



UNIVERSIDAD
DE CHILE

El acceso a la energía distribuida en conjuntos residenciales

Evaluación de sistemas fotovoltaicos comunitarios en
la Villa Olímpica

Seminario de Investigación

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Departamento de Arquitectura

Autor: Santiago Terol Calvo
Profesora Guía: Jeannette Roldán Rojas

Junio 2018

Resumen

Los avances tecnológicos permiten aumentar y garantizar el acceso a electricidad de toda la población. La generación distribuida de energía, en este caso eléctrica, se encuentra en pleno proceso de debate y planificación en Chile. Cómo de accesible es a la población urbana de Santiago y qué condiciones presenta para su implementación en el sector residencial son algunas cuestiones que se abordan en la presente investigación.

Las morfologías de los edificios en las ciudades pueden limitar el acceso al recurso solar, en especial aquellas tipologías habitacionales de densificación vertical, mientras que otros modos de densificación cuentan con características especiales para el aprovechamiento. La tecnología fotovoltaica, como un tipo de generación distribuida, aplicada en cubiertas de conjuntos residenciales permite, además de ser una fuente energética limpia y renovable, descongestionar la red de distribución de las regiones con mayor demanda y ofrecer a las y los usuarios de una producción eléctrica propia y sus ahorros asociados.

El conjunto residencial Villa Olímpica de Ñuñoa cuenta con una historia comunitaria y unas condiciones morfológicas especiales para el aprovechamiento de los techos de los bloques residenciales para generación distribuida urbana. Con una legislación con Net Billing o Facturación Neta, se abordan cuestiones como la cuantificación y disponibilidad energética en el sector y cuanta reducción en el recibo de electricidad podrían percibir estas familias chilenas.

Además de cambiar el paradigma de grandes centrales alejadas de los puntos de consumos, las energías renovables permiten a la población empoderarse y formar parte de la generación energética.

Palabras clave:

Generación distribuida – Acceso solar – Transición energética – Democratización de la energía

Agradecimientos,

A la profesora Jeannette Roldán, por su tiempo y orientación. Al profesor Roberto Román y a Carlo Saavedra (Red Genera, Cooperativa de Trabajo) por su apoyo y contexto inicial.

En el territorio español, a toda la familia de la Plataforma por un Nuevo Modelo Energético, *Enginyeria Sense Fronteres València* y a *Tanquem Cofrents* por el aprendizaje continuo ofrecido.

A Marta Province, por todo.

Índice

1.	Presentación de la investigación	1
1.1.	Introducción de la investigación	3
1.2.	Antecedentes.....	4
	Política de Net Metering en Chile.....	4
	Microrredes eléctricas en Chile.....	5
	Acceso solar en Chile	5
	Potencial solar en la arquitectura y la ciudad	6
	Los proyectos <i>Community Power</i>	7
1.3.	Hipótesis.....	8
1.4.	Objetivos y alcance	8
1.5.	Metodología	9
1.6.	Estado del arte	10
	La tecnología fotovoltaica	10
	Actualidad del Net Billing en Chile.....	14
	Situación socioeconómica de las familias en Chile.....	15
	Ley de Copropiedad Inmobiliaria.....	17
2.	El modelo energético de Chile.....	18
2.1.	Mapa energético de Chile.....	18
2.2.	Política energética a largo plazo	24
2.3.	Políticas de generación distribuida. Ámbito general y local de Santiago.....	28
	2.3.1. Políticas locales de fomento de la generación distribuida en Santiago.	30
3.	El acceso a la tecnología fotovoltaica	34
3.1.	Las instalaciones fotovoltaicas. Costos estimados en Chile.	34
	3.1.1. Elementos de una instalación fotovoltaica	34
	3.1.2. Costos asociados a las instalaciones.....	39
3.2.	El acceso solar en el Gran Santiago.....	40
3.3.	Los conjuntos residenciales de altura intermedia. El caso de Villa Olímpica.	46
	3.3.1. Contexto de la Villa Olímpica de Ñuñoa.	46
4.	La energía distribuida en la ciudad. Estudio de los casos.	49
4.1.	Identificación de las morfologías residenciales.	49
	4.1.1. Los edificios seleccionados	51

4.2.	Simulación de la capacidad solar en techumbre de los modelos.	52
4.2.1.	Cubiertas de los edificios seleccionados.....	53
4.2.2.	Estudios de sombras de los edificios	56
4.2.3.	Distribución de paneles fotovoltaicos	57
4.3.	El consumo residencial y la eficiencia energética.....	59
4.3.1.	Perfiles de consumo estimados	60
4.3.2.	Expectativas en la eficiencia energética	61
5.	Análisis técnico-económico de la instalación fotovoltaica.....	63
5.1.	La infraestructura fotovoltaica. Enfoque técnico.	63
5.1.1.	Los flujos energéticos y su gestión administrativa.....	63
5.1.2.	Resultados y balances.....	64
5.2.	La infraestructura fotovoltaica. Enfoque económico.....	67
5.3.	Recopilación y discusión de resultados.....	76
	Conclusiones.	79
6.	Anexos y bibliografía.....	82
6.1.	Anexos	82
6.1.1.	Cálculos de sombras	82
6.1.2.	Distribución de los paneles fotovoltaicos por cubierta	83
6.2.	Bibliografía.....	84
6.2.1.	Fuentes de información.....	85

1. Presentación de la investigación

Fruto del convenio entre los centros de estudios superiores Universidad Politécnica de València y Universidad de Chile surge el presente intercambio académico por un semestre y que brinda la oportunidad de realizar este trabajo de investigación interdisciplinario. Esto ha supuesto un esfuerzo doble, pues tanto el país como la ciudad de Santiago de Chile han sido nuevos para el estudiante.

Las ciudades ocupan solo el 3% de la superficie terrestre y consumen el 75% de recursos y energía, mientras que provocan el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se estima que 2/3 de la población mundial vivirá en las ciudades en 2050 (ONU Medio Ambiente). Estos espacios urbanos presentan diversos desafíos en cuanto a sostenibilidad y eficiencia. Entendiéndola como conjunto, los flujos de materia, información y energía que recibe y expulsa son estudiados en el campo del metabolismo urbano. Esta investigación se centrará en las necesidades energéticas de las ciudades, y en particular las eléctricas.

El crecimiento en los últimos años de los países, y en particular de las ciudades, ha sido en gran parte posible gracias al petróleo y los combustibles fósiles. Esto ha supuesto importantes avances, aunque el impacto en ciudades como Santiago de Chile, donde se concentran altos niveles de contaminación atmosférica y en especial, material particulado MP10 y MP2,5, ha provocado la hospitalización por enfermedades respiratorias de parte de la población vulnerable (Matus Correa, 2009). Además, combinado con las materialidades usadas y las coberturas de los suelos de la urbe, provoca el efecto isla de calor, provocando el aumentando la temperatura local del centro de la ciudad. (Opazo, 2011)

Para proveer a las ciudades de energía eléctrica, históricamente se ha necesitado de grandes centrales alejadas de los núcleos de población. Fundamentalmente, de estos puntos de generación son centrales térmicas que utilizan carbón o gas natural (combustibles fósiles que representaron el 44% y 17% respectivamente de la generación de Chile, CNE 2016). Este tipo de centrales producen un alto impacto sobre el medio ambiente debido a las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI). El sector de la energía produjo casi el 75% de las emisiones nacionales, según datos del Ministerio de Medio Ambiente de Chile publicados en 2014 y que se presentan en la Figura 1.

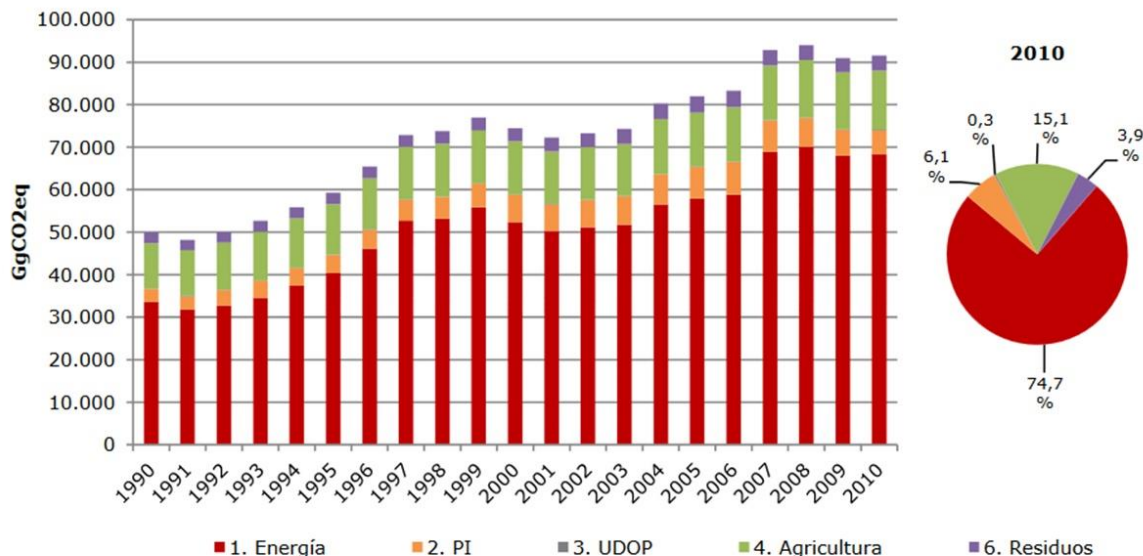


Figura 1. Tendencia de las emisiones de GEI por sector (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2014)

Además, el uso de estos combustibles fósiles supone una dependencia energética fuerte para el país, pues la materia prima fósil debe importarse a Chile, y los precios de estos recursos en el mercado internacional son volátiles.

“somos irresponsablemente dependientes de energéticos importados”

(Rodríguez, 2011).

En la esfera de ciudad, los consumos de combustibles fósiles son directamente en forma de gasolina o diésel para los transportes, los cuales representan en 35% del consumo final de energía en Chile en el año 2015. Otro uso directo de los derivados del petróleo se utiliza para producir calor, tanto en industria como en el sector residencial, ya sea para agua caliente sanitaria (ACS), calefacción o cocción de alimentos. El 21% del consumo final supuso la energía del ámbito residencial, comercios y servicios. (CNE, 2016)

La gran alternativa de este siglo a los combustibles fósiles son las energías renovables, las cuales aprovechan flujos de la propia biosfera y por tanto se considera que son recursos ilimitados. El motor de estas energías es el Sol, pues provoca los vientos, las mareas, provee de radiación, calienta nuestra superficie terrestre, etc. Aprovechar estos flujos es sostenible, desde un enfoque ambiental, y por ello estas energías son candidatas para sustituir a las centrales convencionales, que necesitan recursos limitados y contaminantes.

Con el avance de las tecnologías energéticas renovables surge la posibilidad de acercar los puntos de generación de energía eléctrica a los puntos de consumo, mediante la generación local, y así evitar

contaminar la atmósfera en la cual se vive. Existen formatos de energías renovables modulares e integrables en las edificaciones. Ejemplo de estas son los paneles fotovoltaicos y las turbinas mini-eólicas, que además son tecnologías maduras.



Figura 2. Azotea fotovoltaica de la empresa ECOOO en Madrid (Ecooo, 2018)

Chile cuenta con la Ley 20.571, la cual regula la generación distribuida en el país. En el contexto de transición energética que vive Europa y el mundo, al estudiante le resulta de interés realizar esta investigación en torno a esta Ley y sus posibles aplicaciones en el sector residencial chileno.

1.1. Introducción de la investigación

El presente seminario de investigación se centra en el acceso a la energía distribuida para conjuntos residenciales de núcleos urbanos. Este es doble, primero, disponibilidad de recurso solar, debido a las dinámicas inmobiliarias de verticalización de los últimos años en grandes metrópolis latinoamericanas (Pértile, 2014 y Martínez, 2015), y en especial, en Santiago de Chile (Vergara, 2017). En segundo lugar, acceso económico de las familias a la energía distribuida y sus asociados ahorros y virtudes.

Las ciudades son espacios donde la población se relaciona y convive de manera organizada, donde las comunidades residenciales presentan un especial potencial desde el ámbito energético. ¿Cuánta población chilena puede permitirse acceder a autoproducir su propia energía? ¿Qué requisitos reúnen los conjuntos residenciales con mayor potencial solar urbano? A lo largo del trabajo se tratará de aportar en estas cuestiones mediante el estudio de dos tipologías de instalaciones de generación distribuida en comunidades residenciales.

Las temáticas de energía distribuida están presentes en numerosos trabajos académicos, pero se aspira a darle una visión integral y comunitaria, al tiempo que se espera que sea fuente de información (antecedentes) para futuras líneas de investigación.

1.2. Antecedentes

Se encontraron publicaciones sobre temáticas relacionadas con las tecnologías solares en edificios, aplicando la Ley de Net Billing chilena o en el contexto de microrredes eléctricas como beneficio para el sistema eléctrico nacional. Cabe destacar, además, el enfoque urbanístico respecto al acceso y potencial solar de las edificaciones, pues es un asunto clave para poder aprovechar este potencial energético, y el de toda la ciudad en general.

Se decidió analizar el trabajo internacional de los proyectos *Community Power*, los cuales fomentan proyectos comunitarios de energía para transformar los sistemas energéticos de los países europeos, en los cuales Chile se proyecta. El pilar básico de estos proyectos es que la gente sea propietaria y gestora de su propia energía.

Política de Net Metering en Chile

Dadas las estimaciones se prevé que el consumo energético de Chile podría duplicarse en los próximos 10 años, se deben buscar fuentes alternativas de energía para abastecer este consumo del país. (Ordenes, 2012)

La implementación del sistema conocido como Net Metering proporciona la capacidad a las viviendas de convertirse en micro-productoras de energía eléctrica. Este estudio presenta esta alternativa de generación y obtiene valores para dos viviendas de la Región Metropolitana.

Los resultados económicos muestran, para los precios de 2012, retornos de inversión alrededor de 10 años, sin considerar ninguna medida de eficiencia energética ni subsidio al IVA (Impuesto de Valor Agregado) por la adquisición de la infraestructura, lo cual se entiende como devolver el porcentaje correspondiente a este impuesto a sus usuarios (del 19%). También se descarta la posibilidad de financiar la instalación, pues reduce los ahorros que la tecnología ofrece a lo largo de los 25 años de vida útil.

Otros resultados destacan la importancia de aplicar medidas de eficiencia energética, pues no tendría sentido invertir en un sistema de generación que aporte a un sistema de consumo ineficiente. Se afirma que:

“Como regla general, se puede establecer que por cada peso que se invierta en eficiencia, se pueden ahorrar entre 3 y 5 pesos en el sistema fotovoltaico para el mismo porcentaje de aporte”. (Ordenes, 2012)

Respecto a la selección de equipos, la superficie solar receptora a diseñar se aconseja empezar por campos solares pequeños, que tengan bajo porcentaje de aporte, respecto al consumo energético de la

vivienda, pero con inversor sobredimensionado. De esta forma queda abierta la posibilidad de ampliar la generación en un futuro. Respecto a tecnología fotovoltaica, para sectores urbanos con espacio reducido, interesa más la tecnología monocristalina, pues obtiene misma potencia que el policristalino con menor tamaño de panel.

Como apuntes finales, destaca la importancia de la ubicación de los paneles fotovoltaicos, pues efectos como sombras de árboles u otros edificios, sobre todo en horas centrales del día con mayor insolación, podrían afectar negativamente a la producción de la instalación.

Microrredes eléctricas en Chile

La combinación de un aumento de los precios de electricidad, la aprobación de la ley de Net-Metering y redes de transmisión y distribución congestionadas hacen atractiva la implementación de generación distribuida, y en específico de microrredes eléctricas. Las microrredes son arreglos de red con puntos de generación de energía distribuida que puede funcionar en paralelo a la red de distribución o independientemente, en forma de isla. (Pribnow, 2013)

Este estudio pretendió dar una visión integral de la aplicación de microrredes eléctricas en Chile, analizando las experiencias en otros países, como Estados Unidos, Japón o casos europeos, e investigando modelos de negocio para entender los factores clave para implementar microrredes. Estudió, en particular, tres sectores: residencial, industrial y comunidades aisladas de la red eléctrica.

En el caso de Estados Unidos, se ve como ha habido grandes inversiones a lo largo de los años y el desarrollo tecnológico ha sido importante. Además, las expectativas de inversión son altas para 2020.

Las microrredes proporcionan una calidad de servicio adaptada localmente y donde la generación distribuida tiene un gran potencial. Estas podrían aliviar ciertos problemas de la crisis energética a largo plazo.

Acceso solar en Chile

La búsqueda por fuentes renovables no contaminantes para cubrir las demandas de los países es ya una tendencia mundial. Entre ellas, la energía solar, requiere de un acceso al recurso crucial, y en el ámbito urbano necesita de una determinada morfología para su aprovechamiento. La dinámica inmobiliaria de los últimos años puede obstruir este preciado, y necesario, acceso solar.

La vinculación entre morfología urbana y captación solar no se ha considerado a nivel nacional chileno. Existen marcos normativos que contemplan zonas climáticas, no obstante, no son suficientemente claros en cuanto al concepto de acceso solar para su captación.

Los marcos normativos estudiados fueron la Ley General de Urbanismo y Construcción, mediante la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y, además, la Ley de Net Metering.

Como resultado final, la normativa chilena se centra en evitar las pérdidas térmicas en la envolvente y, por otro lado, se focaliza en el predio-edificio (lo individual) frente a la manzana o entorno.

Los Planes Reguladores de algunas comunas, como es el caso de Ñuñoa, se identifican edificaciones con alturas que invalidan el potencial energético en las cubiertas de sus vecinos y vecinas. La Ley de Net Metering entrega un derecho de inyección de energía autoproducida sin garantizar el acceso a este potencial solar.

No obstante, la comuna de Ñuñoa cuenta con conjuntos residenciales de altura intermedia y cubierta plana e infrautilizada, las cuales son de interés para la presente investigación.

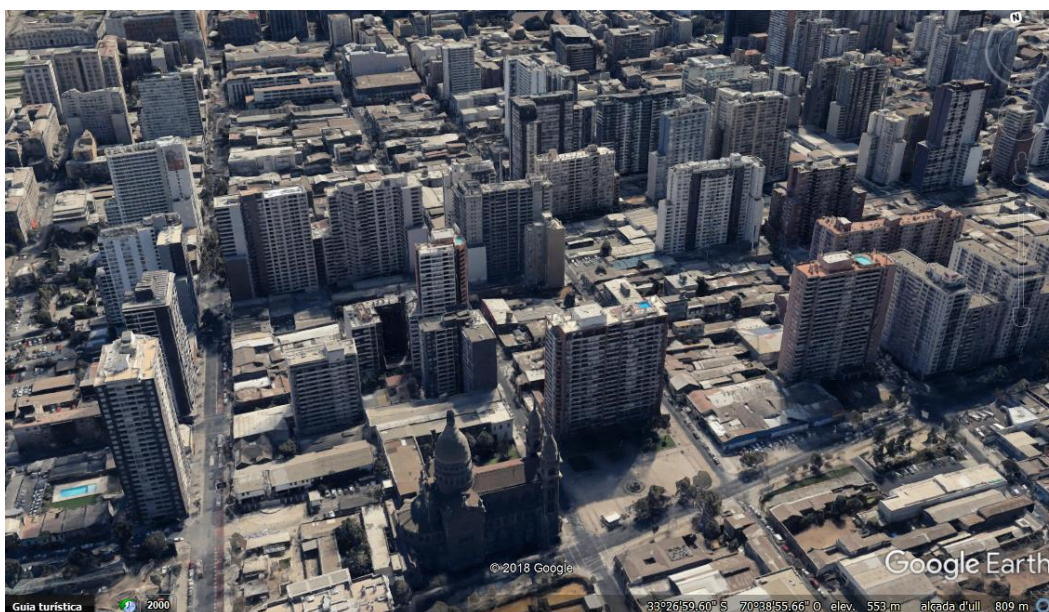


Figura 3. Ejemplo 3D de los contrastes de formas residenciales en el Centro de Santiago (Google Earth 2018)

Potencial solar en la arquitectura y la ciudad

En esta investigación publicada en 2016 por Sergio Baeriswyl en la Universidad del Bío Bío se repasan las bases teóricas de la energía solar y, posteriormente, los sistemas activos de captación solar. Sistemas solares térmicos, fotovoltaicos y híbridos son las tecnologías analizadas, mediante las cuales se pueden cubrir ciertas demandas de las propias edificaciones. Aporta una visión de la energía en relación con la arquitectura. Desde los desarrollos históricos hasta la definición de tipologías, aplicación según tecnología y potencial según tipología. Además, el capítulo dedicado al potencial solar urbano incide en la capacidad de la ciudad de Concepción (Chile) de poder cubrir parte de su demanda energética mediante estas tecnologías.

El reto al que la arquitectura se enfrenta en este campo es ser capaz de integrar sistemas pasivos y activos de energía solar, al mismo tiempo que son integrados armónicamente en las edificaciones.

Las conclusiones exhiben gran variedad de posibilidades de desarrollo de este campo, y estas quedan resueltas puntual y teóricamente. Existe ya una necesidad de ejecutar masivamente este tipo de instalaciones que tienen asociada una transformación de los edificios y las ciudades. El confort del usuario retoma gran importancia desde el enfoque arquitectónico, además de generar autonomía energética para la construcción.

Los proyectos *Community Power*

La irrupción de las energías renovables ha permitido diseñar parques generadores de menor tamaño, además de la capacidad de distribuirlos por el territorio con mayor facilidad, dado su menor impacto de escala. Los proyectos Community Power no solo aprovechan esta tecnología, sino que consiguen visibilizar cómo de posible es que las propias comunidades o cooperativas de consumidores energéticos sean propietarios y gestores de su propia energía.

Algunos objetivos de estos proyectos son: acelerar el desarrollo de proyectos de energía renovables mediante la creación de un marco legislativo favorable, construir una coalición pública para dichos proyectos, informar y educar a legisladores, implicar a la ciudadanía en esta transformación de modelo energético o crear oportunidades para financiar proyectos de tipo comunitario en los países de Europa.

Hacer efectiva la evolución del consumidor pasivo al prosumidor (palabra utilizada para describir a los nuevos usuarios: productor + consumidor) y que, además, no solo puede autoproducir en su casa, sino que es capaz de cooperar con otros prosumidores para gestionar e invertir inteligentemente en el avance de las tecnologías energéticas que respetan el entorno sobre el que vivimos.



Figura 4. Logotipo de los proyectos Community Power

Con toda esta información, se evalúa qué condiciones deben cumplir los conjuntos residenciales en las ciudades para poder beneficiarse de la generación distribuida, en particular, sistemas solares fotovoltaicos. Además, a cuánto asciende la inversión inicial de estos sistemas y si podría ser asumido por una familia chilena. Pero también importante, la capacidad que estos equipos de generación aportarían al tejido social urbano, en cuanto a culturización energética y prácticas de organización y gestión comunitaria.

¿Puede la ciudad de Santiago evolucionar hacia un entorno más equilibrado y sostenible energéticamente? Hasta ahora las ciudades han sido solo consumidoras en el modelo energético-eléctrico. Hoy día tienen la capacidad de generar electricidad mediante el potencial solar de techumbres y fachadas. Esta capacidad se traduce en fortalecimiento del sistema eléctrico nacional y ofrece un servicio más estable y fiable.

¿Qué ingresos familiares se requieren para poder optar a este tipo de tecnologías energéticas distribuidas? Aun incentivando el excedente inyectado de energía eléctrica producida en la vivienda, la Ley de Generación Distribuida o Net Billing y las instalaciones solares fotovoltaicas presentan una importante barrera, la inversión inicial. El modelo de instalación fotovoltaica comunitaria presenta mayor cohesión social que el modelo individual. Las políticas energéticas comunales de financiación de nuevas tecnologías podrían permitir el acceso a mayor parte de la población.

La generación distribuida ofrece innumerables beneficios para toda la población. Se enfoca a las comunidades residenciales como potenciales puntos de consumo que disponen de superficie disponible para la producción energética dentro de las ciudades. Además, este aprovechamiento solar tendrá asociado una culturización energética de las respectivas comunidades.

1.3. Hipótesis

En las condiciones actuales de Chile, la generación distribuida en el territorio urbano mediante energía solar fotovoltaica se ve estratégico considerar como unidad de producción al conjunto residencial. Un modelo comunitario de generación, frente al modelo individual, puede ser más eficiente, accesible y equitativo desde el punto de vista técnico, económico y social.

1.4. Objetivos y alcance

Identificar, clasificar y seleccionar; condiciones y requisitos que la generación distribuida ofrece en un conjunto residencial de Santiago en la actualidad. Aportar un enfoque comunitario y de economía familiar a la temática y con el cual lograr propuestas concretas para innovar en el sector.

Objetivos específicos:

- 1.- Revisar bibliografía del estado del arte energético y eléctrico del país. Abordaje de beneficios y ventajas de la energía distribuida y la Ley 20.571 de Net Billing. Potencial solar disponible. Revisión de las políticas energéticas y/o financiación que podrían fomentar un mayor acceso a la tecnología.
- 2.- Identificar, seleccionar y aplicar criterios para conjuntos residenciales que presenten mayor potencial de incorporar energía solar fotovoltaica para autoabastecerse.

3.- Evaluar y comparar tipologías de instalación de energía distribuida en techumbres de comunidades residenciales para los casos de autoproducción de forma comunitaria o en cada unidad habitacional.

4.- Análisis del impacto en la economía familiar de la instalación fotovoltaica para energía distribuida.

El alcance que esta investigación presenta es, por tanto,

- La superficie sobre la cual se pretende instalar los sistemas fotovoltaicos son las techumbres, y por tanto no se entrará a evaluar el potencial en fachadas u otras superficies.

- Es requisito para cumplir objetivos realizar los cálculos en conjuntos residenciales con diversas viviendas, así poder evaluar el efecto de inversión colectiva. Quedan excluidas, por tanto, tipologías residenciales unifamiliares.

- Se pretende hacer investigación por la parte de generación y su potencial, y no por la parte de demanda residencial real que se tiene en el caso de estudio. Se toman solamente las formas de los edificios y no se procederá a evaluar los consumos eléctricos o energéticos de estos.

1.5. Metodología

En una primera fase se procederá al estudio de la situación energética nacional y regulación de la generación distribuida, también el contexto general de los sistemas solares fotovoltaicos. Esto se llevará a cabo mediante revisión bibliográfica de fuentes primarias y secundarias y con entrevistas con expertos del sector energético. Además, se organizarán las fuentes de datos donde obtener la información más reciente disponible del sector energético.

En la segunda etapa de la investigación se identificará, mediante Google Earth, las agrupaciones de viviendas de interés y se seleccionarán los edificios o bloques que formarán parte del estudio, los cuales presentarán alturas intermedias de entre 3 y 5 alturas y cuentan con cubierta plana infrautilizada. Este constará de la creación de modelos mediante software BIM (*Building Information Modelling*) para posteriormente simular y generar estudios solares y de sombras. Con esta información, se analizará el potencial solar disponible sobre estas superficies infrautilizadas.

Como tercera fase, un análisis técnico y económico de dos tipologías de instalaciones fotovoltaicas en los edificios estudiados en la segunda fase. Se realizará una clasificación en función de los distintos parámetros que influyen en los cálculos. El análisis económico necesita de estimación de perfiles de consumo eléctrico, los cuales se obtendrán a partir de estadística general. Mediante una planilla de Microsoft Excel y el software online *Sunny Design* se obtendrán los resultados.

Como último punto, se analiza el impacto que tendría la tipología de instalación fotovoltaica en las economías familiares y el asociado acceso a la tecnología. Además, se revisará alguna política comunal o financiamientos disponibles que permiten acceder a las instalaciones y así ampliar la población que podría beneficiarse de la generación distribuida urbana.



1.6. Estado del arte

La temática de investigación requiere refrescar ciertos puntos que, junto con los antecedentes, permiten tener un buen contexto conceptual en el cual este trabajo pretende incidir. Se ha realizado una revisión de la tecnología fotovoltaica y su evolución en los últimos años a nivel mundial, una actualización normativa de la Ley de Net Billing, un repaso macro a las situaciones económicas familiares en Chile y la Ley de Copropiedad Inmobiliaria, en la cual el estudio se englobaría, como bien común del condominio.

La tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica es aquella que transforma la energía recibida directamente del Sol a energía en forma eléctrica. El principio de funcionamiento se estudia a partir de la célula fotovoltaica, basada en materiales semiconductores como el Silicio.

Fundamentos, la célula fotovoltaica

Desde el descubrimiento del conocido como Efecto Fotovoltaico por Becquerel en 1839, se sabe que algunos materiales metálicos producen una corriente eléctrica al ser expuestos a la luz. Estos se caracterizan por comportarse como aislantes a bajas temperaturas y actuar como conductores al recibir energía, en forma de fotones o luz, por ejemplo, o al aumentar la temperatura. Estos materiales, conocidos posteriormente como semiconductores, se han estudiado mediante el modelo de enlaces y el modelo de bandas.

Estos modelos explican cómo al recibir cierta cantidad de energía, estos materiales desprenden electrones de sus átomos produciendo una corriente eléctrica. Mediante este estudio de modelos, se encontró que, dopando, es decir, tratando con impurezas la composición atómica de los materiales, se podía provocar las corrientes eléctricas entre materiales con mayor facilidad.

