser factible determinar los consumos y las facturaciones, mediante el detalle que ofrecen las distintas boletas de clientes regulados. En este caso se poseen boletas, pero no en su totalidad, por cuya razón se utilizaron solo algunas.

A continuación, se muestra la Figura 4.23 con el consumo perteneciente a boleta del mes de mayo del 2019 a modo de ejemplo.

Figura 4.23: Consumo eléctrico mes de mayo 2019



Fuente: Boleta ENEL, facilitada por dueña de casa.

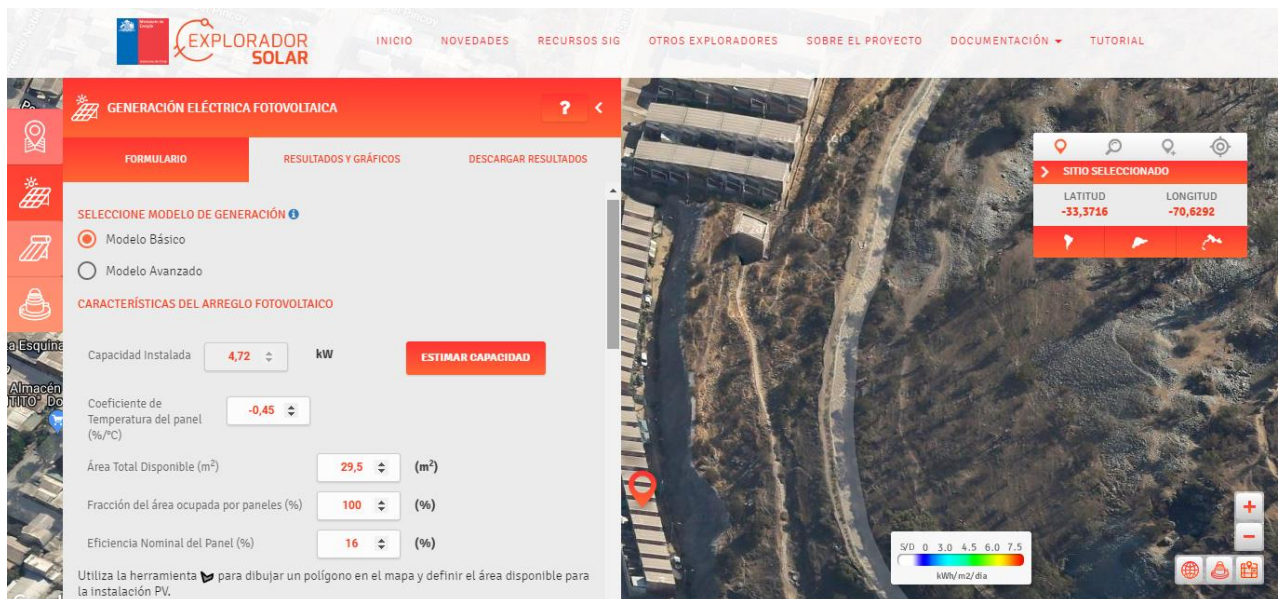
Las boletas ofrecen una serie de detalles a interpretar, que facilitan la estimación y análisis de datos, así como las características propias del cliente regulado entregando datos de tarifa, consumos, facturaciones, entre otros.

4.3.3 Proyecto para la vivienda prototipo, modelado mediante software

De acuerdo a la información obtenida, correspondiente a la vivienda piloto, se procedió a modelar mediante el Software Explorador Solar, plataforma disponible gratuitamente en la página web del Ministerio de Energía. A continuación, se detalla paso a paso la estimación de datos y la factibilidad técnica de la implementación fotovoltaica mediante el software Explorador Solar.

- En primer lugar, se debe ubicar el lugar exacto el cual se quiere tratar, distinguiendo las coordenadas exactas del sitio. Las coordenadas son: Latitud: 33.3715 °S, Longitud: 70.6292 °O, Elevación: 557 msnm. Datos entregados en el capítulo 4.1.2.1, que permiten encontrar de forma rápida el sitio del proyecto.

Figura 4.24: Ubicación casa piloto



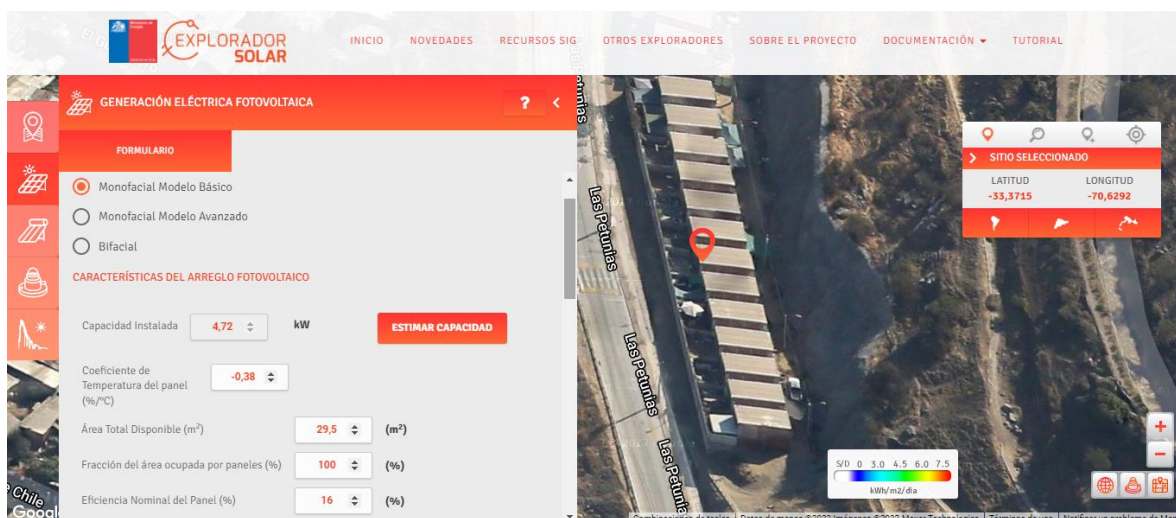
Fuente: Explorador Solar/Coordenadas buscar sitio

La Figura 4.24 muestra el sitio correspondiente a la casa prototipo, seguidamente se despliega un formulario con distintos datos a completar, para poder realizar la modelación.

- Luego se procede con rellenar el formulario con los datos solicitados, mediante la opción “ESTIMAR CAPACIDAD”. Una vez, desplegado los ítems a llenar, se procede a rellenar con los datos superpuestos, concordantes con el panel escogido en la cotización el cual, como se mencionó anteriormente, corresponde a un Panel Solar 450w 24V Mono RISEN que, al ser 156 celdas partidas, podemos tener los siguientes datos:

- Coeficiente de temperatura: -0,38%
- Eficiencia nominal del panel: 16%
- Características propias de cada panel fotovoltaico y su constitución.

