

2019-01

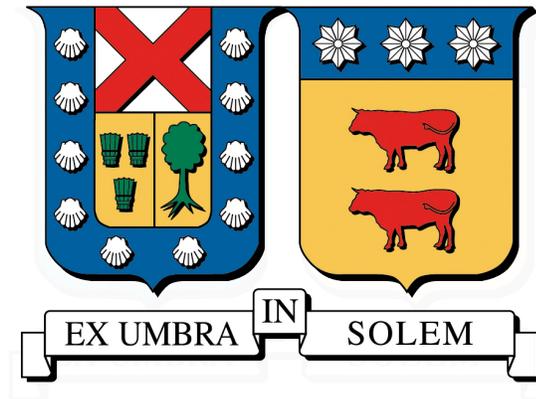
PROPUESTA DE ORDENANZA MUNICIPAL PARA FUTUROS EDIFICIOS DE OFICINA EN LA COMUNA DE PROVIDENCIA

HONIGSBERG ORTEGA, LUCÍA

<https://hdl.handle.net/11673/46400>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE



PROPUESTA DE ORDENANZA MUNICIPAL PARA FUTUROS
EDIFICIOS DE OFICINA EN LA COMUNA DE PROVIDENCIA

LUCIA HONIGSBERG ORTEGA

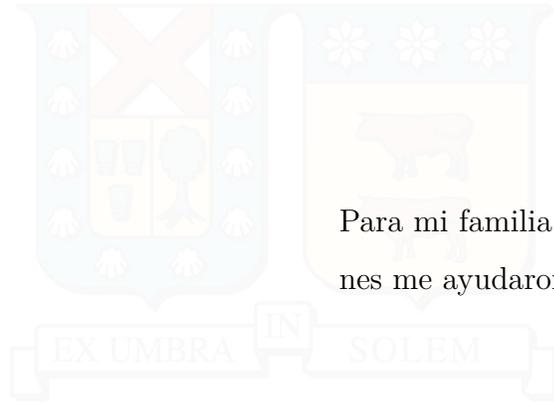
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: SR. FRANCISCO DALL'ORSO LEÓN
PROFESOR CORREFERENTE: SRA. MARÍA PILAR GÁRATE CH.

SANTIAGO

ENERO 2019

Dedicatoria



Para mi familia, amigos y todos quienes me ayudaron y apoyaron.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi mamá y papá, por apoyarme y por estar para mí siempre. Gracias por acompañarme en todos los momentos importantes de mi vida, por guiarme, tranquilizarme, motivarme, aconsejarme y ayudarme a lograr mis metas, a crecer, buscando siempre lo mejor para mí en todo aspecto. También agradecer a Seba, mi hermano, que siempre me sube el ánimo en mis momentos de estrés, siendo un gran hermano y amigo.

Gracias a toda mi familia, los que están en Chile y en Uruguay, que siempre me han apoyado. A Carmen que siempre está ahí y a Mucky por la compañía.

Gracias a Feño, que estuvo junto a mí toda la carrera, siendo un pilar muy importante tanto en lo académico como en lo personal, por estar en mis mejores y peores momentos, por hacerme feliz y ayudarme a superar todas mis crisis. A mis amigas, Fran y Javi, que fueron de lo mejor que me pasó en la carrera, gracias por los 6 años de risas, los días y noches de estudio, consejos y buenos ratos. Por otro lado, quiero agradecer a mis amigas de la vida, Domi y Anto, por acompañarme siempre y verme crecer junto a ellas.

También agradecer a mi profe guía, Francisco Dall'Orso, por acompañarme en esta etapa, ayudándome con paciencia durante todo este proceso y elaboración de la memoria. Además, reconocer a todos aquellos que conocí durante mi pasada por la universidad, ya sea profesores, funcionarios, compañeros y amigos.

Por último, quiero recordar a todos con quien trabaje en la Revista VTR3 y a todo el equipo del Preuniversitario Educa+. Estos son dos proyectos que aprecio mucho y que son gran parte de mi aprendizaje en la universidad, y agradezco a todos los que me acompañaron y ayudaron a desarrollar esta otra parte de mí.

Resumen Ejecutivo

La Estrategia Energética Local de la comuna de Providencia busca fomentar e incluir un desarrollo sustentable de la comuna y un uso más eficiente de la energía. Siendo el sector de edificios uno de los mayores consumidores de energía, se nota la necesidad de una construcción más eficiente. Sin embargo, las edificaciones en Providencia se rigen por la Ordenanza Local y la reglamentación térmica de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, las cuales no han sido modificadas desde el año 2007. Por lo tanto, se estudian distintas mejoras a realizar en la ordenanza para los futuros edificios de oficinas de la comuna.

Se realizó un benchmarking entre Francia, Alemania, Japón y California, Estados Unidos. A partir de esto, se propone una nueva reglamentación térmica para los edificios de oficina, aumentando los requerimientos de transmitancia de los muros y ventanas actuales, además de exigir la implementación de un aislante en los muros exteriores y contar con iluminación LED. Por otro lado, se requiere la implementación de paneles fotovoltaicos u otro sistema de ERNC. Por último, el edificio deberá contar con una calificación energética que demuestre la demanda de energía para calefacción y refrigeración, la cual será requerida para la venta o arriendo del edificio o una parte de él.

Para llevar a cabo esta propuesta, es necesario en primer lugar, que se elabore un sistema de calificación energética a nivel nacional, para esto se utiliza como base el sistema de calificación CEV. Luego, se realiza una difusión en toda la comuna de la nueva propuesta. Por último, se requiere que exista una actualización de la ordenanza al menos cada 5 años.

Para evaluar la propuesta, se compara un edificio actual con uno similar pero que contenga las exigencias de la propuesta, llegando a la conclusión que la construcción del edificio aumenta su costo en un 9,48%, mientras que se alcanza un ahorro energético del 53% en calefacción y refrigeración, además de un 20% en iluminación.

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Problema de investigación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	6
4.1. Energía en el Mundo	6
4.2. Cambio Climático	10
4.3. Eficiencia Energética	12
4.4. Energía en Chile	13
4.5. Energía en Providencia	21
4.6. Energía en edificios	27
4.6.1. Sistemas Pasivos	27
4.6.2. Sistemas Activos	30
4.6.2.1. Energía Solar	30
4.6.2.2. Geotermia	31
4.6.2.3. Cogeneración	31
4.7. Plan Regulador de Providencia	32
4.7.1. Clases de construcciones	32
4.7.2. Acondicionamiento térmico	33
4.7.2.1. Techumbre, muros y pisos ventilados	33
4.7.2.2. Ventanas	36
4.7.3. Ascensores	38
5. Metodología	39
5.1. Benchmarking	39
5.2. Paneles Fotovoltaicos	40
5.3. Energía	41
5.4. Capacitación Certificación Energética	41
5.5. Costos	41
5.5.1. Construcción	41
5.5.2. Difusión	42

5.5.3. Calificación Energética	42
6. Antecedentes	44
6.1. Análisis Internacional	44
6.1.1. Francia	44
6.1.2. Alemania	47
6.1.3. Estados Unidos	49
6.1.4. Japón	52
6.1.5. Benchmarking	54
7. Línea Base	57
8. Propuestas	60
8.1. Diseño Pasivo	61
8.2. Diseño Activo	62
8.3. Implementación	62
8.4. Certificación	63
8.5. Costos	64
8.5.1. Difusión	64
8.5.2. Calificación Energética de Edificios	65
8.5.2.1. Capacitaciones	67
9. Evaluación de Propuesta	68
9.1. Energías Renovables	68
9.2. Ahorro Energético	69
9.3. Costos	71
10. Análisis FODA de Propuesta	73
11. Conclusiones y recomendaciones	76
Bibliografía	79
12. Anexos	91
A. Paneles Fotovoltaicos	92
B. Ahorro Energético: Herramienta CEV	93
B.1. Planilla Excel Línea Base	93
B.2. Planilla Excel Propuesta	95
C. Costos totales	98
C.1. Dimensiones	98
C.2. Iluminación	99
C.3. Costos	101

Índice de Tablas

4.1. Suministro total de energía primaria en el mundo el año 2015.	6
4.2. Consumo total final de energía en el mundo por sector el año 2015.	8
4.3. Escenarios para estimar el potencial solar de la comuna.	25
6.1. Benchmarking	55
6.2. Valores de transmitancia en $[W/m^2k]$ en los elementos de edificios en California, Alemania y Japón.	56
7.1. Tarifa BT1.	59
8.1. Propuesta de resistencia y transmitancia térmica en techumbre, muros y pisos ventilados de Providencia	61
8.2. Costos de difusión	65
8.3. Equipo desarrollador del sistema de Capacitación	66
9.1. Características del sistema fotovoltaico.	68
9.2. Ahorro monetario anual con paneles fotovoltaicos.	69
9.3. Comparación de la demanda en calefacción y refrigeración entre el edificio de la línea base y el propuesto	70
9.4. Comparación de tubos fluorescentes con tubos led	70
9.5. Costos normalizados de tubos fluorescentes con tubos LED	71
9.6. Comparación de los costos de la línea Base y la propuesta.	72
9.7. Costos totales de edificación de Línea Base y de la propuesta.	72
10.1. Análisis FODA de Propuesta	74
A.1. Características del sistema fotovoltaico.	92

Índice de Figuras

4.1. Diagrama del suministro total de energía primaria en 1973 y 2015. . .	6
4.2. Diagrama del consumo final mundial en 1973 y 2015.	7
4.3. Emisiones de CO ₂ provenientes de combustión de combustible entre 1971 y 2015 por región en el mundo medido en Mt de CO ₂	8
4.4. Curvas del PIB y del Consumo de Energía en los países de la OECD.	9
4.5. Evolución del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas, combinadas entre 1880 y 2012.	10
4.6. Promedio global de concentraciones de gases de efecto invernadero entre los años 1850 y 2012.	11
4.7. Curvas del PIB y del Consumo de Energía en Chile.	13
4.8. Matriz energética primaria de Chile el año 2016.	14
4.9. Matriz energética secundaria de Chile los años 2015 y 2016.	15
4.10. Representación gráfica del consumo energético chileno por sector los años 2015 y 2016.	16
4.11. Participación de los combustibles fósiles en la matriz primaria del país entre los años 2005 y 2016.	17
4.12. Emisiones de GEI totales (GG CO ₂ eq) por sector entre 1990 y 2013.	18
4.13. Emisiones de GEI del Sector Energía (GG CO ₂ eq) por subcategoría entre 1990 y 2013.	18
4.14. Comuna de Providencia	21
4.15. Gráfico representativo del balance de CO ₂ total en la comuna de Providencia el año 2006 por tipo de consumo.	22
4.16. Proyección del crecimiento del consumo de la comuna de Providencia para el año 2030.	23
4.17. Comparación del consumo de Providencia al año 2014 con el potencial solar fotovoltaico factible por segmentos.	26
4.18. Comparación del consumo de Providencia al año 2014 con el potencial solar térmico factible por segmentos.	26
4.19. Diferencia en la demanda energética total en kWh/(m ² a) de edificaciones según los parámetros para el estándar Passivhaus en Santiago de Chile.	29
4.20. Tipos de instalaciones de Geotermia en edificios.	31
4.21. Comparación de un sistema convencional con un sistema cogenerativo.	32

4.22. Resistencia y transmitancia térmica en techumbre, muros y pisos ventilados según la zona térmica de Chile	34
4.23. Zonas térmicas de Santiago de Chile	36
4.24. Especificaciones de ventanas según la zona térmica y según el tipo de vidrio	37
4.25. Valores más típicos para diferentes tipos de vidrios.	38
5.1. Puntuación en edificios de ACEEE	40
7.1. Edificio de Providencia según el software TAS (izquierda), incluyendo volúmenes de alrededor. A la derecha se encuentra una planta “tipo” del edificio con las oficinas A al oeste, B hacia el norte y C hacia el oeste.	57
9.1. Generación Fotovoltaica Mensual Promedio	69
C.1. Bosquejo de un piso estándar del edificio con sus medidas	98
C.2. Cálculo de watts equivalentes a 400 [lux] para una lámpara fluorescente	99
C.3. Cálculo de watts equivalentes a 400 [lux] para una lámpara LED . . .	99
C.4. Detalle de los costos totales	101

1 | Introducción

En el mundo se le está dando cada vez más importancia al sector energético, ya que se ha notado una fuerte relación con el cambio climático y la escasez de los recursos naturales. Una de las soluciones que se tienen en cuenta es la eficiencia energética y la generación de energía por fuentes renovables no convencionales, las cuales además de generar un ahorro energético, permiten un ahorro económico.

A nivel nacional, existe la política energética “Energía 2050”, y, a nivel municipal, también existen, en algunas comunas, las “Estrategias Energéticas Locales” (EEL). Se estudia específicamente la EEL de Providencia, la cual, al igual que la política nacional, propone varios objetivos a corto y largo plazo para fomentar un desarrollo más sustentable. Por otro lado, en ambos documentos se establecen objetivos enfocados a una construcción más eficiente con estándares más elevados, que permitan una reducción del consumo energético en los edificios de la comuna.

El sector de edificios es “responsable de casi un tercio de la demanda final de energía en la actualidad y más de la mitad de la demanda mundial de electricidad” (IEA, 2018), y, en Providencia, los estándares de construcción y regulación térmica fueron aprobados el año 2007, los cuales están normados por la Ordenanza General de Urbanismo y Vivienda (Municipalidad de Providencia, 2007). Sin embargo, en distintos países del mundo existen legislaciones y modelos de construcción, ya sea para edificios residenciales, no residenciales o municipales, que buscan disminuir la demanda de energía en las edificaciones.

Siendo Providencia, la comuna con mayor edificación en altura el año 2016, y dado que más de la mitad de la energía eléctrica es destinan al sector privado ([Ministerio de Energía, 2016](#)), ¿Que mejoras se podrían realizar a la Ordenanza Local en Providencia para edificaciones no residenciales?



2 | Problema de investigación

El sector energético se enfrenta hoy en día a distintos desafíos a nivel mundial, tales como el desacoplamiento del aumento del consumo energético con el desarrollo económico y el cambio climático. Las soluciones factibles estudiadas para resolver estos desafíos conllevan a una optimización de la demanda, mediante la eficiencia y ahorro energético, la cual permite reducciones de costos y ahorro de recursos a corto plazo ([Carretero & García, 2012](#)).

Chile no es indiferente a este contexto, en la última Cumbre del Mundo el año 2016 se adhirió al Acuerdo de Paris, donde se pone compromiso a “reducir sus emisiones en un 30 % por unidad de PIB al 2030, y aumentado esta cifra a 45 % en caso de tener apoyo internacional” ([Senado de Chile, 2017](#)). El año 2015, el Ministerio de Energía presenta la política energética “Energía 2050”, la cual plantea objetivos a corto y largo plazo con el fin de contribuir a un desarrollo más sustentable ([Ministerio de Energía, 2015](#)). De esta política también se impulsa el desarrollo de Estrategias Energéticas Locales (EEL), una herramienta que busca involucrar los distintos municipios, e incentivar a toda la comunidad para tener un consumo más responsable y eficiente energéticamente ([Ministerio de Energía, s.f.a](#)).

Una de las municipalidades adheridas a este programa es la Municipalidad de Providencia, la cual tiene como uno de sus objetivos reducir sus emisiones de CO₂ por unidad de PIB en un 50 % ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)). Dentro del plan de acción de la comuna, se identifican cuatro Ejes Estratégicos, que definen distintos lineamientos y acciones para cumplir los objetivos propuestos. Los ejes son los siguientes ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)):

- Energía Limpia
- Gestión y Cultura Energética
- Ciudadanía y Pobreza Energética
- Educación e Innovación

En estos se insertan distintas actividades, con herramientas y acciones que involucran no solo a la Municipalidad, sino que también a todos los ciudadanos de Providencia. Al centrarse en el segundo eje, se puede decir que este apunta a un consumo energético más responsable y permitiendo un rol activo de toda la comunidad. Se expresa la necesidad de establecer normas con el fin de reducir el consumo y generar consciencia sobre el tema. Una de las acciones que se puede destacar es “promover estándares de construcción sustentable y mejoramiento térmico” ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)), la cual implica desarrollar una nueva normativa municipal relacionada con el tema.

Gran parte de la energía generada en el mundo es utilizada en los edificios. A modo de ejemplo, en Estados Unidos estos representan un 39 % del consumo energético y 38 % de las emisiones de CO₂ ([EPA, 2010](#)). En Chile, y específicamente en Providencia, los estándares de construcción y reglamentación térmica no se han revisado en varios años ([Municipalidad de Providencia, 2007](#)). Siendo estas medidas que potencian el ahorro y la eficiencia energética en edificios en la comuna de Providencia, ¿Cómo se podría actualizar la Ordenanza Municipal en Providencia para fomentar las construcciones más eficientes y permitir un desarrollo más sustentable en la comuna? ¿Cuáles serían los costos y beneficios? ¿Cuál sería el impacto ambiental de esta Ordenanza?

3 | Objetivos

3.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de ordenanza municipal que permita que las edificaciones de oficinas futuras de la comuna de Providencia sean más eficientes energéticamente.

3.2. Objetivos específicos

- Generar propuesta de ordenanza para fomentar el ahorro y la eficiencia energética en las nuevas edificaciones de oficinas en la comuna de Providencia.
- Evaluar la factibilidad técnica de esta propuesta para su implementación en los nuevos edificios de oficina la comuna.
- Evaluar la factibilidad económica de implementar la ordenanza municipal.

4 | Marco Teórico

4.1. Energía en el mundo

En el año 2015 el suministro total de energía a nivel mundial era de 13.647,37 Mtoe, tal como se desglosa en la tabla 1. En el año 1973 este valor era de 6101 Mtoe, por lo tanto, en 42 años, se aumentó en un 123,7 % el suministro total de energía primaria (IEA, 2017).

Tabla 4.1: Suministro total de energía primaria en el mundo el año 2015.

Suministros	(Mtoe)
Producción	13790,02
Importaciones	5307,89
Exportaciones	-5395,47
Cambios de Stock	-55,08
Suministro Total de Energía Primaria	13647,37

Fuente: Elaboración propia según los datos del IEA (IEA, 2017).