Tipos de células. Tipo P, Tipo N

Encontramos, entonces, que al juntar Silicio dopado de forma que presenta electrones libres adicionales, tipo N, con Silicio dopado con huecos adicionales, tipo P, y unir en ambos polos mediante conexión eléctrica se produce una diferencia de potencial, es decir, una corriente.

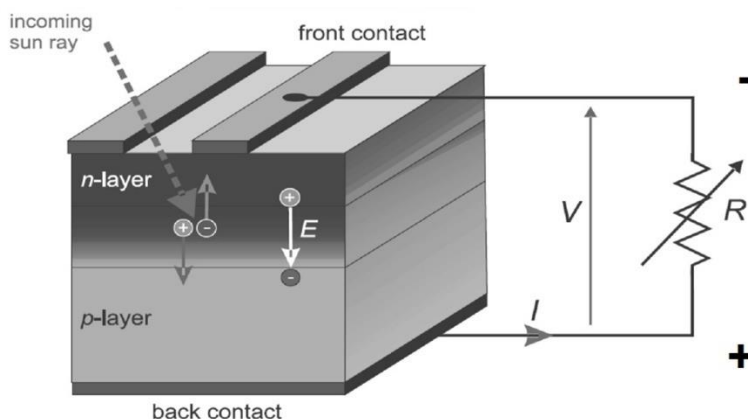


Figura 5. Esquema tipo de una célula fotovoltaica

Tipos de materiales utilizados. Silicio por excelencia.

Además del descrito Silicio, encontramos otras tecnologías que presentan similares propiedades fotovoltaicas. Esta familia de materiales está englobada bajo el nombre *Thin-film*, y se trata de finas capas depositadas sobre un sustrato de diferentes tipos como, por ejemplo, cristal. Estos materiales consiguen células fotovoltaicas más finas y a precios más baratos que las de silicio monocristalino (c-Si). Ordenadas por precio de fabricación:

- Célula FV GaAs (Galio Arsénico), con rendimientos comerciales mayores del 20% y experimentalmente alcanzado el 29%. Se consiguen células muy finas, aunque presenta un alto precio, por lo cual solo se usa para aplicaciones aeroespaciales.
- Célula FV CdTe (Cadmio Telurio), con rendimientos comerciales de 16%, ha logrado hasta 19% en experimentos. Costo de producción medio y presenta parámetros casi óptimos frente al espectro energético solar.
- Célula CIGS (Cobre Indio Galio), muestra rendimientos de entre el 13% y el 20%, con un precio de fabricación muy barato y células muy finas.

Además, se han investigado materiales como la Perovskita, células orgánicas e inorgánicas, etc.

Tecnologías más comercializadas. El Silicio.

No obstante, comercialmente el mercado mundial está dominado por el Silicio, el cual es el material que más predomina sobre la corteza terrestre. Sus variedades son:

- Silicio monocristalino o cristalino (c-Si), presenta una estructura regular y de gran pureza, un comportamiento predecible y uniforme. El proceso de fabricación es lento y costoso, y es el más caro de los materiales de Si para células FV. Aporta rendimientos de módulos, células en serie, de alrededor de 20%.
- Silicio policristalino o multicristalino (poly-Si), muestra una regularidad por zonas, visiblemente identificables, que reduce el rendimiento de módulo a los 16%. Presenta grosor de módulos considerables y el proceso de fabricación es más sencillo y barato. Este tipo de células ha tenido históricamente mucho éxito.
- Silicio amorfo con átomos de hidrógeno (a-Si:H), es un cristal totalmente irregular al cual se le añaden entre 5%-10% de átomos de Hidrógeno para mejorar la eficiencia, que en módulos es del 8%. No obstante, es una tecnología muy barata y se prevé que reemplace el poly-Si. Se considera *thin-film*, pues se consiguen las células FV de Si más finas.

Asociación de células FV. El módulo.

Pero de nada nos sirve la corriente eléctrica generada por una única célula FV. Para poder aprovechar correctamente esta energía, la industria fotovoltaica colocó en serie distintos números de células con las cuales conseguía distintas tensiones (V) y corrientes (I).

En la actualidad, los módulos se presentan en su mayoría con 60 o 72 células en serie que aportan 240W o 320W, y a su vez, los campos fotovoltaicos agrupan distintos módulos para conseguir la potencia pico que deseen. No obstante, es posible encontrar módulos de menor número de células y así conseguir mayor versatilidad, idealmente pensadas para superficies urbanas, aunque aporten menor cantidad de energía.

Evolución de la tecnología.

A nivel mundial, la tecnología fotovoltaica ya está presente desde hace más de cuatro décadas, y los resultados en cuanto a potencia instalada por continentes se muestra a continuación:

Figure 3: Solar PV and CSP Capacities Installed Globally, 2013

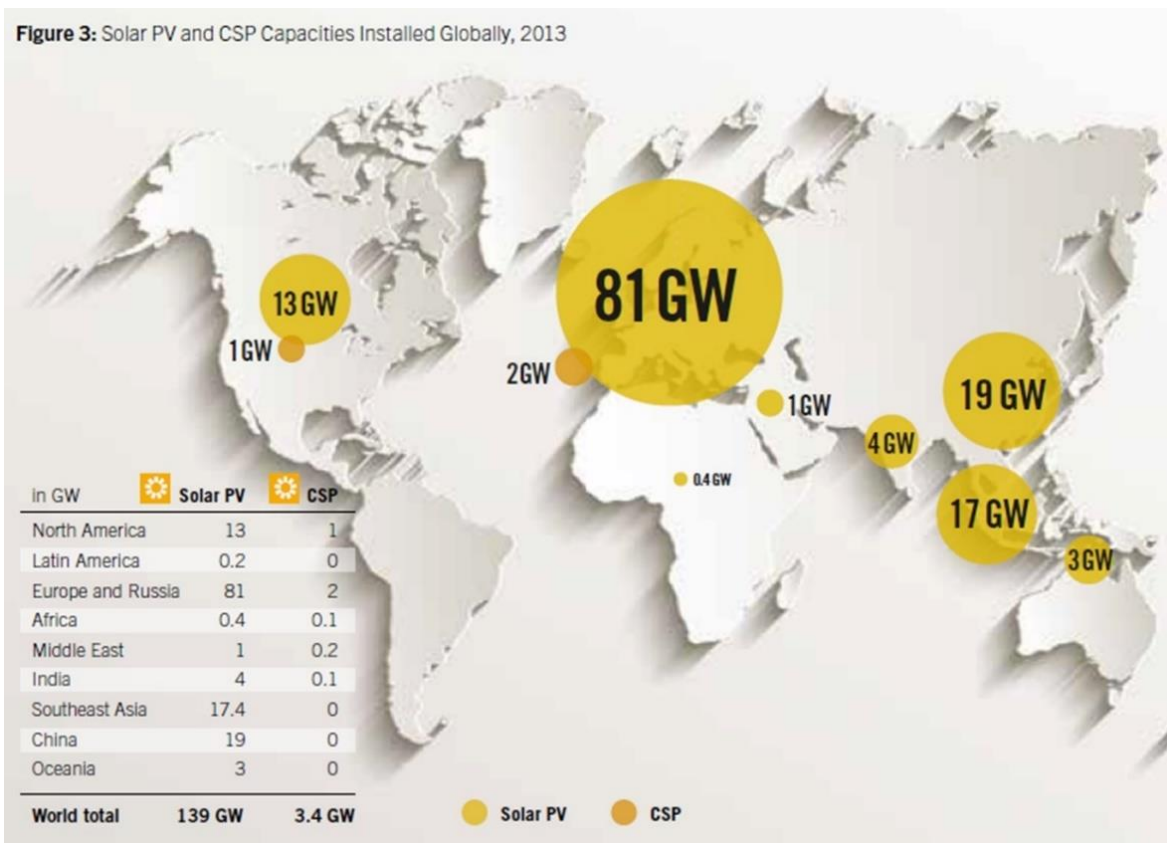


Figura 6. Capacidades solares instaladas por continentes (REN21, 2014)

Figure 12: Global Power Plant Market Shares in % and MW/a, 2004 – 2013

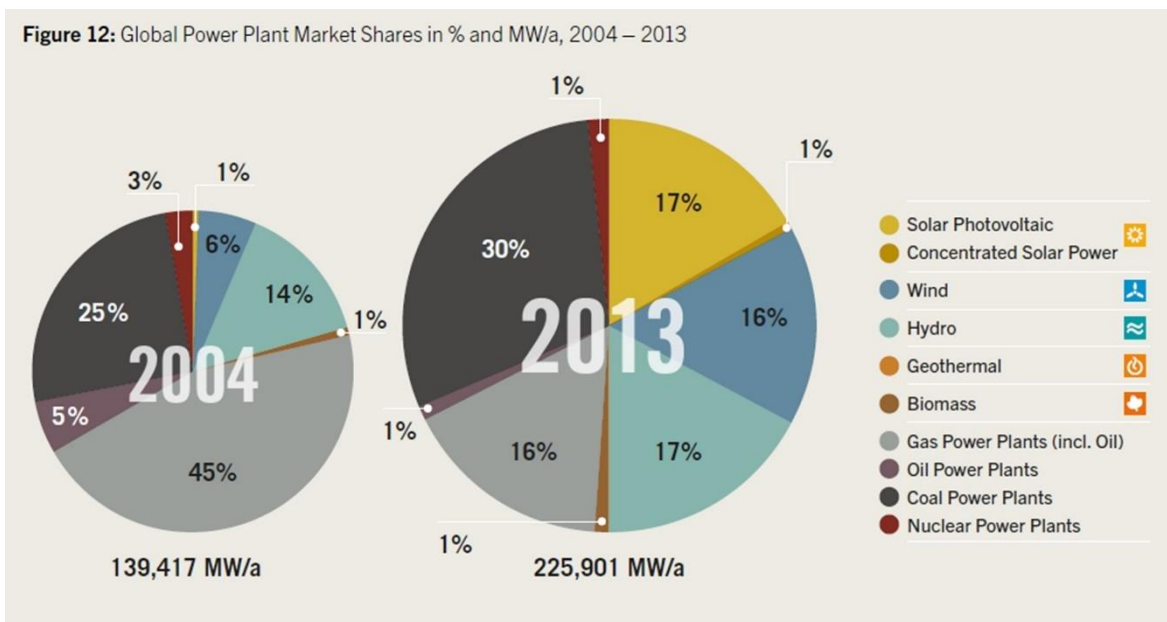


Figura 7. Evolución de la participación solar en el mercado energético global (REN21, 2014)

Evolución de costes de la tecnología. Nivel mundial

La evolución a nivel de coste de producción, y por tanto precio de venta, de la tecnología fotovoltaica, en particular de las células, queda evidenciada con el siguiente gráfico.

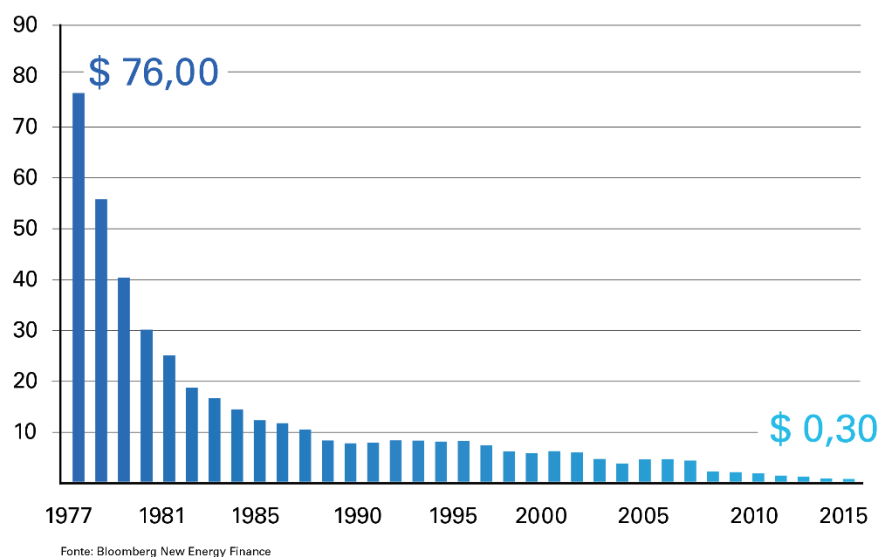


Figura 8. Evolución del precio de una célula fotovoltaica. (Bloomberg, 2015)

Actualidad del Net Billing en Chile

En 2012 la Ley 20.571 de Generación Distribuida, o conocida también como Net Billing o Facturación Neta, garantizaba el derecho de los clientes eléctrico que cuentan con producción energética no contaminante en su red interna de la vivienda a inyectar los excedentes y a remunerar esta energía al coste producción en el mercado spot, lo cual en el caso residencial supone entorno al 60% del coste de energía comprada.

Esta Ley de Net Billing entró en vigor en octubre del 2014 con su respectivo Reglamento, el cual fue analizado por el sector y en prensa. En lo que respecta a este estudio, cabe destacar el hecho de que la capacidad máxima a instalar depende de las condiciones de la red de distribución, la cual tiene relación con la capacidad del transformador asociado al punto de consumo, y será la empresa distribuidora quien dirá cuanta tecnología fotovoltaica instalar. Una de las principales críticas a este reglamento era el límite de 100kW de potencia, lo cual frenaba las instalaciones de pequeñas pymes y empresas interesadas.

El pasado diciembre de 2017 la Comisión de Energía del Senado aprobó una modificación de la Ley 20.571 con la motivación de incidir en el espíritu de autoconsumo, y no en vender la energía producida, pues para ello ya existe otra regulación. La modificación principalmente ampliaba la potencia posible a instalar, de 100kW a 300kW, aunque también preocupa el “no pago de los excedentes generados por

autoconsumidores”. Siguiendo en trámite legislativo, el marzo de 2018 se incorporó la nueva ministra Susana Jiménez.

El gremio de energía solar ACESOL insistió en tener mucha precaución, dado el impacto que puede tener en el desarrollo de la tecnología en el país, en remover el derecho adquirido de que las inyecciones de excedentes sean pagadas. Además, según la nueva ministra, la ampliación de la potencia se cree adecuada para la masificación de la energía distribuida, pues ahora ya son instalaciones medianas las que tienen una Ley que las ampara para autoconsumir.

De todos modos, para el sector residencial, la potencia de 100kW ya era adecuada y con la ampliación, el efecto que tiene es bajo para nuestra investigación. Respecto al pago de la energía inyectada como excedentes, deberá estudiarse, en el caso de ser aprobada.

Situación socioeconómica de las familias en Chile

La temática de la situación socioeconómica de las familias en Chile ha generado muchos y extensos estudios concretos. En este punto, y en esta investigación, solo podremos quedarnos con los datos más superficiales y nacionales, solo para tener conocimiento del contexto.

El sueldo mínimo mensual en Chile es de \$276.000 (425 USD), y el promedio de ingresos familiares en la Región Metropolitana fue de \$517.540, el año 2016, aunque el mediano solo alcanzó los \$350.000 (ESI - INE, 2017). Esto supone que el 50% de los trabajadores del país ingresó un monto inferior a esta cifra.

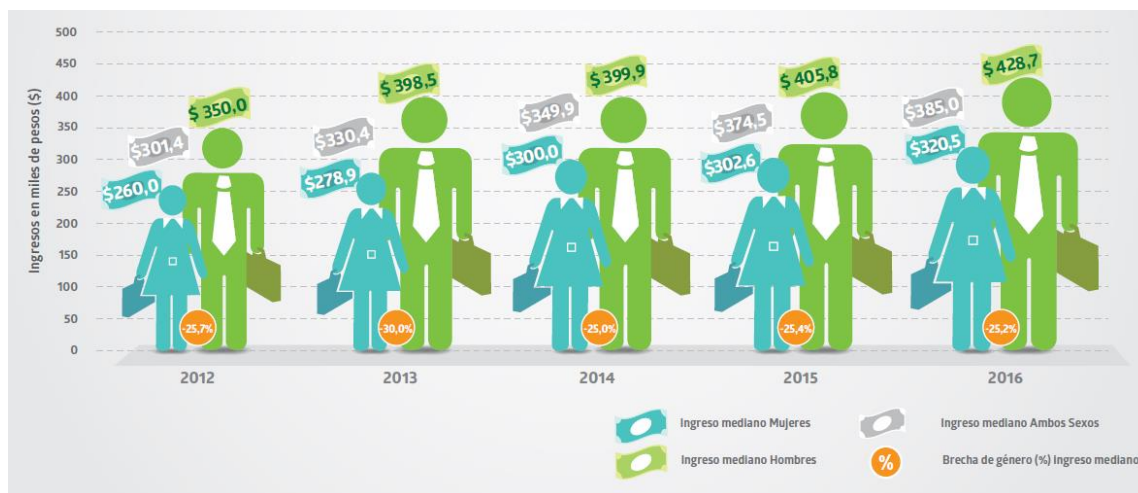


Figura 9. Ingresos medianos y brecha de género. (ESI - INE, 2017)

Respecto a los datos agrupados por hogares, el ingreso medio para 2016 alcanzó a superar el millón de pesos chilenos, pero el ingreso mediano de los hogares se quedó en lo \$700.000. Aun así, estos valores han aumentado respecto a sus valores en el año 2015. (ESI – INE, 2017)

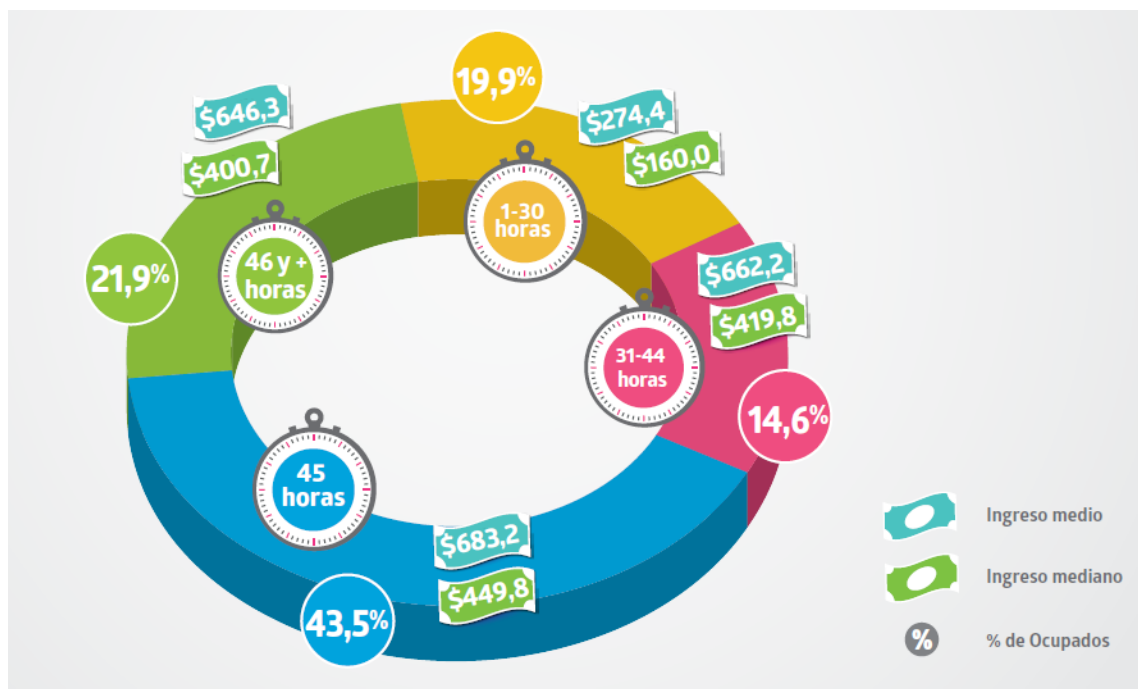


Figura 10. Jornadas laborales e ingresos. (ESI - INE, 2017)

En la encuesta CASEN de 2009 se mostraba como en la Región Metropolitana el 11,5% de la población se encuentra en condiciones de pobreza, lo cual aumentó un 0,9% desde el 2006. Este porcentaje de la población cuenta con niveles de desocupación del 31,5%, alejados del promedio del 10,3% del país.

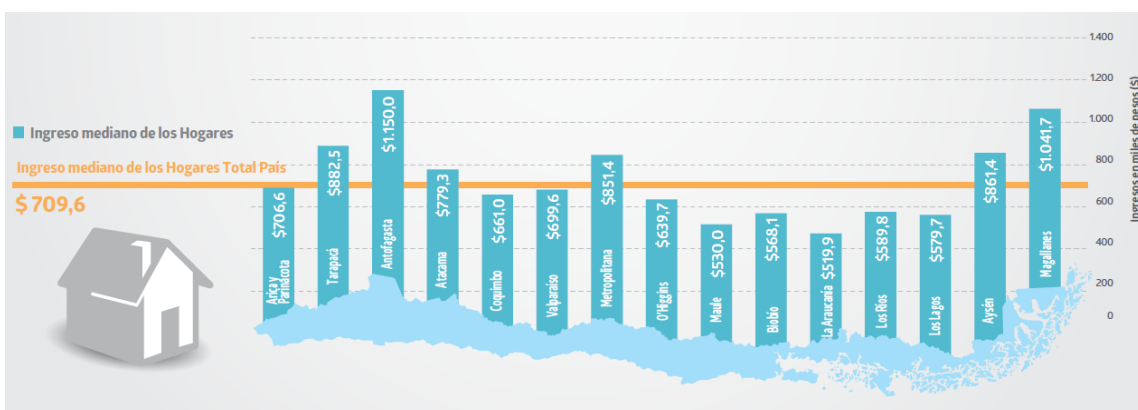


Figura 11. Ingresos medianos por hogares en función de la región. (ESI - INE, 2017)

En el Censo de 2017 de la Región Metropolitana se encontraban que el 30% del total de viviendas eran en forma de departamentos. Además, la Carga Financiera sobre el Ingreso Disponible de los hogares es la más alta de la OCDE, con un 38%. Esto significa que, en promedio, de cada 10 pesos ingresados en Chile 4 se van directamente a pagar deuda.

La distribución de rentas a lo largo del Gran Santiago ha sido una temática estudiada en el ámbito académico, no obstante, se ha visto más interesante profundizar en otros aspectos, los cuales están dentro del campo de acción de la presente investigación.

Ley de Copropiedad Inmobiliaria

El hecho de vivir en condominios o edificios otorga, mediante la Ley 19.537 de Copropiedad Inmobiliaria, algunos derechos que son de interés para este trabajo. Esta Ley recoge por ejemplo quien puede participar en asambleas de vecinos o cómo se administran aspectos de la convivencia o el pago de gastos comunes.

Los copropietarios son aquellos en los que el espacio habitado comparte con otras propiedades ciertas zonas, como pudieran ser plazas, escaleras o estacionamientos, denominados bienes comunes. La gestión de estos espacios es responsabilidad de una asamblea formada por los copropietarios, y existe dos tipos de asambleas, ordinarias o excepcionales.

Temas como la periodicidad de asambleas ordinarias, anualmente, o el porcentaje de participación de cada asamblea se recoge en esta Ley. También qué temas son exclusivos a tratar, y permiten convocar, una asamblea extraordinaria.

Para este trabajo, nos resulta interesante destacar cómo se define el concepto de bienes comunes.

“Aquellas estructuras que son necesarias para la existencia, seguridad y conservación del condominio y que, por lo tanto, pertenecen a todos los copropietarios. Entre ellos se cuentan muros exteriores, techumbres, escaleras, ascensores, instalaciones generales, etc.”

El encargado de gestionar todos los espacios comunes y su asociada convivencia son el Comité de Administración o el Administrados.

Para continuar con la investigación, nos centramos en esta Ley y la posibilidad de habilitar instalaciones fotovoltaicas en techumbres del edificio para ejercer el derecho de los copropietarios a autogenerar su propia energía y poder inyectar los excedentes que cómo comunidad puedan producir. Esta instalación sería considerada bien común de todos los copropietarios y su gestión correspondería al Comité Administrador.

2. El modelo energético de Chile.

Para poder hacer una propuesta energética que pretenda ser coherente con la realidad y promover un futuro más sostenible y socialmente equitativo, ha sido necesario hacer una revisión del panorama nacional de Chile en el ámbito energético. Con este objetivo, se ha estructurado el presente capítulo empezando con un mapa o situación general, para continuar con los compromisos institucionales de cara a políticas energéticas de largo plazo. Finalmente, se analizan específicamente las políticas de generación distribuida o Net Billing y algunos ejemplos de políticas de fomento de este modelo de generación a nivel local o municipal.

2.1. Mapa energético de Chile.

Evolución de la última década

Chile se encontraba dividido en distintos sistemas eléctricos que hasta el 2017 han operado de forma aislada. En el mercado eléctricos se identifican las actividades de generación, transmisión y distribución, y son desarrolladas por empresas privadas. Existían dos grandes sistemas interconectados, Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC). Además de los Sistemas Medianos (SSMM) de Aysén y Magallanes. Estos sistemas eléctricos presentan distintos tipos de demanda, matriz energética y, por tanto, fuentes energéticas.

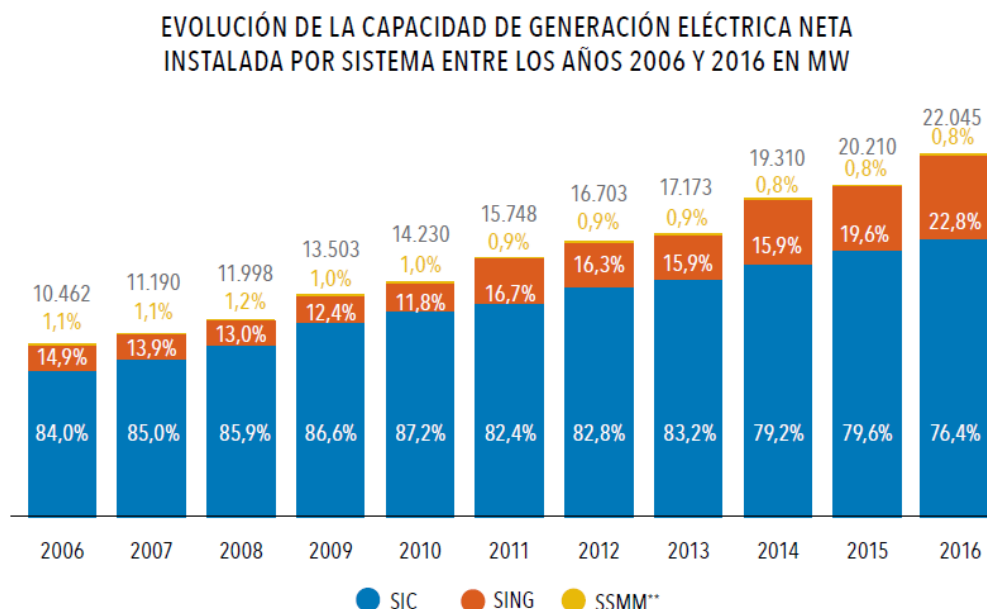


Figura 12. Capacidad instalada por Sistemas Eléctricos en Chile. Última década (Anuario CNE, 2016)

La evolución a lo largo de los años de la capacidad de generación eléctrica se puede entender en un contexto de expectativas de crecimiento económico, pues sin un desacople ofrecido por la eficiencia energética se sabe que el desarrollo económico de un país está íntimamente ligado a la demanda energética.