Figura 4.25: Datos desplegados de estimar capacidad



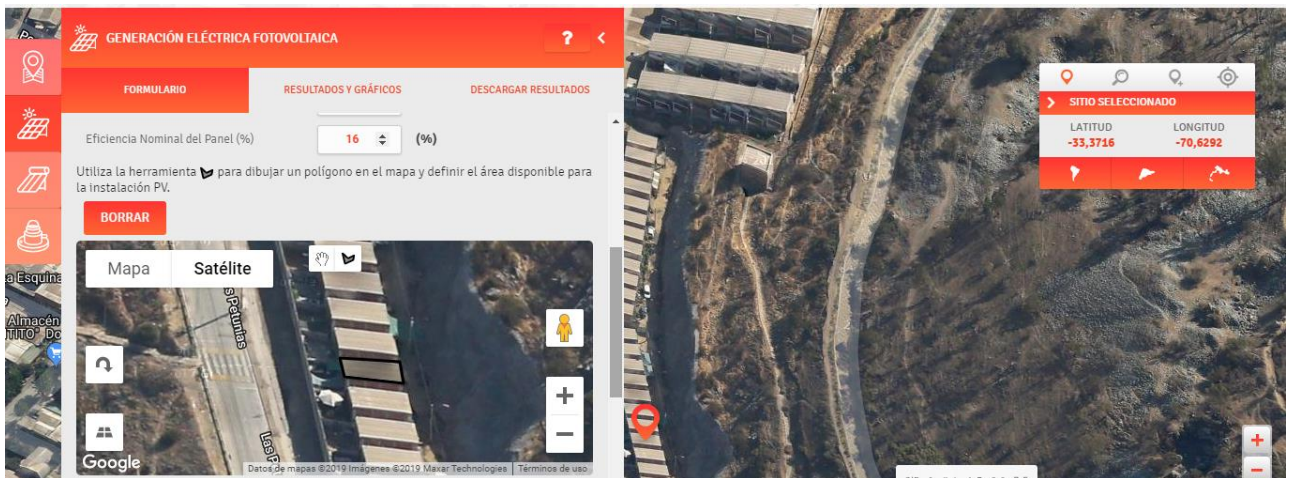
Fuente: Explorador Solar/Estimar capacidad

Por otra parte, como se muestra en la Figura 4.25, el dato correspondiente a la fracción de área ocupada por los paneles se modela en condiciones ideales, por lo tanto, establece un porcentaje del 100% a utilizar.

- Al solicitar la capacidad instalada se debe dibujar el polígono del área a ocupar el cual, en este caso, fue de $29,5m^2$ ($30m^2$ valor real). A su vez, la superficie arroja una

capacidad de 4,72 kW, aproximadamente, lo cual supera ampliamente la potencia de 2,3Kw requerida en la vivienda, recordando que esta estimación no supera a las mediciones y consideraciones en terreno, como muestra la Figura 4.26, en donde claramente se puede apreciar el dibujo del polígono que data el área disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos.

Figura 4.26: Polígono Área Disponible



Fuente: Estimación de capacidad/ Explorador Solar.

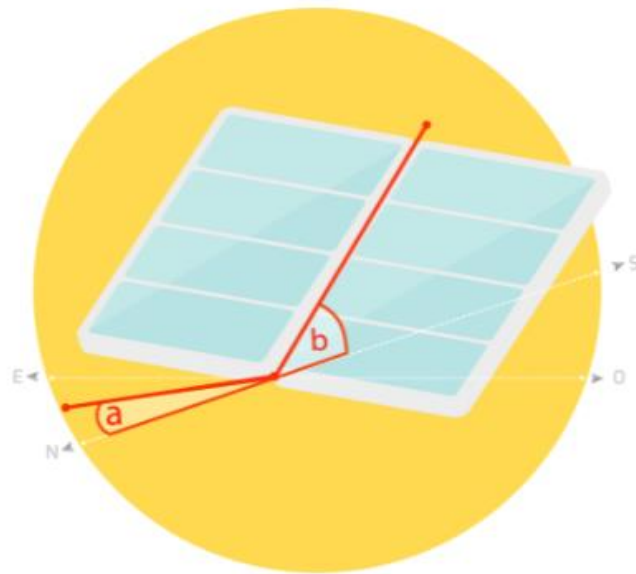
En la Figura 4.26, se presenta el polígono dibujado para la estimación del área a utilizar, la cual corresponde a $29,5m^2$.

- Luego se rellenan los datos faltantes del formulario, entre ellos la característica de la instalación y las pérdidas.

De las características de la instalación, se considera:

- Tipo de arreglo: “Fijo Inclinado”, ya que se considera un panel fijo con una cierta inclinación (a) respecto del plano horizontal y el eje central de este plano se orienta con un azimut (b) respecto del norte.

Figura 4.27: Tipo de arreglo, Panel fijo inclinado



Fuente: Explorador solar/generación eléctrica fotovoltaica.

- Tipo de Montaje: Estructura Aislada, estarán instalados de tal manera, que permita la ventilación de la parte posterior de las celdas.
- Con respecto a la inclinación y el azimuth, la SEC ofrece una recomendación con respecto a la latitud del lugar, sin embargo, el software posee un botón para optimizar los ángulos, en donde el Explorador Solar calculará los ángulos de inclinación y azimuth en que se maximiza la generación de energía eléctrica de un panel fijo en el sitio escogido.

Inclinación (°): 27

Azimuth (°): -24

De las pérdidas, se considera:

- Capacidad del inversor: Debe ser concordante con la capacidad Instalada a estimar, por ende, la capacidad del inversor será de 2,3 kW.

- Eficiencia del inversor: Corresponde al porcentaje de energía eléctrica continua que es transformada a alterna por el inversor, en este caso se utilizó el valor estándar de 96%.
- Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: Se utilizará un factor de pérdida total estándar de 14%, el cual considera la suciedad acumulada sobre el panel, sombras del entorno (árboles, construcciones), imperfecciones del panel (conexiones y cableado, entre otros), tiempo apagado por mantenencias.