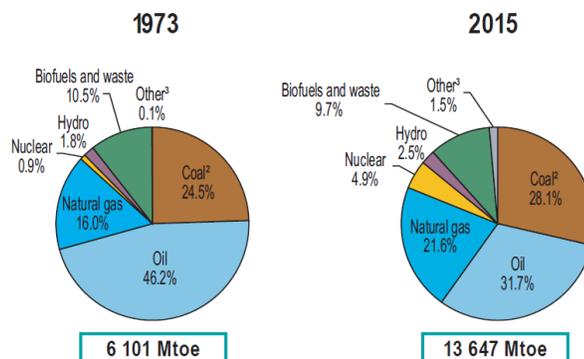


Figura 4.1: Diagrama del suministro total de energía primaria en 1973 y 2015.

(Fuente: IEA, 2017)

Sin embargo, tal como se ve en la figura anterior, no se nota un mayor cambio de la utilización de combustibles fósiles entre 1973 y 2015. Durante el 2015, el 81,4 % del total corresponde a combustible fósil, reduciéndose solo un 5,3 % respecto a 1973, y aumentando un 1,3 % la utilización de energías renovables.

Por otro lado, se tiene la transformación energética, es decir, cuando se procesa energía para obtener productos secundarios que tienen características específicas, la Agencia Internacional de la Energía entrega los datos de centrales de transformación para refinación y para la generación de electricidad. Al centrarse en el segundo ítem, resalta la utilización de combustibles fósiles a lo largo de los años. Sin embargo, se ha notado una disminución de estos, y un aumento de los combustibles nucleares y renovables. El año 1973, los combustibles fósiles representaban el 75,2 %, mientras que el 2015, estos disminuyeron a un 66,3 % del total de los combustibles para la generación de electricidad (IEA, 2017).

Por último, el consumo mundial final, al igual que el suministro, ha aumentado constantemente a lo largo de los años. El año 2015, este alcanza un total de 9384 Mtoe, lo que corresponde a un aumento de 101,3 % de consumo energético respecto al año 1973 (IEA, 2017).

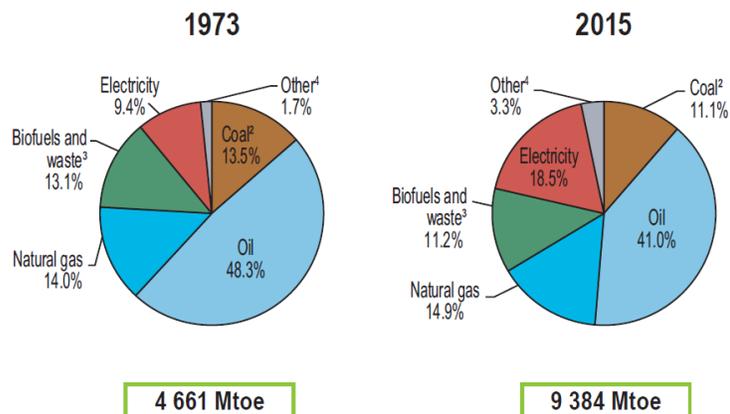


Figura 4.2: Diagrama del consumo final mundial en 1973 y 2015.

(Fuente:(IEA, 2017))

Al observar la figura anterior, se nota un aumento del consumo eléctrico, casi doblando su porcentaje de consumo entre los años 1973 y 2015. Sin embargo, se nota una disminución del consumo de combustibles fósiles, pasando de un 75,8 % a un 67%. Durante el 2015, el total de consumo final se vio reflejado de la siguiente forma:

Tabla 4.2: Consumo total final de energía en el mundo por sector el año 2015.

Consumos	(Mtoe)
Industria	2712,37
Transporte	2703,00
Otros	3132,22
Uso no energético	836,01
Consumo Total Final	9383,6

Fuente: Elaboración propia según los datos del IEA (IEA, 2017).

Con respecto a la emisión de CO₂ provenientes de la combustión de combustibles fósiles, el año 2015 alcanzaron un total de 32.294 Mt, de los cuales un 44,9 % provienen de la combustión de carbón, 34,6 % de petróleo, 19,9 % gas natural y 0,6 % otros, que incluyen residuos industriales y residuos municipales no renovables. Tal como se muestra en la siguiente figura, estas emisiones se han elevado a nivel mundial desde 1971 (IEA, 2017).

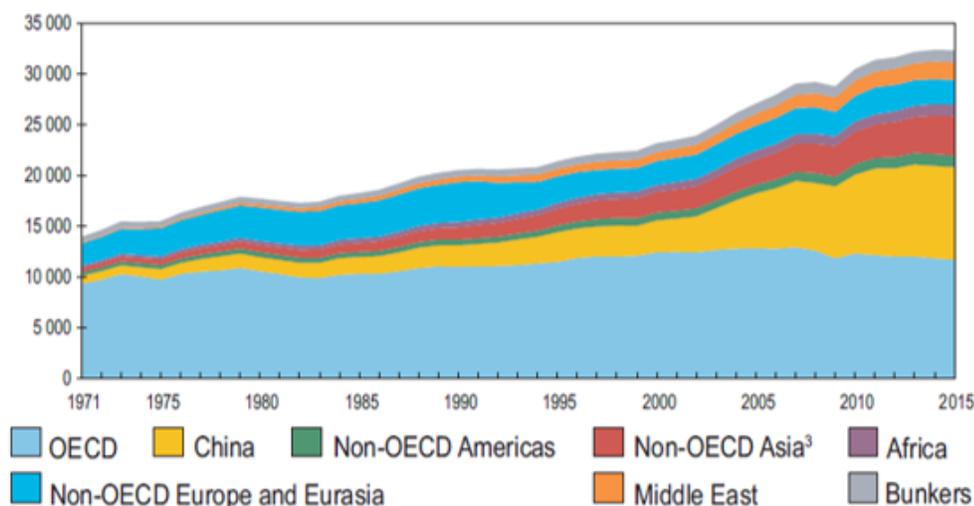


Figura 4.3: Emisiones de CO₂ provenientes de combustión de combustible entre 1971 y 2015 por región en el mundo medido en Mt de CO₂.

(Fuente: (IEA, 2017))

Cabe destacar, que, si bien se nota un aumento de las emisiones en las distintas regiones del mundo, los países de la OECD demuestran una estabilidad, e incluso una disminución de CO₂. Normalmente, a medida que todos los países crecen económicamente se ha notado un consumo energético proporcional a este desarrollo (Warr, Ayres, Eisenmenger, Krausmann, & Schandl, 2010), sin embargo, los países más desarrollados muestran un desacople entre estos factores, tal como se muestra en la siguiente figura:

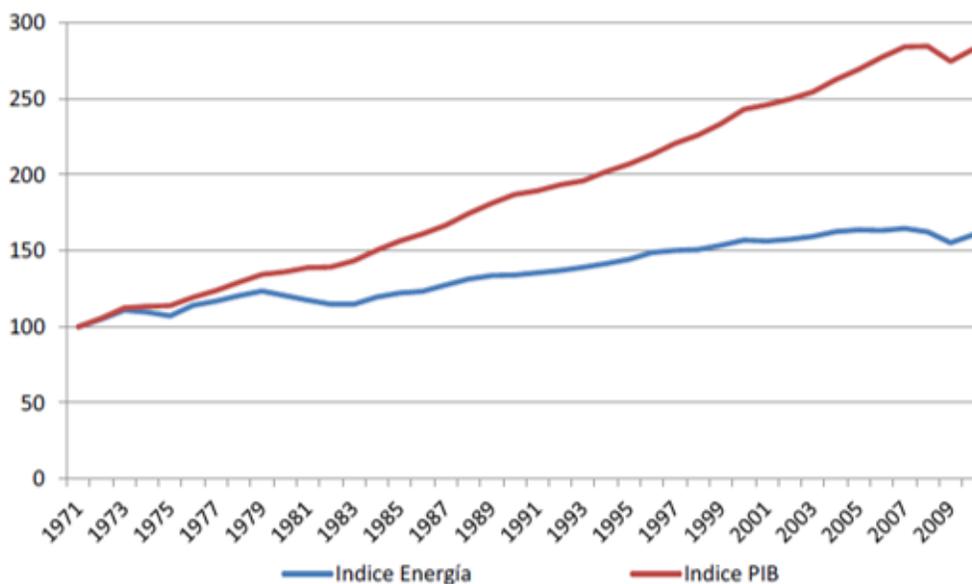


Figura 4.4: Curvas del PIB y del Consumo de Energía en los países de la OECD.

(Fuente: (Zalaquett, 2013))

La producción y uso de energía son responsables de alrededor de dos tercios de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Y estas causas se dan a partir del aumento de demanda energética, originada principalmente por el consumo en sectores de uso final, sobre todo edificios, industrias y transporte. En el sector de edificios se considera la energía utilizada en edificios residenciales, comerciales e institucionales, y esta es “responsable de casi un tercio de la demanda final de energía en la actualidad y más de la mitad de la demanda mundial de electricidad” (IEA, 2018).

4.2. Cambio climático

El cambio climático es el resultado del Calentamiento Global, es decir, el aumento de la temperatura promedio mundial debido al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de actividades humanas tales como la utilización de combustibles fósiles. Según el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) la temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de $0,85 [0,65 \text{ a } 1,06]$ °C, durante el período 1880-2012, tal como se muestra en la figura siguiente (IPCC, 2015).

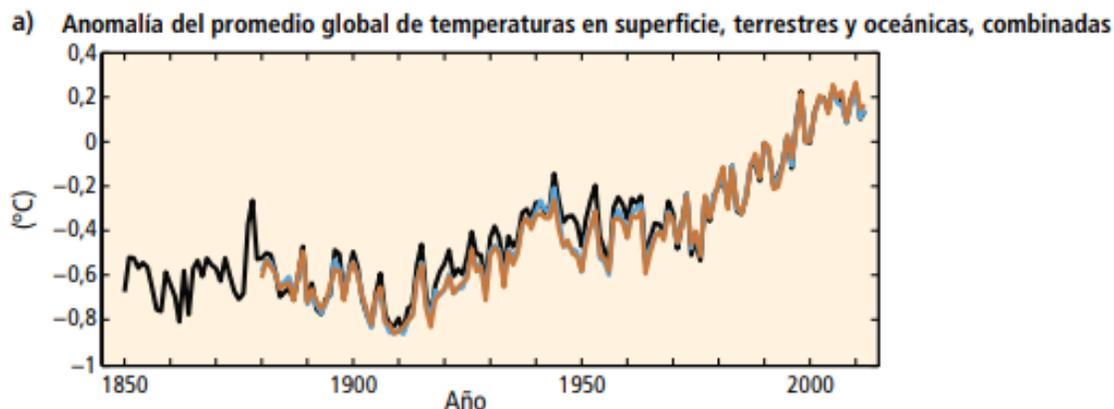


Figura 4.5: Evolución del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas, combinadas entre 1880 y 2012.

(Fuente: (IPCC, 2015))

De igual forma, la emisión antropógena de gases de efecto invernadero (GEI) se ha visto aumentada desde la era preindustrial, debido principalmente al crecimiento económico y demográfico que se ha presentado, y por ende la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), también ha aumentado considerablemente. Los efectos producidos por estas emisiones se han detectado en todo el sistema climático y existe una certeza que este aumento de gases de efecto invernadero sea una de las principales causas del calentamiento global a partir de la segunda mitad del siglo XX (IPCC, 2015).

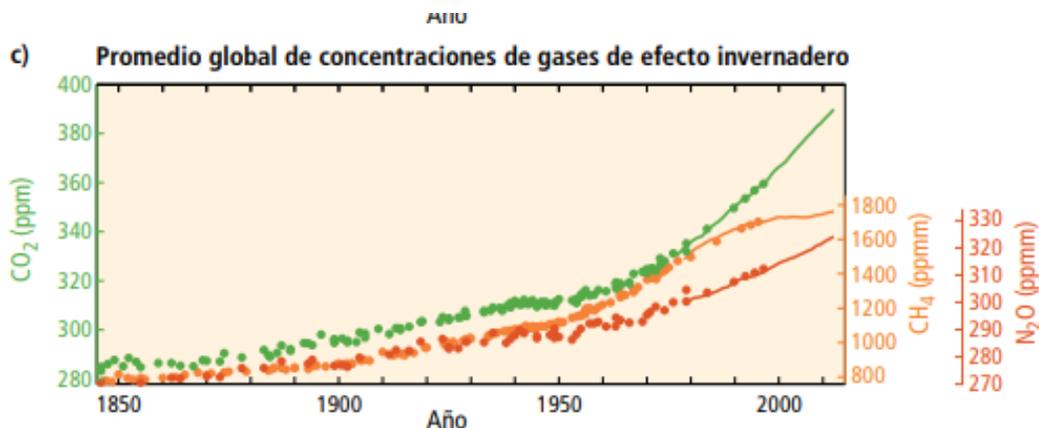


Figura 4.6: Promedio global de concentraciones de gases de efecto invernadero entre los años 1850 y 2012.

(Fuente: (IPCC, 2015))

Una gran parte de la emisión de CO₂ llega a removerse de la atmósfera siendo almacenada en las plantas, suelos y océano. Entre 1750 y 2011 las emisiones antropógenas de CO₂ acumuladas fueron de $2\,040 \pm 310$ GtCO₂ y aproximadamente el 40 % de estas han permanecido en la atmósfera (880 ± 35 GtCO₂) (IPCC, 2015).

Entre los años 1970 y 2010, el 78 % del aumento total de emisiones de gases de efecto invernadero proviene de las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales, siendo así el factor más influyente en el contexto del Cambio Climático (IPCC, 2015).

Frente a estas situaciones, el año 2015 se lleva a cabo la vigésimo primera edición de la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (Naciones Unidas, s.f.). En esta conferencia se estableció el “Acuerdo de París”, el cual entró en vigencia el 4 de noviembre de 2016, 30 días después de haberse ratificado por 55 partes que representan al menos el 55 % de las emisiones mundiales. Hasta junio del 2018, 178 partes ratificaron el Acuerdo. El objetivo principal del Acuerdo de París consiste en “mantener el aumento de la temperatura global este siglo por debajo de los 2°C por encima de la época preindustrial y limitar el aumento de la temperatura hasta 1,5°C” (UNFCCC, s.f.). Una

parte esencial de este acuerdo consiste en las distintas “contribuciones determinadas a nivel nacional” (CDN), que establecen los esfuerzos necesarios por cada uno de los involucrados ([UNFCC, s.f.](#)).

4.3. Eficiencia energética

Tal como se mencionó anteriormente, una de las soluciones factibles para enfrentar el problema del cambio climático y su directa relación con el aumento del consumo energético es implementar medidas de eficiencia energética (EE) ([Carretero & García, 2012](#)). La EE conlleva a reducir la cantidad de energía utilizada manteniendo el mismo nivel y calidad de una actividad, lo que significa igualmente un ahorro monetario. Esto se puede dar principalmente por mejoras tecnológicas que optimicen el rendimiento de artefactos o por nuevos diseños de maquinarias o estructurales que permitan reducir pérdidas de energía por calor. Por otro lado, desarrollar la educación y enseñanzas de un uso eficiente de la energía: se puede lograr eficiencia y ahorro energético mediante a una buena gestión de la energía y sin necesidad de una mayor inversión tecnológica ([ACEE, s.f.](#)).

La eficiencia energética representa un factor clave tanto para la mitigación de los efectos del cambio climático como para otros problemas. Uno de estos es la seguridad energética, ya que se reduce la demanda, y, por ende, la dependencia de las importaciones de combustible. También permite un crecimiento económico al aumentar el ingreso disponible de los hogares debido a una disminución de las facturas eléctricas, mejorar la productividad industrial, entre otros ([IEA, 2018](#)).

Si bien la eficiencia energética del uso final por sí sola no es suficiente para cumplir los objetivos de temperatura del Acuerdo de París, puede proporcionar el 35 % del ahorro acumulado de CO₂ requerido para 2050 ([IEA, 2018](#)).

4.4. Energía en Chile

El consumo final de energía en Chile en el año 2016 fue de 284.777 Tcal ([Ministerio de Energía, 2018](#)), mientras que el del año 1991 fue de 122.464 Tcal ([Ministerio de Energía, 2013](#)), lo que corresponde a un aumento de 132 % del consumo energético en estos 25 años.

En Chile siempre ha existido una relación entre el crecimiento del PIB y el consumo energético, pero, a diferencia de los países de la OECD aún no se nota un claro desacople entre estos dos, tal como se demuestra en la figura 7. Por ende, para alcanzar este desacople y el nivel de desarrollo de los países desarrollados, son necesarias medidas de eficiencia energética y utilización de energías renovables.

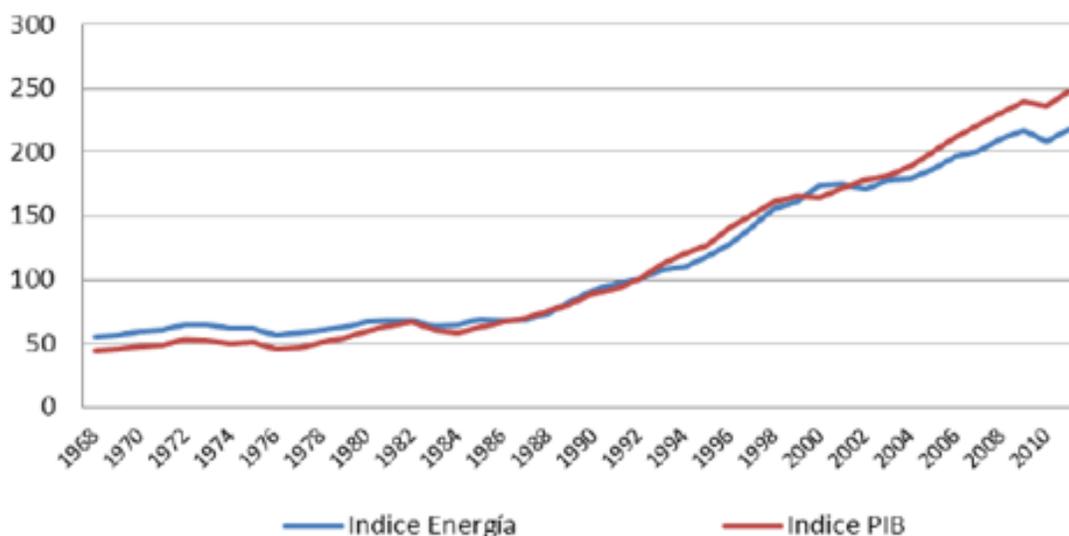


Figura 4.7: Curvas del PIB y del Consumo de Energía en Chile.