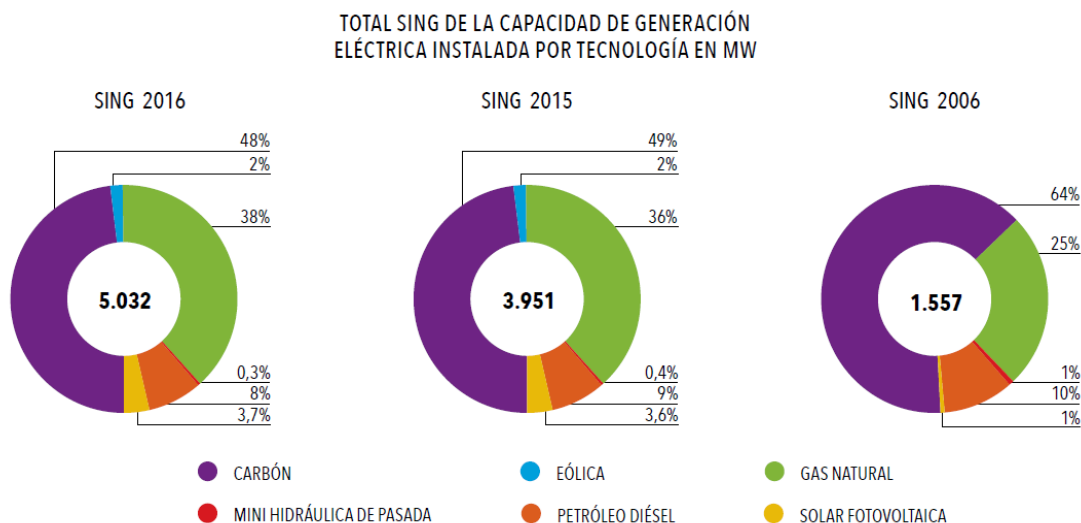
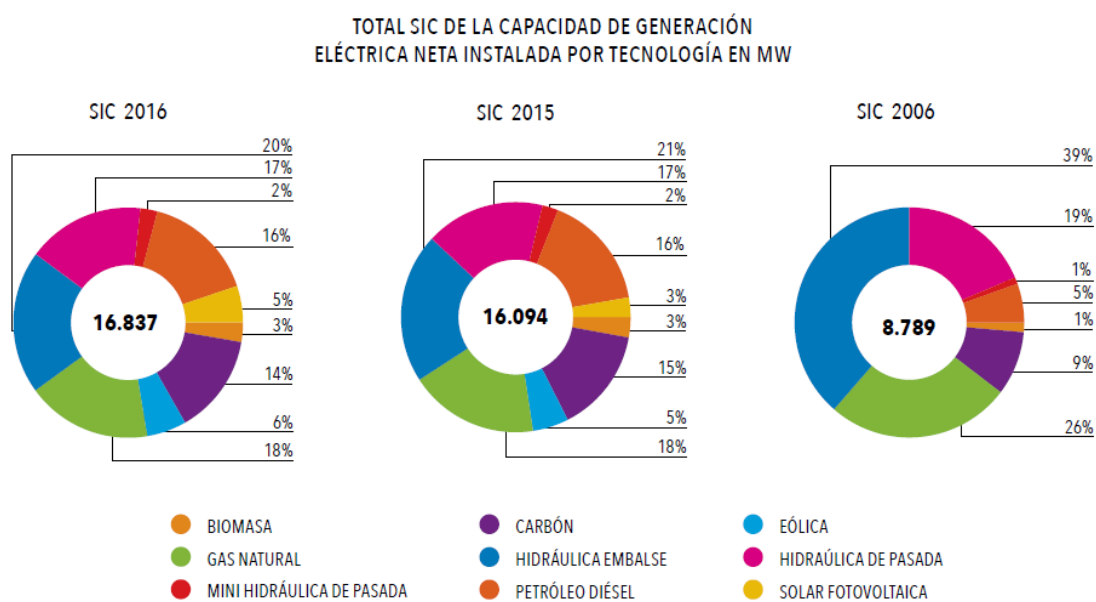


Figura 13. Capacidades instaladas ordenadas por tecnologías. El caso del antiguo SING (Anuario CNE, 2016)

El SING ha producido electricidad históricamente para la región donde la minería es la mayor industria demandante de energía. Como vemos, su apuesta por el carbón fue, y sigue siendo, muy fuerte, a pesar de contar con una de las ubicaciones a nivel mundial con mayor capacidad de generación de energía por medios solares.



Fuente: CDEC SIC

Figura 14. Capacidades instaladas ordenadas por tecnologías. El caso del antiguo SIC (Anuario CNE, 2016)

El SIC ha contado con una mayor diversidad de fuentes energéticas a lo largo de su evolución, y su matriz, a pesar de contar con una presencia de fuentes fósiles de alrededor del 48% (entre petróleo diésel, gas natural y carbón), podría considerarse bien diversificada.

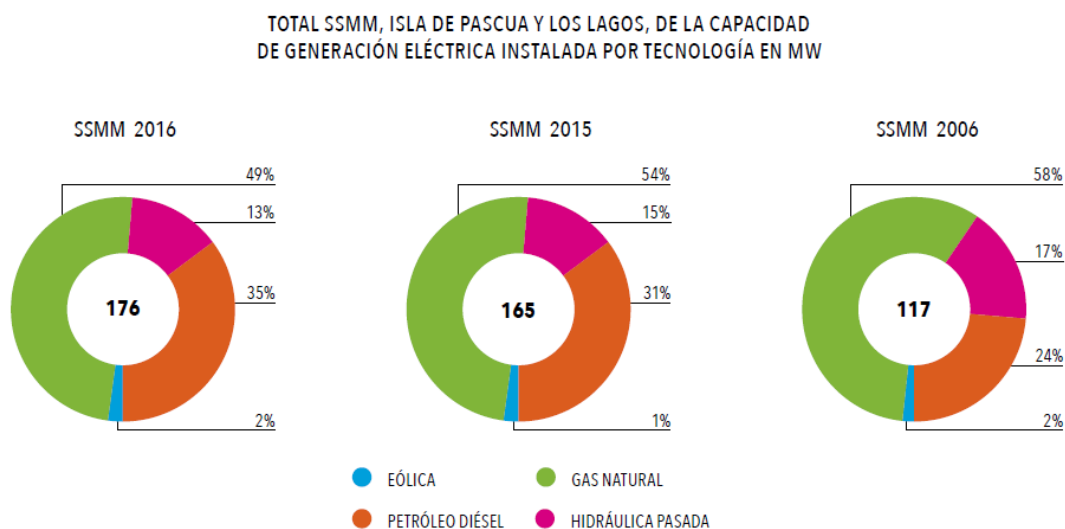


Figura 15. Capacidades instaladas ordenadas por tecnologías. El caso de los Sistemas Medianos (Anuario CNE, 2016)

Como contrapunto, los Sistemas Medianos han contado con mayor limitación a la hora de generación eléctrica, y dependen de los combustibles fósiles como el gas natural y el petróleo diésel para producir (85% en el año 2016).

Conexión eléctrica nacional

No obstante, a partir de 2017 Chile cuenta con el **Sistema Eléctrico Nacional** (SEN) que supone el 99,3% de la capacidad neta instalada en el país. No se debe confundir la capacidad instalada con la generación final eléctrica. Aun viendo que el SIC, que ha sido el que mayor producción aporta al SEN, tiene una matriz diversificada, a fecha de marzo de 2018 la generación eléctrica utilizó las fuentes energéticas mostradas en la Figura 16. Con una capacidad instalada de 22.350 MW, el mes de marzo produjo 6.496 GWh.

El SEN abarca casi la totalidad del territorio nacional y tiene una longitud de 3.100 km, atendiendo una demanda máxima de 11.000 MW.

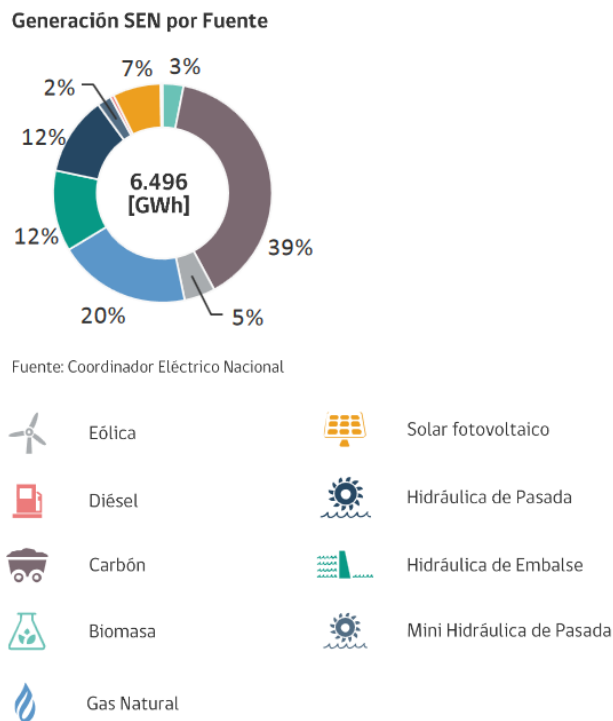


Figura 16. Energía generada en abril, ordenada por fuente energética (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017)



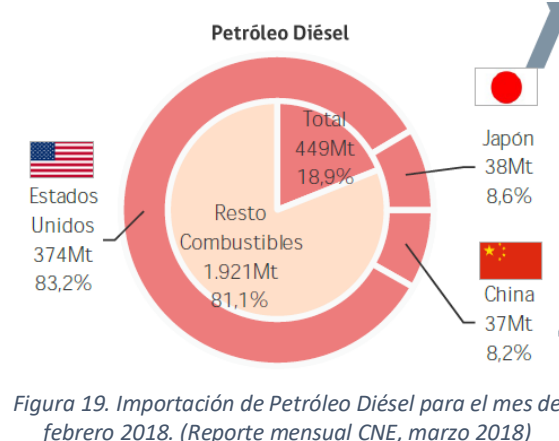
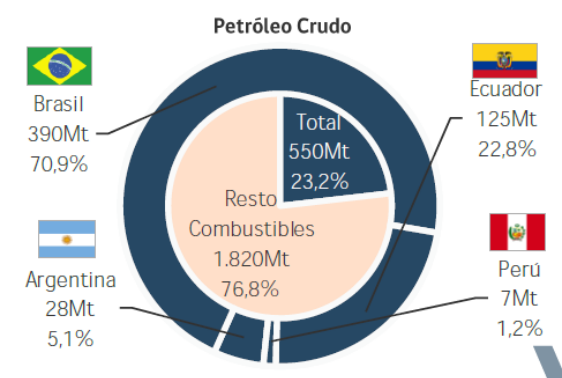
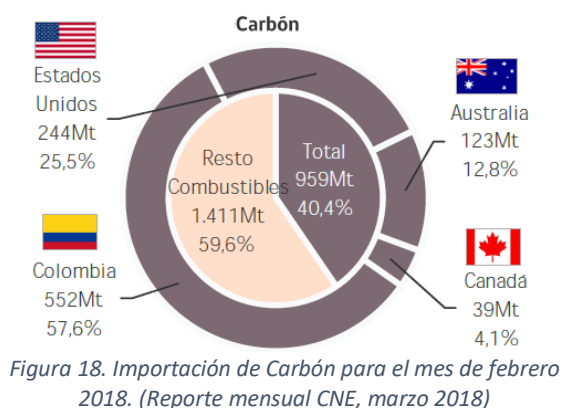
Figura 17. Nuevas líneas de transmisión del SEN (Coordinador Eléctrico Nacional, 2018)

Dependencia y vulnerabilidad a las inclemencias de mercados y recursos exteriores.

La insistencia de la dependencia a combustibles fósiles de Chile para generación de energía eléctrica se debe a que es un país netamente importador de estos recursos. Para el mes de **febrero** de 2018, las cifras de importación de combustibles presentadas por la CNE son de 2.370 Mt, mientras que se exportaron 239 Mt. Este desembolso económico mensual para satisfacer las demandas internas, además de suponer una futura quema de los recursos y su posterior contaminación atmosférica, se traduce en una fuerte

dependencia energética y económica a la volatilidad de los mercados internacionales, los cuales ya se sabe que han evolucionado de forma impredecible desde la irrupción del *shale gas* estadounidense, lo cual ha hecho descender los precios y eliminar competencia, pero que no se puede predecir qué sucederá en los próximos meses o años.

El 40,4% de los recursos fósiles importados fueron de carbón, el cual se muestra en la Figura 18 el origen para este mes de estudio, febrero 2018. Más de la mitad del carbón importado era de origen colombiano.



Las importaciones de petróleo, mayoritariamente destinadas a transporte de vehículos, provienen mayoritariamente de Brasil, el petróleo crudo, y de Estados Unidos, el petróleo diésel. Cabe destacar en este punto la importancia, y vulnerabilidad, de estos datos.

El caso del Petróleo Crudo proveniente de Brasil, cuando el mes de mayo 2018 este país se encuentra en una crisis energética y de colapso debida a una huelga de camioneros por el aumento del precio del diésel. ¿Podríamos preguntarnos cual es el posible efecto que habrá tenido sobre el precio del recurso en Chile? Estos datos no están disponibles antes de la entrega de esta investigación, pero se podrá consultar los

datos de mayo en el Reporte mensual de junio, el cual se publica a principios de julio, en el Centro de Información de Energía Abierta.

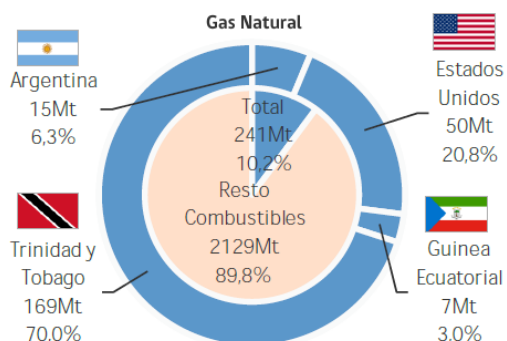


Figura 21. Importación de Gas Natural para el mes de febrero 2018. (Reporte mensual CNE, marzo 2018)

Por lo que respecta al Gas Natural, este se importa mayoritariamente del país caribeño de Trinidad y Tobago. Este recurso significa solo el 10,2% del total de combustibles importados, y a partir de él se generó el 20% de la energía.

Este es el recurso fósil que, a pesar de seguir teniendo un impacto sobre la atmósfera al ser quemado y provenir de fuentes fósiles limitadas, es utilizado como combustible de transición en la mayoría de los países de la OCDE.

Como dato histórico o anual, del Anuario del CNE de 2016 se extraen algunos datos del Balance Nacional de Energía, el cual trata de contabilizar los flujos y etapas de la cadena energética.

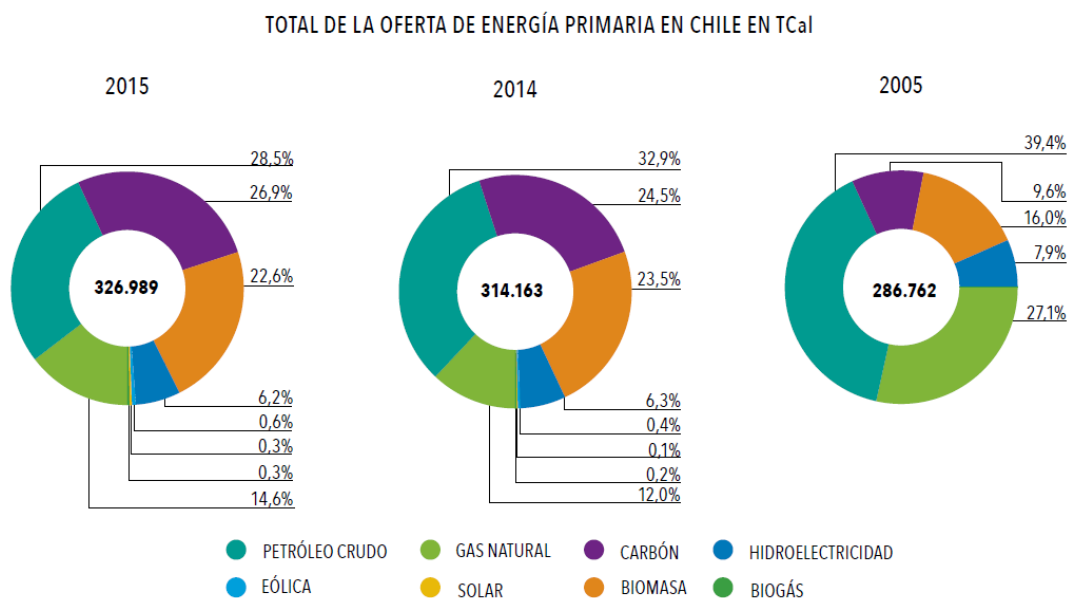


Figura 22. Evolución de la energía primaria en Chile. Ordenada por recursos energéticos. (Anuario CNE, 2016)

La **energía primaria** es la cual o bien puede ser usada directamente, como el caso de la biomasa o el gas natural, o bien se utiliza para transformarla en otro tipo de energía, como es el caso de la eólica, que se convierte en energía eléctrica, por ejemplo. Vemos, por tanto, a fecha de 2015, Chile tenía una dependencia fósil del 70% de la energía necesaria nacional.

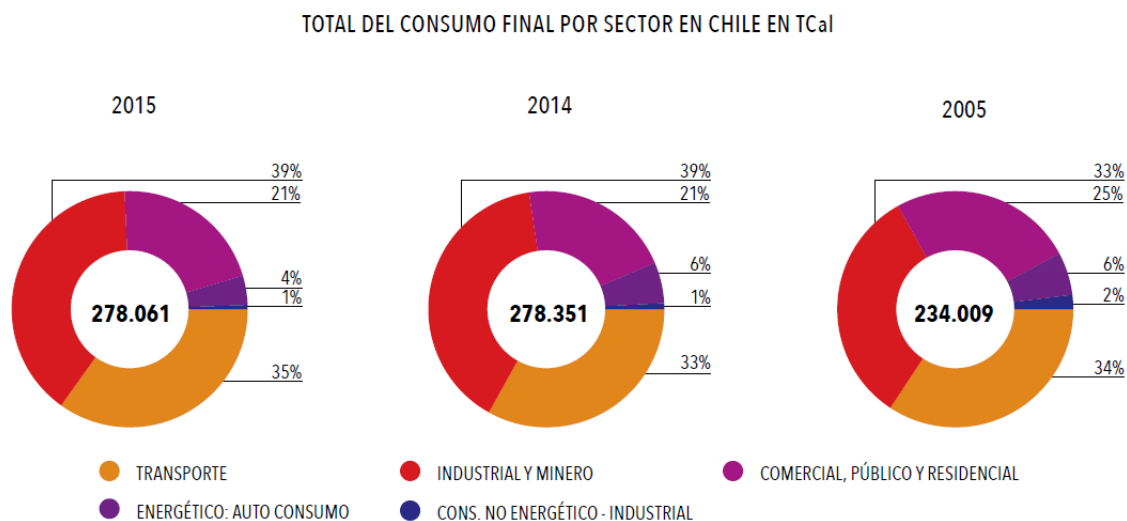


Figura 23. Evolución de la energía primaria en Chile. Ordenada por sector consumidos. (Anuario CNE, 2016)

Por su parte, el consumo final se puede reflejar o por recurso energético o por sector, en función del uso al cual se dediquen.

2.2. Política energética a largo plazo

Energía 2050

Planificar la política energética a largo plazo es considerado por la Republica de Chile como estratégico, pues es arriesgado dejar el desarrollo del sector sobre el cual descansan tantas necesidades de toda la población al antojo de distintos intereses.

Para el desarrollo económico y social del país se necesita de una planificación energética bien pensada, que pueda garantizar y cubrir las necesidades de la economía y población sin poner en riesgo el futuro de las próximas generaciones. Solo así se podrá alcanzar un país con mayores niveles de bienestar personal y colectivo, siempre preservando el bien común.

“La energía es mucho más que un insumo clave en la ecuación del desarrollo” (Ministerio de Energía de Chile, 2015)

La definición de política pública en este sector no es trivial para lograr los objetivos del país. Esto se presenta como una oportunidad colectiva de establecer un rumbo hacia un sector energético seguro, inclusivo, competitivo y sostenible, donde exista un equilibrio entre el cuidado del medio ambiente y la promoción del aumento de la calidad de vida.

La “Agenda de Energía” presentada en mayo de 2014 fue una hoja de ruta que precisaba de validación social, política y técnica. Además, junto a ella, se especificaron dos horizontes de corto plazo y otro de medio y largo plazo, para en conjunto lograr el efecto deseado como país. Esta Agenda contó con actores relevantes del sector público, la industria, la academia, la sociedad civil, las regiones y la ciudadanía en general, para discutir en diferentes instancias la política a largo plazo.

La Política Energética descansa sobre los cuatro pilares que se describen en las siguientes páginas. A partir de ellos, se desarrollaron en detalle las medidas y planes de acción concretos hasta la culminación de la política en el año 2050.

- Seguridad y Calidad de Suministro

La confiabilidad del sistema energético es clave para impulsar el desarrollo, además de un precio razonable y predecible, que favorezca la competitividad. Este pilar incorpora, además del clásico concepto de seguridad del sector energético, criterios de acceso a la energía, calidad y flexibilidad del suministro y sistema. Es necesario avanzar en seguridad y flexibilidad a nivel de producción centralizada y combinarlo con una producción descentralizada y gestión activa de la demanda.

Un sistema resiliente que permita responder y anticiparse a los posibles riesgos y situaciones problemáticas y que cuente con planes de actuación frente a riesgos y emergencias. Para esto, la interconexión con los países del resto del continente sudamericano es crucial, y se aspira a que en 2035 ya sea una realidad.

Se aspira, además, a un sistema energético completamente bidireccional, que pueda producir y gestionar energía, donde los niveles de generación distribuida y gestión de la demanda sea equiparable a los de otros países de la OCDE.

- Energía como Motor de Desarrollo

Sin energía no hay crecimiento. Un desarrollo energético inclusivo, caracterizado por un acceso equitativo, coordinación territorial y precios que favorezcan la competitividad.

Conseguir una ciudadanía participativa y activa en las decisiones que la afecten. El país requiere una energía que cumpla las expectativas de las comunidades locales en torno al medio ambiente y al desarrollo. Esta asociatividad permitirá transformar positivamente la calidad de vida de las localidades en las que se emplazan los proyectos.

- Compatibilidad con el Medio Ambiente

No puede seguir disociándose el desarrollo del sector energético del cuidado del medio ambiente. Los desafíos que se abordan son dos, principalmente. El impulso de las renovables en la matriz energética y abordar los impactos medioambientales, locales y globales.

El compromiso a cumplir los objetivos de renovables en la matriz energética en 2035 y 2050 aporta, además, una economía más baja en carbono, alcanzando reducciones de intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), también compromisos adquiridos internacionalmente.

- Eficiencia y Educación Energética

Chile, como país en plena transición hacia el desarrollo, el crecimiento económico, el fortalecimiento de la clase media y la urbanización irán necesitando la demanda energética. El reto está en medidas de eficiencia que logren desacoplar estos índices económicos de los energéticos. Una mayor demanda viables y sustentable debe ser posible, y Chile apuesta por ello.

La industria y la minería, la construcción y las edificaciones públicas y privadas, y más sectores, comprometidos a hacer un uso eficiente de la energía, con activos sistemas de gestión energética y constante implementación de mejoras de eficiencia energética. En paralelo, una ciudadanía que promueva una cultura energética a todos los niveles, tanto como productores como usuarios.

Dada la situación del país en el ámbito energético, y su potencial de generación mediante fuentes energéticas renovables, se considera de interés incidir en las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y su potencial de desarrollo hasta el año 2025, cuyo estudio fue presentado como trabajo conjunto entre la Universidad de Chile y la Universidad Técnica Federico Santa María el pasado junio de 2008.

Chile renovable 2008-2025

Las tendencias de incorporación de las energías renovables a la generación del país, junto a medidas de eficiencia energética por parte de los usuarios, permiten proyectar escenarios de futuro desarrollo del sector y su impacto en Chile.

Se presentan conclusiones preliminares a partir del estudio de tres escenarios distintos que permiten ver cómo de inminente es esta transformación energética a nivel de país. Con referencia solamente al SIC (Sistema Interconectado Central), las ERNC podrían suponer en 2025 entre el 16,8% y el 28,1% de la demanda esperada, lo cual supera las metas establecidas por la ley 20.527, de marzo de 2008.

Por su parte, la disminución del consumo debido a un uso eficiente de la energía eléctrica supondría entre un 10% y un 23% del futuro consumo de electricidad en el SIC.

La agregación de ambos campos de acción, tanto incorporación de las ERNC al sistema energético, como la aplicación de medidas de eficiencia energética en los principales consumidores energéticos, se prevé

que tengan un impacto en la generación de entre el 22,3% y el 43,4% de la capacidad instalada en el SIC para 2025.

Este estudio apuntaba a la importancia de políticas públicas proactivas para la promoción y el desarrollo de las ERNC en la matriz energética combinado con el aprovechamiento del potencial en mejor uso de la energía. Por ello, se realizó un análisis de las barreras y elaboró un conjunto de propuestas normativas para acelerar el pleno desarrollo. Es clave el compromiso de las autoridades y los distintos actores sociales, pues el país gana mucho con el desarrollo de este sector.

Ruta energética 2018-2022, nueva ministra Susana Jiménez

En mayo de 2018 se publica esta propuesta de trabajo cuatrienal bajo el gobierno de Sebastián Piñera, el cual, siguiendo el marco de la Política Energética 2050, ha propuesto unos ejes de manera participativa, tras visitar las distintas regiones que conforman Chile, y tras encontrarse con todos los agentes vinculados con el sector energético.

“Los desafíos y prioridades del actual de Chile son muy distintos al de hace cuatro u ocho años” (Ministerio de Energía de Chile, mayo 2018)

El trabajo integrado en todos los ámbitos que se relacionan con la energía, por modernizar la energía en Chile, pues cuenta con las condiciones óptimas para aprovechar estas oportunidades.

En esta guía se asumen “10 Mega Compromisos”, entre los cuales podemos encontrar: Levantar un mapa de vulnerabilidad energética, para identificar familias sin acceso a la electricidad o recursos energéticos, reducir tiempo de tramites, cuadruplicar la capacidad instalada en generación distribuida (menor a 300kW), modernizar la regulación de distribución eléctrica de forma participativa o regular sobre los biocombustibles sólidos, como la leña, etc.

Ejes de la Ruta Energética



Figura 24. Ejes resumidos de la Ruta Energética. (2018)

Además, en el documento se pueden encontrar una calendarización de las modificaciones regulatorias previstas y que son necesarias para abordar los ejes citados. Algunos de nuestro interés: Modificación de la Ley 20.571 para el primer semestre de 2018, la Ley de Eficiencia Energética para el segundo semestre de 2018 o la Ley de Distribución Eléctrica para el segundo semestre de 2019.

Si estas modificaciones se llevan a cabo, parece que existe voluntad política de dar pasos definitivos y desarrollar la infraestructura energética nacional en buena dirección.

2.3. Políticas de generación distribuida. Ámbito general y local de Santiago

En Chile se ha visto que existe la Ley 20.571 de Generación Distribuida que establece el Net Billing, Facturación Neta, a finales de 2012, y mediante el Reglamento de 2014 entra en vigor. En el sector residencial establece el **derecho a inyectar excedentes** de energía producida por Usuario o Clientes Finales regulados del sector eléctrico que cuenten con Equipamiento de generación en sus redes internas. La forma de pago de esta energía inyectada a la red de distribución será valorizada al **precio del nudo**, teniendo en cuenta unas menores pérdidas eléctricas por redes, y será descontada del consumo de la vivienda. En el caso de quedar un remanente, esta energía valorizada económicamente será descontada de futuras boletas energéticas.

Los trámites se deben hacer directamente con la empresa distribuidora, y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) es la encargada de hacer de intermediaria en caso de existir algún problema entre las partes. Los trámites que se deben seguir para regularizar la instalación y poder empezar a inyectar energía se describen en el reglamento de dicha Ley. Los Equipamientos de Generación que esta Ley 20.571 permite inyectar a Usuarios Residenciales son ERNC y sistemas de cogeneración eficiente.

Con el contexto local claro en relación con la generación distribuida renovable, veamos que sucede en otros países latinoamericanos al respecto. Destaca especialmente, para el estudiante que redacta la investigación, el caso del país cercano **Brasil**.

Los números de conexiones de sistemas de generación distribuida en la red de distribución carioca no paran de aumentar.

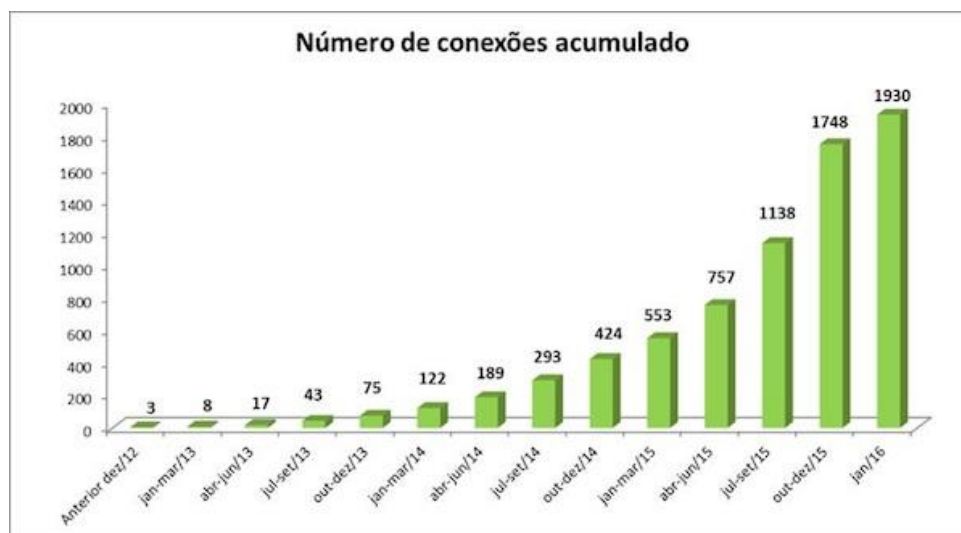


Figura 25. Datos acumulados de conexiones de GD en Brasil. (EnergyNews.es, 2016)

El sector contempla como créditos de futuro consumo de energía los excedentes energéticos inyectados a la red eléctrica común por usuarios anteriormente puros consumidores, ahora definidos como prosumidores. También se establecen tipos de generación en condominios o la “generación compartida”, mediante la cual se establecen consorcios o cooperativas entre miembros que van a generar “a distancia” y así reducir sus facturas eléctricas.

A principios de 2017 la mayoría de los generadores distribuidos estaban conectados desde hogares, los cuales aumentaban a 5.997. El gobierno aspira a conseguir que aumente a 2,7 millones de hogares para 2030. Según el presidente de ABSOLAR, Rodrigo Sauia, esto se debe a la combinación de dos principales factores, el fuerte aumento de los precios de la electricidad y el descenso de los precios de los equipos fotovoltaicos.