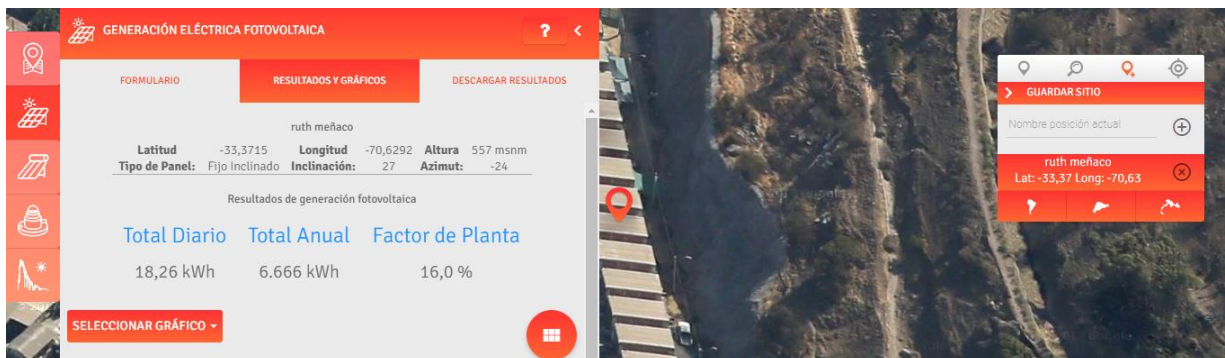
Figura 4.28: Características y Pérdidas de la Instalación

Fuente: Explorador Solar

Una vez rellenado el formulario (ver Figura 4.28), se procede con el cálculo de la generación fotovoltaica. Además, el software entrega resultados y variables de radiación, topografía y sombras, vientos, temperatura y nubosidad para los efectos y cálculos que se estime conveniente.

Estos resultados fueron entregados de acuerdo a la necesidad del sistema a implementar, a continuación, se muestra en la siguiente figura y tablas un resumen con los resultados obtenidos dando cuenta que es posible la instalación fotovoltaica para este sitio.

Figura 4.29: Resultados Mi Sitio Escogido



Fuente: Explorador Solar/Resultados y Gráficos.

Las características ingresadas en el simulador se muestran en las Tablas 4.13 y 4.14.

Tabla 4.13: Características del sistema fotovoltaico

| | |
|-------------------|--------------------|
| Configuración | Fijo Inclinado |
| Montaje | Estructura Aislada |
| Inclinación | 27° |
| Azimut | -24° |
| Coef. Temperatura | -0,38%/°C |
| Ef. Inversor | 96,0% |
| Pérdidas | 14% |

Fuente: Reporte generación fotovoltaica, explorador solar 2019.

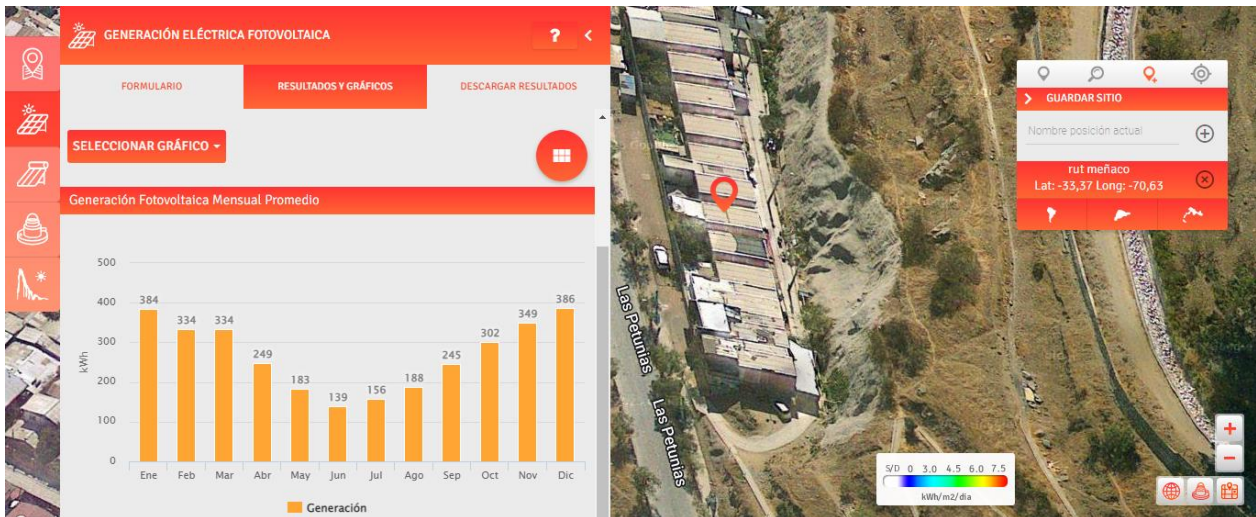
Tabla 4.14: Resultados de la generación fotovoltaica

| | |
|---------------------|----------|
| Capacidad Instalada | 2,3 kW |
| Total Diario | 9,0 kWh |
| Total Anual | 3.25 MWh |
| Factor de Planta | 16,0% |

Fuente: Reporte generación fotovoltaica, Explorador Solar 2019.

Para mayor comprensión se muestra el gráfico de la Figura 4.30 de resultados entregados por el software correspondiente a la generación fotovoltaica mensual promedio.

Figura 4.30: Generación Mensual Promedio



Fuente: Explorador Solar/ Resultados y gráficos

Los números en detalle presentados en el gráfico anterior son los que muestra la Tabla 4.15, que corresponden al promedio de generación fotovoltaica total en cada mes en kWh. En donde es correcto apreciar el alza de generación que se produce en los meses de verano, pese a que en el invierno se genera una baja de generación de un 50% aprox. De igual manera aporta y suma a la generación total anual fotovoltaica.

Tabla 4.15: Ciclo anual de la generación fotovoltaica kWh

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 383,58 | 334,35 | 334,1 | 248,52 | 182,85 | 138,91 | 156,3 | 188,05 | 245,49 | 301,74 | 349,36 | 385,59 |

Fuente: Explorador Solar/ Resultados y gráficos

4.4 Factibilidad Económica de la Implementación de Energía Distribuida Fotovoltaica en Vivienda Prototipo

4.4.1 Costos de instalación

En este ítem también se utilizó el software explorador solar, pero esta vez con su función “calcular el ahorro en la cuenta de luz”. Para este cálculo se consideran los datos obtenidos de la modelación anterior. Considerando que, si es posible implementarlo de acuerdo a las condiciones y características técnicas tanto como del sitio del proyecto, así como del sistema fotovoltaico propiamente tal. A continuación, se detalla paso a paso la estimación económica:

- En primer lugar, se debió escoger el tipo de calculadora a utilizar para la estimación. Existen tres tipos de calculadora: Calculadora Básica, Calculadora Avanzada y Calculadora Fotovoltaica Comunitaria. En este proyecto se utilizó la opción Calculadora Avanzada de modo que nos entregue una estimación lo más precisa posible. Para el uso de esta calculadora son necesario algunos conocimientos y datos técnicos