([Zalaquett, 2013](#))

Uno de los problemas que debe enfrentar el sector energético en Chile es la seguridad de suministro, es decir la disponibilidad ininterrumpida de energía, a un “precio razonable, predecible, y que favorezca la competitividad del país” ([Ministerio de Energía, 2015](#)). La mayor parte de la matriz energética es importada, alcanzando un 72 % el año 2016, donde se importó el 97 % del petróleo crudo, el 78 % del gas

natural y el 93 % del carbón de la oferta total de energía ([Energía Abierta, s.f.](#)). Por lo tanto, al tener una matriz energética tan dependiente, se genera mayor incertidumbre respecto a los precios de los combustibles, ya que está expuesta a las variaciones del mercado internacional.

La matriz energética primaria de Chile está determinada por la producción, importación, exportación y variaciones de inventario de recursos energéticos capturados directamente de recursos naturales según la siguiente ecuación ([Ministerio de Energía, 2018](#)):

$$\text{Matriz Primaria} = \text{Producción} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones} - \text{Variación de Inventario} \quad (4.1)$$

El 2016, la matriz alcanzó 317.060 teracalorías (Tcal), las cuales se pueden distribuir de la siguiente forma ([Ministerio de Energía, 2018](#)):

Gráfico 5 Matriz Energética Primaria, año 2016

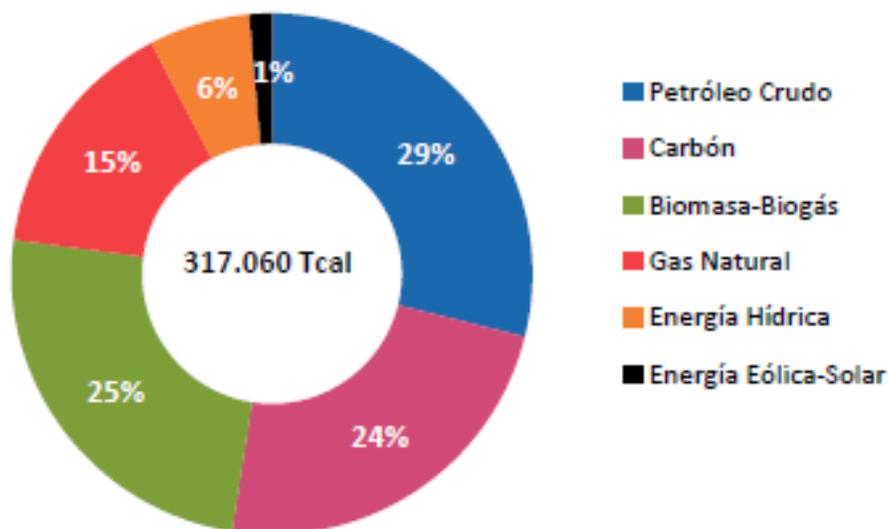


Figura 4.8: Matriz energética primaria de Chile el año 2016.

(Fuente: ([Ministerio de Energía, 2018](#)))

Es posible notar que los recursos fósiles (Petróleo Crudo, Carbón y Gas Natural) representan el 68 % de la matriz, siguiéndole con un 25 % de Biomasa- Biogás (Ministerio de Energía, 2018).

Por otro lado, se tienen los Centros de Transformación (CTR), los cuales, según lo que se considera en el Balance Nacional de Energía, son 3 tipos: siderurgia, refinerías de petróleo y centrales generadoras de electricidad, siendo la última la que posee mayor participación, alcanzando un 62 % de un total de 276.423 Tcal el año 2016. Los insumos requeridos para las centrales de generación eléctrica son de igual forma que en la matriz primaria, principalmente recursos fósiles (61 %), sin embargo, en el caso de refinerías y otros centros de transformación los recursos fósiles representan el 100 % de los insumos (Ministerio de Energía, 2018).

El consumo final de energía se puede representar como la matriz secundaria, en la cual se muestran los energéticos obtenidos a partir de la transformación, como también aquellos primarios que pueden utilizarse como consumo final. El 2016 esta matriz alcanzó 284.777 Tcal, un 2 % más que el año anterior, y se descompone de la siguiente forma (Ministerio de Energía, 2018):

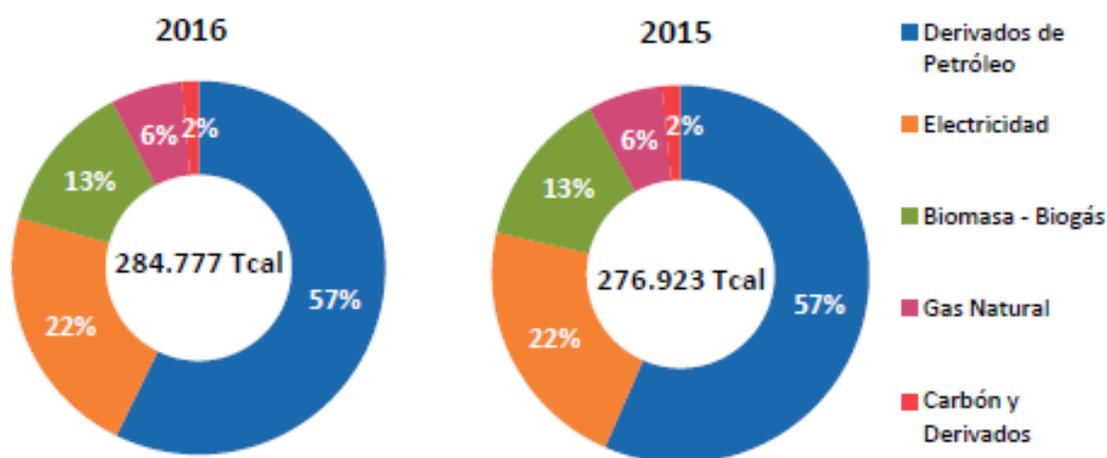


Figura 4.9: Matriz energética secundaria de Chile los años 2015 y 2016.

(Fuente: (Ministerio de Energía, 2018))

De este total consumido, se pueden establecer 6 grandes sectores que representan la demanda energética, representados en la siguiente figura ([Ministerio de Energía, 2018](#)).

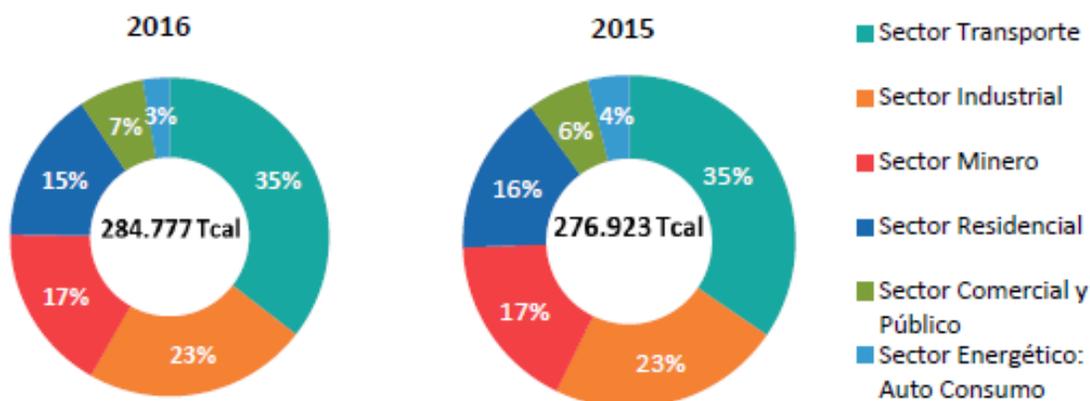


Figura 4.10: Representación gráfica del consumo energético chileno por sector los años 2015 y 2016.

(Fuente: ([Ministerio de Energía, 2018](#)))

Según lo mencionado en el subcapítulo de Cambio Climático, la combustión de los combustibles fósiles representan una de las principales causas de la emisión de GEI, y según lo mencionado anteriormente, estos representan un gran porcentaje de las matrices energéticas en Chile. Sin embargo, a lo largo de los años se ha notado una disminución de este porcentaje, tal como se muestra en la figura 11. El año 2016, esta alcanzó un 68 %, lo que representa una disminución de 0,8 % respecto al año anterior, y el mínimo se alcanzó el año 2013 con un 65,8 % ([Ministerio de Energía, 2018](#)).

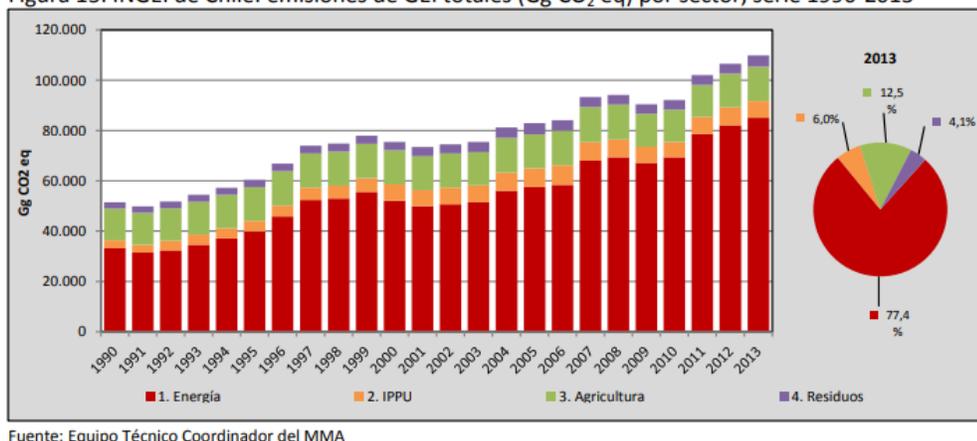


Figura 4.11: Participación de los combustibles fósiles en la matriz primaria del país entre los años 2005 y 2016.

(Fuente: ([Ministerio de Energía, 2018](#)))

Con respecto al cambio climático, Chile sólo representa el 0,26 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, es uno de los países con mayor emisión de GEI por habitante ([La Tercera, 2014](#)). En febrero de 2017, Chile ratifica el Acuerdo de París, comprometiéndose a reducir su intensidad de emisiones en un 30 % para el año 2030 respecto al año 2007. Además, se establecieron otras metas al nivel forestal, tales como forestaciones y manejos sustentables de bosques nativos, y metas de adaptación al cambio climático ([Ministerio del Medio Ambiente, 2017a](#)).

El año 2013, se contabilizaron 109.908,8 Gg CO₂ eq (giga gramos de CO₂ equivalente) en el país, lo que representa un aumento del 113,4 % respecto a 1990 y un 19,3 % respecto al 2010. En cuanto a las emisiones de GEI por habitante, el año 2013 se observó un total de 6,2 t CO₂ per cápita, es decir un aumento de 59,5 % desde 1990 y un 10,3 % desde el año 2007. El total de emisiones se puede separar en 4 grandes sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU), Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU) y Residuos. Entre estos 4, el que presentó la mayor cantidad de emisiones de GEI fue el de energía. El año 2013 alcanzó 85.075,4 Gg CO₂ eq, lo que representa el 77,4 % de las emisiones totales, incrementándose en un 156,1 % desde 1990 y en un 22,5 % desde 2010, tal como se representa en la figura 12 ([Ministerio de Medio Ambiente, 2017b](#)).

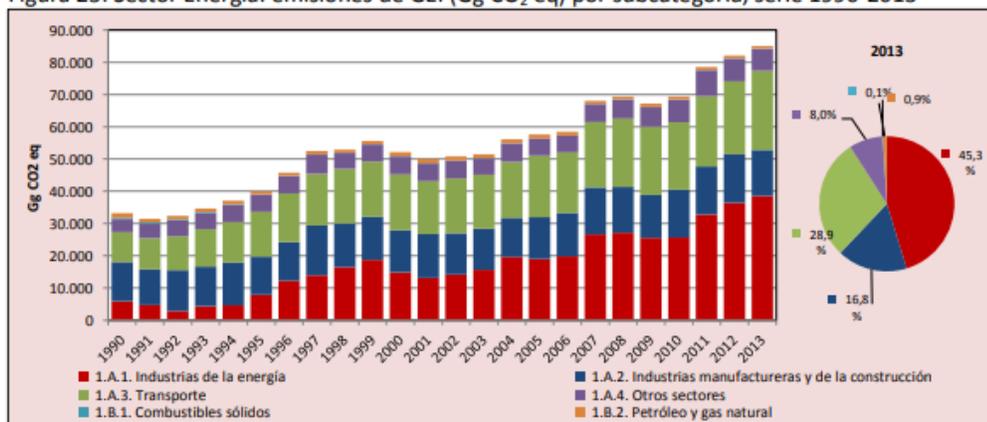
Figura 15. INGEI de Chile: emisiones de GEI totales (Gg CO₂ eq) por sector, serie 1990-2013

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Figura 4.12: Emisiones de GEI totales (GG CO₂ eq) por sector entre 1990 y 2013.

(Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, 2017b))

Dentro de la categoría de energía, el 99% de las emisiones de gases de efecto invernadero el año 2013 corresponden a actividades de quema de combustible, mientras que el otro 1% se asocia a emisiones fugitivas de combustible. La totalidad de las emisiones entre 1990 y 2013 puede desglosar más detalladamente en la siguiente figura:

Figura 25. Sector Energía: emisiones de GEI (Gg CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2013Figura 4.13: Emisiones de GEI del Sector Energía (GG CO₂ eq) por subcategoría entre 1990 y 2013.

(Fuente:(Ministerio de Medio Ambiente, 2017b))

Al observar detalladamente este sector, el principal GEI emitido fue el CO₂, alcanzando un 96,2% el 2013, seguido de CH₄ (2,4%) y N₂O (1,4%). Con respecto

al CO₂, el 99 % de las emisiones provienen de actividades de quema de combustible, mientras que el otro 1 % corresponde a emisiones fugitivas de combustible, es decir todas las emisiones intencionales o no intencionales de GEI que se liberan durante la extracción, el procesamiento, almacenamiento y la distribución de combustibles fósiles ([Ministerio de Medio Ambiente, 2017b](#)).

Tal como se menciona en los capítulos anteriores, la eficiencia energética uno de los principales mecanismos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contribución a los objetivos establecidos en el Acuerdo de París. Por otro lado, también se hace mención del alto grado de influencia que tiene el sector de edificios en el consumo global de uso final de energía, por lo tanto, este corresponde a un punto clave en el que se puede abordar la eficiencia y el ahorro energético.

En el contexto de la Agenda Energética presentada en mayo del 2014, el año 2015 se establece “Energía 2050”, una política energética a largo plazo que se basa en 4 pilares fundamentales ([Ministerio de Energía, 2015](#)):

- Confiabilidad: Seguridad y calidad del suministro
- Inclusividad: Energía como motor de desarrollo
- Competitividad: Energía compatible con el medio ambiente
- Sostenibilidad: Eficiencia y educación energética

Para abordar estos pilares se establecen metas a corto y largo plazo, como la participación de fuentes renovables en un 70 % en la generación eléctrica, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del sector eléctrico, el desacople del consumo energético, entre otros ([Ministerio de Energía, 2015](#)).

Para cada uno de estos puntos, se establecen lineamientos específicos que calcen con las necesidades de estos y que permiten orientar distintas acciones requeridas para realizar ciertas metas y objetivos. Dentro de los lineamientos de “Eficiencia y

Educación Energética”, existen 3 enfocados en las edificaciones que, como se mencionó anteriormente, corresponden a un punto fundamental en el cual se debe abordar con el fin de disminuir las emisiones y, según el Censo 2017 en Chile, los departamentos en edificios representan un 17,5 % del total de viviendas el 2017 (INE, 2017). Para cada uno de estos lineamientos existen distintos actores, encargados de la realización de las acciones, tales como el Ministerios, Municipalidades, Universidades, etc. (Ministerio de Energía, 2015).

El lineamiento 31 de esta Política consiste en incorporar estándares de eficiencia energética en el diseño, construcción y reacondicionamiento de edificaciones, y con esto alcanzar niveles de confort minimizando los requerimientos energéticos y externalidades ambientales. Mediante a distintas acciones planificadas hasta el año 2050, se espera que para esta fecha se obtengan 2 objetivos cumplidos (Ministerio de Energía, 2015):

- 100 % de las edificaciones nuevas cuentan con estándares OECD de construcción eficiente, y cuentan con sistemas de control y gestión inteligente de la energía.
- 100 % de las edificaciones existentes informa su consumo energético al momento de la venta.

De igual forma, el lineamiento 32 busca avanzar hacia edificaciones con soluciones eficientes para sus requerimientos, promoviendo sistemas de control, gestión inteligente y generación propia, y de esta forma llegar paulatinamente al 2050 a un 100 % de edificaciones con esas características (Ministerio de Energía, 2015).

Y, por último, el lineamiento 33 pretende incentivar el mercado de eficiencia energética en construcción con el fin de satisfacer las necesidades de todas las localidades del país y desarrollar mercados locales más productivos y eficientes (Ministerio de Energía, 2015).

4.5. Energía en Providencia

La comuna de Providencia cuenta con una superficie de $14,20[\text{km}^2]$, de las cuales $12,50[\text{km}^2]$ son de áreas urbanas ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)).



Figura 4.14: Comuna de Providencia

(Fuente: ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)))

En la comuna, hay un total de 142.079 residentes, según el Censo 2017 de Chile, y de un total de 70.965 viviendas censadas, el 86,8% corresponden a departamento en edificios ([INE, 2017](#)). Considerando una línea base en el año 2014, se consumió un total de 1.255.205 MWh, donde el uso eléctrico total fue de 766 GWh, el cual se distribuye como un 66% en el sector privado, 31% residencial y 3% público ([Ministerio de Energía, 2018](#)).

Al desglosar el sector residencial, el 68% corresponde a energía suministrada a

departamentos, mientras que el otro 32 % a casas. En el sector privado, 81 % corresponde a energía consumida en comercio, 13 % en industrial y 6 % en otros. Por último, en el sector municipal, 73 % de la electricidad es consumida en alumbrado público, 4 % en educación municipal, 22 % en recintos municipales y 1 % en otros. El año 2014, el sector residencial demuestra un aumento de 2,54 %, el cual se puede explicar por un aumento demográfico que experimenta la comuna de Providencia desde el 2004. Providencia aumentó la construcción de nuevos edificios, siendo en 2016 la comuna con mayor edificación en altura en Chile, llegando a 2.065 edificios. Por lo tanto, al aumentar la construcción de nuevos departamentos, aumenta la densidad por metro cuadrado y el aumento de consumo eléctrico (Ministerio de Energía, 2016).