Tabla 1. Cuadro comparativo de legislaciones de fomento de la generación distribuida. (Profesor David Watts, PUC)

Chile	Brasil
<ul style="list-style-type: none"> • Facturación neta (<i>Net Billing</i>) • Liquidación de inyección según el plazo establecido en contrato a costo evitado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición neta (<i>Net Metering</i>) • Sin liquidación de excedentes acumulados, caducidad de excedentes de 36 meses. • Permite agrupación de medidores y consideración de tarifas horarias en el modelo.

A fecha de febrero 2017, Chile contaba con cerca de 900 puntos de generación distribuida declarados en el SEC, los cuales alcanzaban los 6.6 MW de potencia energética. De esta potencia, el 74% está instalado en el sector habitacional (Ministerio de Energía, 2017).

Las expectativas de esta ley aún no se están cumpliendo, y todo apunta a que este lento despegue de las tecnologías renovables distribuidas es un desafío multivariable, por tanto, parece necesitar mayor coordinación de esfuerzos y una promoción continua para cosechar los resultados esperados.

2.3.1. Políticas locales de fomento de la generación distribuida en Santiago.

A nivel de Región Metropolitana existen distintos programas que buscan fomentar esta Generación Distribuida a nivel de ciudadano en distintas comunas. Podemos destacar los casos de Providencia y Vitacura.

Enmarcados en Proyectos de Inversión Energética Local (IEL), la comuna de Providencia promueve la instalación de paneles solares en viviendas. Esta iniciativa se desarrolla como Estrategia Energética Local y está financiado por el Fondo de Inversión Estratégica (FIE) del Ministerio de Economía y ejecutado por el programa de Comuna Energética del Ministerio de Energía y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética.

Los dos proyectos están fuertemente financiados por los concursos públicos obtenidos por el Municipio de Providencia y tienen las siguientes características:

Barrio Solar (Providencia)

Bajo este programa se van a instalar un total de 55 módulos fotovoltaicos en residencias de la comuna, agrupadas en infraestructuras fotovoltaicas de 1,89kWp e inversores de 1,5kW de potencia, lo cual se prevé que suponga ahorros anuales de \$320.000. El funcionamiento de Barrio Solar es bajo la forma de Leasing, mediante la cual los beneficiarios consiguen sin inversión previa el sistema de generación tras 8 años. Las cuotas anuales que desembolsar son de \$300.000, menores al ahorro que genera, de ahí que sea tan interesante la convocatoria.

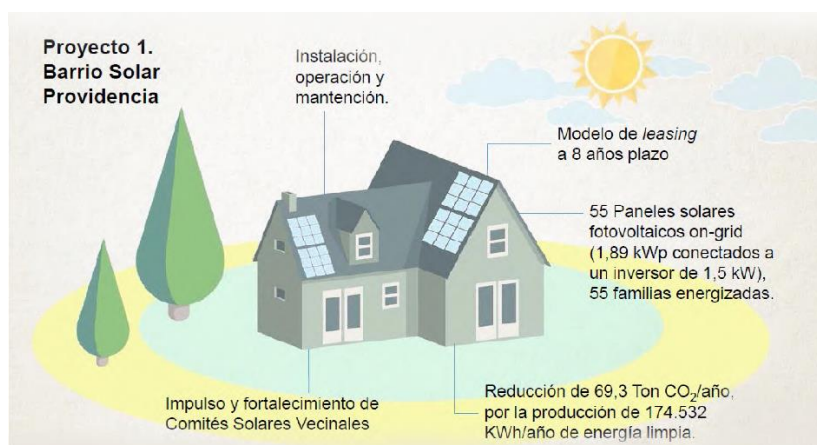


Figura 26. Síntesis del programa Barrio Solar de Providencia. (Web del proyecto)

Participar en este programa ofrece descuentos de hasta el 40% en los equipos instalados gracias a la compra colectiva, según se asegura en la web. Después de los 8 años, el sistema de generación local será propiedad de los vecinos, lo cual aportará energía limpia durante los 25 años de vida útil.

Este programa cuenta, además, con mantenimiento anual durante los 8 años de Leasing y ofrece un monitoreo remoto, lo cual permitirá seguir la producción local y comprobar los ahorros generados. La única limitación podría ser que solo pueden participar casas unifamiliares que cumplan ciertos requisitos de acceso solar.

Microred Solar Urbana Providencia

Con la ambición de crear la primera Microred urbana de Latinoamérica, se pretenden instalar hasta 34 paneles solares y con opción de baterías, para que los propios vecinos conectados entre sí puedan compartir entre ellos su propia energía.

Pago de la inversión por parte de cada beneficiario, la cual esta subsidiada por el Estado, y la cual, una vez en propiedad de los vecinos los medios de generación, se abrirá la posibilidad de comercializar entre ellos mismos su propia energía, convirtiéndose en el primer mercado persona a persona de energía en Latinoamérica.



Figura 27. Logotipo del proyecto Microred solar urbana de Providencia. (<http://www.microredprovi.cl/>)

En este caso, el proyecto está abierto a la participación tanto de casas unifamiliares como de edificios en los que todos los copropietarios estén de acuerdo.

¿Cuánto cuesta?

	<p>Panel sin batería GX 2,12 kWp</p> <p>\$2.136.500 *Valor mercado: \$3.500.000</p> <p>12 cuotas TC sin interés (\$178.042)</p> <p>24 cuotas en boleta con interés</p>		<p>Panel con batería BX 2,12 kWp *Batería 7,5 kWh</p> <p>\$4.080.000 *Valor mercado: \$9.600.000</p> <p>12 cuotas TC sin interés (\$340.000)</p> <p>24 cuotas en boleta con interés</p>
---	--	---	---

Figura 28. ¿Cuánto cuesta la instalación? Proyecto Microred Providencia.

El Mapa Solar de Vitacura

El presente mapa solar disponible para la comuna de Vitacura aporta información sobre el potencial solar fotovoltaico de los techos de sus vecinos. Tomando en cuenta el clima local y la sombra de edificios cercanos y vegetación, la tecnología de *Mapdwell* del M.I.T aporta gran precisión. Además, se permite diseñar un sistema propio mediante la herramienta integrada en la web o elegir uno basado en el tamaño, cuenta mensual o necesidades de inversión.



Figura 29. Mapa Solar de Vitacura, del software Mapdwell.

Comuna Energética del Ministerio de Energía



Figura 30. Logotipo.
(<http://www.minenergia.cl/comunaenergetica>)

Algunos de estos programas vistos se enmarcan en la conocida como Comuna Energética, programa de Ministerio de Energía que se lanzó en 2015 con la intención de explotar las potencialidades en el campo de la eficiencia energética y el uso de energías renovables desde la comunidad local. El programa busca concientizar a la ciudadanía sobre el tema energético global y generar un comportamiento de consumo responsable y participativo.

Además, existen en las agendas políticas de las comunas del Gran Santiago las conocidas como **Estrategias Energéticas Locales**, las cuales pretenden apuntar hacia las políticas a largo plazo en materia energética a nivel de municipalidad.

3. El acceso a la tecnología fotovoltaica

En este capítulo se hará una revisión de las instalaciones fotovoltaicas para tener una base común sobre la que estudiar los casos, y además se hará incidencia en la necesidad de contar con acceso solar debido a las condiciones morfológicas del espacio urbano. Para finalizar, se concluirá con la tipología de edificio que más se observa que presenta potencial inaprovechado.

3.1. Las instalaciones fotovoltaicas. Costos estimados en Chile.

El tipo de sistema fotovoltaico (SFV) que resulta de interés es aquel que entrega energía a sistemas en baja tensión, pues su fin es servir de autoconsumo a sectores residenciales donde se instala. En concreto, SFV que aprovechen la radiación sobre la cubierta de los edificios, y que se enmarquen en la normativa de Net Billing, la cual ofrece mayores ventajas, ya que simplifica trámites, que otras opciones como, por ejemplo, acogerse a reglamentación de PMGD, Pequeño Medio de Generación Distribuida. Este tipo de instalaciones PMGD son los más adecuados cuando la intención final de la instalación es comercializar la energía, es decir, inyectar la mayoría de la energía producida al sistema eléctrico común.

Dentro de los sectores urbanos residenciales y conectados a red (On-Grid), la tipología de SFV es bastante sencilla.

3.1.1. Elementos de una instalación fotovoltaica

Paneles solares

Teniendo unas dimensiones como se muestran en la Figura 31, cuentan con 60 o 72 células fotovoltaicas en serie y una potencia de entre 240-320Wp aproximadamente, y son los más indicados cuando hay espacio suficiente y acceso al recurso solar, según se indica en los últimos datos de Costos de Instalaciones Solares Fotovoltaicas publicadas por el Ministerio de Energía en 2016.

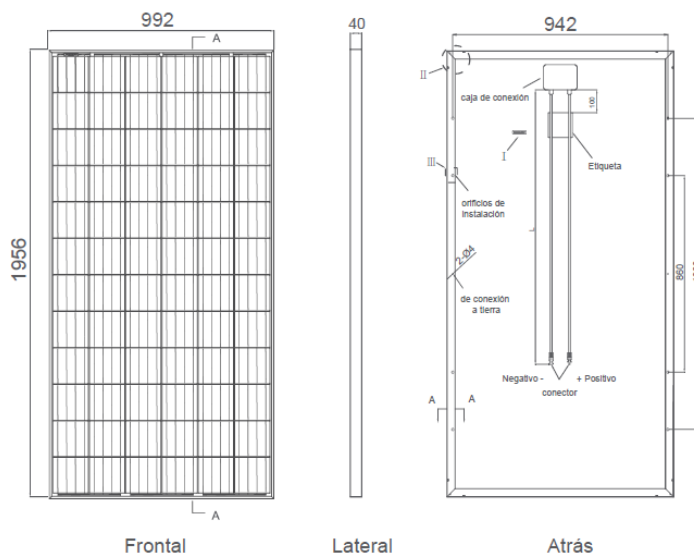


Figura 31. Ejemplo de dimensiones de un panel FV. JKM-320PP-72 (Jinko Solar)

La orientación de estos debe ser aquella que permita mayor incidencia de los rayos solares de forma perpendicular, lo cual, en el hemisferio sur, es orientado hacia el norte y con inclinación similar a la latitud en la que se encuentren ubicados.

Además, es sabido que los paneles dependen tanto de la radiación incidente, como resulta obvio, pero además de la temperatura. A menor temperatura, las células fotovoltaicas de los paneles entregan mejores resultados de corriente y potencia, como se especifica en los siguientes gráficos, obtenidos del mismo catálogo de fabricante que la anterior figura.

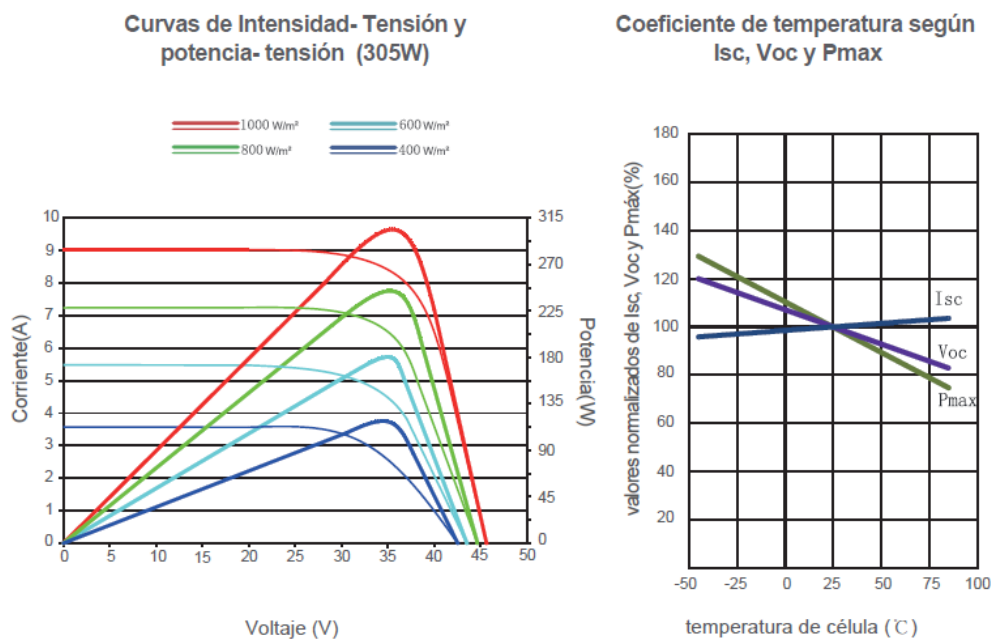


Figura 32. Rendimiento eléctrico y dependencia térmica. JKM-320PP-72 (Jinko Solar)

Electrónica de potencia. El inversor.

La energía generada por los paneles solares es energía en forma de corriente continua, mientras en las viviendas se consume corriente alterna. Esta transformación la podemos hacer fácilmente mediante electrónica de potencia, y en particular, con un inversor.

Existen muchos tipos distintos, los cuales se ajustan a las necesidades tanto de potencia como de funciones deseadas. Habitualmente, para bajas potencias, y por tanto unos pocos paneles fotovoltaicos, se suele hacer uso de inversores monofásicos, los cuales son los más sencillos de instalar y hacer funcionar.

Cuando se tiene instalaciones solares de autoconsumo que permiten satisfacer la demanda eléctrica de diversos usuarios ya se suele recurrir a instalaciones de mayor potencia y en las cuales el diseño de la infraestructura energética ya tiene más variedades. Estas potencias habitualmente entregan en trifásica. La conexión a red permite al Generador Fotovoltaico (GF) funcionar como “fuente de corriente”, a diferencia del tipo de funcionamiento como “fuente de tensión” que se da en casos de instalaciones aisladas de la red eléctrica común.

De esta forma, en función del tipo de conexión del GF con el inversor podemos encontrar distintos tipos de inversores que resolverían la conversión de energía continua a alterna. Ordenados de menor a mayor potencia permitida, se enumeran a continuación:

- Micro-inversor, conectados a la parte posterior de los paneles solares, convierten la energía de cada panel en alterna in-situ, y por tanto son los más recomendables para instalaciones de baja potencia, de hasta unos 5kW. El mercado mundial de este tipo de producto supo ofrecer la diferenciación respecto sus hermanos los inversores string, ofreciendo primero garantías de 20 años.

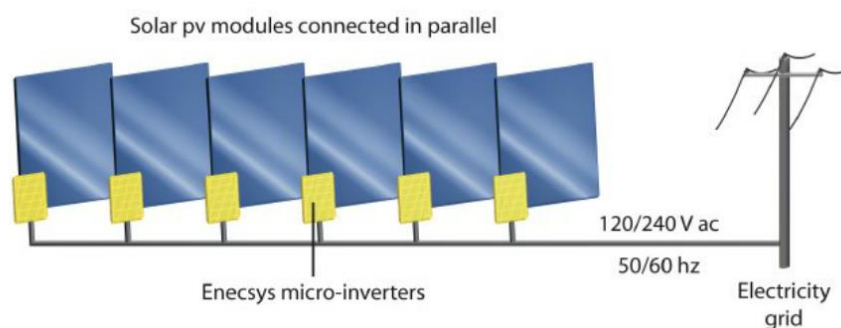


Figura 33. Instalación de baja potencia on-grid conectada con micro-inversores. (Enecsys)

- String, o asociación en serie de paneles fotovoltaicos, son aquellos inversores monofásicos que se distribuyen junto a los string por la instalación solar.
- Multi-string, son inversores monofásicos o trifásicos que tienen la característica de poder conectar diferentes string que presentan distintas condiciones de generación de energía, ya sea generadores fotovoltaicos con distintas orientaciones o con distintas tecnologías de panel, por

ejemplo. Deben conectarse cada string primero a un convertidor electrónico de continua y después al inversor, para ofrecer una señal uniforme de corriente continua.

- Centralizados, son los inversores trifásicos que agrupan, mediante convertidores de continua por string, diferentes agrupaciones de paneles en serie con las mismas condiciones de generación. Dada la naturaleza de este equipamiento, se requieren elevados rendimientos (alrededor del 98%), y por tanto estos aparatos muestran curvas de eficiencia como la mostrada en la Figura 34.

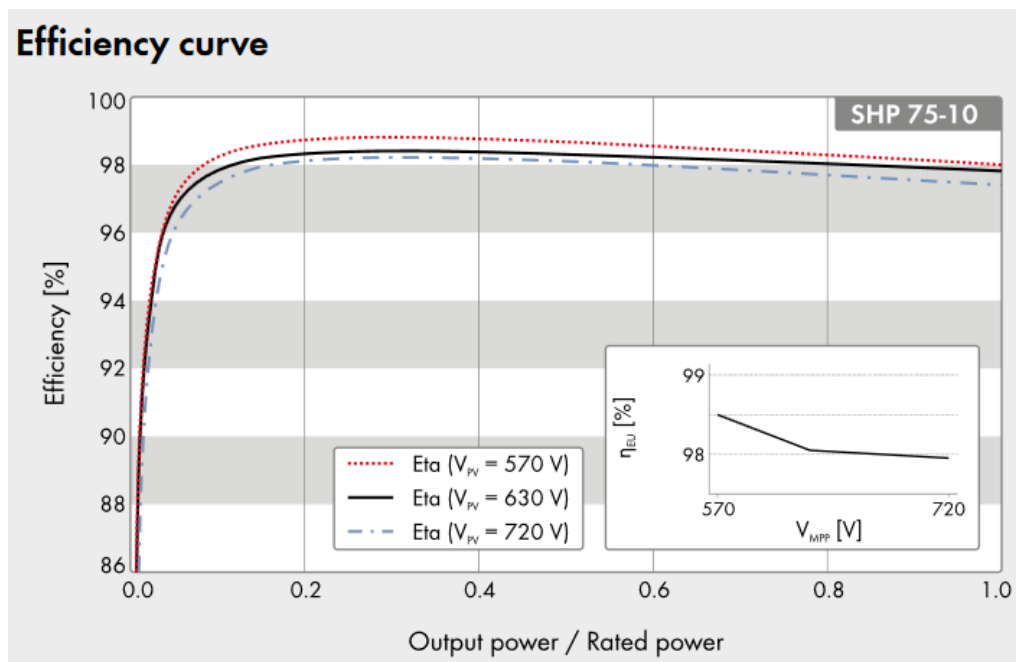


Figura 34. Curva de eficiencia de inversor centralizado. Catálogo SHP75-10 (SMA)

Estructura de soporte

Es necesario contar con un anclaje adecuado de los paneles a la superficie sobre la que se va a recibir la radiación solar. Las estructuras habitualmente son de aluminio y buscan un anclaje duradero, que pueda soportar la intemperie, junto a los módulos, al menos 20 años de vida útil de la tecnología. Este es un campo donde los mercados ofrecen diversas posibilidades y no forma parte de esta investigación recopilar toda esta información.

Ejemplos de estructuras disponibles las podemos encontrar en el fabricante alemán Krannich Solar:



Figura 35. Ejemplos de estructuras de montaje sobre cubierta. (Krannich Solar)

Si, por el contrario, se deseara dimensionar una instalación fotovoltaica en tierra, existen otro tipo de montajes disponibles. Este sería el caso de los conocidos como “campos solares”, grandes extensiones de terreno donde, por sus condiciones de radiación, como pudiera ser el caso chileno del desierto de Atacama, se despliegan miles de paneles solares sobre soportes anclados al terreno que van a soportar las condiciones desfavorables, en este caso, del desierto.

Otra aplicación que está teniendo éxito son las marquesinas solares que se podrían instalar en parkings. La empresa Solarstem ofrece estos productos, por ejemplo.



Figura 36. Ejemplos de soportes para paneles fotovoltaicos en tierra. (Solarstem)

Cajas de conexión y protecciones

Todo el cableado por donde va a circular la corriente generada va a tener que converger a puntos como el inversor, y por eso se debe dimensionar adecuadamente cada elemento de la infraestructura eléctrica, y aislar de posible contacto directo de cualquier persona o medio.

Existen gran variedad de normas y reglamentos que describen los requisitos de seguridad que se deben diseñar en cada tipo de instalación fotovoltaica. Las leyes y reglamentos asociados enumeran sus requerimientos, y estos son fuente de inspiración para los profesionales que se dedican a dimensionar estos elementos de protección.

3.1.2. Costos asociados a las instalaciones

Los desembolsos económicos asociados a este tipo de infraestructuras son aquellos relacionados con la inversión, parte más importante, y los costos de mantención y operación, pues al aprovechar el recurso solar no se cuenta con coste de combustible, a diferencia de sus similares plantas generadoras convencionales.

Inversión inicial

Principal barrera que se presenta en este tipo de tecnología e instalaciones. Desplegar superficies fotovoltaicas y conectarlas a la red eléctrica supone un desembolso que debe ser estudiado dentro de una lógica de obtener un retorno de la inversión y/o rentabilidad deseada.

El Ministerio de Energía de Chile, a finales del pasado 2016, elaboró un documento con los costes de instalaciones solares fotovoltaicas en el país, a partir de la experiencia con el programa PTSP, Programa Techos Solares Públicos, y para ofrecer la información a la vigente Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571). Este coste está íntimamente relacionado con el tamaño de la planta. A mayor potencia instalada, los costes del kWp son menores.

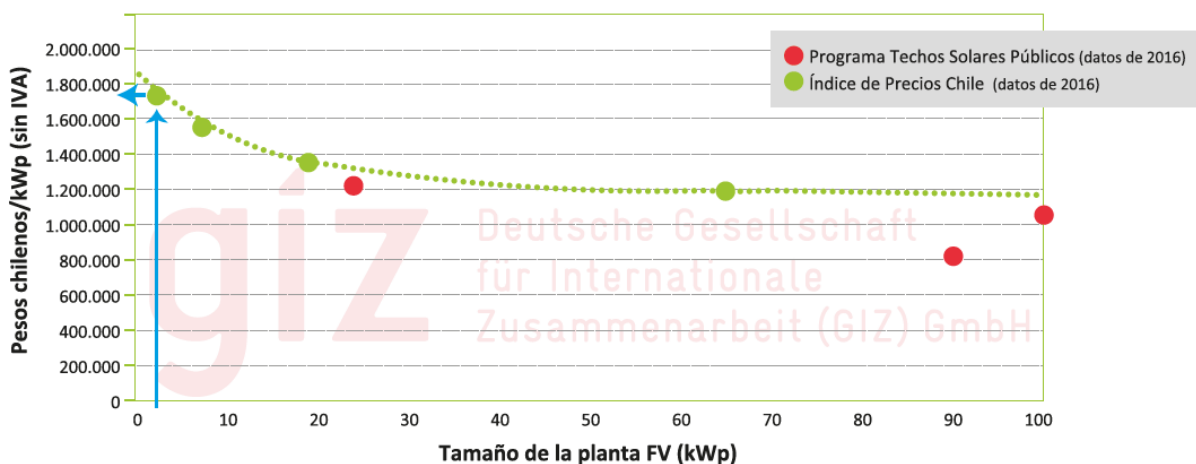


Figura 37. Precio neto en función del tamaño de planta. (Ministerio de Energía)

Intuitivamente, si se necesita, como en nuestro caso, satisfacer consumos residenciales y estos se encuentran agrupados en conjuntos o bloques, cabe plantearse las ventajas que aportarían diseñar plantas donde todos los usuarios tuvieran acceso a esta tecnología y el precio a pagar fuera menor por cápita. Este efecto se debe a las conocidas “economías de escala”.

Enmarcado en la investigación actual, Santiago de Chile permite aprovechar además las “economías de densidad”, pues un núcleo urbano como se presenta en la Región Metropolitana presenta grandes proveedores y oferentes, lo cual aporta un menor coste unitario.

Operación y mantenimiento

Por suerte, estos sistemas cuentan con un mantenimiento mínimo, pues basta con mantener la instalación limpia para poder obtener las más altas prestaciones de los sistemas. Los proveedores recomiendan una limpieza de los sistemas anual, como mínimo.

En el caso de Santiago de Chile, dada que es una urbe con problemas de smog, cabe pensar si sería necesario aplicar una limpieza con mayor asiduidad. De todas formas, este costo tiene a ser bajo y a poder asumirse, frente a los beneficios que la infraestructura aporta.

Respecto a la operación, existen medidores inteligentes que permiten el control remoto de las plantas generadoras, con lo cual, también se avisa en caso de algún problema y se puede detectar rápidamente. En el caso residencial, una instalación bien diseñada y en correctas condiciones no necesitaría de una operación específica. No obstante, se insiste en el futuro y presente que se está abriendo alrededor del *Smart metering* y sus múltiples posibilidades.

3.2. El acceso solar en el Gran Santiago.

Evolución demográfica del Gran Santiago y Densificación residencial de las comunas.

Con datos de 2017, el conocido como Gran Santiago ha superado los 7 millones de habitantes. En los últimos 50 años, destaca la expansión demográfica experimentada por la capital.

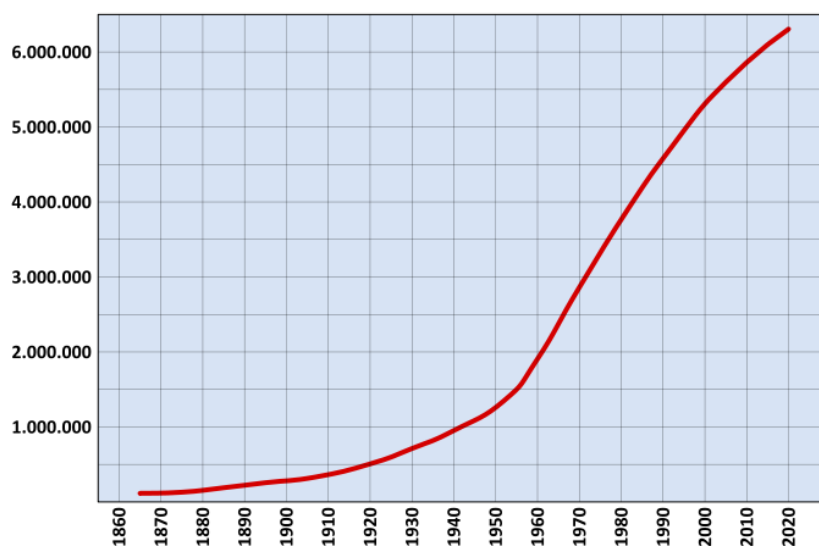


Figura 38. Población de Santiago de Chile. (CC, Wikimedia, a partir de censos nacionales)

La distribución residencial en este núcleo urbano es diversa, pues se puede observar que existió un desplazamiento del centro, y antigua ciudad, hacia la periferia en el final del siglo XX y principios del XXI, no obstante, la última década tiene un carácter de retorno a las comunas centrales fruto de procesos de densificación y verticalización. Las proyecciones del INE y los datos de evolución de la población por comunas del Gran Santiago se muestran a continuación.

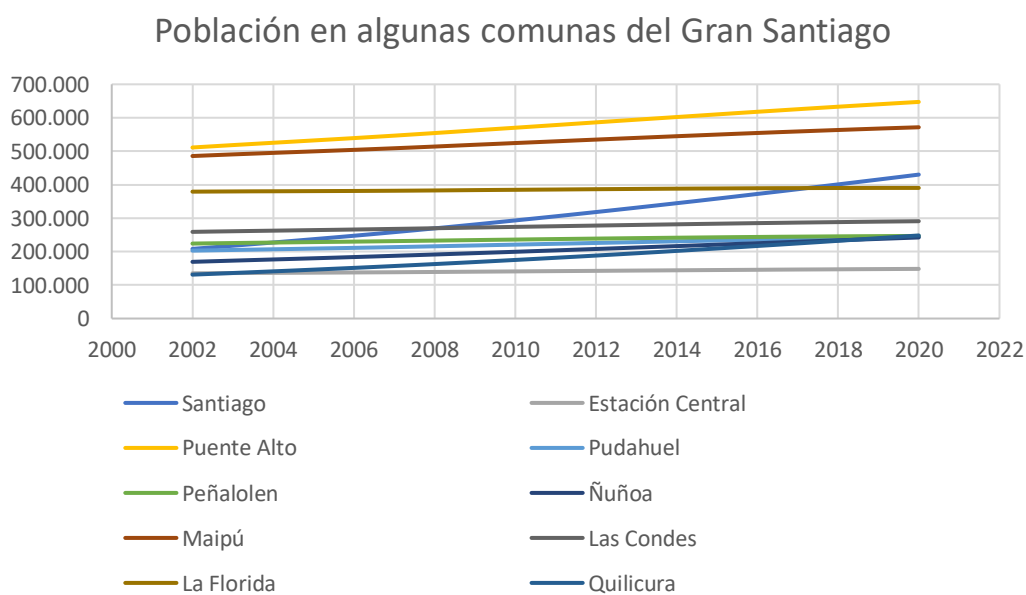


Figura 39. Proyecciones de población en comunas de Santiago. (Elaboración propia a partir de datos del INE)

La verticalización residencial

El sector residencial a lo largo de Santiago presenta dos tipologías de edificio mayoritariamente. Más concretamente, existe una polarización en cuanto a alturas construidas entre el 1990 y el 2014, las cuales pueden asociarse a casas y a edificios de más de 9 alturas.