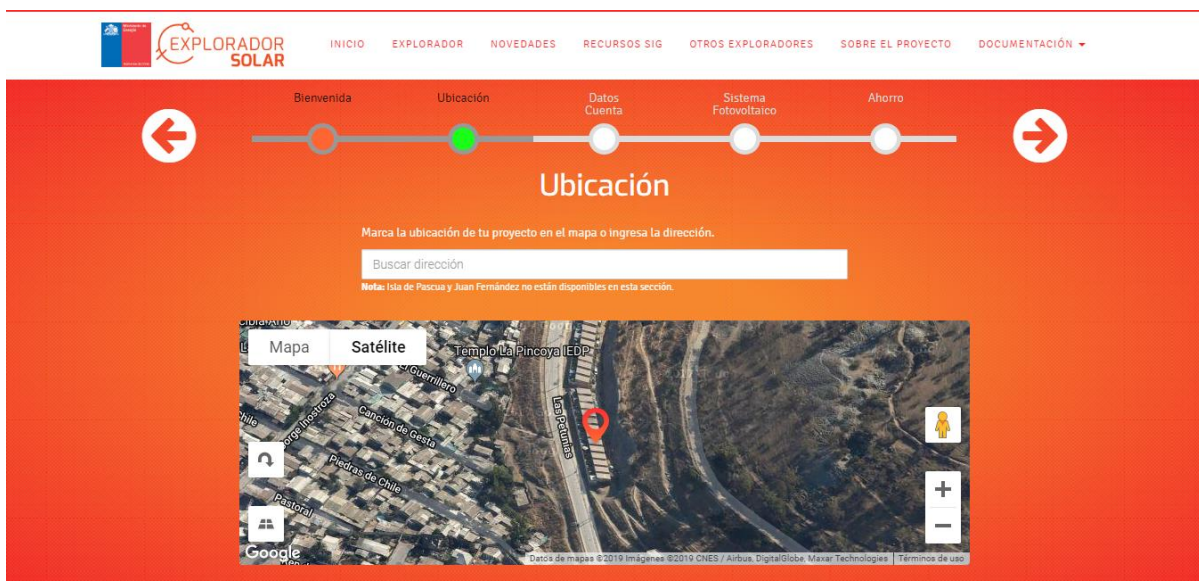
Figura 4.31: Calcular el ahorro en la cuenta de luz



Fuente: Explorador Solar/ Calculo de Ahorro

- Luego de la bienvenida, se procedió a ingresar las coordenadas de nuestro lugar en donde se ubica el proyecto. La ubicación en el software integra herramientas de Google para situarse, permitiendo una facilidad de la búsqueda del lugar exacto ingresando la dirección (Las Petunias 5889, Huechuraba).

Figura 4.32: Ubicación



Fuente: Explorador Solar/Calculadora avanzada.

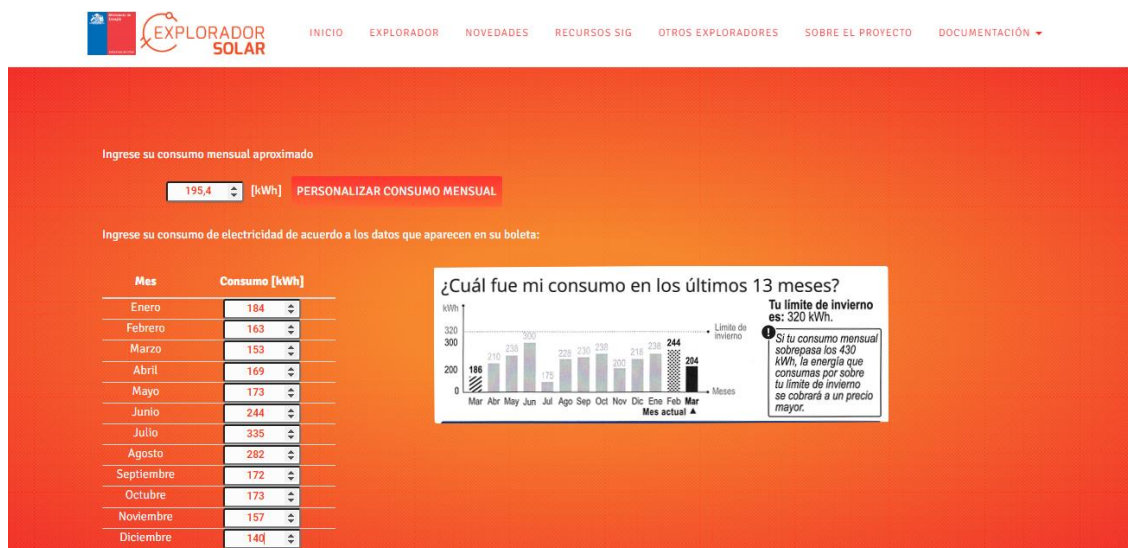
- En el tercer paso se necesitaron datos de la cuenta del cliente regulado, los cuales implican la comuna, la distribuidora de electricidad, tarifa contratada y el consumo mensual aproximado.

Figura 4.33: Distribuidora, Tipo de Tarifa y Consumo

Fuente: Explorador Solar/calculadora avanzada

Por otra parte, cuando se solicita el consumo mensual aproximado, se presiona la tecla personalizar consumo mensual, seguido de esto se despliega una tabla con los doce meses del año para establecer el consumo eléctrico. Para esta tabla se utilizaron los datos de la Tabla 4.11 que poseen los datos del consumo eléctrico durante los 12 meses distribuido por ENEL. El consumo es 195,4 kWh, en la siguiente imagen se reiteran los datos:

Figura 4.34: Consumo mensual aproximado



Fuente: Explorador Solar/calculadora avanzada

- Luego el siguiente paso corresponde a las características del sistema fotovoltaico, en donde mediante el dibujo de un polígono del sitio a utilizar se pretende diferenciar el área a trabajar. En este caso se obvió el área disponible de $22,9m^2$ calculada por el software, por lo que el dato necesario es la potencia eléctrica necesaria en la cual, se establece una capacidad de 2,3kW por defecto. Además, se ingresó el precio del sistema cotizado en la sección 4.3.1 “Estudio de la factibilidad técnica de la energía fotovoltaica”, correspondiente a una generación de 2,3 kW de capacidad por un valor de \$3.100.000 IVA incluido. La capacidad generada y su coste propiamente tal no considera préstamos ni subsidios, por lo que la inversión es realizada totalmente por el propietario.

Figura 4.35: Características del sistema fotovoltaico

Tamaño del Sistema Fotovoltaico

Puedes personalizar el tamaño de tu instalación fotovoltaica o elegir una de las capacidades predefinidas para el sistema.

| Seleccionar | Capacidad [kW] | Superficie [m ²] | Precio Estimado [€]* |
|-------------------------------------|----------------|------------------------------|----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2,3 | 22,9999999 | 310000 |
| <input type="checkbox"/> | 1 | 10 | 1.300.000 |
| <input type="checkbox"/> | 2 | 20 | 2.500.000 |
| <input type="checkbox"/> | 3 | 30 | 3.800.000 |
| <input type="checkbox"/> | 10 | 100 | 10.300.000 |
| <input type="checkbox"/> | 25 | 250 | 25.600.000 |
| <input type="checkbox"/> | 100 | 1000 | 79.000.000 |
| <input type="checkbox"/> | 200 | 2000 | 158.000.000 |
| <input type="checkbox"/> | 300 | 3000 | 203.600.000 |

*De acuerdo a la normativa vigente aquellos clientes con tarifa BT1 sólo pueden instalar un máximo de 10 kW.