Por otro lado, el 2014 se estimó un total de 367.990 ton CO₂, las cuales se pueden dividir en dos tipos de emisiones: directas, provenientes de fuentes directas, y, indirectas, como el consumo eléctrico, tal como se demuestra en la siguiente figura (Ministerio de Energía, 2016):

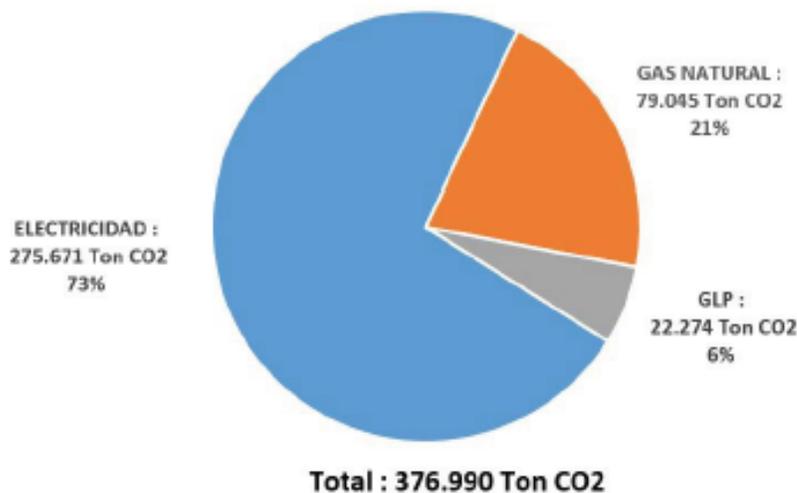


Figura 57. Balance de CO₂ Total en la comuna por tipo de consumo.

Figura 4.15: Gráfico representativo del balance de CO₂ total en la comuna de Providencia el año 2006 por tipo de consumo.

(Fuente: (Ministerio de Energía, 2016))

Por concepto eléctrico, las emisiones de gases de efecto invernadero corresponden a un total de 2,16 ton CO₂e/año por habitante, lo que equivale a un 275.671 ton CO₂e/año en total en la comuna, donde 66,2% corresponde al sector privado, 30,8% al sector residencial, y 3% al municipal. En base al crecimiento histórico entre el 2008 y 2013 se proyecta que, para el año de 2030, el consumo energético de Providencia será de 2.241 GWh al año, tal como se puede ver la figura 15 ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)).

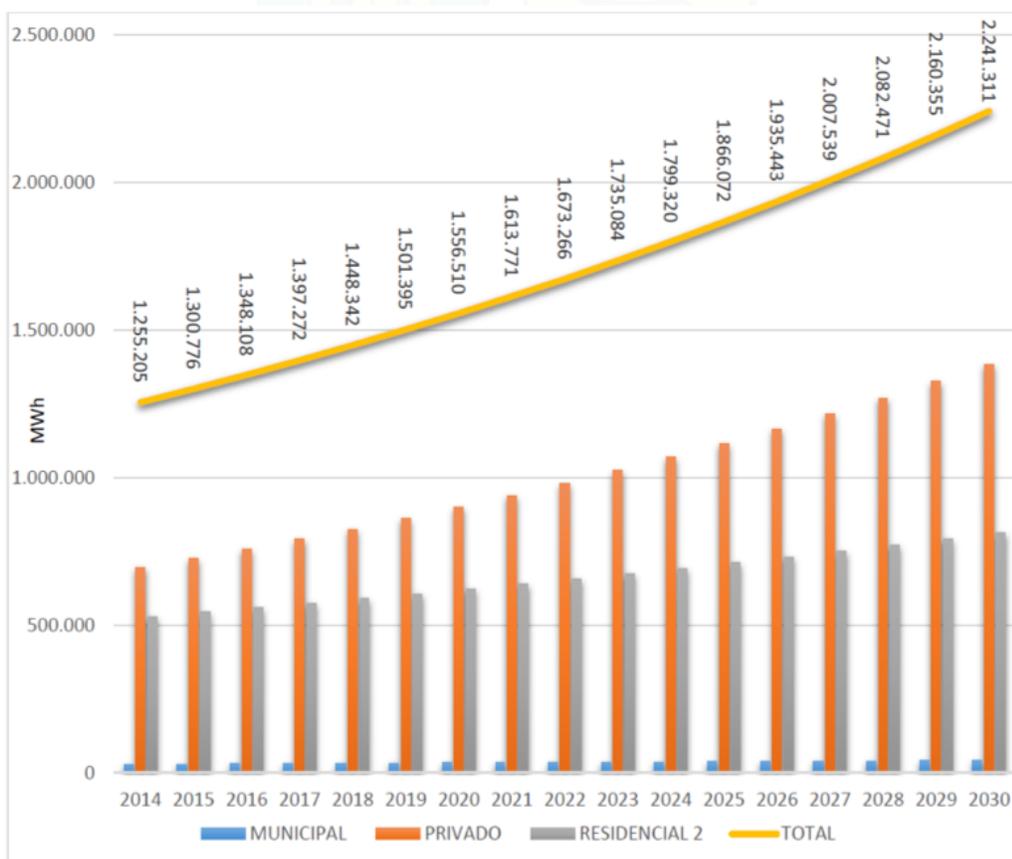


Figura 4.16: Proyección del crecimiento del consumo de la comuna de Providencia para el año 2030.

(Fuente: ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)))

Es por esto por lo que durante el año 2016 la comuna de Providencia desarrolla la “Estrategia Energética Local”, con la cual la comuna se propone los siguientes tres objetivos para el año 2030 ([Ministerio de Energía, 2016](#))

1. Reducir en un 50 % las emisiones de CO₂ comunal.

2. Incluir en las decisiones energéticas la participación de los actores involucrados.
3. Contar con un 100% de ciudadanos sensibilizados en temáticas energéticas.

Se estima que el principal potencial de generación de energía es la solar (5.212 GWh) y la biomasa (2, GWh). Por lo tanto, junto a la eficiencia energética para reducir el consumo, se podría reducir el consumo eléctrico de la comuna en un tercio ([Ministerio de Energía, s.f.b.](#)).

Este último es un factor importante en la estrategia local de Providencia, la cual tiene 4 ejes estratégicos:

- Energía limpia
- Gestión y cultura energética
- Ciudadanía y pobreza energética
- Educación e innovación

Tal como se presenta en la “Política Energética 2050”, la EEL de Providencia también tiene distintos lineamientos y acciones asociadas con el fin de alcanzar las metas propuestas a corto y largo plazo. En relación con el primer eje, una de las acciones implica la incorporación de tecnología solar en edificios municipales. Por otro lado, el segundo eje se centra en formas eficientes del consumo energético, generando propuestas para un manejo y uso responsable. Dentro de este, se establece el tercer lineamiento: “Planificación y eficiencia energética”, el cual menciona distintas acciones a corto y mediano plazo, que buscan promover estándares de construcción sustentable y eficiente en edificios residenciales y municipales ([Ministerio de Energía, 2016](#)).

Para obtener el potencial solar de la comuna, se utilizan distintos criterios para instalar paneles fotovoltaicos y termo-solares. En primer lugar, mediante herramientas computacionales se reduce el área disponible en un 46% del área total de la comuna, además, se toma como supuesto, para el corto plazo, solo se consideran los lugares

con mejor orientación y con un área mayor a $5[m^2]$. Por último, se consideraron los supuestos de factores de pérdidas producto de sombras, variabilidad de radiación esperada y pérdidas generales de instalación, con esto se alcanza un 31,48% del total de la comuna, es decir $4,56[km^2]$. Al considerar un panel fotovoltaico mono cristalino de $250[W]$ con un área estimada de $1,44[m^2]$ y un colector solar térmico plano de $675[W]$ con un área de $2,4[m^2]$, se tienen los siguientes datos estimados ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)):

Tabla 4.3: Escenarios para estimar el potencial solar de la comuna.

Escenario	Producción Paneles	Producción Paneles
	Fotovoltaicos [GWh/año]	Térmicos [GWh/año]
Teórico	1.989	3.223
Factible al 2030	250	406

Fuente: ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)).

Donde el potencial teórico corresponde a la instalación de paneles solares en el área disponible, mientras que el factible al 2030, es el área disponible de la comuna tomando en cuenta los supuestos descritos anteriormente.

Al considerar el consumo energético de la comuna el año 2014, se tienen las siguientes comparaciones por segmento:

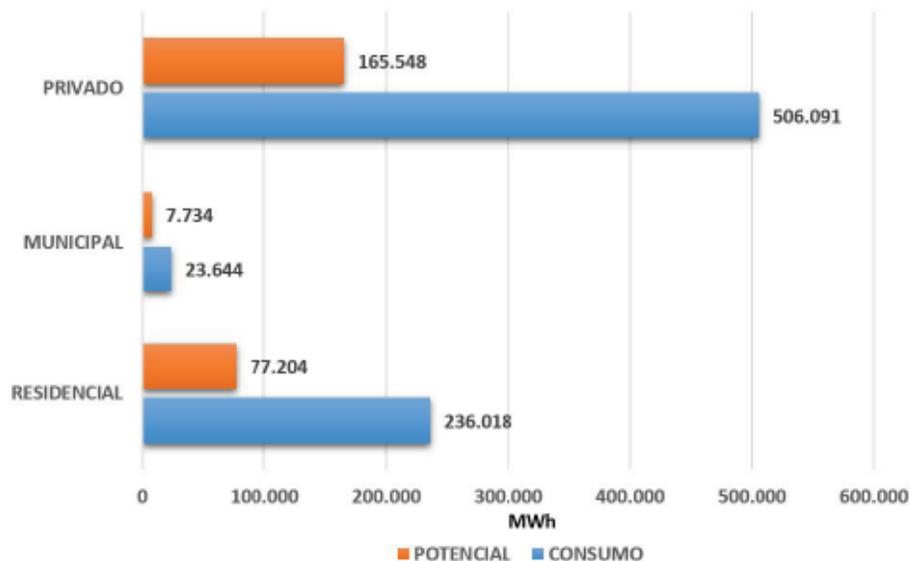


Figura 4.17: Comparación del consumo de Providencia al año 2014 con el potencial solar fotovoltaico factible por segmentos.

(Fuente: ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)))

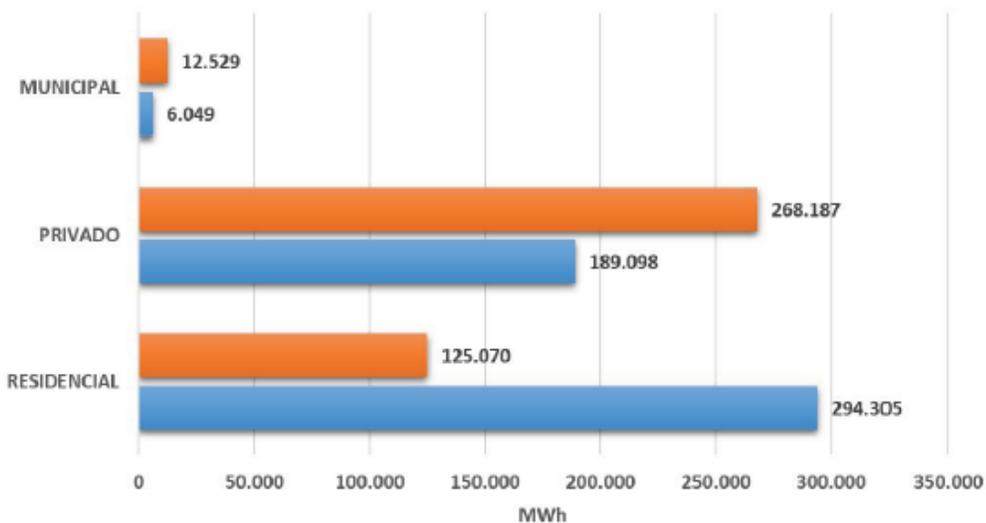


Figura 4.18: Comparación del consumo de Providencia al año 2014 con el potencial solar térmico factible por segmentos.

(Fuente: ([Municipalidad de Providencia, s.f.](#)))

4.6. Energía en edificios

Tal como se mencionó anteriormente, gran parte de la energía se consume en edificios, y, en este contexto, se estima que entre un 40 % y 65 % del total de energía se destina a la climatización de estos (ACEE, 2016). Sin embargo, es posible alcanzar un “Edificio de Consumo Casi Nulo” (ECCN), el cual, según la Unión Europea, se define como “aquel edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto (...). La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta en muy amplia medida por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida “in situ” o en el entorno” (El Mundo, 2016).

4.6.1. Sistemas pasivos

Una forma de lograr lo mencionado anteriormente, es mediante la certificación voluntaria “Passivhaus”, un estándar para la construcción y calificación de edificaciones residenciales y no residenciales que tengan un “clima interior confortable, una máxima calidad del aire interior, que además aprovecha la energía del sol para una mejor climatización y una gran aislación térmica” (Passivhaus Chile, s.f.a), permitiendo así la disminución del consumo energético de los inmuebles. Según el proyecto europeo “CEPHEUS”, el cual realizó 221 construcciones según el estándar Passivhaus en cinco países europeos entre los años 1998 y 2001, para estos años, los costos de construcción son en promedio un 8 % más caros que las construcciones tradicionales. Sin embargo, estos costos se pueden recuperar durante la vida útil de la edificación, el promedio de la recuperación estática más alto de la inversión inicial fue de 21 años (Hatt, 2012).

En Chile, para poder acceder a esta certificación, se deben cumplir con los siguientes límites (Passivhaus Chile, s.f.b):

- Demanda máxima para calefacción de $15 \text{ kWh}/(m^2\text{a})$.
- Demanda máxima para refrigeración de $15 \text{ kWh}/(m^2\text{a})$.

- Para edificios con calefacción y refrigeración por aire, se acepta como alternativa, también el conseguir una carga para frío y calor menor de 10 W/ m^2 .
- Un valor obtenido mediante la prueba de presurización “Blower Door” n50 no superior a 0,6/h.
- Un consumo de energía primaria para todos los sistemas (calefacción, refrigeración, ACS, electricidad, auxiliar...) no superior a $120 \text{ kWh/ (m}^2\text{a)}$.
- Temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica durante invierno mayores a 17°C

Al lograr estos requisitos, se puede lograr hasta un 80 % de reducción del consumo en climatización, en comparación a construcciones que cumplen con la reglamentación térmica vigente en Chile (Gerber, Hatt, Hempel, & Saelzer, 2012). Las exigencias de este estándar se basan en 5 principios (Passivhaus Chile, s.f.c):

- Aislamiento térmico, lo que corresponde a una aislación térmica de espesores dos o tres veces más grandes que los utilizados normalmente, ya que se espera que la temperatura se mantenga estable tanto en invierno como en verano.
- Ventanas Passivhaus, ventanas especiales que contribuyan al aislamiento térmico pero que a su vez permitan aprovechar la radiación solar, por lo que estas poseen varias capas de vidrio y gases entre medio, para mejorar los coeficientes de transmisión térmica. Cabe destacar, que, en Santiago de Chile, puede ocurrir un exceso de radiación provocando un sobrecalentamiento, por lo que es importante considerar la posición de las ventanas para que se pueda aprovechar la radiación solar durante el invierno y la sombra durante el verano.
- Ventilación con recuperación de calor, que consiste en un intercambiador de calor entre el aire viciado del interior y el aire filtrado del exterior.
- Estanqueidad o control de las infiltraciones, que controla la hermeticidad del edificio, es decir, que no ingrese aire indeseado y se pueda calefaccionar solo

por el sistema mencionado anteriormente.

- Diseño libre de puentes térmicos, lo que quiere decir, un diseño sin ningún punto que se pueda debilitar y permitir el paso de energía calórica rápidamente.

Por otro lado, en Santiago, al analizar distintos parámetros que pueden afectar a la certificación Passivhaus, basados en los principios anteriores, se obtuvo el siguiente gráfico:

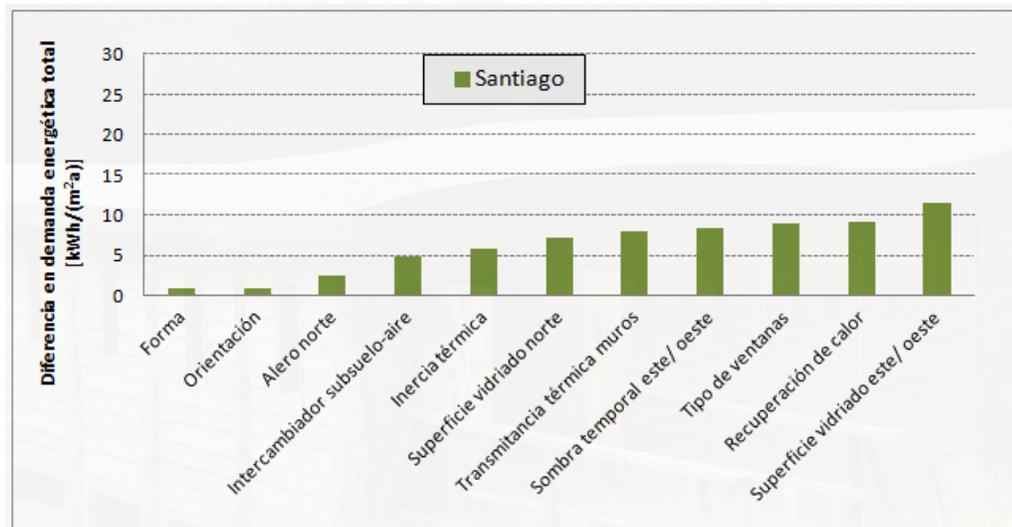


Figura 4.19: Diferencia en la demanda energética total en kWh/(m²a) de edificaciones según los parámetros para el estándar Passivhaus en Santiago de Chile.

(Fuente: ([Passivhaus Chile, s.f.d](#)))

A partir de esto, se tienen ciertas recomendaciones para la ciudad de Santiago ([Passivhaus Chile, s.f.d](#)):

1. Minimizar la superficie vidriada al este y oeste, ya que, como se explicó anteriormente, se podría producir un sobrecalentamiento, y, por ende, aumentar la demanda energética en refrigeración.
2. Incorporar elementos de sombra en verano, por lo mismo mencionado en el punto anterior.
3. Incorporar un sistema de ventilación con recuperación de calor, el cual permite minimizar las pérdidas de calor en invierno.