La proliferación y concentración de estos últimos, edificios de más de 9 alturas, unificados como tipología según las clasificaciones de Encuestas y Estadísticas de Edificación para el periodo de estudio. Las condiciones que hicieron proliferar esta forma de edificios se han considerado sencillas:

“Condiciones sociotécnicas fueron el acero, el hormigón armado y los ascensores. Las necesidades de las sociedades capitalistas modernas exigían oficinas para realizar transacciones de negocios. Elevadores verticales rápidos, fáciles y cómodos, acero estructural que hace edificios seguros, rígidos y económicos y un continuo crecimiento de la población en las grandes ciudades. Además, la congestión de los centros y el aumento del valor de la tierra, estimulan un mayor número de pisos. Estos, felizmente apilados unos sobre otros, inciden sobre el valor de la tierra y así sucesivamente.” (Vergara, 2017)

Esta tendencia en oficinas, unida a otras que a finales de la década de 1920 se centraban en rascacielos en revistas especializadas e incidían en las “siluetas airoas y esbeltas de las nuevas ciudades frente la masa uniforme de la ciudad antigua” hacían pensar en la modernidad y proyectaban esta tipología.

En Santiago de Chile, hasta los años 40, estos edificios se presentaron con fines administrativos y comerciales, pero a partir de 1960 existieron varios casos de torres de 15 alturas, como las remodelaciones de San Borja y República, las torres de Apoquindo, las villas Frei y Olímpica, etc.

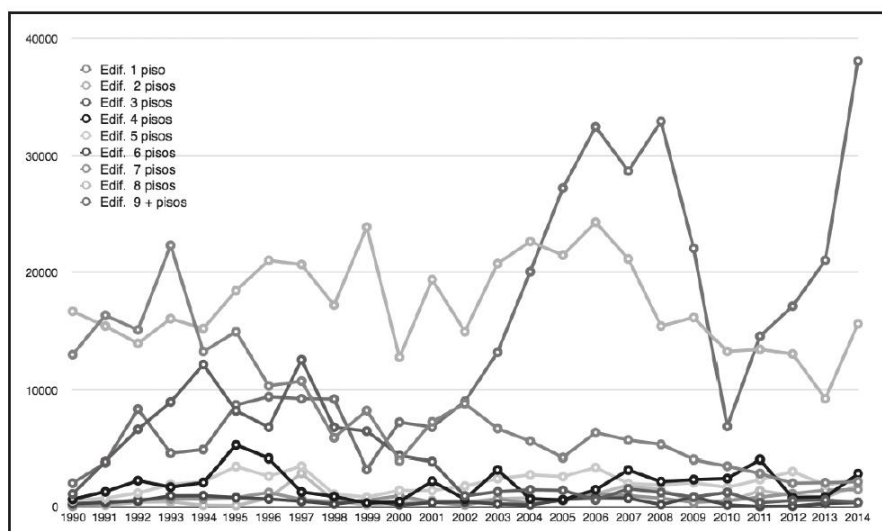


Figura 40. Permisos de obra nueva en función de la altura. (Vergara, 2017)

Por lo que respecta a obra nueva, se puede observar que en los últimos años predominan estas tipologías polarizadas, tanto rascacielos de más de 9 alturas como viviendas de 1 o 2 alturas. Si ordenamos las superficies construidas a lo largo del período 1990-2014 y en función de si son para uso residencial o no

residencial, ordenadas por alturas, encontramos la gráfica que más muestra esta tendencia polar de construcción residencial.

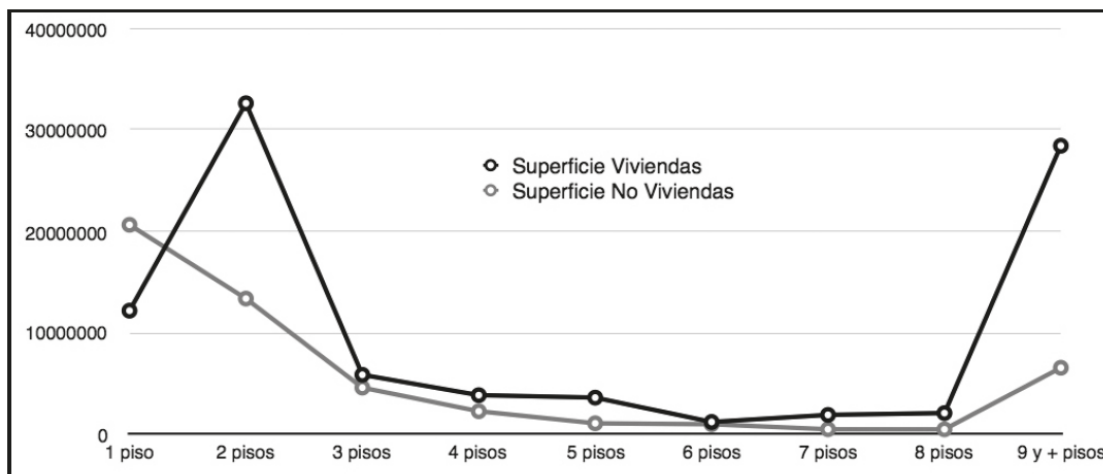


Figura 41. Superficie de viviendas en función de la altura. (Vergara, 2017)

Además, no se debe analizar esta variable por separado de otras importantes, como pudiera ser la ubicación de estas edificaciones de más de 9 alturas, pues comúnmente estas comunas presentan condiciones socioeconómicas de la población o tendencias demográficas que están cambiando.

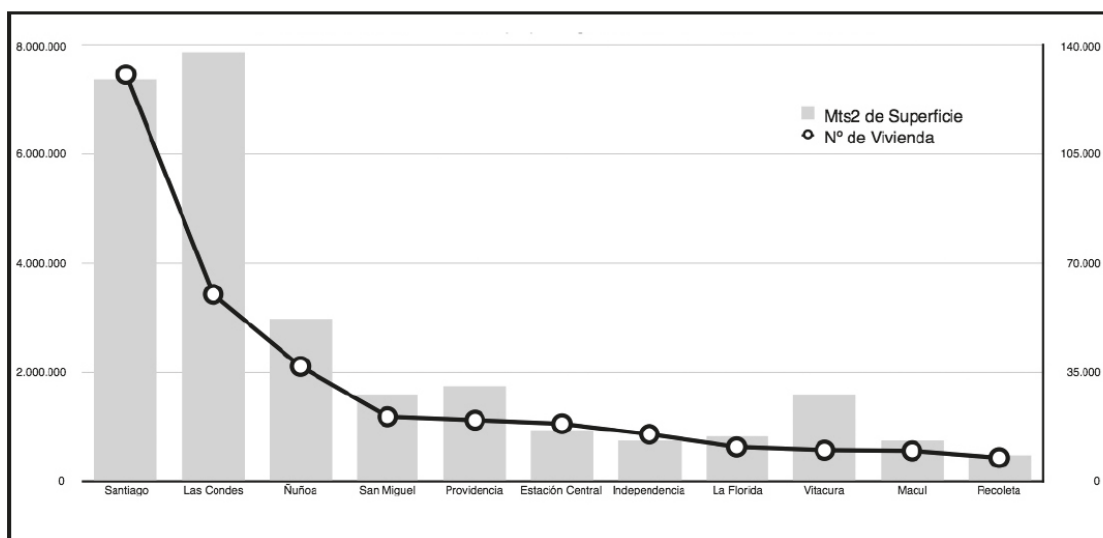


Figura 42. Distribución por las comunas de Santiago de las mayores superficies. (Vergara, 2017)

Planes Reguladores Comunes. ¿Se garantiza el acceso solar?

Los Planes Reguladores Comunes, en adelante PRC, son los mecanismos de los gobiernos locales que pueden poner las pautas para el desarrollo de edificaciones en su territorio. Por la importancia para nuestra investigación, en especial por el acceso solar para los habitantes de los edificios residenciales, se buscó si existe algún requisito al respecto, ya sea directamente garantizando un derecho solar de los vecinos o bien regulando las alturas y sus asociadas sombras proyectadas.

El caso de la comuna de Ñuñoa, pues es la que fue seleccionada en este estudio, debido al número de casos de resistencia vecinal frente a proyectos inmobiliarios que afectarían al acceso solar de las comunidades y presenta información disponible. Además, concentra conjuntos residenciales que reúnen criterios de estudio, como es el caso de la conocida Villa Olímpica.

Directamente, no se hace mención de acceso solar o a derecho solar. Referente a alturas, se puede encontrar requerimientos de área libre para conjuntos habitacionales con más de 3 alturas. No obstante, se pueden encontrar zonas clasificadas con altura de edificación libre. Otros tramos y zonas, limitación de 10 o 14 alturas (Zona Z – 2B, por ejemplo) y otras donde las alturas permitidas varían en función del terreno disponible.



Figura 43. Pancartas de la oposición vecinal en Ñuñoa. Cruce de Irarrázaval con Av. Holanda.

Densificación en altura y acceso a cubierta con recurso solar

La densificación en altura es ya un hecho en ciertas comunas del Gran Santiago, por esto, se ha visto necesaria la observación del parámetro de superficie que requiere el aprovechamiento solar en cubiertas aportado por el Ministerio de Energía en la “Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos”.

Tabla 4 Área mínima libre en techo para la instalación de un sistema FV orientado al norte e inclinado (Fuente: Elaboración propia)

En distintas ciudades de Chile, con módulos FV de 250 W de 1,6 x 1 m

Potencia	Arica	Antofagasta	La Serena	Santiago	Concepción	P. Montt
5 [kWp]	61 [m ²]	64 [m ²]	70 [m ²]	74 [m ²]	82 [m ²]	94 [m ²]
10 [kWp]	121 [m ²]	128 [m ²]	140 [m ²]	149 [m ²]	164 [m ²]	189 [m ²]
20 [kWp]	240 [m ²]	254 [m ²]	277 [m ²]	294 [m ²]	323 [m ²]	372 [m ²]
50 [kWp]	590 [m ²]	624 [m ²]	681 [m ²]	720 [m ²]	791 [m ²]	910 [m ²]
100[kWp]	1.173 [m ²]	1.239 [m ²]	1.351 [m ²]	1.429 [m ²]	1.568 [m ²]	1.803 [m ²]

Figura 44. Tabla de áreas mínimas para SFV en techos inclinados. (Ministerio de Energía)

De esta guía se rescata el dato de área mínima para sistemas fotovoltaicos en techos inclinados, pues es el objetivo de esta investigación. A partir de esta información, y como base sobre la que trabajar el caso de 10kWp de potencia, se ha proyectado la relación que tiene esta superficie libre necesaria en bloques residenciales de distintas alturas, con la intención de ver hasta que alturas se podrían beneficiar los usuarios de este tipo de conjuntos de viviendas.

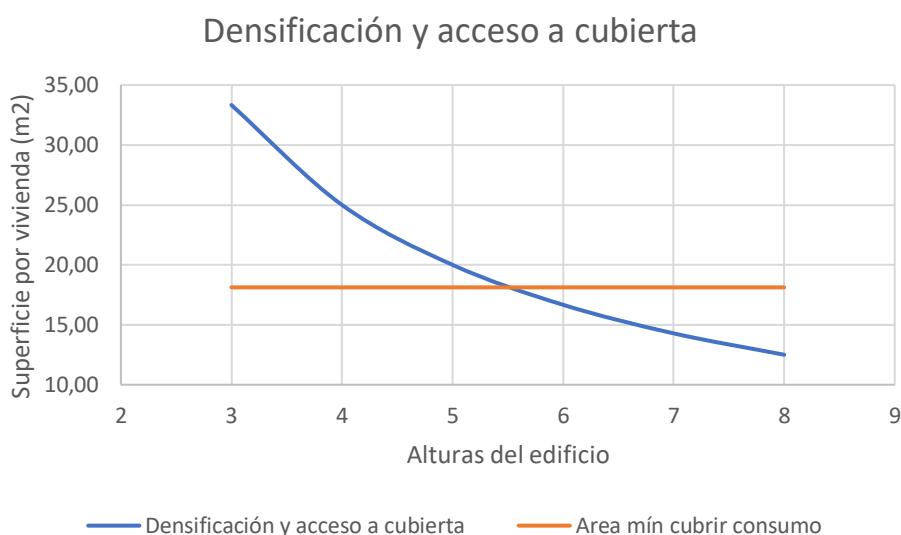


Figura 45. Relación entre las alturas de los edificios y el área de cubierta disponible por vivienda. (Elaboración propia, a partir de datos del Min. Energía)

La Figura 45 se ha realizado con una superficie construida de 400m². En el caso de aumentar esta planta, las alturas aumentan, pero en esencia es lógico imaginar la relación de las alturas en edificios residenciales con el acceso por vivienda a cubierta para instalación de sistemas solares. A mayor altura, menor porción por vivienda, y como vemos en la figura anterior, a priori, hasta 5 alturas no tienen ningún problema de generar energía suficiente para cubrir su consumo.

3.3. Los conjuntos residenciales de altura intermedia. El caso de Villa Olímpica.

Dadas las condiciones que se han ido revisando, se ha decidido por conjuntos residenciales que cumplen los siguientes requisitos:

- Conjuntos residenciales con alturas de 5 o menos. (Altura superior a vegetación cercana)
- Superficie de techo inutilizada.
- Sin sombras proyectadas por edificaciones vecinas.
- Techos con inclinación menor o igual a la inclinación óptima de la ubicación. ($\leq 33^\circ$ en RM)
- Techos en buen estado y que cumplan la normativa chilena de construcción, sobre todo que soporten 30 kgf/m^2 de sobrecarga. Además, que la materialidad sea compatible con los sistemas fotovoltaicos; consultarse en la NCh433 Of.1996 Mod.2009. (Guía de Evaluación de Sistemas Fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile)
- Conjuntos que ya practiquen la vida en comunidad, pues facilitaría la implementación del estudio.

Combinando todos los requisitos iniciales, se decidió por hacer el estudio de la histórica, y declarado como **Zona Típica** en 2010 por el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), Villa Olímpica de Ñuñoa. Esta declaración implica la protección de los valores urbanísticos que representa este proyecto por construir un modelo de unidad vecinal y se basa en el interés patrimonial y la calidad social, urbanística e histórica, las cuales se consideran dignas de preservar.

A continuación, trataremos de poner en contexto este conjunto residencial y su historia e importancia más destacada.

3.3.1. Contexto de la Villa Olímpica de Ñuñoa.

La icónica Villa Olímpica, ubicada en la comuna de Ñuñoa y obra de la antigua Corporación de la Vivienda (CORVI), forma parte de la cultura chilena por distintos motivos, ya que marcó un periodo de la historia del país, con el mundial de fútbol del 1962, y supuso un icono de fuerza y resistencia después del terremoto de febrero de 2010, además de traer a la arquitectura nuevas pautas para la construcción habitacional de este tipo de conjuntos sociales.

Los arquitectos seleccionados a través de concurso público fueron 2 grupos de la Universidad de Chile, un grupo vinculado a “mejores viviendas” formado por Rodolfo Bravo, Jorge Poblete y Ricardo Carvallo, y

el otro que manejaría la “propuesta urbanística”, de Pablo Hegedus, Julio Mardones, Gonzalo Mardones y Sergio Gonzáles. Con el apoyo de empresas de la época, también se ocuparon de la reparación después del terremoto del 85’.

Sus inicios se remontan al Campeonato del Mundial de Fútbol del 1962, donde Chile quería demostrar el pujante desarrollo que experimentaba el país y ordenó desarrollar este proyecto para embellecer los alrededores del Estadio Nacional de Chile. La transformación de la anterior chacra Lo Valdivieso en conjuntos habitacionales dirigidos por el entonces CORVI, antecesora del actual Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MIMVU), pretendió mostrar una imagen de país en vías de modernización.

El 1961 comenzó su edificación y se pretendía mejorar la infraestructura de los asistentes del Mundial. La idea de albergar turistas que rebajaran el costo definitivo de los departamentos no llegó a cumplirse debido a que no se logró terminar completamente antes del inicio del evento deportivo. Las edificaciones terminadas sirvieron para alojar a los cuerpos técnicos de los equipos visitantes.

La propuesta habitacional de la Villa Olímpica constituyó internacionalmente un sentido integral y participativo de comunidad, el cual estaba marcado en las características de diseño del conjunto. El sentido de pertenencia al barrio se basa en el esfuerzo que sus habitantes demostraron para obtener su propia vivienda en contexto de déficit habitacional de la época. La organización vecinal se presenta en múltiples instancias, como clubes deportivos, culturales, centros de emprendedores, asociaciones de padres y madres, etc. (web del Consejo de Monumentos Nacionales)

Con el tiempo, una vez vendidas las viviendas a funcionarios y clase media, este conjunto habitacional destaca por la fuerte organización vecinal durante los procesos de reconstrucción tras daños sufridos por catástrofes naturales. El primer terremoto sufrido por estas construcciones ocurrió en 1985, en el cual hubo algunos derribos o “cortes” de bloques o torres, a pesar de que la mayoría de los blocks resistieron. Se instalaron marcos de acero en las conocidas pasarelas que conectan las unidades, lo cual evitó el colapso de estas estructuras en futuros episodios. No obstante, el 27 de febrero de 2010 la Villa Olímpica sufrió grandes daños principalmente debido a la antigüedad y deterioro de las edificaciones. Los daños ocasionados pueden verse reflejados en la Figura 46:

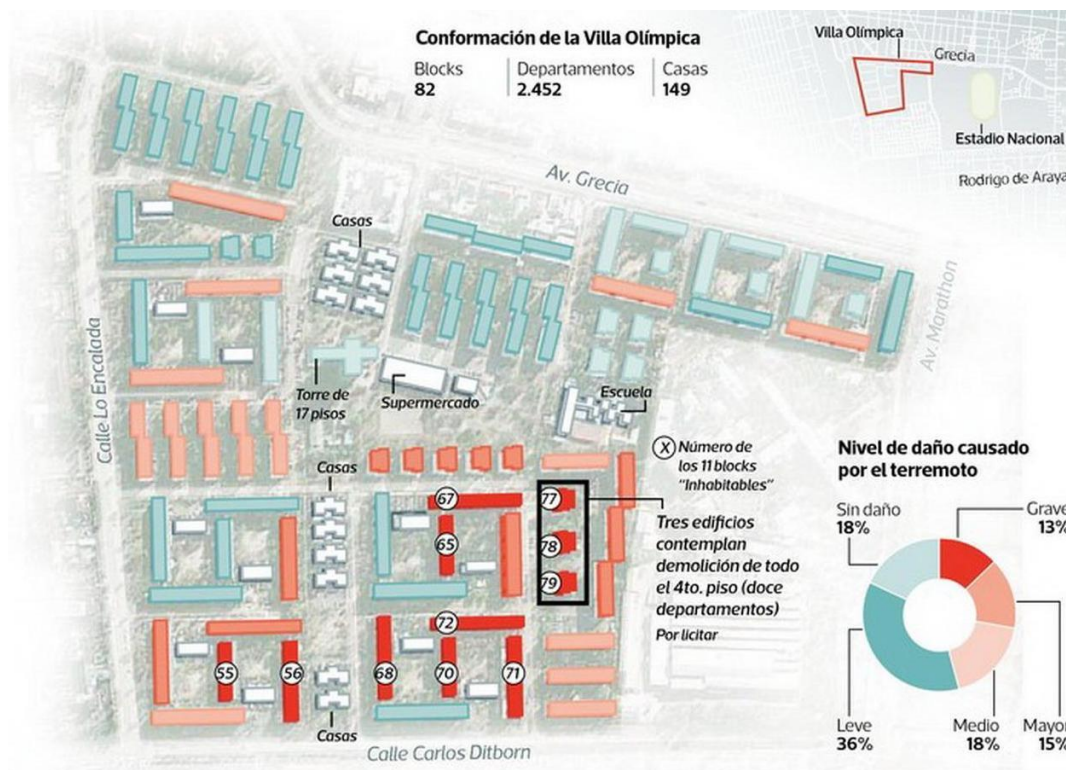


Figura 46. Daños causados por el terremoto de 2010 en la Villa Olímpica. (Por Daniella Inocenti para el proceso de Reconstrucción, blog de la Junta de Vecinos de Villa Olímpica en 2012)

Después de estos daños, el MINVU asignó un presupuesto de 10.000 millones de pesos chilenos para la reparación de viviendas del sector, lo cual se realizó en conjunto a la asamblea de organizaciones vecinales. En el marco de las celebraciones del Bicentenario de Chile, esta zona fue declarada Zona Típica.

Con todo, se cree que la Villa Olímpica cumple con los requisitos de espacio donde la escala humana de vivir en comunidad está en la visión de su gente y donde la arquitectura permite integrar el beneficio para sus usuarios de la generación distribuida urbana en forma de sistemas fotovoltaicos en los techos de los blocks. Además, ya cuenta con una comunidad organizada en Junta de Vecinos, y estas construcciones responde a criterios de sostenibilidad social, ambiental y económica donde el rol del estado ha estado fuertemente comprometido en el mejoramiento de la infraestructura.

4. La energía distribuida en la ciudad. Estudio de los casos.

Una vez contextualizado el interés por la temática investigada, y con el caso de estudio seleccionado, se afrontan las evaluaciones de los edificios disponibles en la Villa Olímpica de Ñuñoa para obtener unos resultados de interés. Los criterios seguidos contemplan la diversidad de formas de la trama urbana y caracterizan distintos casos tipo dentro de esta variedad.

Se empezará con una identificación general de las morfologías residenciales existentes, las cuales presentan una trama urbana en toda la manzana. A continuación, se muestran las simulaciones de los edificios para obtener la capacidad de acceso solar que tienen estas edificaciones y se terminará el capítulo con un repaso a las suposiciones en cuanto a consumo residencial en Chile y la importancia y papel de la eficiencia energética en los hogares.

4.1. Identificación de las morfologías residenciales.

La superficie o manzana de estudio está ubicada, como se ha visto, en la comuna de Ñuñoa, junto al Estadio Nacional de Chile. Tiene un área total de 27 hectáreas y las tramas urbanas muestran cierto patrón que en su diseño se repitió, a consciencia, formas de edificios que resultaban de interés.

Se encuentra rodeada de las avenidas Grecia por el norte, Marathon por el este, Lo Encalada por el oeste y Carlos Dittborn por el sur. En sus cercanías se pueden encontrar conjuntos como Villa Rebeca Matte, Barrio Empart, Barrio Suarez Mujica o Barrio Bogotá.



Figura 47. Perímetro de la Villa Olímpica en la comuna de Ñuñoa. Google Maps)

La trama urbana de la Villa Olímpica repite las distintas formas edificatorias que podemos encontrar resaltadas de distintos colores en la Figura 48. Todas estas son construcciones de agrupamientos de viviendas.

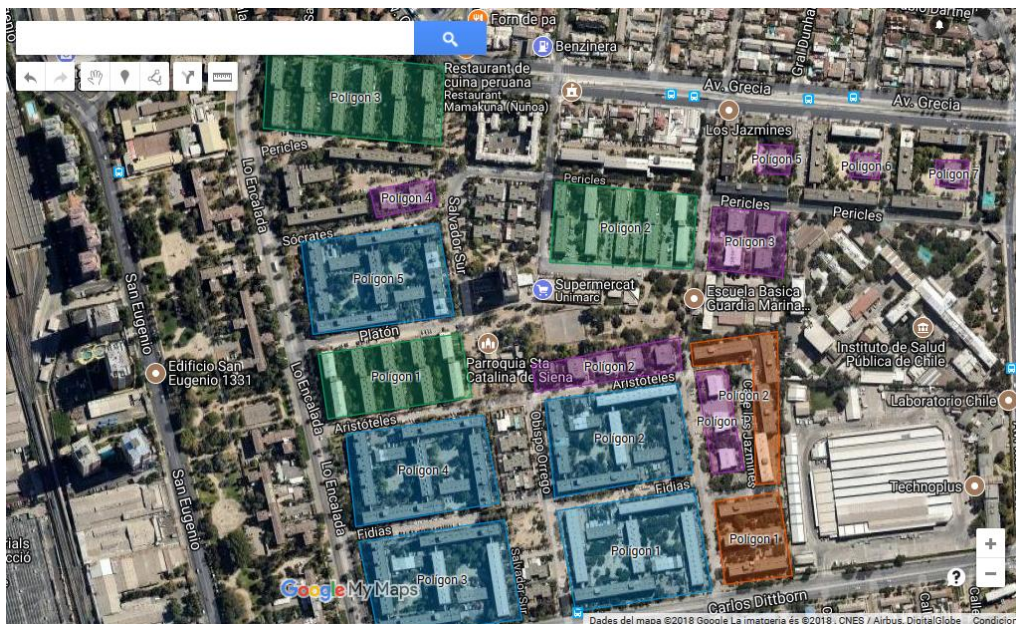


Figura 48. Módulos edificatorios que se repiten en la Villa Olímpica. (Google Maps)

Se pueden identificar a simple vista 4 tipologías de bloques de viviendas que se repiten a lo largo de la superficie de la Villa Olímpica. Dentro de estas 4 formas, destaca un módulo compuesto por distintas formas de bloque (resaltado en azul), y 3 tipos de bloque agrupados y de misma forma (resaltados en naranja, verde y morado).



Figura 49. Módulo de blocks que se repite en la Villa Olímpica. (Google Earth)

El módulo que se repite a lo largo de la Villa Olímpica mostrado en la Figura 49 cuenta con bloques de 4 alturas unidos entre sí mediante pasarelas, con lo que se aprecia una conexión del conjunto. Este cuadrante alberga, también, casas pareadas de 2 alturas que delimitan las 2 plazas interiores que se forman como espacio público verde.

El resto de los bloques de viviendas muestran una repetición en serie dentro del mismo conjunto. Estos bloques alineados presentan también 5 alturas, los cuales se distribuyen por la superficie de la manzana con distintas orientaciones, las cuales siguen siempre con una intencionalidad de aprovechamiento solar en el interior de las viviendas.

4.1.1. Los edificios seleccionados

Los edificios seleccionados se han elegido siguiendo las indicaciones descritas en el anterior capítulo (Los conjuntos residenciales de altura intermedia. El caso de Villa Olímpica.) y a partir de la Guía de Evaluación de Sistemas Fotovoltaicos, anteriormente mencionada.

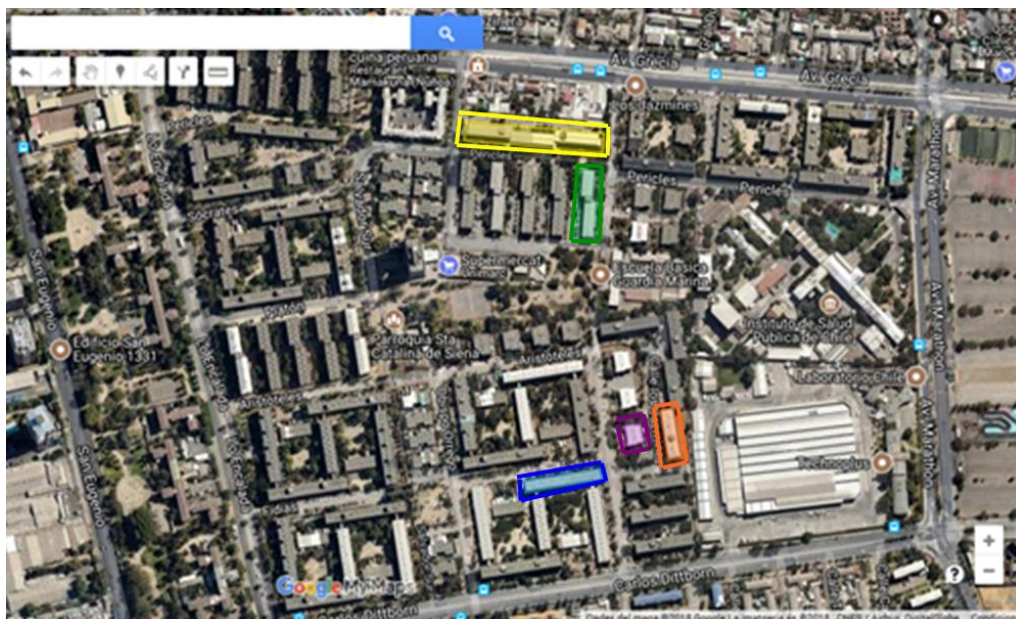


Figura 50. Edificios seleccionados para el estudio. (Google Maps)

Se ha seleccionado un edificio con la **cubierta rehabilitada**, de acuerdo con la normativa NCh1079 del MINVU, de cada tipología de bloques identificados en la Villa Olímpica. Además, se ha creído conveniente estudiar también el bloque aislado de la zona centro-norte, pues albergando 75 viviendas presenta unas buenas condiciones en cuanto a superficie de cubierta en buen estado y buena orientación (resaltado en amarillo en la Figura 50).

En total se cuenta con 5 tipos de conjuntos de viviendas con distintas superficies de cubiertas y distinta densidad habitacional. Estos 5 casos van a ser simulados en la siguiente fase de la investigación para conocer el efecto de las sombras en cubiertas y así conocer la superficie disponible para los sistemas fotovoltaicos en cada tipología.

De acuerdo con los antecedentes tomados de Troncoso, 2007; se presenta información de los bloques de viviendas de estudio, la cual corroboró y completó el levantamiento realizado inicialmente a partir de la observación y verificación en planos y visitas a terreno.

Edificio 1 y su módulo

Sector y copropiedad: 6-A, Q.

Tipología: D5_C5.

Número de departamentos del módulo: 180.