Utiliza la herramienta para dibujar un polígono en el mapa y definir el área disponible para la instalación Fotovoltaica.

Tasa de descuento del proyecto: 0 %

Fuente: Explorador Solar/características sistema fotovoltaico

- También, se hace alusión a la tasa de descuento del proyecto puesto que el dinero que se invierte en el año cero, se va devaluando a futuro. Para este análisis se consideró una tasa de descuento del 5%, valor ampliamente aceptado para analizar proyectos. De sobremanera, se pide la orientación de los paneles fotovoltaicos (inclinación y azimut). En la Figura 4.36 se muestra este contexto.

Figura 4.36: Orientación paneles fotovoltaicos

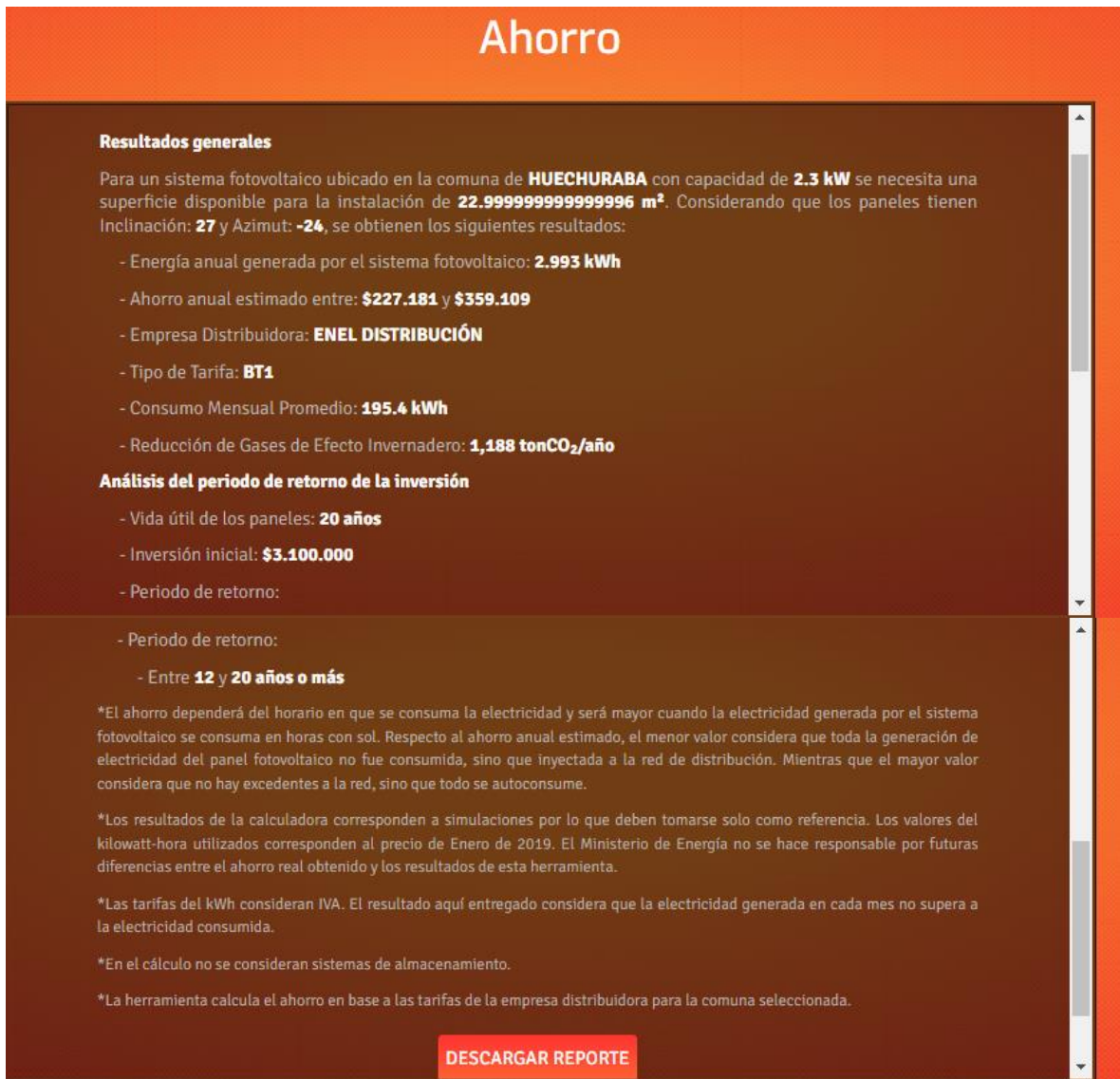
The screenshot shows the 'EXPLORADOR SOLAR' web application interface. At the top, there is a navigation menu with the following items: INICIO, EXPLORADOR, NOVEDADES, RECURSOS SIG, OTROS EXPLORADORES, SOBRE EL PROYECTO, and DOCUMENTACIÓN. The main content area has a red background and contains the following elements:

- A dropdown menu for 'Tasa de descuento del proyecto:' with the value '10' and a '%' symbol.
- A section titled 'Orientación Paneles Fotovoltaicos' with an information icon.
- A paragraph of text: 'La posición en la que se instala un panel fotovoltaico determina la cantidad de radiación que puede captar y por lo tanto la cantidad de electricidad que generará. El panel capta más radiación cuando los rayos llegan perpendiculares al panel. Por defecto se calculará la generación de un panel en posición inclinada. Para un cálculo avanzado, seleccione OPTIMIZAR ÁNGULOS PANEL.'
- Two dropdown menus: 'Inclinación:' with the value '27' and 'Azimut:' with the value '-24', both with information icons.
- A red button labeled 'OPTIMIZAR ÁNGULOS PANEL'.

Fuente: Explorador Solar

- Como se muestra en la Figura 4.36, existe la opción de optimizar ángulos panel entregando una inclinación de 27° y un azimut de -24° correspondiente al sector donde se desarrollará el proyecto. Con estos pasos es suficiente para estimar el ahorro. En la Figura 4.37 se muestran los datos generales obtenidos de la estimación en el software.

Figura 4.37: Resumen



Fuente: Explorador solar/ahorro

En las Tablas 4.16 y 4.17 se presentan los resultados obtenidos del reporte.