4. Para lograr una demanda energética promedio bajo los $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, además de los puntos anteriores, se necesita una transmitancia térmica de los $U \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, techumbre $U \leq 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ y radier $U \leq 0,65 \text{ W}/([\text{tex}] \text{m}^2 [/\text{tex}] \text{ K})$.

4.6.2. Sistemas activos

Por otro lado, existen sistemas activos que de igual forman a contribuir a reducir los consumos de los edificios, ya que generan energía, permitiendo el autoconsumo de los edificios.

4.6.2.1. Energía solar

Una de las formas de sistemas activos es aquella relacionada con la energía solar, ya que la radiación solar ofrece varias maneras de recuperación energética y mediante sistemas técnicos se puede captar, almacenar y transmitir a distintos usos derivados. Esta ofrece dos formas de producción de energía: térmica y fotovoltaica (Jara, 2006).

La energía solar térmica se obtiene a través de colectores solares y se utiliza para proporcionar agua caliente sanitaria (ACS), calefacción o en los casos que se alcancen temperaturas muy altas, se utiliza para la generación de electricidad (Jara, 2006).

Por otro lado, la energía solar fotovoltaica es la energía que transforma la radiación solar en electricidad a través de un proceso de liberación de electrones de una celda fotovoltaica, provocada por la incidencia de los rayos solares sobre el panel fotovoltaico. La electricidad obtenida mediante los sistemas fotovoltaicos puede utilizarse en forma directa, o bien ser almacenada en baterías para utilizarla durante la noche. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos alcanzan una baja eficiencia, la cual varía entre 10 % (silicio amorfo) y 15 % (monocristalino) (Jara, 2006).

4.6.2.2. Geotermia

Otra Energía Renovable No Convencional (ERNC) utilizada para el ahorro energético es la geotérmica, la cual aprovecha el calor y el agua concentrado en los yacimientos geotérmicos (Jara, 2006).

A partir del calor recuperado bajo la superficie, se genera energía suficiente para calefaccionar, enfriar y generar ACS en las distintas edificaciones, permitiendo ahorrar hasta un 90 % de costos operacionales del sistema de climatización. Algunas de las formas de implementación de esta medida en edificaciones son las siguientes (EE chile, s.f.):



Figura 4.20: Tipos de instalaciones de Geotermia en edificios.

(Fuente: (EE chile, s.f.))

4.6.2.3. Cogeneración

Por otro lado, una tecnología que también permite el ahorro de energía y eficiencia energética en edificios es la cogeneración, la cual permite, a través de un mismo combustible y equipo, producir energía eléctrica y térmica de manera simultánea. Al utilizar casi todo el combustible, se logra una mayor eficiencia y ahorro económico, que, en edificaciones residenciales, se traduce aproximadamente en un 7 % anual (ACEE, 2018).

La cogeneración resulta mucho más eficiente que la producción de calor y electricidad por separado aporta en más de un 30 conjunto y reduce el consumo de combustible

en más de un 50%. Por otro lado, resulta una tecnología con beneficios medioambientales, ya que reduce las emisiones de contaminantes por unidad de producción (ACEE, s.f.).

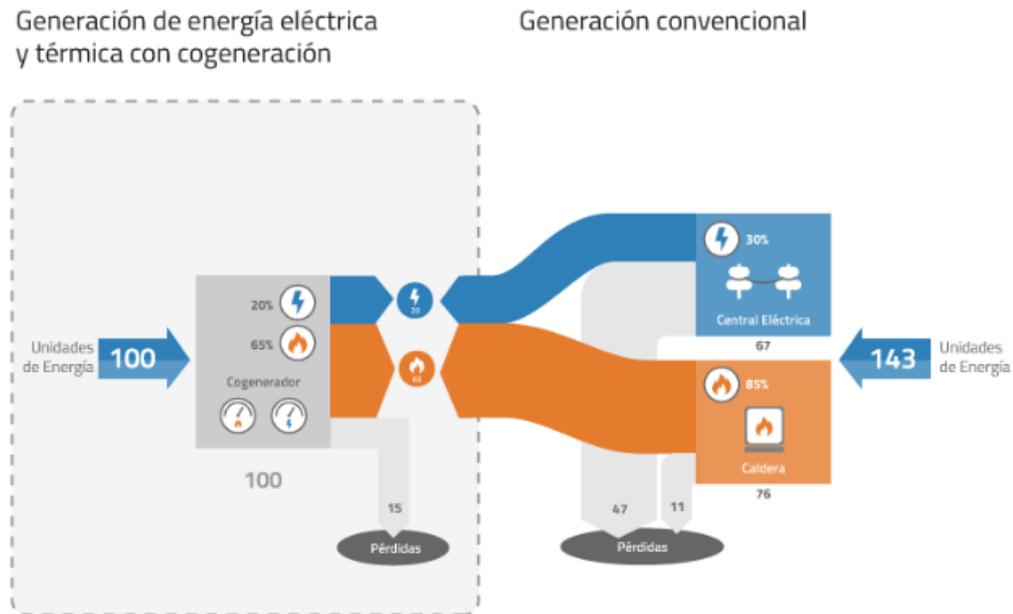


Figura 4.21: Comparación de un sistema convencional con un sistema cogenerativo.

(Fuente: (ACEE, s.f.))

4.7. Plan Regulador de Providencia

El plan regulador de Providencia es un instrumento de planificación territorial de la comuna, fue aprobado el año 2007 y establece normativas de construcción, actividades, entre otras. De igual forma, en materia de desarrollo urbano, el plan se encuentra normado por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) (Municipalidad de Providencia, 2007).

4.7.1. Clases de construcciones

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones define 9 clases de construcciones según los materiales predominantes y tipo de estructura (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006), y según la Ordenanza Local, se permiten las siguientes

para sus edificaciones ([Municipalidad de Providencia, 2007](#)):

- Clase A: “Construcciones con estructura soportante de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.”
- Clase B: “Construcciones con estructura soportante de hormigón armado o con estructura mixta de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.”
- Clase C: “Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.”
- Clase D: “Construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.”
- Clase E: “Construcciones con muros soportantes de madera. Paneles de madera, de fibra de cemento, de yesocartón o similares, incluidas en tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.”
- Clase G: “Construcciones prefabricadas con estructura metálica. Paneles de madera, prefabricados de hormigón, yeso cartón o similares.”

En edificios de 5 pisos y más, se autorizan las clases A y B, mientras que en los edificios de 4 y menos pisos, se autorizan las 6 mencionadas anteriormente.

4.7.2. Acondicionamiento térmico

4.7.2.1. Techumbre, muros y pisos ventilados

Según el Artículo 4.1.10 de la OGUC, se establecen exigencias mínimas de acondicionamiento térmico de techumbre, muros externos y pisos ventilados, es decir, la envolvente de la edificación. Para esto se identifican 7 zonas a lo largo de Chile, en las

cuales se establecen parámetros distintos de Transmitancia térmica (U), y Resistencia térmica total (R_t).

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 4.22: Resistencia y transmitancia térmica en techumbre, muros y pisos ventilados según la zona térmica de Chile

(Fuente: ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006](#)))

La resistencia térmica corresponde a la oposición a la transferencia de calor en un material dado. Para el caso de la resistencia térmica de una capa (R), de caras planas y paralelas de espesor e, y de un material homogéneo de conductividad térmica λ , se tiene ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006](#))

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (4.2)$$

Para una superficie, la resistencia térmica R_s , se tiene como ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006](#))

$$R_s = \frac{1}{h} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (4.3)$$

Donde h, es el coeficiente superficial de transferencia térmica.

Por lo tanto, en el caso de tener varias capas de materiales distintos, la resistencia térmica total, se puede expresar como ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006](#))

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \quad (4.4)$$

Donde R_{Si} y R_{Se} , son las resistencias térmicas de superficie al interior y exterior respectivamente, y $\sum \frac{e}{\lambda}$ es la sumatoria de las resistencias térmicas de las distintas capas.

Por último, la transmitancia térmica, es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los ambientes separados por este elemento, y se define como al inverso de la resistencia térmica total ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006](#))

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (4.5)$$

Tal como se representa en la siguiente figura, la comuna de Providencia corresponde a la zona 3, por ende, se considerarán los valores de transmitancia y resistencia térmica para esta.

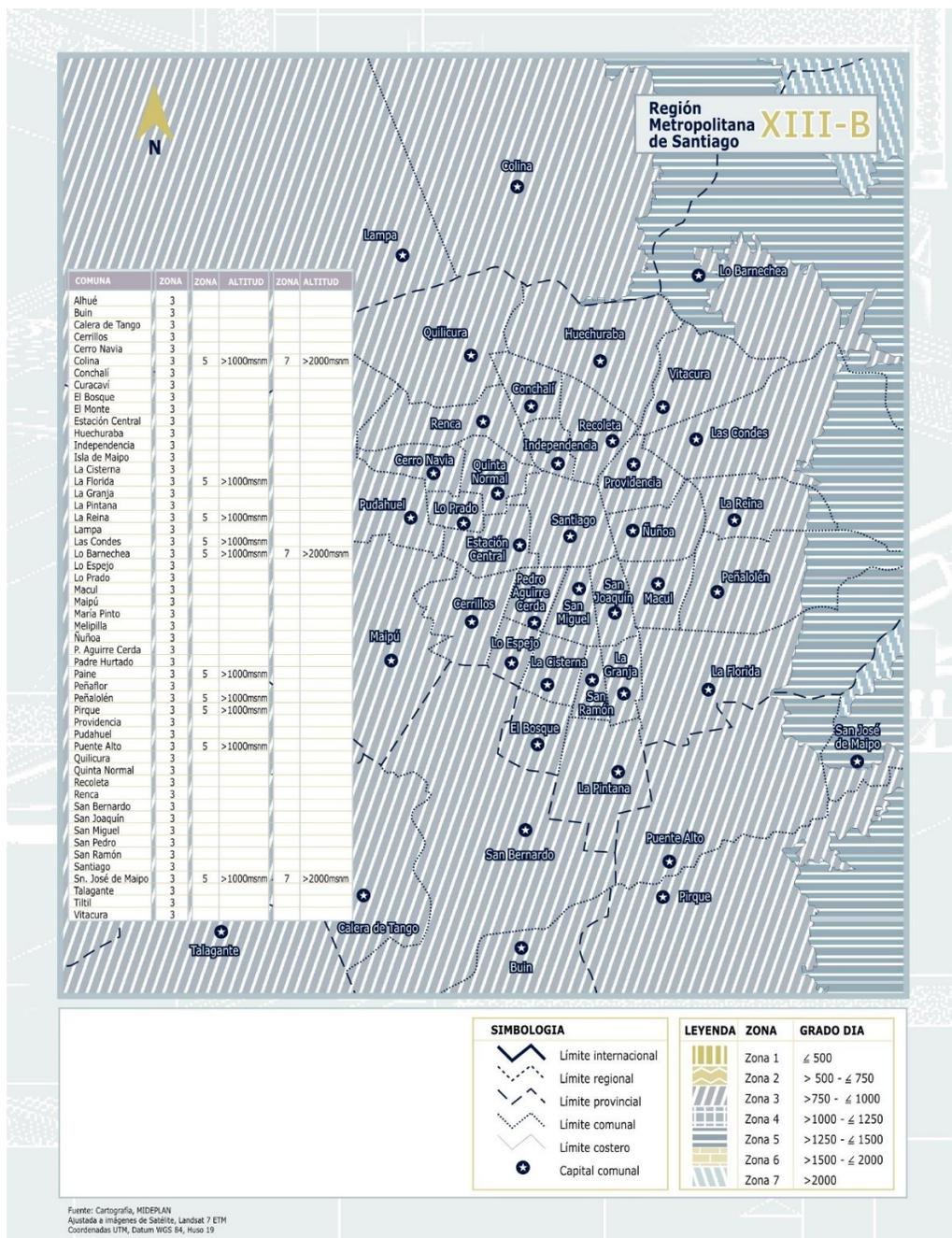


Figura 4.23: Zonas térmicas de Santiago de Chile
(Fuente: (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006))

4.7.2.2. Ventanas

Con respecto a las ventanas, también se establecen exigencias según la zona térmica en la que se construya el proyecto. La tabla siguiente determina la superficie

máxima de ventanas, considerando que la superficie total corresponde a la suma de las superficies interiores de los muros perimetrales.

ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		$3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (a)	$U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

(a) La doble ventana que forme una cámara de aire, se asimila al DVH, con valor U entre 3,6 y 2,4 $\text{W/m}^2\text{K}$

(b) Vidrio monolítico:

De acuerdo a la NCh 132, se entenderá por aquel producto inorgánico de fusión, que ha sido enfriado hasta un estado rígido sin cristalización, formado por una sola lámina de vidrio.

(c) Doble vidriado hermético (DVH):

Figura 4.24: Especificaciones de ventanas según la zona térmica y según el tipo de vidrio
(Fuente: (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006))

Otras características para considerar respecto a los distintos tipos de ventana son la transmisión luminosa y el factor de transmisión solar, donde la primera característica es el porcentaje de luz natural que deja pasar el cristal, mientras que la segunda es la energía térmica total que pasa por consecuencia de la radiación solar, por unidad de radiación incidente (Besser et al., 2012). Algunos valores de referencia según el tipo de ventana son los siguientes:

Grupo	Tipo	Vidrio (mm)	Cámara Aire (mm)	Coefficiente Transmisión luminosa	Factor solar
Simple	Claro	3		0.90	0.89
		4		0.89	0.85
Doble	Claro-Claro	4	6	0.79	0.77
		4	12	0.79	0.77
		4	18	0.79	0.77
		6	6	0.88	0.72
Doble reflectante	Claro	6	12	0.55	0.30
	Plata	6	12	0.30	0.32
	Verde	6	12	0.23	0.21
	Gris	6	12	0.14	0.21
Doble Bajo emisor	Claro	4	6	0.77	0.65

Figura 4.25: Valores más típicos para diferentes tipos de vidrios.

(Fuente: (IDAE, 2005))

4.7.3. Ascensores

Para los edificios destinados a vivienda, de 6 o más pisos de altura (incluyendo subterráneos), deben contar con ascensores, al igual que los edificios destinados a otros usos, a partir de los 5 pisos. Cuando se trata de una edificación dedicada a asistencia hospitalaria, se debe contemplar un ascensor cuando haya 2 o más pisos (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006).

Por otro lado, según la nueva ordenanza del ministerio de Vivienda y Urbanismo, a partir de 2018 todos los ascensores que se incorporen a un edificio de 6 o más pisos, deberán ser de tecnología regenerativa (ANESCO Chile, s.f.).

5 | Metodología

5.1. Benchmarking

Según el ranking internacional de eficiencia energética de 2018 de la ACEEE (The American Council for an Energy Efficient Economy), se tienen los siguientes puntajes para la categoría de edificaciones, según distintos criterios:

Country	Total score	Residential building codes	Commercial building codes	Appliance and equipment standards	Appliance and equipment labeling	Building retrofit policies	Building rating and disclosure	Energy intensity in residential buildings	Energy intensity in commercial buildings
Max. score	25	3	3	5	2	4	2	3	3
Spain	22	3	3	4	2	3	2	2.5	2.5
France	21	3	3	4	2	4	2	1	2
UK	21	3	3	4	2	3	2	1.5	2.5
Netherlands	21	3	3	4	2	3	2	1.5	2.5
Germany	20	3	3	4	2	3	2	1.5	1.5
Italy	20	3	3	4	2	3	2	0.5	2.5
China	19	2.5	2.5	4	2	2	1	3	2
Poland	18	3	3	4	2	3	2	0.5	0.5
Mexico	18	2.5	3	3	1.5	2	0	3	3
Australia	17	3	3	2	1.5	3	1	1	2.5
Turkey	16.5	2	2	3	2	2	2	2.5	1
US	16	2.5	2.5	5	1.5	2	0.5	1	1
Taiwan	15.5	2.5	2.5	1	1.5	3	0	2.5	2.5
Canada	15	2.5	2.5	4	1	3	0.5	0.5	1
Japan	14.5	2.5	2	2	1	3	0.5	2	1.5
South Korea	13	3	3	3	2	1	0	1	0
South Africa	11.5	3	3	1	1.5	0	0	1	2
Brazil	11	1	0	1	2	1	0.5	2.5	3
Indonesia	10	2.5	2.5	0	1	0	0	1.5	2.5
Russia	9	2	2	0	1.5	2	1	0	0.5
India	8.5	0	2	1	1	0	1	1.5	2
UAE	7	1.5	1.5	1	1	0	0.5	1.5	0
Ukraine	6.5	1	1	0	1.5	0	0	1.5	1.5
Thailand	5.5	0	2	0	1	1	0	1.5	0
Saudi Arabia	4	1.5	1.5	0	0	0	0	1	0

Figura 5.1: Puntuación en edificios de ACEEE

(Fuente: (ACEEE, 2018))

De esta lista, se estudió el caso de Francia, Alemania, Estados Unidos, específicamente California, y Japón. De estos se extrajeron antecedentes respecto a políticas y aspectos de construcción de edificios.

5.2. Paneles Fotovoltaicos

Se utilizó la herramienta online del Ministerio de Energía: Explorador Solar, la cual permite estimar la generación de un sistema fotovoltaico con un modelo básico. Para esto se agrega una ubicación aleatoria dentro de la comuna de Providencia, y se calcula la generación total para una capacidad instalada de 10 kWh, para la cual se requiere un mínimo de $62,5[m^2]$.

5.3. Energía

Para calcular la demanda de energía, se utiliza la herramienta para calificación de viviendas CEV. Según las indicaciones del manual de la herramienta, se completan las planillas Excel para los dos casos propuestos con sus respectivas características. Al ser importante el ahorro energético y asumiendo condiciones iguales para ambos casos, no se consideraron los factores de sombra ([Calificación Energética, s.f.a](#)).

Por otro lado, al tratarse de un edificio, se evalúa, en ambos casos, sólo una planta, y, se utiliza la siguiente ecuación para obtener la calificación promedio ponderado:

$$\frac{\sum_i C_i * A_i}{\sum_i A_i} \quad (5.1)$$

No obstante, al asumir que todas plantas del edificio son iguales, la demanda arrojada por el programa equivale a la demanda anual por metro cuadrado de todo el edificio.