Superficie construida (módulo, sin casas): 3.564 m²

Número de departamentos del edificio: 41 viviendas

Superficie de cubierta: 825 m²

Edificio 2

Sector y copropiedad: 2, D.

Tipología: D8_B5.

Número de departamentos del edificio: 35 viviendas

Superficie de cubierta: 600 m²

Edificio 3

Sector y copropiedad: 6-B, R.

Tipología: D8_A5.

Número de departamentos del edificio: 35 viviendas

Superficie de cubierta: 480 m²

Edificio 4

Sector y copropiedad: 6-B, R.

Tipología: D8_B5.

Número de departamentos del edificio: 16 viviendas

Superficie de cubierta: 225 m²

Edificio 5

Sector y copropiedad: 2, C.

Tipología: D4_D5.

Número de departamentos del edificio: 75 viviendas

Superficie de cubierta: 1400 m²

4.2. Simulación de la capacidad solar en techumbre de los modelos.

Los modelos mediante el software BIM, Revit de Autodesk, se pueden considerar equivalentes a los reales ubicados en la Villa Olímpica de Ñuñoa. Se han obtenido las superficies de tanto de Google Earth como de la práctica anteriormente citada de Nadia Troncoso. Mediante comparación con normativa edificatoria se han diseñado las cubiertas sobre las cuales se han basado los estudios solares. Una vista completa de la Villa Olímpica simulada se muestra a continuación, donde se aprecian con mayor detalle los edificios seleccionados.

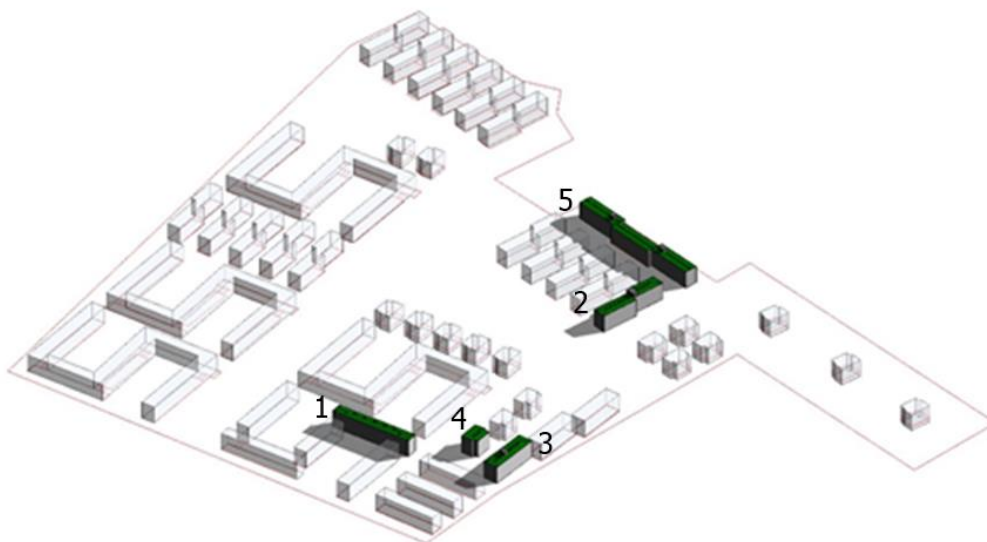


Figura 51. Conjuntos residenciales de la Villa Olímpica de Ñuñoa simulada mediante Revit. (Elaboración propia)

A continuación, se van a mostrar las techumbres sobre las cuales se han proyectado la generación fotovoltaica comunitaria. Se incide de nuevo en que se van a considerar equivalentes las cubiertas simuladas y las reales, ya que no serán iguales, pues no se ha tenido acceso a los planos con suficiente antelación.

4.2.1. Cubiertas de los edificios seleccionados

Se han considerado cubiertas metálicas de una pendiente de 6%. Existen en la realidad estas, pues después de la rehabilitación del terremoto de 2010 se repararon las techumbres de muchos edificios de la Villa. Los conductos de ventilación de todos los edificios se han considerado de 70cm de altura y con distintas plantas, en función de cada tipología. Los depósitos de agua que algunos edificios tienen se han supuesto de 4,7m de altura, y de nuevo, siguen plantas estimadas vistas desde satélite de Google Earth. En el anexo “Cálculos de sombras” se puede encontrar mayor detalle de información al respecto.



Figura 52. Vista satélite y simulación de la cubierta del Edificio 1. (Elaboración propia)

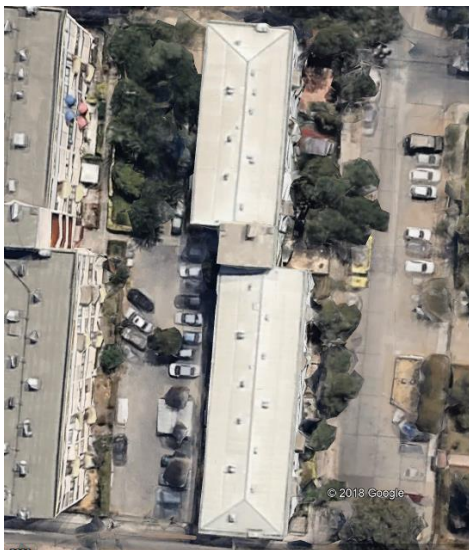


Figura 53. Vista satélite y simulación de la cubierta del Edificio 2. (Elaboración propia)



Figura 54. Vista satélite y simulación de los Edificios 3 y 4. (Elaboración propia)

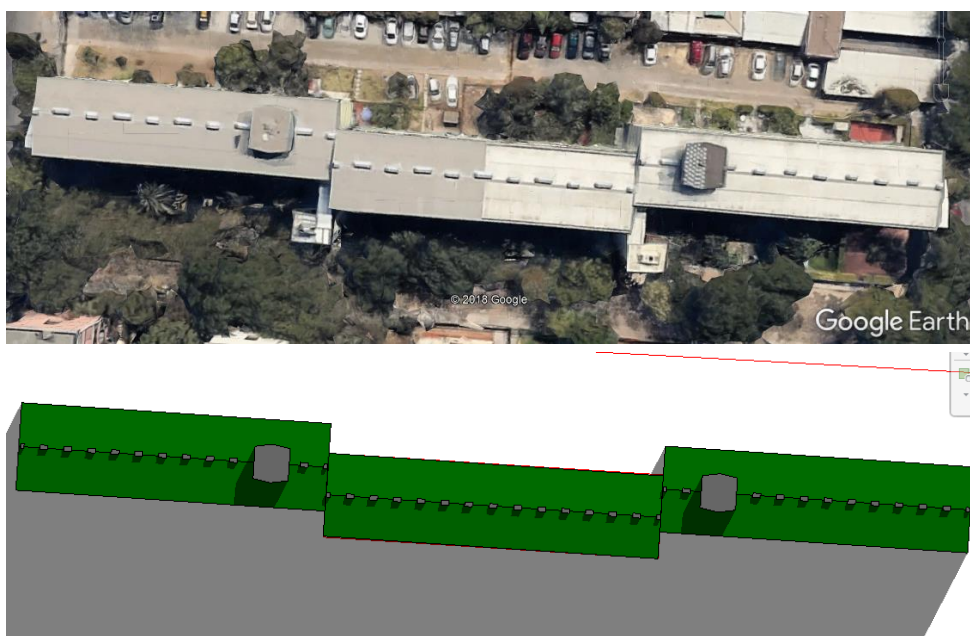


Figura 55. Vista satélite y simulación del Edificio 5. (Elaboración propia)

Se puede apreciar las diferencias, pero la esencia de las parejas de cubiertas, las reales y las simuladas, es hacer una aproximación a edificios reales, pero en ningún caso esta investigación permitirá realizar ninguna instalación, pues solo se han desarrollado estimaciones y cálculos preliminares.

Además, por su naturaleza, estas instalaciones deben contar con el interés y voluntad de los mismos usuarios, ya que de otras formas los proyectos tienden a fracasar.

4.2.2. Estudios de sombras de los edificios

A continuación, se realizó un Estudio Solar a las mismas cubiertas, para considerar la superficie de cada cubierta que presenta sombras internas, las cuales son producidas por elementos de la propia cubierta. Este análisis se ha podido realizar gracias a la extensión del software *Insight* de Autodesk.

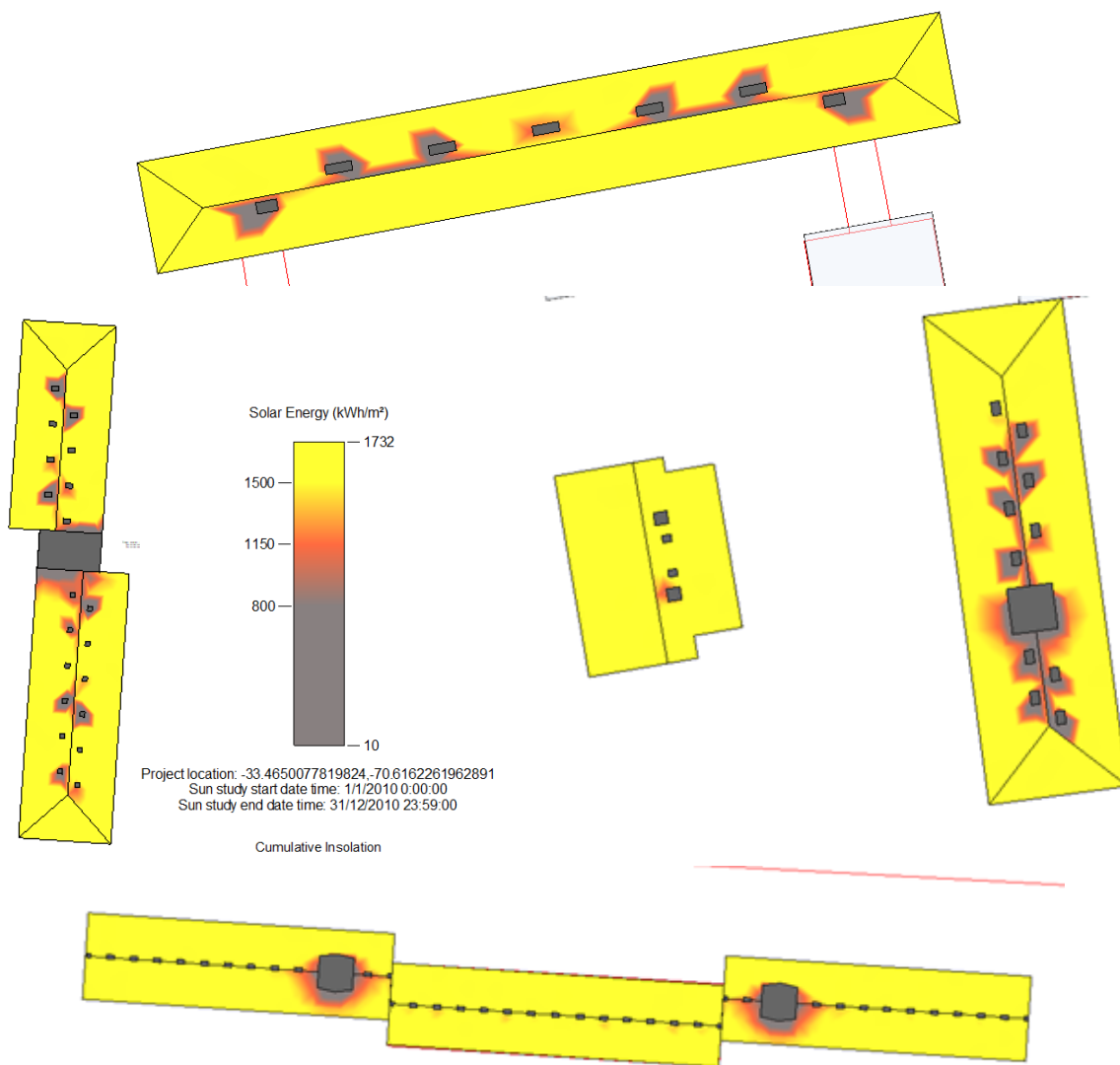


Figura 56. Vista que aporta el *Insight* con el estudio solar de las superficies. (Elaboración propia)

La potencia de esta herramienta reside en la identificación de las zonas que van a presentar sombras a lo largo del año. No obstante, al hacer un barrido anual, puede escaparse detalles que se presenten pocas horas al año y que en la realidad podrían suponer algún problema. Un estudio detallado siempre es recomendable. El color amarillo muestra la máxima energía solar recibida, entre 1500 y 1732 kWh/m², mientras que los tonos rojizos representan energías de unos 1150 kWh/m² y los grises energías inferiores a 800 kWh/m².

4.2.3. Distribución de paneles fotovoltaicos

Como se ha visto en capítulos anteriores, los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el norte (en el hemisferio sur) y con una inclinación cercana a su latitud. En el caso de la Villa Olímpica, en latitud es $33,46^\circ$ pero su inclinación óptima, la cual maximiza la producción anual, se encuentra en 27° . Esta es la inclinación que se ha decidido simular.

Los cálculos relacionados con la infraestructura fotovoltaica se han podido obtener del Explorador Solar ofrecido por el Ministerio de Energía de Chile.



Figura 57. Logotipo de la web: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

Para el diseño y distribución de los paneles se ha decidido utilizar los módulos vistos anteriormente en la Figura 31 del proveedor autorizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Jinko Solar, y en particular el modelo de 72 células Eagle Module: JKM-320PP-72.

El día del año donde el sol presenta una menor altura es el 21 de julio, el cual corresponde al solsticio de invierno (en el hemisferio sur). Este día presenta menor número de horas de insolación anual y por tanto las sombras proyectadas son más extensas registradas.

En los esquemas que se muestran a continuación, se han considerado para garantizar al menos 4,5h de radiación solar directa en el día más desfavorable del año. Además, la tipología de distribución de los paneles puede no ser la óptima, pues el estudiante no es ningún experimentado en este campo.

Se han diseñado series agrupadas de paneles en vertical y en función de cada caso, se han obtenido distintos números de paneles, todos ellos orientados $\pm 3^\circ$ Norte y con inclinación óptima de 27° .

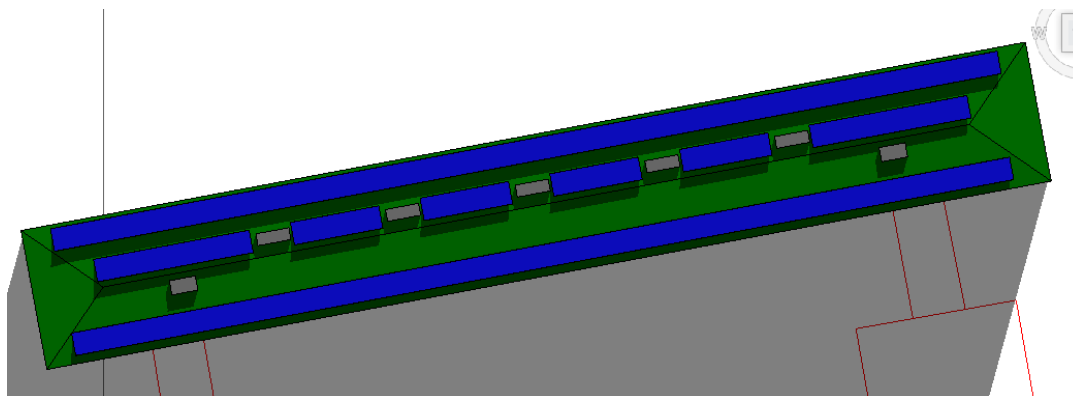


Figura 58. Infraestructura fotovoltaica dimensionada para el Edificio 1. (Elaboración propia)

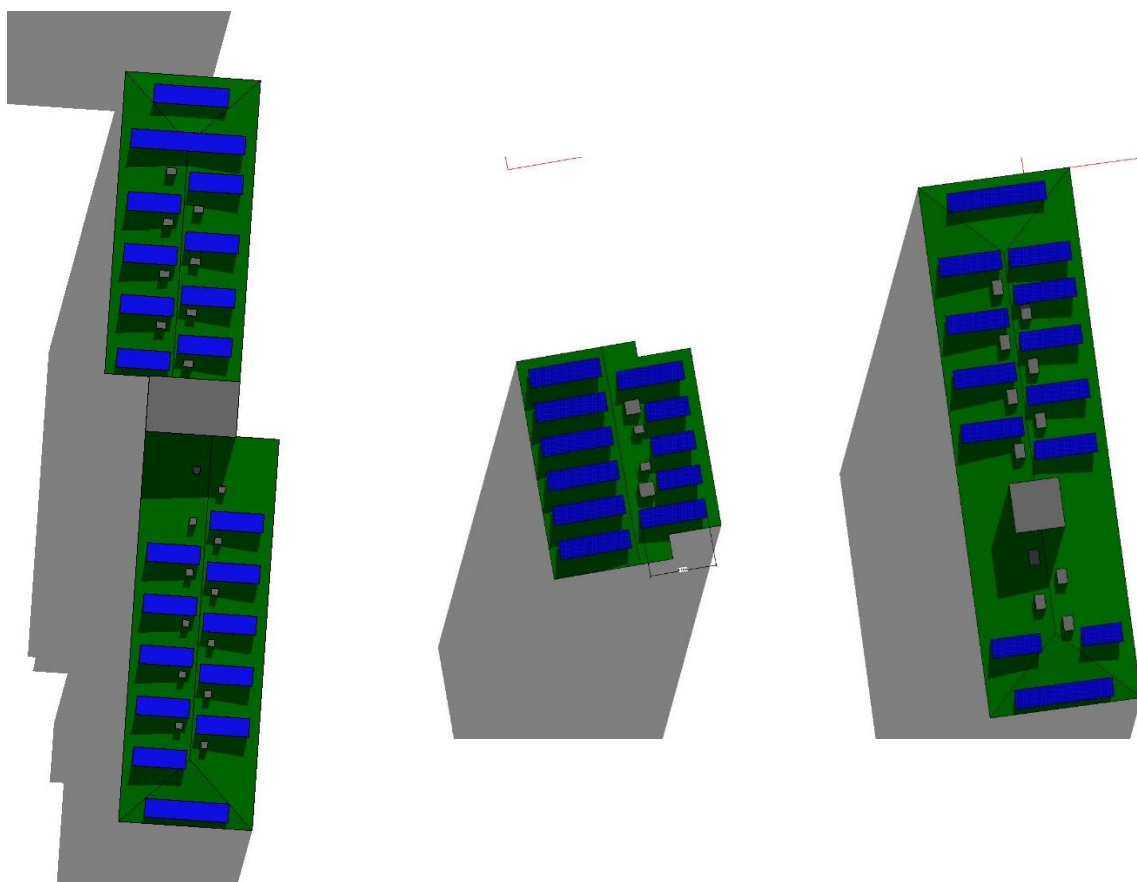


Figura 59. Infraestructuras fotovoltaicas de los Edificios 2, 4 y 3, en orden de izquierda a derecha. (Elaboración propia)

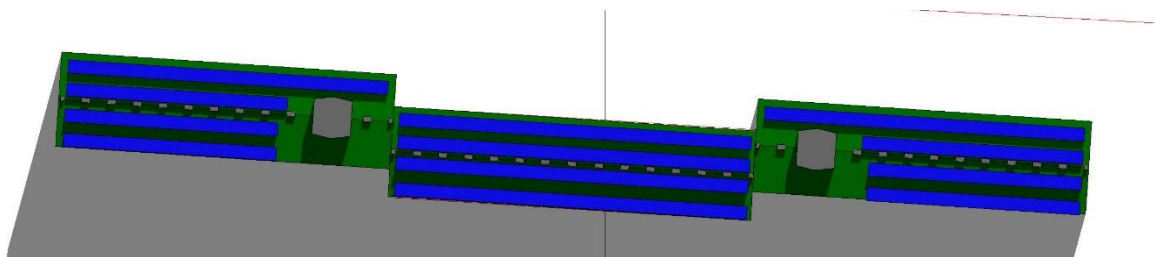


Figura 60. Infraestructura fotovoltaica dimensionada para el Edificio 5. (Elaboración propia)

Se ha tratado de seguir unas pautas, estipuladas algunas en normativa técnica respecto a la seguridad:

- Garantizar elementos de acceso a cubierta.
- Pasarelas de tránsito metálicas.
- Cuerda de vida (requisito en instalaciones de más de 30kWp, como son la mayoría de los casos).
- Un metro desde los paneles al borde de los techos, como exigen normativas internacionales en otros países.

4.3. El consumo residencial y la eficiencia energética.

Como se vio al final del apartado Mapa energético de Chile, el 21% del consumo final de energía chileno de 2015 fue dedicado al sector Comercial, Público y Residencial. Caracterizar el consumo residencial en Chile ha sido una tarea que es necesaria para poder aportar energía a este sector, pero que se puede y debe hacer de modo específico, como ya se hizo en 2010 por la Cámara Chilena de Construcción, por ejemplo.

Según Energía Región, en Región Metropolitana, el consumo residencial promedio mensual es de 198kWh/cliente. No obstante, en los Anuarios y Reportes del Ministerio de Energía se aplican valores promedio de consumo de entre 150kWh/mes y 180kWh/mes. Estos consumos, según el último Anuario del CNE, corresponden a un desembolso de unos \$22.250, como se muestra a continuación.



Figura 61. Cuenta tipo de la zona central de Chile. (Anuario 2018, CNE)

Esta tarificación contempla los costes reales del sistema eléctrico, y hace la diferencia de clientes regulados, aquellos con potencia menor de 5.000kW, y aquellos con mayor potencia, como clientes libres. Los clientes regulados, que son nuestro caso de estudio, están sometidos a una regulación del precio del recurso eléctrico, pues se considera que están en condiciones de mercado de monopolio natural.

Este precio final es la combinación de costes del precio de nudo, el valor de distribución de la energía y el pago por uso del sistema troncal. (Tarificación CNE)

Además, la Región Metropolitana (RM) es energéticamente Deficiente, según el portal web Energía Región, lo cual significa que los consumos de la región superan la capacidad energética que tiene el territorio. Es por esto, además de otros puntos importantes, por lo que proyectos de generación distribuida aportarían mayor fortalecimiento del sistema eléctrico, pues esta región más poblada del país es fuerte dependiente de las redes de transmisión que entregan energía generada en otras regiones.

En la Figura 62 se muestra el balance energético anual de la RM, obtenido de la web de Energía Región.

Balance energético anual

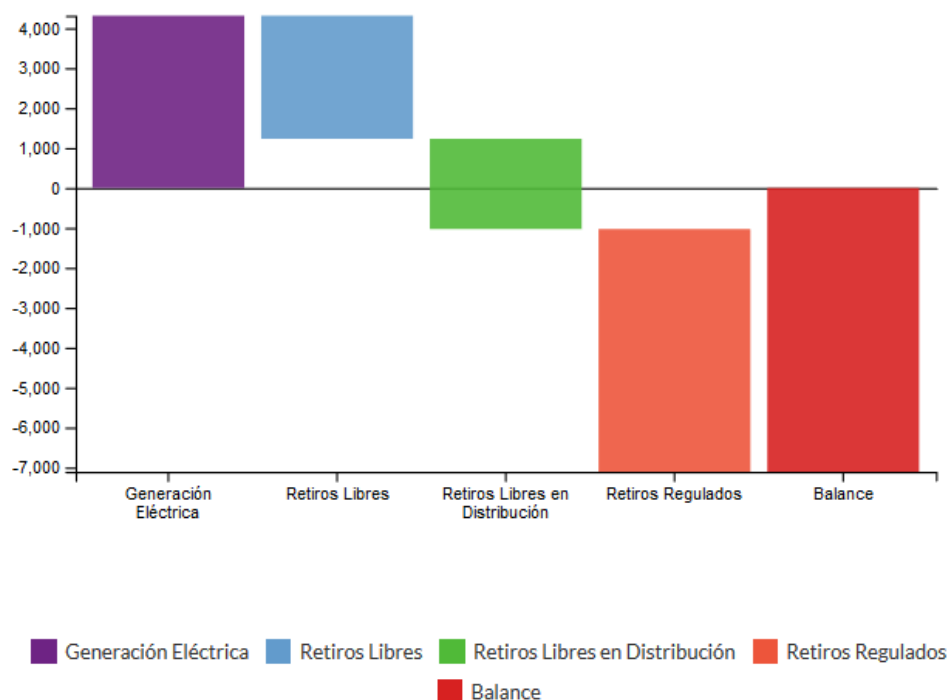


Figura 62. Balance energético anual de la RM, unidades GWh. (Energía Región)

Visto la situación general de los consumidores eléctricos residenciales, para la presente investigación se necesita algo más de detalle, por lo tanto, se ha creído conveniente estimar un perfil o curva de consumos de las viviendas tipo chilenas, las cuales se analizan y justifican en el siguiente apartado. Además, también se ha hecho énfasis en la importancia en este sector en la eficiencia energética, y se considera en apartados siguientes.

4.3.1. Perfiles de consumo estimados

Dadas las superficies de las viviendas de estudio, de más de 80m², se ha considerado que albergan un promedio de 4 habitantes. Estos, como se revisó en el capítulo anterior, eran mayoritariamente funcionarios y empleados públicos, lo cual puede considerarse clase media, y se ha optado por una vivienda tipo donde las dos personas adultas de la casa trabajan. A pesar de esto, también existe un perfil de tercera edad, el cual se puede considerar que tendría un consumo medio mensual similar al de una familia, con un consumo menor pero más constante.

El software online *Sunny Design Web*, del proveedor autorizado por el SEC, SMA, aporta información sobre perfiles tipo de viviendas. A partir de estos datos, y con jornadas laborales de 9 horas en Chile, se ha hecho una estimación de cuales podrían ser los consumos eléctricos de la vivienda tipo de la Villa Olímpica. Para hacer unas mejores estimaciones, se ha dividido el año en 3 tramos, verano, invierno y primavera/otoño. Esto se debe, además, por la variación del recurso solar a lo largo del año.

En este punto se ha dimensionado el perfil para cumplir el consumo promedio de alrededor de los 198kWh/mes. Un día tipo de los tres tramos anuales considerados pueden verse a continuación.

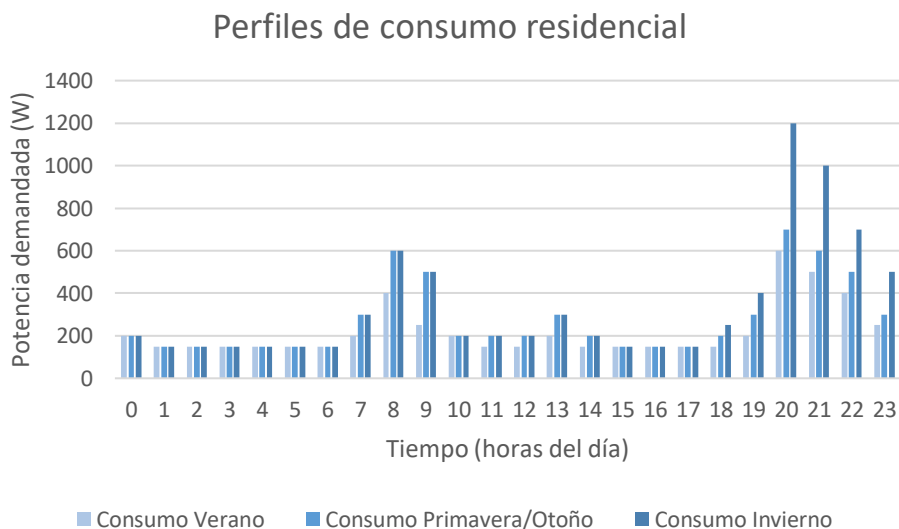


Figura 63. Perfiles de consumo residencial tipo. (Elaboración propia)

Se ha optado por un mayor consumo eléctrico en invierno y a horas nocturnas, coincidiendo con las horas a las que la familia recién regresa a la casa. Además, los consumos eléctricos de verano se han considerado más bajos, debido principalmente a las horas de sol y la menor estancia en las viviendas (sabiendo el contexto de espacios verdes de la Villa Olímpica).

4.3.2. Expectativas en la eficiencia energética

El consumo eléctrico de una sola vivienda puede significar una parte minúscula del consumo total del país, pero estas viviendas se encuentran conectadas entre sí, y se debe comprender el importante papel que tenemos en el ahorro energético y su impacto, también en nuestro uso diario en el hogar. La **eficiencia energética** fomenta seguir con el confort conseguido en las sociedades, o incluso mejorarlo, pero haciendo un mejor y consciente, uso de la energía necesaria.

La campaña “Usa bien la energía”, del Ministerio de Energía de Chile, recoge consejos o tips sobre en qué acciones podemos conseguir un menor consumo en la vivienda sin repercutir en la calidad de vida que esta aporta. Estos proyectos de sensibilización son muy necesarios, porque el mínimo ahorro a nivel residencial va a suponer un ahorro económico directo en la familia, pero enorme en el global del sector eléctrico nacional, con el efecto multiplicador adecuado de la medida en la mayoría de las viviendas del país.



Figura 64. Muestra de los tips de la campaña sobre Eficiencia energética. (Ministerio de Energía)

5. Análisis técnico-económico de la instalación fotovoltaica.

En este último capítulo de la investigación vamos a presentar y analizar los resultados obtenidos. Se comenzará con una revisión de resultados técnicos, relacionados con los flujos energéticos y posible gestión de estos. Estos se mostraran graficados en Figuras y en tablas.