Tabla 4.16: Resultados Generales

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Consumo Mensual Promedio | 195.4 kWh |
| Empresa | ENEL DISTRIBUCION |
| Tipo Tarifa | BT1 |
| Valor Tarifa (sin IVA) | 63,79 - 100,83 \$/kWh |
| Energía generada anualmente | 2,993 kWh |
| Ahorro anual (con IVA) | \$227.181 - \$359.109 |
| Emisiones Evitadas | 1,188 tonCO ₂ /año |

Fuente: Explorador solar

Tabla 4.17: Información de la inversión

| | |
|--------------------|--------------------|
| Inversión | \$3.100.000 |
| Periodo de retorno | 12 - 20 Años o más |
| Vida útil paneles | 20 años |
| Tasa de descuento | 5% |

Fuente: Explorador solar

4.4.2 Consumo eléctrico para la vivienda piloto

En lo que respecta el consumo eléctrico de la vivienda piloto, se poseen los consumos mensuales correspondientes a todos los meses del año 2021, por tanto, la demanda de energía se conoce. A su vez, se conoce la energía generada a partir de la implementación de la energía fotovoltaica, cuyos resultados están en la Tabla 4.16, así como el ahorro anual promedio, que alcanza los \$293.145.

4.4.3 Evaluación de la factibilidad económica de la implementación de energía solar fotovoltaica en vivienda prototipo

La evaluación de la factibilidad económica se realizó mediante la relación Beneficio/Costo, que es un indicador de rentabilidad del proyecto. El proyecto se realizó en condiciones ideales, en donde los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil de alrededor de 20 años.

En Chile existe una gran dispersión de precios en cuanto a los costos de limpieza o contratación de un servicio de mantención. Por otro lado, señalar que las referencias internacionales para la mantención anual de un sistema fotovoltaico hablan de un costo de 0,5-2% de la inversión inicial (Almarza, Hernandez, Soto, & Santana, 2016). Por ende, la sumatoria de todos los retornos anuales dividido por la inversión inicial sumado al total de los costos anuales que, en este caso corresponde al costo de mantención anual, y considerando un valor de 1% de la inversión inicial, resulta un costo por mantención y operación anual de

$$MO = K * 0,01$$

$$MO = 3100000 * 0,01$$

$$MMO = 31000$$

Por otra parte, se asume que los flujos serán los mismos para todos los años y, además, aplicando una tasa de descuento del 5%, se obtiene la inversión anualizada del proyecto, esto es

$$Inversión\ anualizada = p \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Donde

p : Valor presente

i : tasa de interés

n : cantidad de periodos

Por tanto,

$$\text{Inversión anualizada} = 3.100.000 \left[\frac{0,05(1 + 0,05)^{20}}{(1 + 0,05)^{20} - 1} \right]$$

$$\text{Inversión anualizada} = 248.752$$

En lo que respecta al beneficio anual, este se determinó de acuerdo a de ahorro y venta de energía, en donde la suma asciende a \$293.145.

En consecuencia, utilizando la razón B/C, se tiene

$$\frac{B}{C} = \frac{B - BN}{C}$$

$$B/C = \frac{293145}{248752 + 31000}$$

$$B/C = \frac{293145}{279752}$$

$$B/C = 1,05$$

Por consiguiente, se tiene que $B/C > 1$, por lo que el proyecto se acepta, comprobándose que es una inversión rentable, para un horizonte del proyecto de 20 años.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró recopilar gran cantidad de información correspondiente a la Ley N° 20.571 que sienta las bases y los parámetros que debe tener la energía distribuida fotovoltaica. De tal manera que, este proyecto se ajusta a la normativa vigente actualmente, en donde la vivienda prototipo cumple con ser un cliente regulado que puede someterse a este tipo de estudios.

La generación de energía distribuida es factible de instalarse en la vivienda prototipo analizada y estudiada, de tal manera que tanto sus características como las condiciones propias así lo permiten, en donde el espacio en el techo despejado de sombras de un área de $30m^2$ permiten la aplicación de un sistema de, a lo menos, 2,3 Kw de potencia con paneles monocristalinos. Además, la radiación presente en el lugar es bastante como para alcanzar la potencia demandada, y solo en los meses de invierno existe menos radiación, pero está presente igualmente, siendo suficiente para cubrir la demanda a excepción de los meses de junio, julio y agosto en donde se evidencia una leve diferencia que se pagaría a ENEL propiamente tal. Asimismo, al ser también un cliente regulado por la distribuidora ENEL, es posible realizar el trámite para cambiarse a una fuente de energía fotovoltaica, con todas las regulaciones y especificaciones de la SEC.

En este proyecto se escogió un paquete ofertado por la empresa Solinet Electricidad Solar, proveedor e instalador certificado por la SEC, que ofreció instalar un sistema fotovoltaico On-Grid 2,25 kWp (genera 267 kWh promedio mes) incluyendo todos los materiales y servicios por un presupuesto de \$3.100.000, siendo la oferta más barata y que se ajustaba a los ingresos de la familia propietaria de la vivienda. Sin perjuicio de esto, el mercado de la energía fotovoltaica va en crecimiento y con más variedades a la hora de escoger un buen servicio.

En lo que respecta a la modelación mediante un software, se utilizó el Explorador Solar, que es una herramienta online desarrollada por el Ministerio de Energía en Chile, que permite descubrir el potencial solar en las diferentes regiones del país. Con esta herramienta se pudo determinar los estudios previos técnicos y económicos para la realización del proyecto, tomando en cuenta el potencial energético del espacio de la vivienda prototipo.

De acuerdo con los resultados de análisis económico, es posible que la inversión inicial, correspondiente a \$3.100.000, se recupere en un plazo de entre 12 a 20 años o más. Suponiendo que, en condiciones normales, el sistema tenga una garantía de 20 años, se convierte en un proyecto rentable.

Para el cálculo de la rentabilidad en un periodo de 20 años, se consideraron los costos de mantenimiento del sistema fotovoltaico y la inversión anualizada. De este modo se obtuvo el cálculo de la relación beneficio/costo de implementar esta tecnología, que dio por resultado ser > 1 , cuyo valor indica que el proyecto es aceptable.

Por otra parte, el sistema solar fotovoltaico tiene la capacidad de autogenerar y autoconsumir la energía eléctrica, en una vivienda. Aún más, permite vender los excedentes al sistema interconectado a un precio regulado. Por lo tanto, existen dos beneficios económicos, correspondiendo uno a la tarifa que paga el cliente de acuerdo a su consumo energético que se transforma, en energía ahorrada y el otro la tarifa de venta por energía de excedentes.

Al emplear la energía solar distribuida fotovoltaica se contribuye con la mejora y cuidado del medio ambiente, pues también se genera una reducción de gases de efecto invernadero, en donde, las emisiones evitadas son de 1,188 tonCO₂/año cuyos beneficios, si hubiesen sido valorizados, habrían aumentado aún más la rentabilidad del proyecto.

Con la implementación de este tipo de proyectos, se estaría avanzando hacia la diversificación de la matriz energética por una más limpia y más sustentable, ya que aporta a la mitigación del cambio climático y sus efectos. Puede ser que, al ser una familia mapuche, busque vivir en armonía con su entorno y ecosistema, viendo en la energía fotovoltaica una forma de vivir más consecuente con el cuidado del medio ambiente.