5.4. Capacitación Certificación Energética

Para determinar el método para la capacitación de los evaluadores energéticos de la nueva calificación, se utilizó como base la capacitación para evaluadores CEV presentada en la memoria “Propuesta para la calificación de eficiencia energética: modificación de metodología para incorporar calificación en vivienda existente” ([Morales, 2018](#)).

5.5. Costos

5.5.1. Construcción

Los costos de materiales y construcción se obtuvieron a partir de dos páginas:

- Generador de precios de la construcción de la Región Metropolitana de Chile de CYPE Ingenieros.
- Manual de precios: materiales, análisis y presupuestos de obra

Ambas páginas entregan distintos costos unitarios de construcción ajustados al mercado.

Para obtener los costos totales, se estimaron las medidas del edificio para luego multiplicar los costos unitarios con sus respectivas medidas, las cuales están estimadas y representadas en el Anexo [C.1](#).

5.5.2. Difusión

Para obtener los costos de difusión, se utilizaron datos de licitaciones públicas de la Municipalidad de Providencia. Los costos unitarios corresponden a aquellos de la empresa adjudicada en papelería para la licitación de 2018 de “SUMINISTRO DE MATERIAL GRÁFICO PARA DIFUSIÓN DE LA MUNICIPALIDAD DE PROVIDENCIA” ([Mercado Público, 2018.b](#)). Por otro lado, para estimar las cantidades, se utilizó como referencia la licitación del 2018 de “Servicios de Impresión Sistema de Bibliotecas de Providencia” ([Mercado Público, 2018.a](#)).

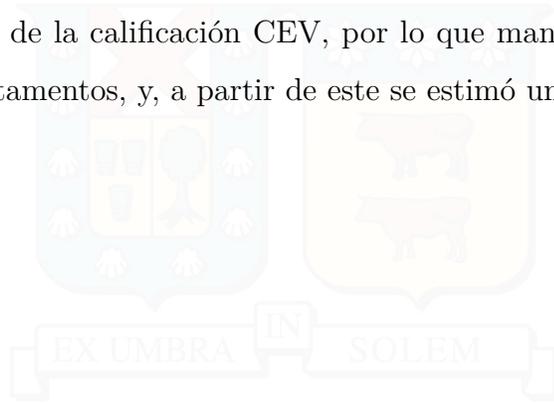
5.5.3. Calificación Energética

Para determinar el costo de la creación de la herramienta de cálculo para el sistema de calificación energética, se revisaron los costos de herramientas similares en página del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, por la ley de transparencia, en la sección de Dotación de Honorarios. Se encontraron dos herramientas, y se obtuvo el promedio de ambas ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s.f.](#)).

Luego, en la misma página, se buscaron los honorarios de los cargos asociados a la Calificación Energética de Vivienda el año 2017, tomando estos como base para la determinación de los cargos, funciones y honorarios del sistema de certificación para

la comuna de providencia ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s.f.](#)).

Por último, se determinó un costo para obtener la calificación energética, que debe, en primer lugar, asumir la constructora. El Profesor Francisco Dall'Orso es evaluador energético de la calificación CEV, por lo que maneja los costos para la calificación de departamentos, y, a partir de este se estimó un valor para el edificio de oficina propuesto.



6 | Antecedentes

Existen varios países que han desarrollado políticas y normativas para fomentar una construcción sustentable, reducir el consumo energético y alcanzar consumos nulos o casi nulos en sus edificios.

6.1. Análisis Internacional

6.1.1. Francia

Según el artículo 9 de la Directiva 2010/31/UE, el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos de la Unión Europea deberán ser edificios de consumo de energía casi nulo ([Diario Oficial de la Unión Europea, 2010](#)). Para poder lograr los objetivos de esta directiva, el gobierno francés establece una nueva reglamentación térmica de edificios (RT2012), la cual pone un límite de consumo para todos los edificios nuevos a partir el año 2012 de $50\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$.¹ Se espera que para el 2021, todos los edificios nuevos serán “Edificios de Energía Positiva”, es decir que produzcan más energía de la que consumen ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)). Desde el primero de noviembre de 2007, todos los edificios nuevos y partes renovadas deben cumplir con el diagnóstico de rendimiento energético (DPE), el cual mide el consumo energético y las emisiones de GEI. Este se debe renovar cada 10 años, todos los edificios públicos deben mostrarlo y para el caso de venta o arriendo de cualquier tipo de edificio, se debe presentar el DPE ([Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria de la República Francesa, 2016](#)).

¹Unidad de medida del consumo de energía primaria por unidad de área y por año. Se utiliza en particular para medir el rendimiento energético de un edificio.

En Francia, el 17 de agosto del año 2015, entró en vigor la “Ley de transición energética para el crecimiento verde”, la cual busca reducir la emisión de gases efecto invernadero, reducir el consumo energético e introducir medidas de eficiencia energética con el fin de lograr los objetivos del Acuerdo de París ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)).

En 2014, el 45 % del consumo energético y un 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero el año 2013 se atribuyeron a los edificios, por lo que es un pilar importante en el desarrollo de esta ley. En cuanto a la construcción de edificios, la ley incita a construir de manera eficiente energéticamente o edificios de energía positiva, es decir, que producen más energía de la que consumen, permitiendo obtener facilidades para estas construcciones y solventar el costo extra que implica. Por otro lado, todos los edificios públicos nuevos deberán ser ejemplares para en temáticas medioambientales y energéticas ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)).

Por otro lado, en cuanto a las renovaciones de los edificios, se plantearon 4 puntos: en primer lugar, al momento de efectuar grandes obras, la legislación obliga a realizar medidas de aislamiento térmico en todo tipo de edificios, ya sea habitacional, de oficinas, educacionales, comerciales y hoteles. Los principales focos para el ahorro de energía se centran en el mejoramiento de la fachada, techos y muros. En segundo lugar, se establece que en edificios que tengan copropiedad, para realizar trabajos de mejoramiento y eficiencia energética en los espacios comunes se necesita una votación con mayoría simple. En tercer lugar, se plantea la creación de un marco operativo para el financiamiento a terceros por parte de empresas públicas, permitiendo fondos anticipados a personas que quieran comenzar a trabajar. Por último, la ley da la posibilidad de derrocar algunas reglas de los planes locales de urbanismo, tales como altura, ubicación o aspecto exterior, lo que permite fomentar la implementación de medidas para la protección de radiación solar, aislamiento térmico en la fachada o elevación de los

techos ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)).

Junto a los 4 puntos anteriores, se plantearon distintas medidas para llevarlos a cabo. Una de ellas es el Crédito Tributario de Transición Energética (CITE), que consiste un crédito que permite un reembolso del 30 % del monto total de obras de renovación energética, donde el límite para una persona sola es de 8000€, y 16000€ si se trata de una pareja. También están los préstamos con tasa cero, que pueden alcanzar un valor de 30000€ para que los propietarios realicen trabajos de renovación energética, y, se puede acumular con el CITE sin ningún tipo de restricción. Adicionalmente, se encuentra el programa “Vivir Mejor”, el cual se realiza en conjunto con la ANAH (Agencia Nacional de la Vivienda) y que busca renovar energéticamente las viviendas. Uno de los objetivos principales de esta política es renovar 500000 hogares por año a partir del 2017, enfocándose en la pobreza energética. Se espera que con este objetivo se puedan crear 75000 empleos ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)). También, se consideraron distintas medidas para ayudar a las personas particulares. El 31 de mayo del 2016, entró en vigor una medida que consiste en individualizar los gastos de calefacción, es decir, en un edificio se debe pagar solo lo que uno consume en calefacción. Esta medida permite generar una responsabilidad en cuanto al gasto y reducir los consumos energéticos; se aplica a los edificios residenciales y del sector terciario, excepto cuando sea imposible su realización ([Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa, 2016](#)).

Por otro lado, según el Artículo L111-19 del Código de Urbanismo francés, en vigor desde el primero de marzo del 2017, todos los edificios nuevos del sector comercial deberán tener en todo su techo o parte de este, un sistema de producción de energía renovable, que estén vegetalizados, o ambos. En el segundo caso, se debe asegurar que se trate de un sistema que garantice un nivel de eficiencia térmica y aislamiento, además de favorecer a la preservación de la biodiversidad. Este Artículo también especifica acciones en áreas de estacionamiento, ya sea recubrimiento de superficie, instalaciones hidráulicas o dispositivos con vegetación que mejoren la permeabilidad

e infiltración de agua de lluvia o su evaporación ([Legifrance, 2017](#)).

6.1.2. Alemania

Alemania se propone una transición energética “Energiewende”, la cual se propone aumentar la seguridad energética y disminuir en el consumo de energía en Alemania. Para esto es fundamental el enfoque en la eficiencia energética y aumentar la utilización de energías renovables, por lo que se pone como objetivo que el año 2050, el 80 % de la energía provenga de fuentes renovables. La preocupación por la eficiencia energética en este país comienza en 1973, luego de la crisis mundial de petróleo, en la cual Alemania notó su dependencia de recursos fósiles, a partir de esto se desarrollaron distintas campañas informativas, leyes y medidas de eficiencia energética ([Ministerio de Relaciones de la República Federal de Alemania, s.f.](#)).

En 2000, se estableció la Ley de energías renovables (EEG), la cual cuenta con tres elementos clave: “tarifas reguladas garantizadas para diferentes tecnologías, alimentación prioritaria a la red y distribución de los costes adicionales asociados mediante un sistema de reparto entre todos los consumidores”. Además, desde el 2009, la EEG, especifica que todos los edificios nuevos deben cumplir con una cuota de energías renovables para satisfacer la demanda. Sin embargo, la mayoría de los edificios en Alemania se rigen por la primera reglamentación de construcción, no existe una obligación para estas constricciones. En estos edificios, se puede reducir un 80 % el consumo en energía primaria mejorando el aislamiento del envolvente, los componentes, modernizando el sistema de calefacción y refrigeración y optimizando sistemas de control; el Gobierno Federal ofrece ayudas para renovar el sistema de calefacción ([Ministerio de Relaciones de la República Federal de Alemania, s.f.](#)).

Actualmente, la Ley EnEG, determina que todos los edificios construidos después del 31 de diciembre del 2020 y aquellos no residenciales que se construyan después del 31 de diciembre del 2018, deben ser de energía cero, es decir que sus necesidades energéticas sean lo más bajas que sea posible y gran parte de estas se deben cubrir

con energías renovables ([Ministerio Federal de Justicia y Protección al Consumidor de Alemania, s.f.](#)). Esta ley establece reglamentos que “aspiran al ahorro de energía mediante una mejora en el aislamiento térmico de los edificios y su diseño; y a través de la selección y operación de sistemas eficientes de calefacción, climatización, iluminación y abastecimiento de agua caliente sanitaria (ACS)” ([Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2008](#)). Esto se aplica tanto a edificios nuevos como existentes, y se establecen métodos de supervisión del cumplimiento de la ley y multas para los casos de no cumplimientos ([Ministerio Federal de Justicia y Protección al Consumidor de Alemania, s.f.](#)). Junto a esta ley, también se encuentra la Ordenanza de ahorro de energía (EnEV), la cual entró en vigor el año 2002, pero se está constantemente revisando y modificando. Esta Ordenanza pone requisitos más estrictos en términos de construcciones nuevas, con estándares cercanos a los “Passivhaus”. A partir del 1 de enero de 2016, los nuevos edificios, deben consumir un 25 % menos de energía primaria, y el aislamiento térmico del envolvente debe ser aproximadamente 20 % mejor. Además, en los edificios ya existentes, se obliga a renovar a partir del 2015 todas las calderas alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, instaladas después del 1 de enero de 1985. También, los techos de la planta superior deben estar aislados a partir del 1 de enero del 2016, es decir, deben cumplir con un valor mínimo de transmitancia de $U=0,24$ [W/(m² K)] ([DENA, s.f.a](#)). Por último, la EnEV, da existencia a un Certificado Energético (Energypass), el cual es obligatorio para todos los edificios nuevos desde el 2002. Este certificado entrega información sobre la calidad energética de un edificio, la energía necesaria para calefacción, ventilación, ACS, iluminación y refrigeración, y la demanda en energía primaria del edificio, la cual está directamente ligada a la eficiencia energética de este. Para casos de alquiler o venta de edificios o partes de él, se debe obligatoriamente presentar el certificado al comprador o inquilino a durante la inspección. También está estipulado que se debe mostrar las características energéticas del edificio en los anuncios inmobiliarios, y, se debe renovar cada 10 años ([DENA, s.f.b](#))

Una de las ciudades que demuestra un importante papel para el éxito de la

transición energética de Alemania es Friburgo, la ciudad “más ecológica y sostenible” del mundo, tras ser destruida luego de la Segunda Guerra Mundial, se reconstituyó con el fin de ser sustentable. Los edificios en esta ciudad consumen un promedio de 65 kilovatios/hora por año gracias a la utilización de energías renovables, en especial paneles fotovoltaicos, y estructuras con el estándar “Passivhaus”. A modo de ejemplo, la Biblioteca de la Universidad de Friburgo, el 2015 se convirtió en un edificio pasivo, y ha logrado ahorrar 2 millones de euros al año (BBC, 2017). Uno de los barrios de esta ciudad es reconocido por generar cuatro veces la energía que consume, Schlierberg, que con una gran cantidad de paneles solares en sus edificios aprovecha las 1800 horas de luz solar al año (Plataforma Urbana, 2015). En un período de 10 años se logró la reurbanización de esta zona, creando 60 “Energy-Surplus-Houses” y un edificio con oficinas, locales comerciales y viviendas llamado “Sonneschiff”. Todos los techos del barrio están cubiertos con paneles fotovoltaicos, orientados al sur, son techos a dos aguas asimétricas con voladizos, lo que permite generar sombra en verano. Fomentado por la ley EEG, se instaló un sistema de 445 kWp, lo cual produce anualmente 420000 kWh de energía solar, equivalente a un ahorro en energía primaria de 2 millones de kWh al año (PV Up-Scale, 2007).

6.1.3. Estados Unidos

En Estados Unidos, existen códigos de energía en edificios desde 1970, y se estima que permitieron el ahorro de un 30% de energía en menos de una década, lo equivalente aproximadamente a \$60 billones ahorrados en casas y negocios en EE.UU. Estos códigos entregan requerimientos para las nuevas construcciones y las remodelaciones, se van renovando a lo largo de los años, y proponen estándares mínimos en cuanto al aislamiento de los edificios, mejorar las ventanas, y otras características con ciertos niveles por alcanzar. Según un estudio realizado por el “Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)”, entre 2012 y 2040, se ahorrará un total de \$126 billones de dólares con estos códigos, lo que equivale a 841 millones de emisiones de CO₂ evitadas (Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2016.a). El Departamento de Energía de los EE. UU. (DOE) está obligado a establecer estos requisitos para los nuevos edificios

comerciales, residenciales y federales. También, debe publicar determinaciones sobre si las nuevas ediciones de la Norma ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) 90.1 y el Código internacional de conservación de la energía mejorarán la eficiencia energética ([Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2016.b](#)). En cuanto a los edificios comerciales, sus códigos de energía en edificios se rigen por la ASHRAE y el “International Code Council (ICC)”, se publican ediciones cada vez que se realicen revisiones, y se permite su adopción por los estados y localidades ([Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2016.b](#)). Para fomentar los estándares de eficiencia energética en edificios, existen distintitos incentivos tales como préstamos y rebajas a nivel nacional, estatal o local. A nivel nacional, el sistema PACE (“Property Assessed Clean Energy”) ayuda a financiar proyectos de energía renovable, remodelaciones de calefacción, ventilación, aislamiento, luz, bombas de agua etc. PACE financia el 100% de los costos, y se permite un pago en el largo plaza de hasta 20 años ([PACEnation, s.f.](#)).

Existen Estados que van más allá de las normas mencionadas anteriormente, como por ejemplo, California, que recientemente se puso como objetivo, mediante la ley SB100, que el 100% de energía limpia a base de energías renovables para el año 2045 ([El País, 2018](#)). Además, existen normas más rigurosas en la construcción, las cuales se actualizan cada tres años, y se encuentran en el Código de Regulaciones de California, titulo 24. La última versión del Código es del 2016, entró en vigor el 1 de enero del 2017, sin embargo, ya está aprobada la versión del 2019 ([California Energy Commission, 2018.c](#)). La Parte 11 del Código corresponde a la normativa de construcción verde de California, y es llamado “CalGreen Code”. En esta parte se dictan normativas obligatorias y voluntarias para edificaciones nuevas residenciales y no residenciales. Dentro del “CalGreen Code”, la División 5.2, corresponde a la eficiencia energética dentro de las edificaciones, que tiene como propósito disminuir la utilización de fuentes de energía que se puedan agotar, y para esto mejorar la eficiencia energética. Existen mediadas obligatorias que tienen como fin disminuir el uso de agua potable en edificios nuevos o modificados, para esto se pretende

utilizar medidores que permitan tener una línea base, y poder monitorear el consumo. Además, se busca reducir el caudal de agua en los accesorios de plomería, o en los sistemas de riego. Junto a esto, las fachadas también deberán ser más impermeables para evitar que la filtración de agua o humedad en los edificios y mantener mejor las temperaturas. Por otro lado, se restringió la cantidad de desechos en las nuevas construcciones, siendo ahora obligatorio demostrar la reducción de al menos 65 % de los desechos mediante el reciclaje u otros medios de gestión de residuos. A su vez, se espera también mejorar la calidad del aire interior y exterior mediante a reglamentaciones en adhesivos, pinturas, materiales, conductos de ventilación, etc. (CBSC, 2016). Para edificaciones residenciales, algunas de las medidas para el 2016 son: iluminación eficiente, mejorar el aislamiento de las paredes y techos, e instalaciones de tecnología de calentamiento de agua sin tanque y mejores sistemas de distribución (California Energy Commission, 2015). En edificios no residenciales, se nombran distintas mediadas de eficiencia energética para el año 2016: sensores en puertas y ventanas que ajusten el termostato del sistema de calefacción o refrigeración, controles digitales para el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado que permitan evitar el desperdicio, ascensores y escaleras mecánicas eficientes e inteligentes que consuman menos energía cuando no se utilicen e iluminación exterior con menos potencia (California Energy Commission, 2015). Los nuevos estándares estarán vigentes a partir del 1 de enero de 2020, y se enfocan en cuatro áreas claves: “sistemas fotovoltaicos inteligentes residenciales, estándares actualizados de envolvente térmica (evitando la transferencia de calor desde el interior al exterior y el viceversa), requisitos de ventilación residencial y no residencial, y requisitos de iluminación no residencial.” (California Energy Commission, 2018.b). Específicamente, en los edificios no residenciales, se especifica que las luces interiores y exteriores deberán ser LED, para utilizar menos energía y ahorrar dinero en las facturas de electricidad. Además, se requiere un sistema eficiente de filtros que permitan mantener un aire limpio al interior del edificio, que permitan cumplir los requisitos de flujo de aire específicos (California Energy Commission, 2018.a).