Seguidamente, se hará balance económico de cuanto supone esto a los conjuntos residenciales y cuál es el impacto económico en el día a día y a lo largo de periodos anuales. También se presenta las opciones de financiación disponibles en la actualidad. Se termina el apartado económico mostrando el precio del kWh con el sistema fotovoltaico. Se finalizará con una recopilación de valores a destacar y la discusión de los resultados.

Estos enfoques técnico y económico van a ser aplicados para la infraestructura fotovoltaica hasta ahora vista y para los casos en que las viviendas de manera individual quisieran instalar y autogenerar su propia energía sin organizarse con su comunidad de vecinos y vecinas.

5.1. La infraestructura fotovoltaica. Enfoque técnico.

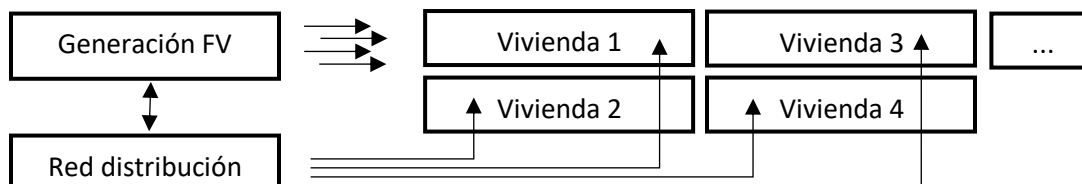
A continuación, se van a tratar aspectos como los flujos energéticos esperados o la gestión de estos, a escala administrativa. Esto será abordado junto con la comparación de los dos escenarios, el de instalación de propiedad colectiva o comunitario, o el caso de aprovechar el recurso solar de manera individualizada, por viviendas.

5.1.1. Los flujos energéticos y su gestión administrativa.

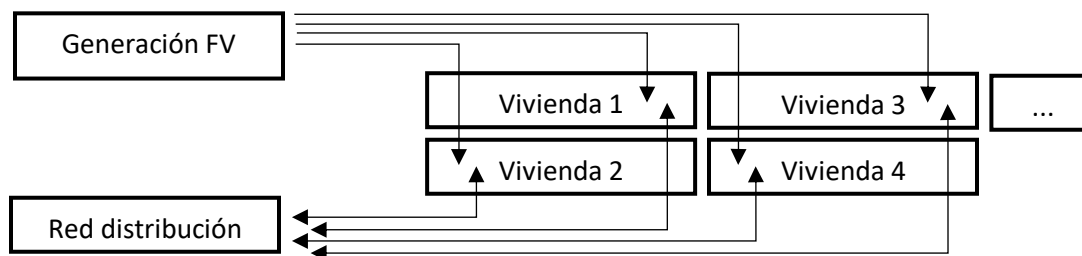
Independientemente del consenso y gestión administrativa de las instalaciones, como base a cualquier escenario, la corriente eléctrica generada por los sistemas de generación tiende a cubrir las demandas que más cerca están del punto de producción. Con esto, si los vecinos de las últimas alturas de bloque tienen un alto consumo, probablemente recibirán la mayoría de los “electrones” autoproducidos por la instalación fotovoltaica, mientras que los vecinos de las plantas bajas o más próximas a la conexión con la red común obtendrán su energía mayoritariamente de la red eléctrica de distribución, en caso de ser necesaria.

Es por este motivo que, para garantizar una **distribución justa** entre todos los propietarios/inversores de la infraestructura fotovoltaica, se podría acordar que la energía generada se divida a partes iguales entre sus copropietarios, siendo de esta forma el trámite de gestión puramente administrativo.

En el caso de una **instalación comunitaria**, la energía se entrega a todo el bloque de viviendas, con lo que solo se necesita contabilizar una generación global, la cual se dividiría a partes iguales entre los copropietarios de las viviendas, así cubrirían una porción (o la totalidad, en caso de consumir más eficientemente) de su boleta mensual de electricidad.



En el caso de **instalaciones individuales** por viviendas, cada usuario será responsable y beneficiario de su propia instalación. Esta micro-instalación estará conectada a la red interna de la vivienda, y deberá contar con una contabilización de la generación o inyecciones propia. En este caso, cada vivienda deberá contar con un medidor bidireccional propio, con el cual se les facturará el balance eléctrico mensual.



Vistos los escenarios, cada uno cuenta con unas virtudes, y en función de las posibilidades, se debería abordar la decisión de que escenario seguir.

5.1.2. Resultados y balances.

Una vivienda de las estudiadas accede a unos 9,6 m² de superficie promedio con radiación solar, obtenido a partir de datos promedio de las simulaciones, lo cual equivaldría a 1kWp de potencia fotovoltaica, que entrega alrededor del 115% de la energía, en kWh, que consume una de nuestras viviendas tipo estudiadas.

Tabla 2. Resultados energéticos comunitarios e individuales. (Elaboración propia)

	Sistemas fotovoltaicos comunitarios					Vivienda tipo
	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5	
Consumo	100.433,60	85.736,00	68.588,80	39.193,60	183.720,00	1.952,75
Generación	107.404,52	62.107,83	42.261,34	34.556,24	238.858,31	2.249,60
% kWh	107%	72%	62%	88%	130%	115%
Balance kWh	6.970,92	- 23.628,17	- 26.327,46	- 4.637,36	55.138,31	- 200,00

La siguiente Tabla 3 tiene una **particularidad** con respecto a la Vivienda tipo, pues los datos presentados son el promedio de los 5 edificios y cubiertas existentes, por tanto, no es ningún ejemplo en con datos reales.

Tabla 3. Información de cubiertas con acceso solar estudiadas. (Elaboración propia)

	Sistemas fotovoltaicos comunitarios					Vivienda tipo
	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5	
m2 cubierta	825	600	480	225	1650	756
m2 solares	460	266	181	148	1023	415,6
% FV	56%	44%	38%	66%	62%	55%

Por lo que respecta a información gráfica, a continuación, se presentan algunas Figuras con información diaria, mensual y anual de los distintos casos estudiados.

Consumo y generación días tipo. Edificio 1

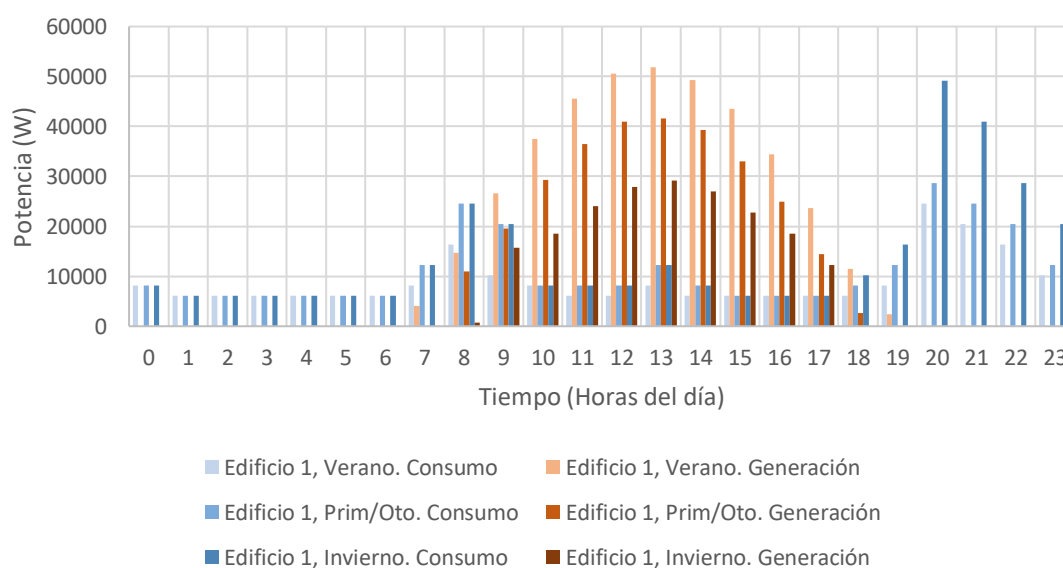


Figura 65. Evolución diaria del Edificio 1 por días tipo en función del periodo del año. (Elaboración propia)

La Figura 65 que muestra la evolución diaria de la producción fotovoltaica y el consumo de la vivienda, en función de la estación del año, para el caso del Edificio 1 produciendo de forma comunitaria.

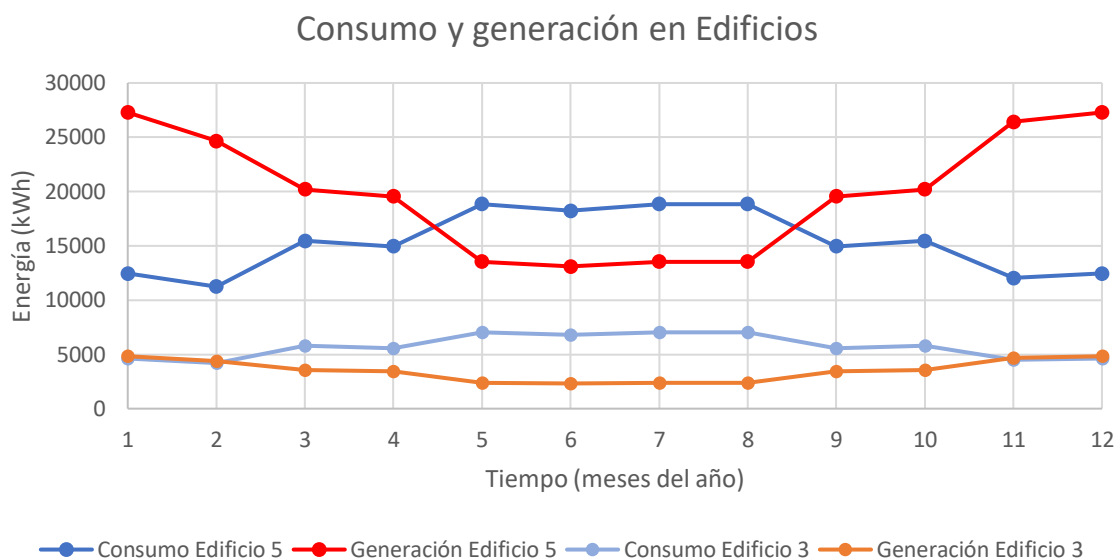


Figura 66. Resultado balances mensuales de Edificios. (Elaboración propia)

En la anterior Figura se han representado el Edificio 5, como el que mayor porcentaje de energía es capaz de autoproducir, y el Edificio 3, que representa el de menor porcentaje.

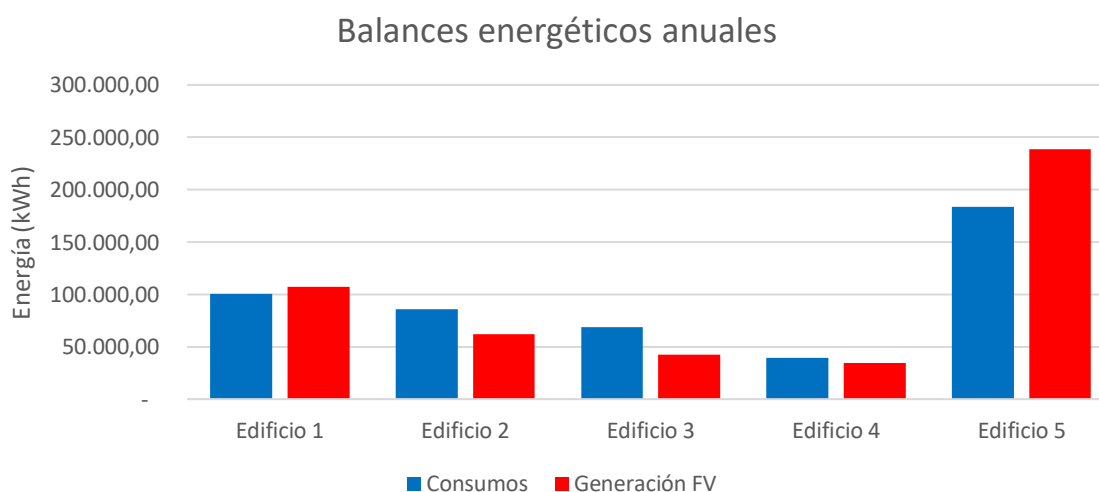


Figura 67. Balances de energía de las instalaciones comunitarias. (Elaboración propia)

La generación de la infraestructura fotovoltaica permitiría cubrir gran parte de los consumos de los conjuntos residenciales, o incluso, superarlo. Se puede observar cómo es un hecho que las construcciones de estudio presentan condiciones distintas para la captación solar en cubierta. ¿La sobreproducción del Edificio 5 y 1 podría aportarse para cubrir los consumos de los Edificios 2, 3 y 4, creando un balance energético en la misma Villa Olímpica?

En términos generales, la generación fotovoltaica se puede expresar en otras unidades para tener un orden de magnitud más cercano y comparable. Por ejemplo, la equivalencia de casas a las cuales esa energía podría abastecer energéticamente durante un año, teniendo en cuenta el promedio mensual en la Región Metropolitana es de 198kWh por vivienda, según la web de Energía Región, del Ministerio de Energía. Además, también se obtiene la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, conocidos como GEI, en toneladas de CO₂ equivalente. Otra unidad para expresar los beneficios de la instalación podría ser la equivalencia en árboles plantados.

	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
Viviendas/año	45,2	26,1	17,8	14,5	100,5
Red. CO2 eq.	36	21	14	12	80
Eq. árboles	843	488	332	271	1.876

Estos valores cobran la importancia que tienen cuando se conoce y se es consciente del contexto ambiental y climático que tiene la ciudad de Santiago de Chile, el país y el planeta en general.

5.2. La infraestructura fotovoltaica. Enfoque económico.

En este apartado se han seguido precios tipo obtenidos de boletas reales y estudios. Se han considerado precios de pago del kWh de energía de \$106 para el consumo de red y \$60 para el incentivo de la inyección FV. Además, para resultados de **inversión**, se han basado en el gráfico anteriormente presentado (Figura 37) en esta investigación.

Para el caso de instalación fotovoltaica individual por vivienda, que como se ha visto es un promedio de las infraestructuras FV estudiadas, se presentan los siguientes resultados de impacto económico en la vivienda:

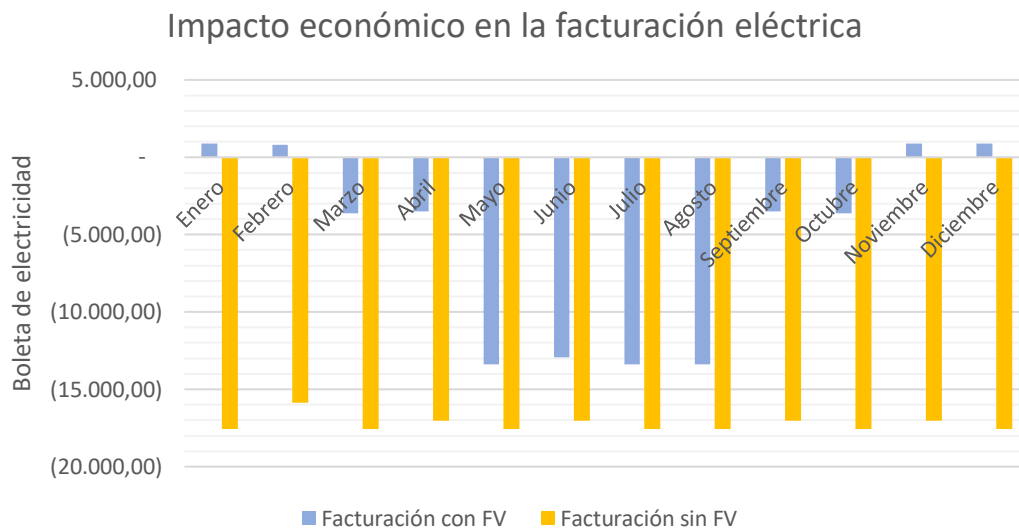


Figura 68. Impacto económico de la instalación fotovoltaica. (Elaboración propia)

Llegados a este punto, se ve lo que supone el Net Billing frente a lo que sería Net Metering. Se puede observar cómo afecta el hecho que no se pague por igual el kWh inyectado y el kWh consumido por el vecino o vecina. Mientras que los flujos energéticos de la infraestructura estudiada aportaban un autoabastecimiento casi completo, al traducirlo a pesos chileno, al *monetarizar*, se observa como existe un beneficio, pero no es tan generoso como podría imaginarse en un principio. El Net Metering permitiría hacer un balance anual que resultara casi negativo, pues el kWh inyectado y el kWh de red consumido tendrían el mismo valor en el mercado.

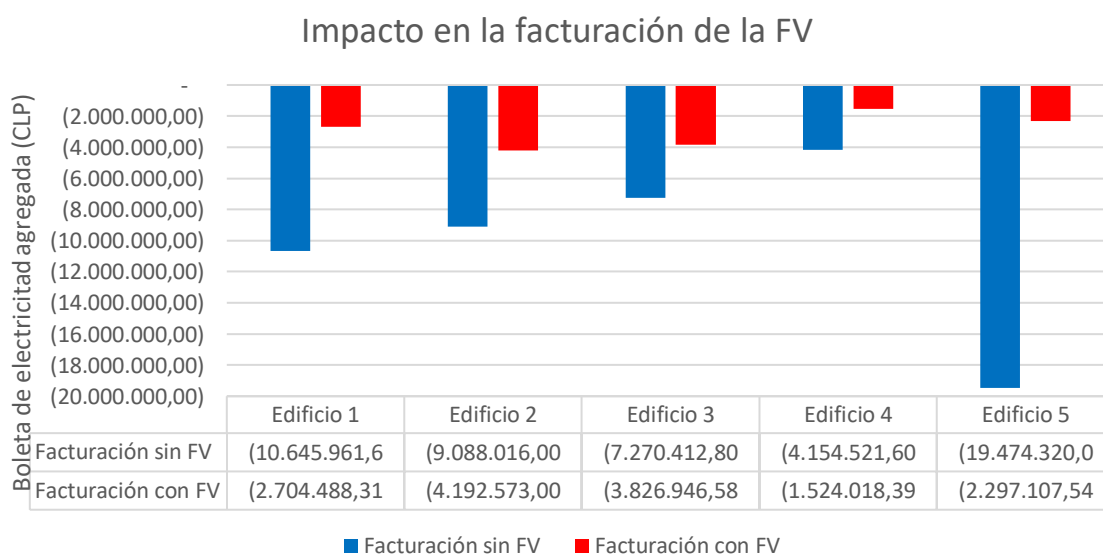
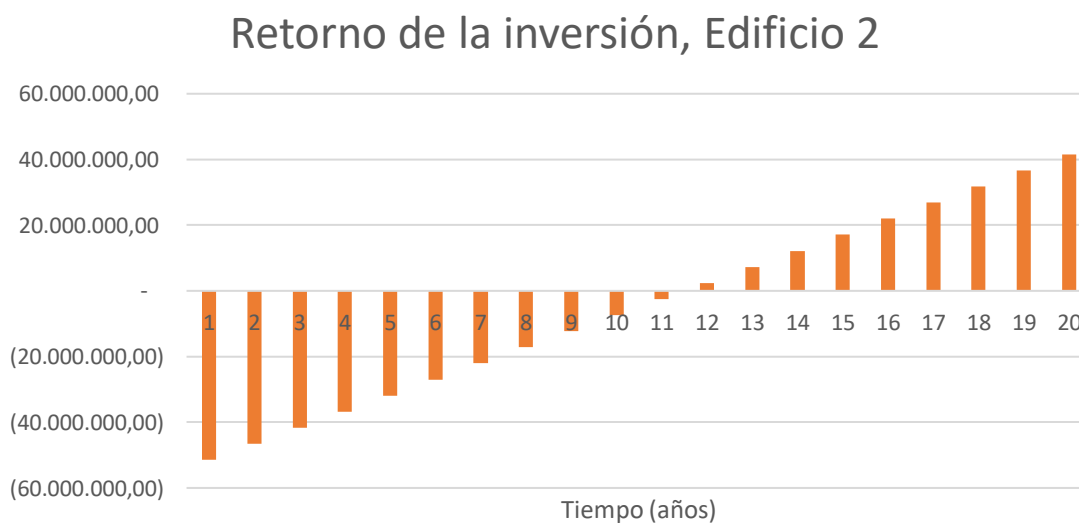
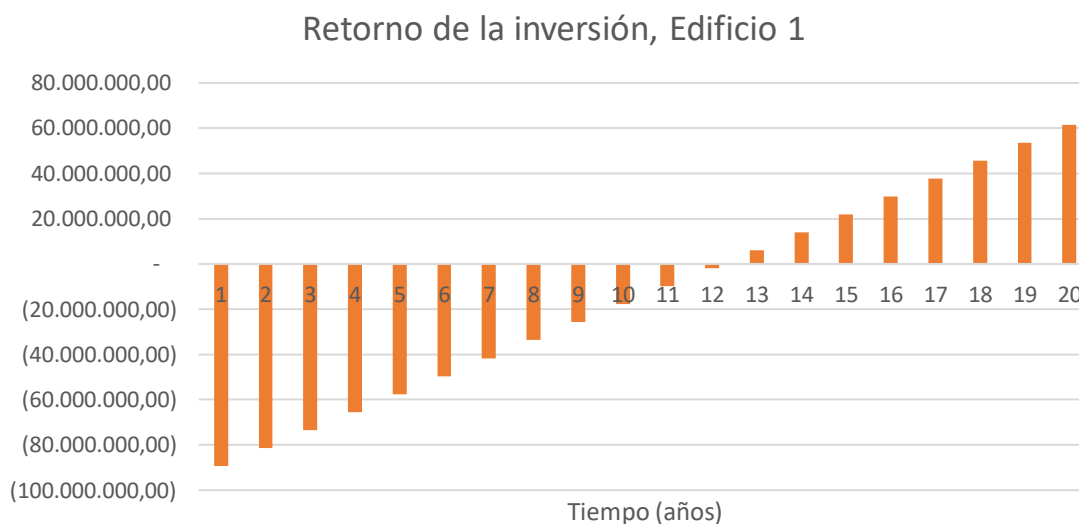


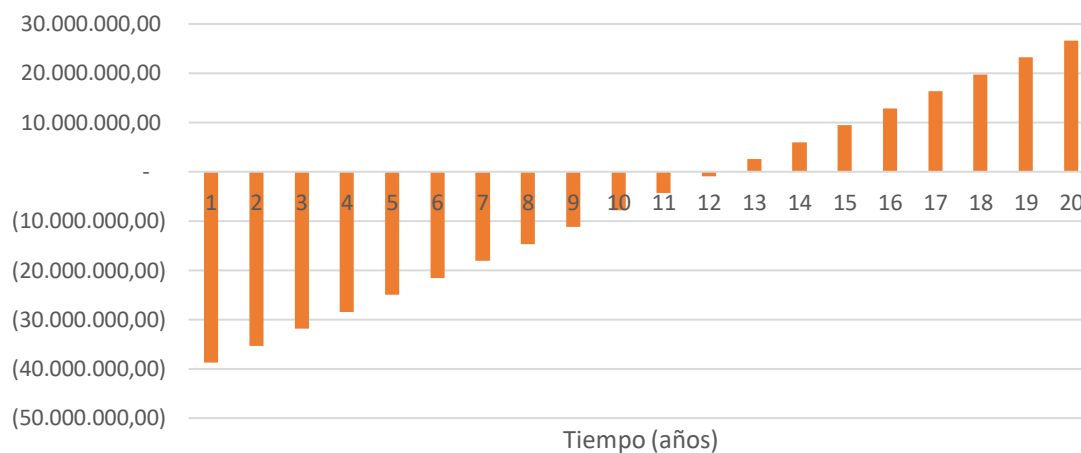
Figura 69. Impacto económico de las instalaciones FV. (Elaboración propia)

Respecto a las **inversiones** que deben hacerse, los sistemas fotovoltaicos aportan ahorros anuales en los consumos agregados de los edificios de entre 2.6 y 17.1 millones de pesos chilenos, lo cual supone del 50%-90% de los consumos eléctricos de los conjuntos habitacionales.

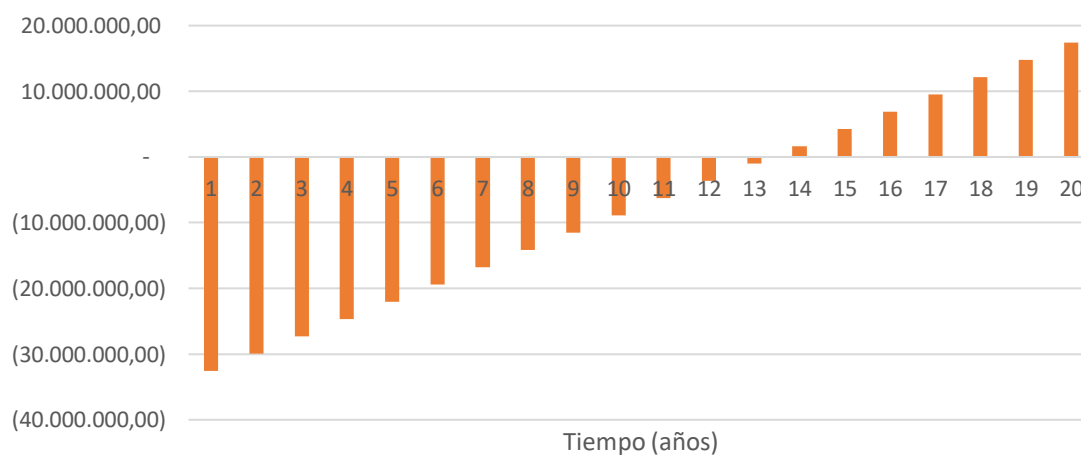
Sin considerar variación significativa en el precio de la electricidad, los ahorros generados se han considerado constantes a lo largo de los 20 años de vida útil (valor conservador). En la siguiente Figura 70 se muestran los flujos de caja acumulados de los 5 edificios estudiados.



Retorno de la inversión, Edificio 3



Retorno de la inversión, Edificio 4



Retorno de la inversión, Edificio 5

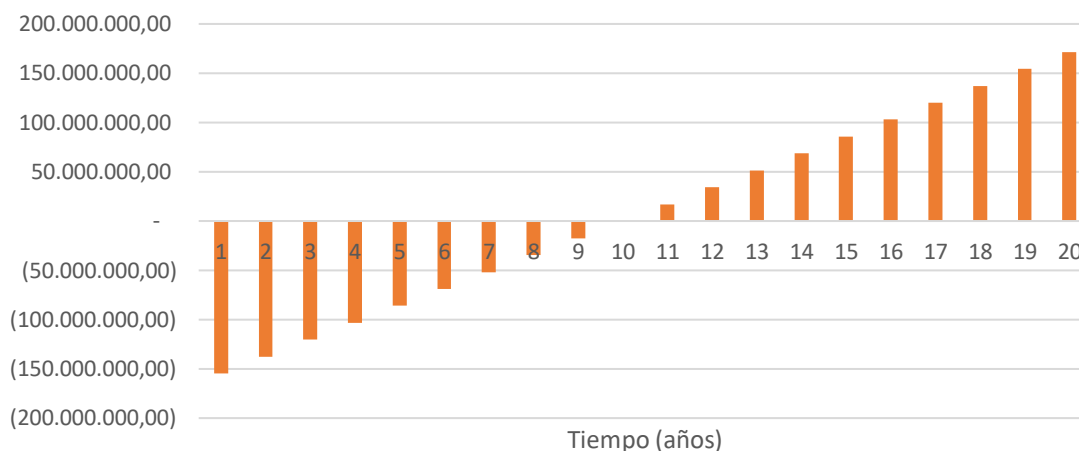


Figura 70. Flujos de caja acumulados de las inversiones en Edificios. (Elaboración propia)

Tabla 4. Valores de rentabilidad de las inversiones. (Elaboración propia)

	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
Inversión	89.300.000,00	51.450.000,00	38.760.000,00	32.595.000,00	154.800.000,00
VAN	90.231.897,08	56.744.470,66	39.112.873,42	28.947.786,75	207.128.256,10
TIR	9,5%	10,4%	9,5%	8,2%	12,6%

Viendo los resultados, se puede entender que estas no son inversiones con especial interés, si el objetivo es obtener una alta rentabilidad del dinero invertido. Estos valores son los obtenidos en particular para precios de mercado de equipamiento en Chile de 2016, según el Ministerio de Energía. Estos precios, como se ha comprobado internacionalmente, tienden a descender a medida que las ventas de este tipo de tecnologías crecen, por lo tanto, cabe esperar que con unos pocos años, quizá estos valores van a ser más interesantes para grandes inversionistas. En los cálculos del VAN se ha considerado un interés del 6%, equivalente al que ofrece la banca convencional a los inversores.

No obstante, el caso de investigación no prevé encontrar un negocio con alta rentabilidad, pues el verdadero potencial de esto es el efecto que tiene sobre la economía real de las familias, sobre todo al terminar el plazo de retorno de la inversión, donde verán anulado el costo mensual de su boleta de electricidad. Además, se tiene que tener en cuenta que, con un buen uso de las instalaciones, la capacitación y alfabetización energética de los usuarios de las viviendas va a suponer en sí mismo un logro.