La energía solar fotovoltaica está presente en todo el territorio y llegó para quedarse, quizás al pasar el tiempo cada vez la tecnología resulte ser aún más barata, permitiendo una disminución en el coste de los paneles solares y su instalación, logrando que las familias realmente se incentiven a implementar un proyecto fotovoltaico, contribuyendo a incrementar la generación distribuida de electricidad.

5.2 Recomendaciones

Bajo este contexto es que, si se requiere de implementar un proyecto de esta envergadura, es necesario evaluar bien todas las variables y situaciones, pues al ser familia de escasos recursos la inversión inicial escapa del presupuesto para una casa con estas condiciones. En este sentido, se recomienda una subvención por parte del Estado o algún beneficio monetario, a través de fondos concursables, que permita cubrir la inversión inicial, o a lo menos un 50% de esta, de tal manera que se pueda viabilizar el desarrollo de este tipo de proyecto y resulte atractivo para las familias de escasos recursos.

Si bien es cierto que, la Ley N° 20.571 promueve la implementación de la energía fotovoltaica, se podrían hacer mejoras legislativas considerando una tarifa mejor para la venta de excedentes que, sin duda, mejoraría el retorno de la inversión acotando la espera.

De resultar ser este tipo de proyectos atractivo, incluso más personas se podrían sumar a ellos. Por ejemplo, en la Villa Vista Hermosa de Huechuraba (las casas mapuches) son 25, todas las familias podrían sumarse e, incluso, generar una pequeña central de ERNC en la población.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Almarza, D., Hernandez, J., Soto, G., & Santana, C. (2016). *Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos*. Santiago de Chile. Recuperado el 27 de diciembre de 2022 de: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_operacionmantenimiento_final.pdf
- ANPIER. (2018). *Anuario Fotovoltaico 2018*. Recuperado el 8 de noviembre de 2022 de: <https://observatoriorenovables.org/informe/anuario-fotovoltaico-2018/>
- Aravena, C. (2012). *Análisis de la operación interconectada de centrales eléctricas en base a tecnología fotovoltaica*. Santiago de Chile. Recuperado el 5 de agosto de 2022 de: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111465/cf-aravena_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ávila, L. (2017). *Tritec Intervento*. Recuperado el 20 de marzo de 2020 de: <https://tritec-intervento.cl/noticia-nueva/>
- Barea, E. (28 de Abril de 2022). *The Conversation*. Recuperado el 7 de diciembre de 2022 de: <https://theconversation.com/la-perovskita-nuestra-gran-aliada-en-la-lucha-contra-el-cambio-climatico-181963>
- Barrero, A. (5 de Mayo de 2021). *Energías Renovables El Periodismo de las Energías Limpias*. Obtenido de Renewable Energy Magazine: Recuperado el 7 de diciembre de 2022 de: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/la-solar-fotovoltaica-bate-record-del-mundo-20210505>
- Cáceres, G. (2018). *Apuntes de Clases de Formulación y Evaluación de Proyectos*. Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago de Chile.
- CASEN. (2017). *Pueblos Indígenas*. Recuperado el 20 de abril de 2022 de: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2017/Casen_2017_Pueblos_Indigenas.pdf
- Cerda, R. (2017). Situación socioeconómica reciente de los mapuches: 2009-2015. En Aninat I., Figueroa V. y González R.(Eds.), *El pueblo mapuche en el siglo XXI Propuestas para un nuevo entendimiento entre culturas en Chile*. (pp. 405-433). Santiago, Chile: Centro de Estudios Públicos.
- Comisión Nacional de Energía. (2018). *Anuario Estadístico de Energía*. Recuperado el 18 de octubre de 2022 en : <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/04/Anuario-CNE-2018.pdf>
- Cuytronic. (Mayo de 2017). *Software fotovoltaico: Electricidad gratuita*. Recuperado el 15 de diciembre de 2022 de: <https://www.electricidad-gratuita.com/software-fotovoltaico-gratis/>

- Energía, M. d. (2018). *Modificaciones de la Ley 20.571 de Generación Distribuida: Ministerio de Energía*. Recuperado el 22 de septiembre de 2022 de Ministerio de Energía: www.energia.gob.cl
- Figueroa, C., Parra, N., & Rodríguez, C. (2014). *Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares de familias de escasos recursos de la comuna de San Nicolás*. Chillán. Recuperado el 15 de agosto de 2022 de: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1038/1/Figueroa%20Marquez%2C%20Catalina%20Francisca.pdf>
- Generadoras Chile. (2017). *Boletín de Mercado Eléctrico*. Recuperado el 14 de agosto de 2022 de: <http://generadoras.cl/documentos/boletines/boletin-mercado-electrico-sector-generacion-diciembre-2017>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2018). *Informe de desarrollo social 2018*. Recuperado el 14 de octubre de 2022 de: https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/storage/docs/Informe_de_Desarrollo_Social_2018_v21.pdf
- Miranda, M. (2016). *Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la Ley N° 20.571*. Santiago de Chile. Recuperado el 5 de agosto de 2022 de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141781/Diseno-de-sistema-de-generacion-fotovoltaica-para-viviendas-conectadas-a-la-red-de-distribucion-en-el-contexto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ñanculef, J. (2016). *Tayñ Mapuche Kimün*. Santiago, Chile: Universidad de Chile
- Palma, R., Jimenez, G., & Alarcón, I. (2009). *Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno*. Recuperado el 9 de agosto de 2019 de: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/ernc_mercado_electrico_chileno_baja_resolucion.pdf
- Rodríguez, F. (2017). *Análisis de incentivos a la energía solar en una ciudad utilizando modelos de proyección de energía*. Santiago de Chile. Recuperado el 5 de agosto de 2022 de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145397/Analisis-de-incentivos-a-la-energia-solar-en-una-ciudad-utilizando-modelos-de-proyeccion-de-energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salas, P. (2018). *Cambio Climático, Combustibles Fósiles y el Riesgo de los Activos Varados*. Ponencia presentada en el V Encuentro Científico Nacional Universitario Santiago, Chile.
- Salgado, A. (2017). *Evaluación de la factibilidad técnica y económica en la implementación de la energía renovable no convencional eólica y termosolar en la comuna de Cobquecura*. Santiago. Recuperado el 12 de mayo de 2019
- Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernandez, C., & Unamunzaga, P. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Recuperado el 17 de mayo de

2019 de: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Seebach, C. (2018). *Generadoras Chile*. Recuperado el 8 de septiembre de 2022 de: <http://generadoras.cl/prensa/claudio-seebach-en-puente-energetico-el-sector-que-mas-rapidamente-ha-avanzado-en-aportar-a-las-estrategias-de-mitigacion-del-cambio-climatico-ha-sido-el-de-generacion-electrica>