A partir del “Plan Estratégico de Eficiencia Energética de California”, el estado se propone como metas que todas las construcciones de edificios comerciales en 2030 serán cero energía neta (ZNE). Además, el 50 % de los edificios comerciales serán modernizados para que cumplan los estándares de ZNE en 2030, al igual que el 50 % de las nuevas renovaciones importantes de los edificios estatales para 2025 ([Comisión de servicios públicos de California, s.f.](#)).

6.1.4. Japón

Después de una crisis de petróleo en la década de 1970, Japón realizó múltiples esfuerzos para ahorrar energía y asegurar un suministro estable de energía. Entre 1973 y 2011, se redujeron en aproximadamente 40 % las emisiones de gases de efecto invernadero en el país. En 1973, se promulgó la “Ley de conservación de la energía”, la cual entrega una base legal para cualquier tipo de actividad de conservación de energía. En 1998, a partir de los objetivos propuestos por el protocolo de Kyoto, se revisó la ley, incorporando el “Top Runner Program”, en donde se establecen estándares para la conservación de energía y eficiencia de consumo de equipos y maquinas en el sector residencial, comercial y de transporte. El año 2013, se agregaron a este programa, materiales de aislamiento y ventanas, ya que el área de la construcción puede ser de gran influencia en términos de la conservación de energía ([Ministerio de Economía, Comercio, e Industria de Japón, 2015](#)).

Específicamente, en el sector de los edificios, existe la “Ley de eficiencia energética de los edificios”, la cual se estableció en julio de 2015. Está cuenta con medidas obligatorias y de incentivo para edificios residenciales y no residenciales, ya sea para nuevas construcciones, ampliaciones o renovaciones. En el caso de edificios no residenciales de 2.000 m² o más, ya sea para nuevas construcciones, ampliaciones o renovaciones, se debe, antes de comenzar la obra, pasar por una certificación energética, es decir, cumplir con un determinado estándar. Una vez que se aprueba la certificación, se puede comenzar con la obra, la cual debe pasar por una inspección final para certificar los estándares de eficiencia energética antes de poder hacer uso

del edificio. Al tratarse de edificios de 300m² o más, se debe generar una notificación, al menos 21 días antes que comience la construcción, a la agencia administrativa con jurisdicción. Por otro lado, existen incentivos a realizar construcciones, ampliaciones, mejoras, remodelaciones, preinstalación o reparación de sistemas de refrigeración que potencien la eficiencia energética y la conservación de energía en todo tipo de edificios. Si, al momento de realizar alguna de las obras mencionadas anteriormente, estas cumplen con los estándares de eficiencia energética, estos planes reciben una certificación para el plan de mejora del rendimiento, de la jurisdicción en el área de construcción. Esta certificación permite optar a ciertos beneficios como la excepción de la regulación del área de piso (IBEC, 2016).

Para evaluar el rendimiento de eficiencia energética de los edificios no-residenciales, se utilizan dos estándares (IBEC, 2016):

- Estándar para evaluar el rendimiento de la envolvente (PAL), ventanas y paredes exteriores.
- Normas para evaluar el consumo de energía primaria de los equipos de los equipos y dispositivos de automatización de oficinas (OA), etc.

Se tiene lo siguiente (IBEC, 2016):

$$PAL = \frac{\text{Carga térmica anual de la zona perimetral de cada piso } \left(\frac{MJ}{\text{año}}\right)}{\text{Superficie total del piso de la zona perimetral } (m^2)} \quad (6.1)$$

Donde la zona perimetral consiste en el espacio interior que se encuentra a 5 metros horizontales de la línea central de la pared de cada piso en contacto con el aire exterior, el espacio interior del piso directamente debajo del techo y el espacio interior que está directamente sobre el piso en contacto con el aire exterior (IBEC, 2016).

Por otro lado, el consumo de energía primaria se obtiene de (IBEC, 2016):

$$\text{Consumo de energía primaria} = \text{consumo de energía primaria de sistema de aire acondicionado} + \dots \quad (6.2)$$

Para poder construir un edificio, se debe cumplir con el estándar de eficiencia energética siguiente respecto al consumo de energía primaria (sin considerar los aparatos OA) (IBEC, 2016):

$$\frac{\text{Valor de diseño}}{\text{Valor estándar}} \leq 1 \quad (6.3)$$

Por otro lado, para obtener el certificado de planes de mejora del desempeño energético, se debe cumplir, con respecto al consumo de energía primaria (IBEC, 2016):

$$\frac{\text{Valor de diseño (si considerar aparatos OA, entre otros)}}{\text{Valor estándar (sin considerar aparatos OA, entre otros)}} \leq 1 \quad (6.4)$$

Y con respecto al PAL exterior (IBEC, 2016):

$$\frac{\text{Valor de diseño}}{\text{Valor estándar}} \leq 1 \quad (6.5)$$

6.1.5. Benchmarking

A partir de la información mencionada anteriormente, se realiza el siguiente cuadro a modo de resumen:

	Francia	Alemania	California (EE.UU.)	Japón
Leyes	“Ley de transición energética para el crecimiento verde” (2015) y RT2012, apuntan a edificios nuevos y remodelaciones de gran escala. Buscan que los edificios conserven un estándar de eficiencia energética.	La transición energética “Energiewende”, junto a la Ley de energías renovables “EEG”, el reglamento de construcción “EnEG” y la ordenanza de ahorro de energía “EnEV”, buscan un ahorro del consumo energético, marcando normativas y estándares de construcción y sistemas eficientes.	“Código de Regulaciones de California, título 24”, “CalGreen Code” contiene normas obligatorias y voluntarias para la construcción de edificios.	“Ley de eficiencia energética de los edificios” (2015), “Ley de la conservación de la energía”, “Top Runner Program”. Normas y estándares obligatorios y voluntarios para la construcción y renovación de edificios.
Certificación (Declaración de energía)	Obligatoria para todos los edificios nuevos a partir de 2007, se renueva cada 10 años.	Obligatoria para todos los edificios nuevos a partir del 2002, se renueva cada 10 años.	Voluntaria.	Obligatoria para edificios no residenciales con más de 2000m ²
NZEB	Todos los edificios nuevos para 2021, edificios municipales nuevos a partir del 2016.	Edificios nuevos no residenciales a partir del 2018 y residenciales a partir del 2020	Se espera que para 2030 los nuevos edificios comerciales, y el 50% de los existentes sean ZEB. Además, el 50% de las renovaciones de edificios estatales en 2025	Se espera que para 2020 los edificios públicos nuevos, y para el 2030 todos los edificios nuevos.
Energías Renovables	Todos los edificios comerciales nuevos a partir del 2017 deben contar con paneles solares fotovoltaicos en el techo (o techo con vegetación)	Por la ley EEG, todos los edificios nuevos a partir del 2009 deben tener una cuota de energía renovable para satisfacer su demanda.	Para 2019, todos los edificios residenciales. Según las Ley SB100, el 100% de la energía debe ser en base a fuentes renovables en 2045.	No son obligatorias, pero aportan utilizan para el cálculo del consumo energético primario de los edificios.
Incentivos	Préstamos y créditos tales como CITE o el “préstamo de tasa cero”	Apoyo del estado con préstamos y rebajas para remodelaciones.	Sistema PACE, además de préstamos y rebajas.	Beneficios como la excepción de regulación de área de piso.

Tabla 6.1: Benchmarking

(Fuente: Elaboración Propia)

Por otro lado, se tiene la siguiente información respecto a las transmitancias máximas de cada país mencionado anteriormente:

Tabla 6.2: Valores de transmitancia en $[W/m^2k]$ en los elementos de edificios en California, Alemania y Japón.

	Piso	Muro	Techo	Ventanas
California	0,3	0,44	0,19	0,27
Alemania	0,28	0,28	0,2	1,3
Japón	0,48	0,53	0,24	3,49

Fuente: Elaboración propia según los datos de USdepartment of energy y GBPN.

(([U.S Department of Energy, 2009](#)) y ([GBPN, s.f.](#)))

Francia cuenta con un U general de 0,36 $[W/m^2k]$ ([GBPN, s.f.](#)).

7 | Línea Base

Para conocer el comportamiento térmico y consumo energético de un edificio de oficinas representativo de Providencia, se utilizó un estudio y realizado. Este estudio generó una muestra de 51 edificios en distintas comunas de la Región Metropolitana construidos entre 2005 y 2010, los cuales, según ciertas características los cuales se agruparon en dos. Luego, se seleccionaron 2 edificios, uno de cada grupo, y se estudiaron con sus características principales, obtenidas de las Especificaciones Técnicas desde la Dirección de Obras Municipales. Además, se estimó la ganancia interna producida por iluminación, ocupación y equipos pequeños, la ventilación y as infiltraciones (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011).

El edificio seleccionado en providencia se representa a continuación:

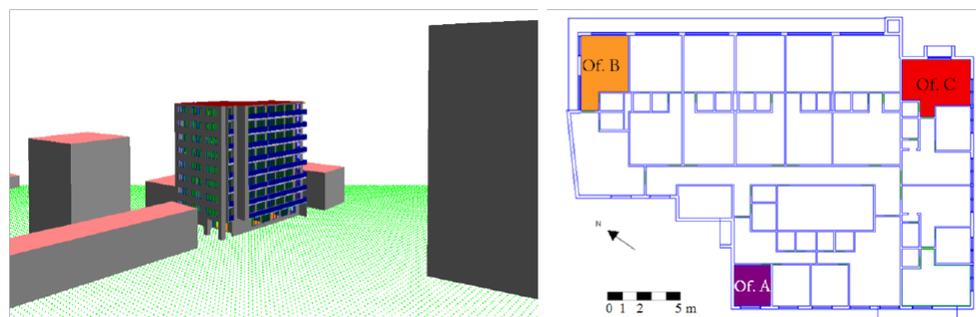


Figura 7.1: Edificio de Providencia según el software TAS (izquierda), incluyendo volúmenes de alrededor. A la derecha se encuentra una planta “tipo” del edificio con las oficinas A al oeste, B hacia el norte y C hacia el oeste.

(Fuente: (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011))

Este posee 9 pisos y una superficie de aproximadamente 3530 m², sin incluir subterráneos, y su permiso de edificación data del 2008. Otras características principales son (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011):

- Elementos estructurales de concreto de 150 mm de espesor en losas y muros. Elementos divisorios de paneles livianos.
- Envolvente: combinación de muro estructural de hormigón armado, y aproximadamente 30 % de vidriado.
- Ventanas: vidriado simple claro de 4 mm de espesor. FS=0,82 y TL=0,9.
- Piso subterráneo: concreto (150 mm) con recubrimiento de baldosas cerámica (8mm).
- Cubierta: concreto (150mm), EPS (poliestireno expandido) de 60 mm (0,041 W/m°C, 15 kg/m³), una cámara de aire de 80 mm y techo de acero galvanizado de 0,8 mm de espesor.

Adicionalmente, se consideró un horario de operación de lunes a viernes de 9:00hrs a 19:00hrs. en las oficinas, y de 24 horas del “hall” de acceso, teniendo esto, se estimó una ganancia por conceptos de iluminación de 12 [W/m²] en las oficinas y de 5 [W/m²] en el “hall” y pasillos (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011). Cabe destacar que, según la normativa chilena, en una oficina, la iluminancia debe ser de 400 [lux], mientras que en los pasillos esta debe ser de 50 [lux] (S.E.C., 2003). Por concepto de equipos pequeños, se estimó una ganancia interna de 15 [W/m²], y con respecto a las personas, se estima que se produce una ganancia de calor sensible y latente por ocupación de 9 [W/m²] y 5,4 [W/m²] respectivamente, considerando una densidad de 0,107 [personas/m²]. Por otro lado, considerando una altura por oficina de 2,7 [m], se obtiene un volumen aproximadamente de 25,7 [m³/persona], y, se estima una tasa de ventilación de recambio de 1,4 volúmenes por hora (ach). Además, se asume una infiltración de 0,3 volúmenes por hora durante las 24 horas (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011). Por último, es necesario considerar las condiciones de confort para este tipo de edificios. Según las condiciones planteadas por la ASHRAE, en verano se considera un confort térmico cuando se tiene una temperatura entre 23 y 26,5°C, y una humedad relativa del ambiente de 24 a 65 %. En invierno se

tienen temperaturas de 20 a 23,5°C y humedad relativa de 30 a 70 % (ASHRAE, 2001).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se realizó una simulación del caso base durante dos días del año (uno en verano y otro en invierno), dejando libre el termostato, para caracterizar la temperatura ambiental al interior del edificio. Esta simulación permitió identificar que, durante el día de verano, se produce un sobrecalentamiento, alcanzando los 35°C, y no se nota mayor influencia en la orientación de las oficinas. Sin embargo, en invierno, si se notan condiciones de confort térmico en las oficinas orientadas hacia el norte, mientras que hacia el oriente y poniente se encuentran bajo la temperatura de confort (Bustamante, De Herde, & Encinas, 2011).

Además, debido a que se trata de un edificio que puede contar con varios arrendatarios distintos se considera una tarifa BT1: (Enel, s.f.)

Tabla 7.1: Tarifa BT1.

	Neto	IVA
Costo Energía	\$ 85,764	\$ 102,059

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Enel (Enel, s.f.)

8 | Propuestas

Para alcanzar estándares de construcción eficiente en edificios no residenciales en la comuna de Providencia, es necesario generar una ordenanza local con mayores exigencias para las nuevas construcciones y remodelaciones, para que estas sean obligatorias en todo el territorio de la comuna.

Si bien la construcción de “Net Zero Energy Buildings” podría llegar a ser factible en la comuna, se debe plantear un plazo más extenso para comenzar con la construcción de estos edificios para que exista suficiente información, tanto de los beneficios de estos edificios como sus costos. Para alcanzar estos estándares, se debe comenzar por mayores exigencias en las edificaciones para que sean más eficientes y con un menor consumo de energía. También, se deben generar revisiones y nuevas versiones constantes de la ordenanza para reforzar los estándares y que estos estén actualizados.

Para ello, existen medidas pasivas y activas que permiten facilitar este tipo de niveles energéticos. Las pasivas corresponden a formas de construcción, orientación y otras medidas que aportan de forma indirecta al ahorro y eficiencia energética hasta alcanzar un mínimo o nulo consumo energético. Por otro lado, los sistemas activos, requieren cierto mecanismo u energía para funcionar, por ejemplo, la implementación de energías renovables en las edificaciones, si bien no es una medida de eficiencia energética, es una fuente de energía que permite reducir el consumo de energía tradicional y llevar además a un ahorro monetario.

8.1. Diseño Pasivo

Tal como se demuestra con el estándar Passivhaus, al tener en cuenta ciertos criterios de construcción, es posible llegar a un edificio de consumo casi nulo. Para ello, se deben establecer exigencias más estrictas que aquellas especificadas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

Se propone una reglamentación térmica de los muros, techos y pisos ventilados en la comuna, referente a la zona 3, que considera los siguientes valores:

Tabla 8.1: Propuesta de resistencia y transmitancia térmica en techumbre, muros y pisos ventilados de Providencia

	U [W/m^2K]	R_t [m^2K/W]
Techumbre	0,47	2,13
Muros	0,8	1,25
Pisos Ventilados	0,7	1,43

Fuente: Elaboración propia.

Además, todos los muros exteriores deben contar con un material aislante, ya se incorporado o adosado, con resistencia térmica mínima $R_t=0,4 [(m^2K)/W]$.

Con respecto a las ventanas, están deben ser de doble vidrio hermético como mínimo, y cumplir con un $U \leq 3,6 [W/(m^2K)]$, y que reduzca lo más posible el factor solar. Se deben minimizar las ventanas orientadas hacia el este y oeste, y, incluir un sistema protección solar, ya sea fijo, móvil, interno o externo, que permita generar sombra al interior del inmueble y este no alcance niveles de sobrecalentamiento en verano. En el caso de no incluir sistemas de sombra, la superficie vidriada no debe superar el 30 % del muro exterior. El porcentaje anterior, se deberá evaluar y si es posible, disminuir a medida que se realicen actualizaciones de la ordenanza.

Si bien la iluminación artificial no se considera como un sistema de diseño pasivo, se debe considerar para la eficiencia energética. Para ello, se propone la implementación

de iluminación LED obligatoria tanto para interior y exterior del inmueble.

8.2. Diseño Activo

Todos los edificios nuevos no residenciales, deberán contar con un sistema activo con energías renovables que permita reducir el consumo energético de fuentes convencionales, es decir, cubrir una parte del consumo anual del edificio. Por ejemplo, se deberán incorporar paneles fotovoltaicos o colectores solares en los techos de las construcciones, o, de no ser factible, sistemas geotérmicos.

A medida que se realicen modificaciones en la Ordenanza, se deberá cumplir con un porcentaje mínimo de producción de energía a partir de energías renovables, el cual irá aumentando constantemente.

8.3. Implementación

Para fomentar la ordenanza, involucrar a la comunidad e incentivar la propuesta, se debe realizar una campaña publicitaria, la cual debe mostrar los beneficios de la implementación, económicos y ambientales. Esto consiste en publicar material audiovisual a través de la página de la Municipalidad de Providencia y la generación de material físico para difundir en la comuna.

Al tratarse de un Municipalidad, no es posible generar préstamos o rebajas para la construcción o compra de un edificio, ya que corresponde a una iniciativa nacional, la cual se podría impulsar a partir de la Municipalidad de Providencia. Sin embargo, para entregar un incentivo, se podría generar un convenio o alianza con empresas de paneles fotovoltaicos, el cual permita generar descuentos para la implementación de paneles a cambio. Estos acuerdos no implican un costo adicional para la Municipalidad, ya que las empresas se deben comprometer a cumplir con un cierto descuento y/o beneficios a cambio de publicidad y difusión de la empresa y sus beneficios para la

comuna.