Por lo que respecta a invertir de forma individual como vivienda, los valores obtenidos de retorno de inversión son los siguientes:

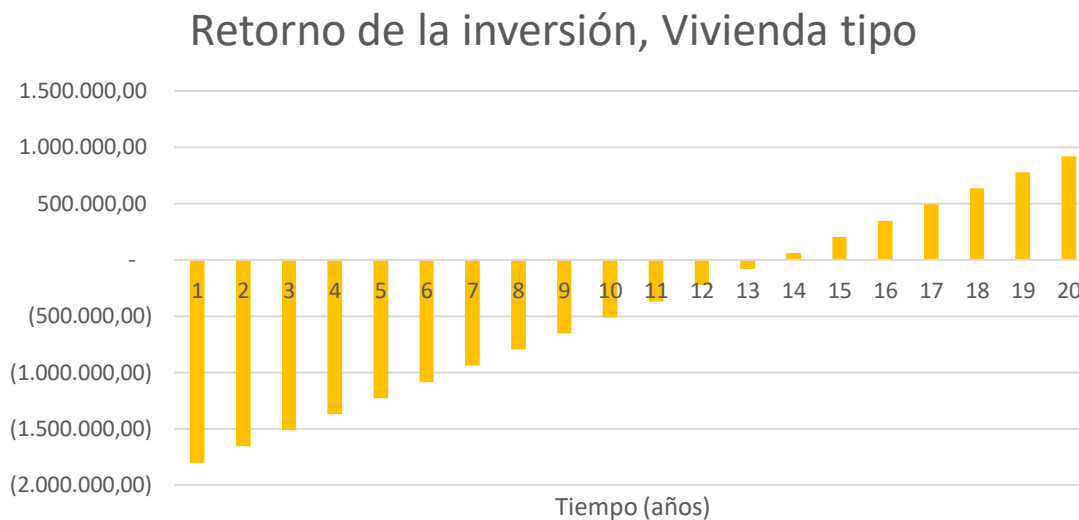


Figura 71. Flujo de caja acumulado de la inversión en vivienda. (Elaboración propia)

Tabla 5. Valores de rentabilidad de la inversión. (Elaboración propia)

Inversión	1.800.000,00
VAN	1.037.014,18
TIR	5%

Los datos anteriormente presentados son agregados, pues contemplan el valor total de inversión. Si los desglosáramos por viviendas, aceptando que van a participar en el proyecto, podríamos tener los resultados mostrados en la Tabla 6, los cuales presentan la inversión por vivienda en el primer año, y los flujos económicos que esta infraestructura energética les presenta.

Cabe destacar que, una vez hecha la inversión, **las familias van a ver reducidas su boleta de electricidad un 70%**, lo cual supone el ahorro que va contribuyendo a recuperar la inversión inicial.

Tabla 6. Flujos de caja acumulados por viviendas tipo de cada edificio estudiado. (Elaboración propia)

Años	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
1	-2.178.049	-1.470.000	-1.384.286	-2.037.188	-2.064.000
2	-1.984.354	-1.330.130	-35.316.534	-1.872.781	-1.834.971
3	-1.790.660	-1.190.260	-31.873.068	-1.708.375	-1.605.941
4	-1.596.965	-1.050.391	-28.429.601	-1.543.968	-1.376.912
5	-1.403.271	-910.521	-24.986.135	-1.379.562	-1.147.882
6	-1.209.576	-770.651	-21.542.669	-1.215.155	-918.853
7	-1.015.882	-630.781	-18.099.203	-1.050.749	-689.823
8	-822.187	-490.911	-14.655.736	-886.342	-460.794
9	-628.493	-351.042	-11.212.270	-721.936	-231.764
10	-434.799	-211.172	-7.768.804	-557.529	-2.735
11	-241.104	-71.302	-4.325.338	-393.123	226.295
12	-47.410	68.568	-881.872	-228.717	455.324
13	146.285	208.438	2.561.595	-64.310	684.354
14	339.979	348.307	6.005.061	100.096	913.383
15	533.674	488.177	9.448.527	264.503	1.142.413
16	727.368	628.047	12.891.993	428.909	1.371.442
17	921.063	767.917	16.335.460	593.316	1.600.472
18	1.114.757	907.787	19.778.926	757.722	1.829.501
19	1.308.452	1.047.656	23.222.392	922.129	2.058.531
20	1.502.146	1.187.526	26.665.858	1.086.535	2.287.560

La financiación de las instalaciones fotovoltaicas

	Fuente de Financiamiento	Beneficio económico	Rentabilidad Riesgo	Responsabilidad Preocupación
ESCO	ESCO o cliente en conjunto con ESCO, dependiendo del tipo de contrato.	ESCO según tipo de contrato ofrece resultados fijos al cliente.	ESCO asume riesgo financiero y técnicos ofreciendo al cliente una forma de beneficio económico.	ESCO es el responsable de los aspectos técnico, el cliente no debe preocuparse temas técnicos de la instalación.
CLIENTE	Cliente.	Resultados dependen de las condiciones mensuales de operación.	Cliente asume riesgos y obtiene rentabilidad directa de las instalación.	Cliente debe preocuparse de la instalación en conjunto con la empresa instaladora.

Figura 72. Guía solar FV Hogares. (Acesol, junio 2018)

Los dos modos más convenientes para los usuarios residenciales son los mostrados en la anterior figura, publicada por ACESOL, gremio de empresas de la energía solar en Chile.

Las empresas de servicios energéticos, ESCO, asumen las inversiones y entregan el servicio de proporcionar la energía del recurso renovable durante el periodo de años que se haya contratado. El usuario que contrate estos servicios no asume ninguna inversión ni riesgo, y solo se preocupa de poder hacer frente al pago de la energía, como hasta ahora había hecho con la distribuidora, pues ahora se le va a pagar a esta empresa ESCO por la energía durante el periodo de contrato. Una vez terminado el *leasing* firmado, la tecnología fotovoltaica pasará a ser propiedad del usuario, y beneficiándose de toda la energía que produce el sistema sin costo.

La otra vía de financiación contemplada sería asumir por el usuario el costo inicial completo. Esta opción estaría, por tanto, orientada a aquellas personas con suficiente poder adquisitivo y que cuenten con ahorros.

Otra opción, que aún no se encuentra en operación, es los programas de Banco Estado, los cuales ya existen para empresas que pretendan convertirse en productoras de su energía, y a lo largo de 2018 lanzaran la versión para particulares y familias chilenas, según anunciaron en el **Proyecto Energía 2018** organizado por Acesol, gremio de empresas del sector solar en Chile.

5.2.1. Un valor clave, el precio del kWh

De todas formas, el valor que en esta investigación nos interesa resaltar es el valor del kWh de energía que la infraestructura fotovoltaica aporta a lo largo de toda su vida útil, y por tanto el porcentaje de ahorro que supone frente al pago de esta energía de la red eléctrica común. Se ha supuesto en este caso un precio de red estable a \$106, mientras que se ha optado por un periodo de vida útil de las instalaciones de 20 años, lo cual es conservador, pues existen garantías de 25-30 años. Con todo, a continuación, se muestran los resultados.

Tabla 7. Información sobre el valor monetario del kWh FV. (Elaboración propia)

	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
Precio red (%/kWh)	106	106	106	106	106
Vida Útil	20	20	20	20	20
MWh anual	107,40	62,11	42,26	34,56	238,86
MWh Vida Útil	2.148,09	1.242,16	845,23	691,12	4.777,17
Precio FV (\$/kWh)	41,57	41,42	45,86	47,16	32,40
% ahorro directo	60,8%	60,9%	56,7%	55,5%	69,4%

5.3. Recopilación y discusión de resultados

La cantidad de información a analizar es importante, y cada caso de estudio presenta características distintas. Con una intención de evaluar como conjunto, se recopilan variables y resultados anteriormente presentados para, seguidamente, evaluar y discutir su importancia.

Se rescataron, respecto a valores de la infraestructura fotovoltaica diseñada, la cantidad de paneles fotovoltaicos instalados y el porcentaje de cubierta que estos ocupan. Como dato que estos sistemas aportan, se reúnen la energía anual producida, presentada en MWh (=1.000 kWh), y el precio de cada kWh fotovoltaico considerando 20 años de generación solar. Para finalizar, la quinta variable recopilada para la discusión es el porcentaje de ahorro económico que esta instalación ofrece a los usuarios de los edificios.

Tabla 8. Valores resumen del enfoque multivariable. (Elaboración propia)

	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3	Edificio 4	Edificio 5
N.º paneles	238	134	95	77	538
% cubierta	55,76%	44,33%	37,71%	65,78%	62,00%
Energía anual (MWh)	107,40	62,11	42,26	34,56	238,86
Precio kWh FV (\$ chileno)	41,57	41,42	45,86	47,16	32,40
% ahorro	75%	54%	47%	63%	88%

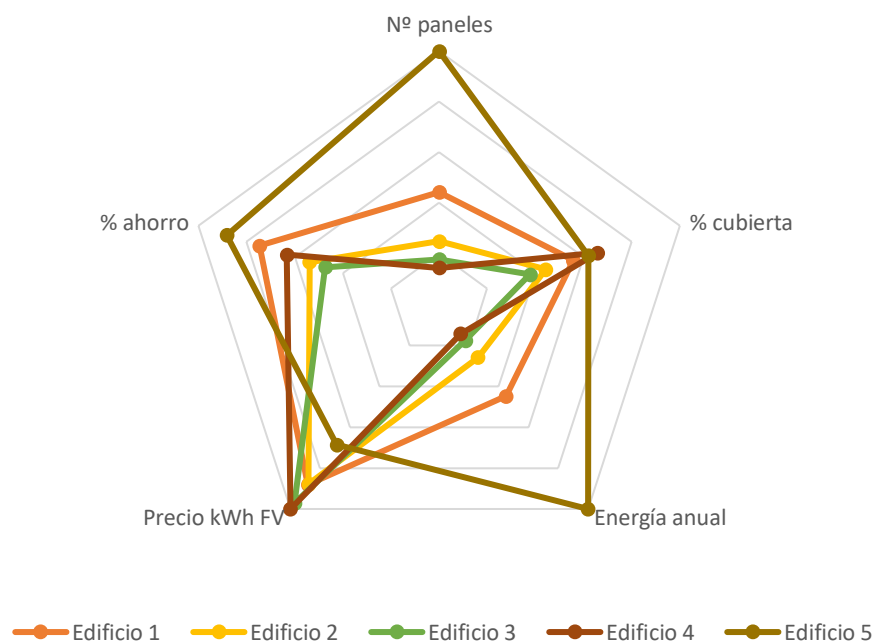


Figura 73. Enfoque multivariable de los Edificios estudiados. (Elaboración propia)

Se pueden hacer muchas observaciones de los datos presentados, además que quizá sea interesante presentar los datos en otros formatos y/o complementar con otra información. Visto esto, para el estudiante cabe destacar los siguientes aspectos:

- La infraestructura fotovoltaica comunitaria estudiada aporta menores años de retorno de la inversión si se compara con el caso individual. Esta variable tiende a ser la perseguida por los economistas, al entender del estudiante, junto con otras de rentabilidad anual como el VAN y el TIR, también presentadas. Se pueden considerar rentables económicamente, pues tan solo el Edificio 4 presenta un VAN inferior a la inversión inicial. (El Valor Actualizado Neto entrega información de cuál será el balance de flujos monetarios durante los años de operación de la instalación, 20 años. Si el VAN supera el coste de inversión inicial, se considera económicamente viable la inversión.)
- Las infraestructuras, comunitarias o individuales, son viables técnica y económicamente. En todos los casos ofrecen un precio de energía que, como mínimo, es la mitad que el precio de red de distribución.
- No obstante, quizá sea necesario agentes financiadores para realmente hacer accesible esta tecnología a la población chilena en estas primeras etapas del sector de autoconsumo. El problema se presenta cuando se recuerda la alta tasa de endeudamiento de las familias chilenas en general, que se vio en el apartado Situación socioeconómica de las familias en Chile.
- Se prefiere, dentro del enfoque económico, el precio del kWh de energía FV frente a los modos de inversión y años de retorno de la inversión. Ser propietario de la energía y que esta se obtenga de forma sustentable y comunitaria es mucho más importante que los flujos anuales de dinero, mientras sea viable el proyecto. Esta es la esencia de los proyectos *Community Power* estudiados como antecedentes, los cuales fomentan una participación social junto a la transición energética que se vive con las energías renovables.
- Se observa que, para obtener menor precio de la energía, y su menor retorno de inversión en años, se necesita gran cantidad de paneles y superficie solar, con su asociada elevada inversión.
- Las superficies inclinadas a Norte-Sur presentan mejores resultados, en cuanto a distribución en serie de paneles, que las Este-Oeste, que tienen a asociar menor número de paneles en cada fila. Por tanto, cabría identificar y seleccionar mayor acceso solar en cubiertas inclinadas al norte, con mayor potencial de generación de energía eléctrica. De todas formas, mediante un estudio de sensibilidad se podría estudiar el efecto específico de cada cubierta, lo cual no ha sido posible desarrollar en esta investigación.
- Los grandes elementos, como son en algunos casos de estudio los depósitos de agua, arrojan grandes sombras y limitan mucho el acceso solar. En caso de no ser necesarios o reemplazables, interesaría evaluar su eliminación.
- Para un valor de inversión más exacto, sería recomendable obtener o realizar un estudio de mercado actualizado.

Los cálculos presentados se basan en datos de diferentes fuentes. Lo que respecta al Retorno de la Inversión en Infraestructuras Fotovoltaicas cabe destacar que los últimos datos disponibles y, por tanto, los que se han utilizado para esta investigación, son de 2016, del propio Ministerio de Energía. Además, estos han sido comparados con estudios del sector presentados por distintos organismos chilenos y son acordes entre ellos, como es el caso del “Energía fotovoltaica de autoconsumo” del BID, Banco Interamericano de Desarrollo.

Conclusiones.

Los sistemas fotovoltaicos comunitarios son más sencillos y eficientes técnicamente, además de fomentar un modelo de generación equitativo en el que todos los vecinos tienen acceso a la tecnología y sus beneficios. Desde el punto de vista económico, un sistema comunitario se amortiza en un menor periodo de tiempo, por lo tanto, también se considera recomendable.

La comunidad de vecinos y vecinas de la Villa Olímpica de Ñuñoa cuentan con unas viviendas y urbanización que tienen en cuenta la escala humana y unas relaciones sociales fuertes. En temas energéticos, además, tienen la capacidad de producir su propia energía de manera viable económica y técnicamente, con lo cual, tan solo es una cuestión de voluntad el hecho de hacer uso de este potencial.

De los dos tipos de instalación presentados, el modelo comunitario y el modelo individual, se aprovecha el estudio para incidir en la importancia del proceso de combinar el poder de distribución de las energías renovables con la colectivización de su generación por parte de sus propios usuarios, lo cual tiene innumerables beneficios para las sociedades actuales.

La democratización de la energía, que esta vuelva a las manos de sus usuarios, los cuales van a poder tener el control de ella, es un proceso que se presenta junto con las energías renovables distribuidas. No contaminan, permiten cubrir una porción importante de la energía que hoy en día se necesita (aún con consumos ineficientes), y se encuentran a precio competitivo real. Esta escala humana no ha estado hasta ahora posible, pues el sector eléctrico, dentro del ámbito energético, ha sido convencionalmente un sistema en el que los usuarios han sido meros clientes con pocos recursos para hacer frente a todo lo que suponía la generación.

El sistema chileno de Net Billing (Facturación neta), **que nació como Ley en 2012 como Net Metering (Medición neta) y se transformó con el Reglamento de 2014**, se considera injusto socialmente. Se pone la energía en manos de la población empoderada, no obstante, se le aporta un beneficio por su energía inyectada inferior al valor que terceros, en este caso la empresa distribuidora, va a poder obtener en la venta de esa misma energía. La empresa distribuidora no hace ningún sacrificio y en cambio recibe una porción económica por una energía en la que no ha tenido nada que ver en su generación. Este modelo de retribución que aporta precio distinto al kWh consumido que al inyectado solo hace que mantener el beneficio en manos de la empresa distribuidora, la cual tiende a ser la que está en posición más favorable en la negociación por este bien que es la electricidad.

Económicamente, el sector de la energía fotovoltaica para autoconsumo en Chile no cuenta con el mismo grado de desarrollo que la fotovoltaica a gran escala, el cual se considera un mercado maduro. No obstante, este resulta rentable y en una sociedad liberal económicamente como la chilena se debería garantizar que este avance tecnológico permita un avance social en cuanto al acceso a la tecnología mediante la financiación.

Los niveles de endeudamiento son altos en las familias chilenas, por tanto, para acceder a sistemas fotovoltaicos distribuidos, las familias con menos recursos necesitarían sistemas de financiación que no abusen de los usuarios. Soluciones residenciales a esta barrera económica existen pocas hoy en día, por tanto, sería interesante que los gobiernos locales, como las instituciones más cercanas al ciudadano, ofrecieran estos mecanismos de financiación a los más vulnerables económicamente.

Se ha optado por dimensionar la instalación a la máxima superficie disponible en cubierta, lo cual está próximo, en los casos de estudio, de los consumos energéticos. No obstante, estos consumos energéticos pueden ser ineficientes y con un estudio detallado o auditoría energética se suele obtener un diagnóstico para hacer reducciones importantes en los consumos de las viviendas. Es por ello por lo que, habiendo dimensionado siguiendo el indicador del consumo actual, se ha **sobredimensionado** la instalación fotovoltaica, con vistas a un futuro con presencia de la **eficiencia energética** y un buen uso de la energía. La alfabetización energética es el principal reto del sector.

Futuras líneas de investigación

La **eficiencia energética** presenta desafíos tanto en el sector residencial como en el industrial o público. Como se citó en la presente investigación, las inversiones en este campo son las primeras, pues permiten un mejor dimensionamiento de las necesidades energéticas reales de las demandas. Chile prevé en los próximos meses desarrollar políticas enfocadas a la eficiencia energética en todos los ámbitos, y así conseguir desacoplar la curva de crecimiento económico del país con la de energía primaria consumida.

El sector de la **distribución eléctrica** es otro ámbito en el cual se pretende reformar el sistema actual de Chile para así poder asegurar una correcta penetración de generación renovable de pequeña y mediana escala y deslocalizados por todo el territorio. Este reto contiene complejidades técnicas que podrían ser estudiadas de sistemas eléctricos de países de la OCDE u otros, y se conseguiría innovar a nivel mundial si se consiguiera combinar todas las ideas que se mencionan en el apartado Política energética a largo plazo.

Espacio de autocrítica.

Las ciudades, en cuanto a producción de Agua Caliente Sanitaria, están ligadas al gas. La solución (franquiada) de captadores solares térmicos en Chile es recomendable y necesaria. En el estudio no se ha tenido en cuenta esta superficie para ACS y solar térmica, pues se maximizaba el potencial solar eléctrico.

Además, con una visión más general, los consumos energéticos se ha visto que son mayores en otros sectores de la sociedad. El avance a renovables del consumo eléctrico residencial es solo un paso hacia la descarbonización de las economías. Se presenta un gran reto en los próximos años en relación con el transporte eléctrico y/o el uso de baterías para almacenamiento eléctrico en domicilios, por ejemplo.

Se insiste, el sector eléctrico residencial no es el principal consumo de la población chilena, pues las necesidades más fundamentales o básicas, energéticamente hablando, se encuentran en garantizar el acceso a energía que permita un confort térmico, por ejemplo, en los hogares del país, de forma saludable con sus habitantes y sostenible con el entorno.

Es necesario desplegar soluciones que empoderen a la ciudadanía en todos los sectores, y se necesita capacidad para coordinar la adecuada combinación de todas las posibles soluciones técnica y económicamente viables disponibles en el campo de la energía y la sustentabilidad.

6. Anexos y bibliografía

6.1. Anexos

6.1.1. Cálculos de sombras

Los modelos simulados se presentan acotados a continuación. Estos se podrían considerar equivalentes en una primera aproximación a los cálculos realizados de potencial solar. En los 5 casos de estudio se ha garantizado el acceso solar directo (sin sombras) de toda la infraestructura al menos durante 4,5 horas el día más desfavorable de diseño, el 21 de julio, cuando el sol se encuentra más bajo.

Ventilación y depósitos acotados

Se han simulado distintas plantas de conductos de ventilación con igual altura respecto a la cubierta metálica de 6% de pendiente. A continuación, un ejemplo que se pueden consultar en los documentos adjuntos a la investigación, elaborados en Revit.

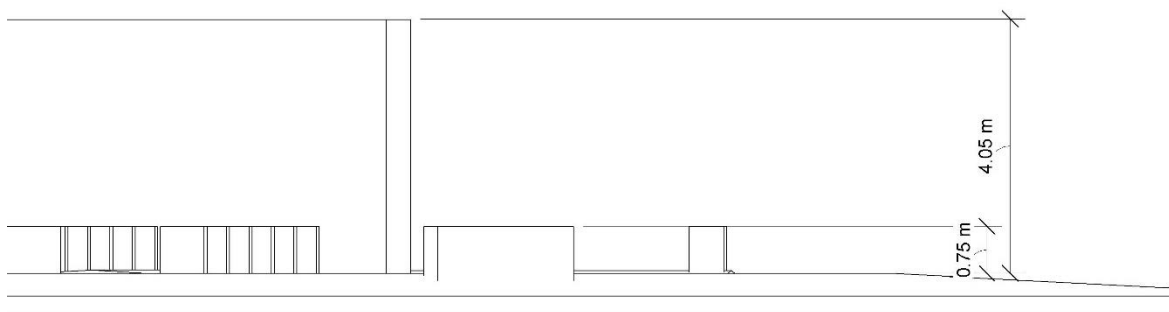


Figura 74. Cota de las alturas de conductos y depósitos en cubiertas. (Elaboración propia)

Superposición de sombras

Se presenta información elaborada para comparar los resultados del *Insight* de Revit. Esta muestra las proyecciones de sombra en el día de diseño. Se han superpuesto 3 imágenes de las sombras proyectadas sobre cubierta en 3 horas distintas del día. En la Figura 75, el caso del Edificio 5 y Edificio 2.

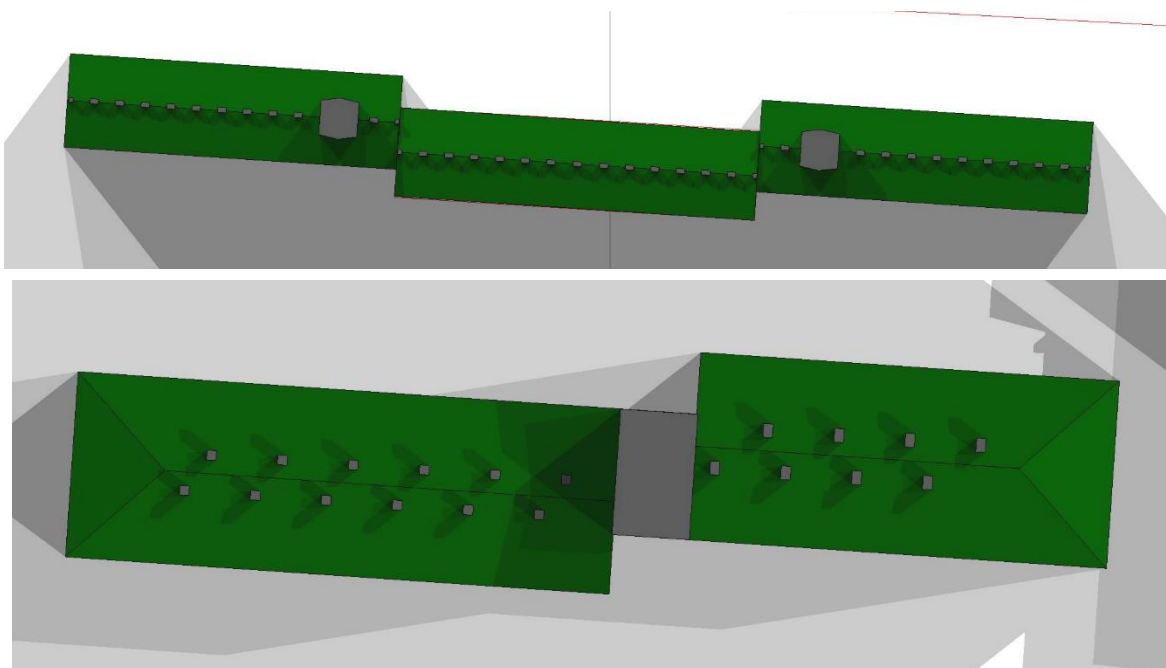


Figura 75. Vista con sombras superpuestas de las cubiertas en el día de diseño. (Elaboración propia)

6.1.2. Distribución de los paneles fotovoltaicos por cubierta

Se ha considerado la instalación mediante estructuras que permiten colocar los paneles en vertical y en una única fila. Si se consiguieran otras estructuras disponibles, deberían considerarse otras configuraciones en la distribución espacial de los paneles fotovoltaicos.

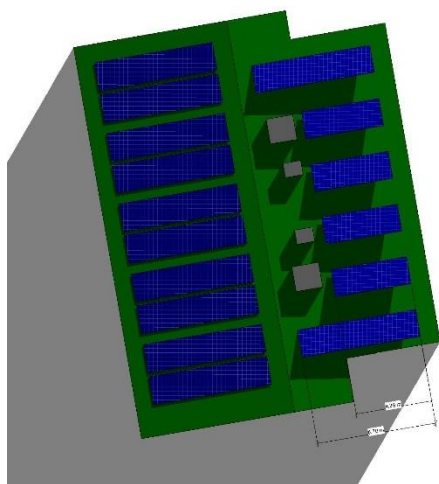


Figura 76. Edificio 4 con fotovoltaica coplanar en cubierta oeste. (Elaboración propia)

En la Figura 76 del proceso de investigación y diseño de las plantas fotovoltaicas, se consideró el estudio de los paneles fotovoltaicos de forma paralela a cubierta, coplanar.

Este material se puede consultar en los documentos adjuntos a este trabajo de investigación y se podrán editar en el documento de Revit.

6.2. Bibliografía

- BID – Energía Fotovoltaica para el autoconsumo, 2015
- Bloomberg, estudio de las células fotovoltaicas, 2015. <https://www.bloomberg.com/>
- CNE Anuario 2016, <https://www.cne.cl/>
- Cárdenas Jirón, Luz Alicia y Uribe Araya, Paula - Acceso solar a las edificaciones: el eslabón pendiente de la normativa urbanística chilena sobre la actividad proyectual. (2012)
- Community Power UE, <http://www.communitypower.eu/es>
- Coordinador Eléctrico Nacional, www.coordinador.cl
- Chile renovable 2008-2025, Universidad de Chile y Universidad Técnica Federico Santa María, 2008.
- Cámara Chilena de la Construcción – Informe de usos finales de la energía en el sector residencial, 2010.
- ESI – INE, Encuesta Suplementaria de Ingresos, 2016. <http://www.ine.cl/estadisticas/ingresos-y-gastos/esi>
- Energía 2050, Ministerio de Energía, 2015
- Felipe Andrés Ordenes Odi – Análisis técnico, económico y legal de la implementación del sistema net metering en Chile: Aplicación en 2 viviendas de la Región Metropolitana. (2012)
- Martínez, Irene – Verticalización y desarrollo inmobiliario del núcleo urbano central de Santa Fe, 2015. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-36552015000100004
- Matus Correa, Patricia Isabel - 2009, <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116518>
- Messenger, R. A., Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press 2017
- ONU Medio Ambiente, Fuente: <https://resourceefficiencities.org/> Unidad de Ciudades Eficientes
- Opazo Albarrán, Dustyn 2011. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100385>
- Pértile, Viviana – La verticalización urbana en la ciudad de Resistencia, en el segundo decenio del siglo XXI, 2014. http://ciottig.estudiomanta.com/trabajos/M%C3%A9todos%20y%20T%C3%A9cnicas/32_Pertile_Geraldi_Ramirez.pdf
- Rodríguez Jaque, 2011, Chile paraíso energético, depende de energías foráneas contaminantes. Documento de trabajo. Departamento Ingeniería Civil Universidad de Chile.
- REN21, *Global Status Report Renewables* 2014. <http://www.ren21.net/>
- Ruta energética 2018-2022, Ministerio de Energía, 2018

-Stefan Pribnow Manríquez - Análisis técnico-económico para la implementación de microredes eléctricas en Chile. (2013)

-Troncoso, Nadia – Metodología para la evaluación de un conjunto habitacional bajo DS255, 2007.

-Universidad del Bío-Bío - Potencial solar en la arquitectura y la ciudad, ISBN: 978-956-9275-45-6, Proyecto CON*FIN (<http://ubiobio.cl/confin>)

-Vergara, J. Eduardo – Verticalización. La edificación en altura en la RM de Santiago (1990-2014), 2017. http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/1095/index_split_001.html

6.2.1. Fuentes de información.

CNE. www.cne.cl

Coordinador. www.coordinador.cl

INE. <http://www.ine.cl/>

REN21. <http://www.ren21.net/>

Energía 2050 (PELP)

Comuna Energética. <http://www.minenergia.cl/comunaenergetica/>

SEC – Generación Ciudadana.

http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL

Techos Solares. <http://www.minenergia.cl/techossolares/>

Explorador Solar. <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

Energía Región. <http://energiaregion.cl/>

Sunny Design Web. www.sunnydesignweb.com

Orientador Fotovoltaico Enel. <http://www.enel-digital.cl/orientador-fotovoltaico/>