Solar, E. (2019). *Reporte Recurso Solar y Datos Meteorológicos*. Santiago. Recuperado el 15 de diciembre de 2019 de: <https://solar.minenergia.cl/inicio>

Valencia, R. (2019). La apuesta de la generación distribuida. *Electricidad la Revista Energética de Chile*. Recuperado el 14 de octubre de 2022 de: <https://www.revistaei.cl/reportajes/la-apuesta-la-generacion-distribuida/#>

7. ANEXOS

7.1 Anexo A

Entrevista Estudio factibilidad técnica y económica de la implementación de energía distribuida

Entrevistada: Rut Meñaco Antipan

Lugar: Villa Vista Hermosa, Huechuraba

Entrevistador: Ivan Curinao Rodriguez

Desarrollo

Para contextualizar fue necesario entablar el tema sobre la energía distribuida y conversar al respecto de la significancia y procedimiento que posee el trabajar con un proyecto de este tipo. Por otra parte, se deja en claro que es un estudio, de tal manera que no necesariamente se llegue a ejecutar, puesto que solo es una evaluación. A continuación 5 preguntas claves:

1- ¿Qué me podría contar sobre su vivienda?

- Bueno, estas viviendas fueron construidas por el arquitecto Cristian Undurraga, quien tomó en cuenta la cosmovisión mapuche para diseñar y llevar a cabo una vivienda pensada en nosotros los mapuches en contexto de ciudad.

2- ¿Cuál es lo diferente de esta vivienda social?

- A la rápida puedo decir que todas las puertas están mirando hacia donde sale el sol, también el frontis y la parte trasera de la vivienda están recubiertas de coligues que dan el toque como si fuera una ruka, al igual que el tronco que cruza el frontis. También el patio que compartimos en común entre todos simulando el sentido de comunidad igual que la gente en el sur. Asumiendo

que nosotros surgimos de un comité de puras familias mapuche en donde fueron escuchadas nuestra demanda de vivienda con pertinencia mapuche.

3- ¿Qué le parece el proyecto de energía distribuida?

- Me parece algo novedoso que ayudaría de todas maneras a darle un respiro al planeta, es decir todo lo que sea a favor del medio ambiente me parece bien. Los mapuches somos gente de la tierra, entonces todo lo que podamos hacer como humanidad en donde se respete el medio ambiente y el ecosistema me parece bien.

4- ¿Le gustaría que se implementara un proyecto de energía distribuida para la vivienda?

- Sí, de todas maneras y no tan solo por lo que dije anteriormente. Sino que, por un tema de ahorrar plata, usted sabe que la plata no sobra por acá (risas). Entonces si se puede con las condiciones que se tienen acá bienvenido sea.

5- ¿Asumiendo que es solo una evaluación de factibilidad técnica y económica, está dispuesta a colaborar con el estudio y facilitar datos como los planos y cuentas de consumo energético, entre otras?

- Sí, estoy dispuesta a colaborar dentro de lo que pueda para que se realice este estudio. Y quien sabe si más adelante se pueda hacer de verdad.

7.2 Anexo B

Cotización Sistema fotovoltaico SOLINET ELECTRICIDAD SOLAR



Presupuesto_1636226987_On-Grid_2,25kWp_ICurinao_Huechuraba

lunes, 8 de noviembre de 2021

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Nombre: Iván Curinao | Ejecutiva: Marcela González |
| Comuna: Huechuraba | Teléfono: +569 95364851 |
| Teléfono: | Mail: mgonzalez@gmail.com |
| Mail: | Validez: 15 días. |

| Descripción General | Precio |
|---|--------------------------------------|
| Sistema Fotovoltaico On-Grid de 2,25 kWp (Genera 267 kWh promedio mes). | \$3.100.000 (IVA Incluido) |
| <ul style="list-style-type: none">5 paneles solares de 450 Watt (JA/Amerisolar/Risen).1 Inversor de 2,0 kW (Sola/Goodwe/Singrow).Instalación sobre techo.Hasta 20 metros lineales de cableado.Regularización y Certificación SEC. 12 meses de garantía en instalación y equipos. | |
| Opcional: Inversor Huawei o Fronius (Precio Costo Adicional) Sistema Monitoreo de Consumo y gestión de energía (Antena WiFi - App) (Costo Adicional según Inversor) | |
| Formas de pago: Anticipo \$250.000 (Cierre Orden de Venta, inicio gestión de transición de potencia SEC) 40% - Anticipo (Una vez aprobada la potencia del proyecto) 60% hasta 2 Cheques (cubre de último cheque con confirmación de Puesta en Servicio) Tarjetas de Crédito y Débito (Webpay) | |



www.solinet.cl

Oficina Administrativa: Domingo Correa 49, La Cisterna
Casa Matría y Sede: Los Maqueles 185, Curacaví
+56 9 9536 4851 +56 9 5012 8534 +56 2 3345 6351



Dalles Técnicas



1) Equipamiento y materiales incluidos:

- Sistema fotovoltaico de 2,25 kWp en red ley 20.571:
- Inversor 2,0 kW de potencia nominal con 2,3 kW de potencia máxima.
- 5 paneles solares monocristalinos de 450W (2,25 kWp).
- Tableros, protectores y medidores.
- Materiales de montaje y conexión estándar.
- Instructivo de operación y mantenimiento.

2) Servicios Incluidos:

- Proyecto normativa SEC (Especificaciones, cálculos y planos).
- Gestión de regularización con Empresa Eléctrica y SEC.
- Pruebas y puesta en servicio.
- El cobro de la empresa eléctrica por aprobar el proyecto es de 1 a 2 UF, valor de cargo del cliente con asesoría Solinet.

3) Datos Técnicos:

- Generación Anual 3.202 kWh \pm 10% (267 kWh promedio mes).
- Equipos certificados SEC.
- Reduce 3,5 TonCO₂ al año.
- Área que ocuparán los paneles 10m².
- Ampliable hasta 100 kVA.
- Al producirse un corte de suministro por parte de la compañía eléctrica, el sistema en red se desconecta por requerimiento de seguridad establecidas por la SEC.

4) No incluye:

- No incluye baterías.
- Despeje y nivelación de terreno (Se puede considerar).
- Cierre perimetral (Se cobra si se requiere).
- Tablero de inversor para intemperie (Se cobra si se requiere).
- Montaje sobre techo de arcilla/pizarra (A evaluar en terreno).
- Montaje en suelo (A evaluar en terreno).
- Medidor bidireccional (Se orienta a la compañía eléctrica).



www.solinet.net

Oficina Administrativa: Domingo Carrea 49, La Ciénega
 Casa Matriz y Bodega: Los Maquís 185, Curacao
 +56 9 9536 4851 +56 9 5012 8534 +56 2 3345 6351