8.4. Certificación

Se propone que, en primer lugar, se deban considerar todas las especificaciones anteriores para obtener el permiso de edificación en la comuna. Luego, una vez construido el edificio, se deba pasar por una certificación que valide los requisitos mínimos energéticos para poder comenzar a ocupar la edificación. Se plantea la utilización de una calificación similar a la CEV (Calificación Energética de Viviendas), pero enfocada a edificios no residenciales, la cual permita entregar información sobre la eficiencia energética de una construcción. Si bien no existe una certificación como tal, debería ser una propuesta del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Por lo tanto, el MINVU, debería crear una nueva calificación, basada en la ya existente, la cual se encargue de realizar una inspección en el edificio, y pueda entregar una calificación que cuantifique la demanda estimada de calefacción y refrigeración del edificio, además de asegurar que cumpla con los requisitos de aislamiento, ventanas y iluminación mínimos. Para ello, se debe crear el sistema de calificación energética y capacitar a evaluadores energéticos calificados para certificar la eficiencia energética de los edificios.

En el caso de no obtener la calificación necesaria, se permite un plazo para solucionar las causas de rechazo, El plazo varía según la complejidad del caso de rechazo.

Cabe destacar que la comuna de Providencia haría obligatoria esta certificación para los edificios de oficina, además, la municipalidad deberá contar con 3 o 4 evaluadores dentro del equipo, los cuales estarían disponibles para la calificación de cualquier edificio de la comuna.

Una vez adquirida esta certificación, esta debe ser presentada de forma transpa-

rente al momento de venta u arriendo del edificio o partes de este, explicitando la energía necesaria para su calefacción y refrigeración como mínimo. Esta certificación se debe actualizar cada 10 años o al momento de realizar un cambio mayor en el edificio.

Tal como se mencionó anteriormente, se debe actualizar de igual forma la ordenanza, con respecto a los límites y exigencias determinados cada 5 años, en función de los edificios ya construidos, el seguimiento de estos, en los avances arquitectónicos, energéticos y tecnológicos.

8.5. Costos

8.5.1. Difusión

En primer lugar, es necesario recalcar que la realización de la propuesta como tal no conlleva a un costo adicional, ya que ya existen los recursos humanos que se encargan de la documentación de Ordenanza, por lo tanto, es un costo ya considerado en el presupuesto actual de la Municipalidad.

Para la difusión de la Ordenanza, como ya se mencionó anteriormente, tampoco implica un costo extra para el material audiovisual y documentos publicados en la página web de la Municipalidad, ya que es este trabajo ya se realiza actualmente, y, al igual que en el punto anterior ya se encuentra considerado.

Sin embargo, al realizar difusión de material físico, es decir volantes, trípticos, afiches, etc., si se debe obtener un presupuesto adicional. Por lo tanto, se consideran los siguientes costos:

Tabla 8.2: Costos de difusión

	Cantidad [Ud]	Valor Unitario con IVA incluido [\$]	Valor Total [\$]
Afiche	480	729,47	350.146
Tríptico	3.000	273,70	821.100
Volantes	3.000	99,96	299.880
Total			1.471.126

Fuente: Elaboración propia según la información de Mercado Público ([Mercado Público, 2018.a](#)) y ([Mercado Público, 2018.b](#)).

8.5.2. Calificación Energética de Edificios

Para elaborar el sistema de calificación, se debe crear una herramienta que permita calcular la demanda energética. Para ello se cuenta con un ingeniero civil, quien debe elaborar una planilla Excel que posea una herramienta de cálculo en el mismo formato, utilizando como base lo ya utilizado por la herramienta CEV, además de un manual de uso y capacitaciones para el uso de la herramienta. Se considera un pago único de \$5.000.000.

Además, debe existir un equipo que gestione el desarrollo del sistema de calificación:

Tabla 8.3: Equipo desarrollador del sistema de Capacitación

Descripción de la función	Profesión	Honorario Total Bruto [\$]
Colaborador en la elaboración del sistema y estrategia de Calificación energética.	Ingeniero Constructor	1.444.800
Gestionar el desarrollo del Sistema y Supervisar implementación en regiones.	Arquitecto	2.027.012
Manejo de la herramienta. Participar en el desarrollo de funcionalidades a incorporar en la herramienta.	Arquitecto	1.272.800
Apoyo en la administración de la herramienta. Cooperar con en el desarrollo de funcionalidades a incorporar en la herramienta.	Arquitecto	1.651.800
Apoyo en la implementación del sistema.	Técnico de Nivel Superior en Energías Renovables	1.032.000
Apoyo en la revisión de proyectos calificados o por calificar. Creación de presentación y capacitación de evaluadores.	Arquitecto	1.290.000

Fuente: Elaboración propia según la información del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. ([Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s.f.](#))

8.5.2.1. Capacitaciones

Para ejecutar la calificación, es necesario capacitar al actual equipo de calificadoros energéticos, ya que poseen una base con el CEV y así estarían habilitados para calificar cualquier tipo de edificio. Actualmente existen 513 evaluadores energéticos a lo largo de Chile ([Calificación Energética, s.f.b](#)), se propone capacitarlos mediante a la herramienta GoToWebinar, el cual permite realizar conferencias y seminarios vía web. Esta herramienta, tiene una capacidad para 1000 personas, que pueden interactuar durante el seminario. También, es posible realizar evaluaciones, controlar la asistencia y el grado de atención, entre otras funciones ([GoToWebinar, s.f.a](#)).

A través de esta herramienta, se programa un seminario en una fecha y hora determinada, y se envía un link a quienes deban registrarse. El seminarista debe ser un profesional que maneje la herramienta CEV, que ya trabaje en la creación de la certificación, es decir que sea parte del equipo, el cual se encargará de la ejecución del seminario y la evaluación. Este debe realizar una presentación y crear la evaluación para los evaluadores que participen del seminario.

Por lo tanto, los evaluadores participan del seminario, y, si aprueban la evaluación, obtienen la certificación para evaluar cualquier tipo de edificio (residencial o no residencial). No obstante, si no aprueban o si no realizan el seminario, se genera una segunda instancia presencial en el MINVU, en Santiago.

El costo asociado a esta capacitación equivale al costo de contratación de la herramienta GoToWbinar, la cual será utilizada durante un mes, y por ende se tiene un valor de \$ 295.349 ([GoToWebinar, s.f.b](#)) y ([Banco Central De Chile, s.f.](#)).

9 | Evaluación de Propuesta

Teniendo en cuenta el edificio presentado como línea base, se realiza un análisis de un nuevo edificio con las características similares, pero considerando la propuesta anterior.

El edificio que se presenta tiene la misma cantidad de metros construidos, con los mismos materiales, pero, se le incluye un aislante en los muros exteriores. Luego, se considera el 30 % del envolvente vidriado con ventanas dobles, y, un sistema de paneles fotovoltaicos, que se explicarán con mayor detalle a continuación.

9.1. Energías Renovables

En el nuevo edificio, se implementan paneles fotovoltaicos, simulado mediante el Explorados Solar de la página del Ministerio de Energía. Se utilizan los datos entregados y ángulos optimizados por la página, fijando una ubicación aleatoria en Providencia.

La simulación entrega una medición estimada de la generación de energía del sistema fotovoltaico.

Tabla 9.1: Características del sistema fotovoltaico.

Capacidad Instalada	10 kW
Total Diario	41.0 kWh
Total Anual	14.98 MWh
Factor de Planta	17 %

Fuente: ([Ministerio de Energía, s.f.c.](#))



Figura 9.1: Generación Fotovoltaica Mensual Promedio

(Fuente: ([Ministerio de Energía, s.f.c.](#)))

Por lo tanto, el ahorro económico, si se considera una tarifa BT1, es el siguiente:

Tabla 9.2: Ahorro monetario anual con paneles fotovoltaicos.

	Neto	IVA
Costo Energía	\$ 85,764	\$ 102,059
Ahorro Anual	\$ 1.284.744,72	\$ 1.528.843,82

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de Enel ([Enel, s.f.](#))

Además, al utilizar esta tarifa, se está sujeto a la Ley 20.571 para la Generación Distribuida y el Reglamento D.S. N°71, los cuales permiten “a los clientes regulados del sistema de distribución eléctrica disponer de medios de generación de energía renovable no convencional (o cogeneración eficiente), inyectar a la red de distribución sus excedentes y ser remunerados por dichas inyecciones” ([Ministerio de Energía, s.f.d.](#))

9.2. Ahorro Energético

Para calcular el ahorro energético estimado, se utiliza la herramienta para la certificación CEV, si bien esta permite la calificación energética de viviendas, se

obtiene un valor aproximado de la demanda de calefacción y refrigeración para el caso base y la propuesta realizada:

Tabla 9.3: Comparación de la demanda en calefacción y refrigeración entre el edificio de la línea base y el propuesto

	Línea Base	Propuesta	Ahorro	%
	[kWh/ m^2 -año]	[kWh/ m^2 -año]	[kWh/ m^2 -año]	
Demanda Calefacción y Refrigeración	110	51,7	58,3	53 %

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, al considerar los 3.530 [m^2] del edificio, y la tarifa BT1 de 102,059 [\$/kWh] (IVA incluido), se tiene un ahorro monetario de 21.003.640 [\$/año].

Por otro lado, se calcula el ahorro energético y monetario que conlleva la cambio de iluminación de tubos fluorescentes a tubos led. Considerando que las luces se utilizan durante 10 horas los 5 días de la semana, todas las semanas del año, es decir, 52 semanas, se tiene lo siguiente:

Tabla 9.4: Comparación de tubos fluorescentes con tubos led

	Tubo Fluorescente	Tubo LED
Vida útil [hrs]	9.000	40.000
Vida útil [años]	3,46	15,38
Cantidad [ud]	1.000	1.000
Potencia [W]	20	16
Energía [kWh/año]	52.000	41.600
Costo Energía [\$/año]	5.307.068	4.245.654

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se tiene una reducción del 20 % de la energía consumida y un ahorro de \$ 1.061.414 por año.

Cabe destacar que la inversión en tubos fluorescentes se realiza una vez cada 3 años, mientras que los tubos LED se compran a los 15 años. Es decir, con un ciclo de operación de los tubos LED, se tienen 4,44 ciclos de tubos fluorescentes. Si bien se detallan los costos más adelante, se tienen los siguientes valores normalizados:

Tabla 9.5: Costos normalizados de tubos fluorescentes con tubos LED

	Tubos Fluorescente	Tubos LED
Vida útil [años]	3,46	15,38
Cantidad [ud]	1.000	1.000
Precio Unitario [\$]	1.017	6.462
Costo Total Anual[\$/año]	339.000	441.000

Fuente: Elaboración Propia

Es decir, si se hiciera la inversión en iluminación fluorescente durante la vida útil de la iluminación LED, se tiene:

$$Inversión\ tubos\ fluorescentes = 1000 \times 1017 \times 4,44 = \$4520000 \quad (9.1)$$

Mientras que la inversión en luces LED es de \$ 6.462.000, es decir, un 30 % más que el monto anterior.

Si bien el precio normalizado de la iluminación LED, y, por ende, su inversión, es mayor al de la iluminación fluorescente, también se debe considerar el costo de oportunidad de no utilizar los tubos, se tiene un costo total por año de los tubos fluorescente de \$ 1.355.214, por lo tanto, se tiene un ahorro anual real de \$ 935.184.

9.3. Costos

Se tienen los siguientes costos de las medidas mencionadas anteriormente para el caso base y el caso propuesto:

Tabla 9.6: Comparación de los costos de la línea Base y la propuesta.

	Línea Base	Propuesta
Ventanas	\$ 34.748.968,41	\$ 65.467.752,30
Iluminación	\$ 1.017.000,00	\$ 6.462.000,00
Aislante	\$ 0	\$ 50.848.851,52
Paneles	\$ 0	\$ 11.900.000,00
Calificación	\$ 0	\$ 300.000,00
Total	\$ 35.765.968,41	\$ 137.678.603,82

Fuente: Elaboración propia según los datos de: (ONDAC, s.f.) y (CYPE Ingenieros, S.A., s.f.).

Es decir, la propuesta conlleva a aumentar el costo de construcción en \$ 101.912.635,41, lo equivalente a un aumento del 74% en los aspectos mencionados anteriormente.

Sin embargo, según los costos de construcción del 4to trimestre del 2018 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el costo por metro cuadrado de un edificio similar al evaluado es de \$ 275.686 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2018). Por ende, al multiplicar este valor por los 3.530 [m^2] construidos, se tiene un costo total de \$ 973.171.580. Por lo tanto, se tiene:

Tabla 9.7: Costos totales de edificación de Línea Base y de la propuesta.

Línea Base	Propuesta	Diferencia
\$ 973.171.580	\$ 1.075.084.215,41	9,48 %

Fuente: Elaboración propia.



10 | Análisis FODA de Propuesta

Tabla 10.1: Análisis FODA de Propuesta

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Al ser una propuesta Municipal, no puede entregar las mismas facilidades económicas para la ejecución de esta. • La propuesta aumenta el costo de construcción. • El espacio de construcción para nuevas edificaciones es limitado en la comuna de Providencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se decide crear una nueva ley, ordenanza o certificación obligatoria para todo el país, podría invalidar la propuesta de la comuna de Providencia.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • La propuesta permite reducir la energía de los edificios y por ende de la comuna, haciéndola entonces, más eficiente. • Se tendría un mejor registro e información de los edificios y la energía consumida, tanto para los usuarios como para la comuna. • Se fomenta el uso de Energías Renovables No Convencionales. • Permite que los compradores o arrendatarios estén más conscientes de sus consumos. • Involucra a toda la comunidad, y, sigue con la agenda energética de la comuna y del país. 	<ul style="list-style-type: none"> • La propuesta da paso a la generación de propuestas similares para edificios municipales, residenciales y ya existentes. • Providencia podría fomentar la eficiencia energética en el resto de las comunas del país. • Da paso a la creación de una Calificación por parte del MINVU y el Ministerio de Energía, y que esta sea utilizada a nivel país. • Al continuar actualizando la propuesta, se pueden lograr edificios de consumo casi nulo o edificios que produzcan más energía de la que consumen.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, a partir del análisis anterior, la propuesta logra darle un valor agregado a la comuna de Providencia y a toda la comunidad, ya que permite reducir la energía, los costos, mejorar la información y concientizar sobre el uso eficiente de la energía. Por ende, se produce una mejora de Providencia, dándole una imagen de una comuna verde. Además, el plan de la comuna podría llegar a ser muy influyente a nivel nacional, entregando una nueva certificación e información que permita aumentar los estándares en todo el país. Sin embargo, existen algunas limitaciones, ya que, para conseguir los estándares determinados, implica un aumento en los costos de construcción, por ende, de venta y arriendo. Además, al tratarse de una municipalidad, no existen las mismas facilidades económicas que a nivel nacional para ayudar a la comunidad.

11 | Conclusiones y recomendaciones

Tanto en Chile como en Providencia, se realizan estrategias energéticas que buscan lograr un uso más eficiente de la energía, para así, contribuir al objetivo del Acuerdo de París. Específicamente en Providencia, una de las metas de la EEL consiste en promover una construcción más sustentable y eficiente en la comuna. Sin embargo, los estándares de construcción actuales no reflejan una eficiencia energética en los edificios. En esta memoria se busca plantear distintas medidas para la construcción de edificios de oficina de Providencia que puedan servir como insumo para una nueva ordenanza municipal.

Para lo anterior, se comparan las políticas energéticas de distintos países y ciudades, logrando a partir de esto, generar distintas propuestas y medidas para aplicar en la ordenanza municipal. Se llega a la conclusión que es posible realizar edificios de consumo casi nulo o de energía positiva, sobre todo para las nuevas construcciones. Sin embargo, se requieren distintos mecanismos y constantes revisiones para que se logren estos estándares. Es por esto, que, para una ejecución eficaz de la propuesta, se requiere que esta ordenanza sea actualizada cada 5 años, para poder adaptarse a los cambios externos y poder aumentar de forma paulatina las exigencias hasta poder alcanzar estándares de edificios de consumo casi nulo. Además, se debe generar consciencia dentro de la comunidad a partir de un buen manejo de la información, para que exista una adaptación y una correcta adopción de las medidas, teniendo claro los costos y beneficios de cada una de ellas.

En primer lugar, se propone una disminución de la transmitancia de los muros del envolvente del edificio, que pasan de $1,9 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ a $0,8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, teniendo en cuenta un aislante con una resistencia térmica mínima de $0,4 \text{ [m}^2\text{K/W]}$. Se mantienen los valores para el techo y pisos, pero con la intención de mejorarlos en las próximas actualizaciones de la ordenanza. Por otro lado, se requieren ventanas de doble vidrio hermético con una transmitancia térmica menor o igual a $3,6 \text{ [W/m}^2\text{K]}$. También, se propone que existan sistemas de protección solar para así disminuir la temperatura del edificio y evitar un sobrecalentamiento o que el porcentaje de superficie vidriada del exterior no supere el 30 % del total del envolvente. Las medidas anteriores, buscan mantener la temperatura del edificio, evitando así pérdidas de calor y reducir la energía utilizada en calefacción o refrigeración. Además, para disminuir la energía destinada a iluminación, se requiere la implementación de iluminación LED en todo el edificio, ya que es una medida más eficiente para la iluminación. Por último, para promover la autogeneración de energía, deben poseer un sistema de ERNC que cubra un porcentaje del consumo total del edificio. Si bien no se especifica el porcentaje requerido en un principio, se espera determinar uno que pueda ir aumentando a medida que se realicen actualizaciones.

Por otro lado, todos los nuevos edificios de oficina deberán contar con una calificación energética que certifique la eficiencia energética y, por ende, la demanda en calefacción y refrigeración del edificio. Esta certificación será obligatoria para la venta o arriendo del edificio o una parte del el, además, se deberá renovar cada 10 años, o al momento que se realice una modificación mayor en la edificación.

Para esta propuesta los mayores costos asociados son aquellos de la calificación, sin embargo, estos se atribuyen al Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ya que abarca una propuesta nacional. Estos costos corresponden tanto a la creación de la herramienta, como a la contratación de personal y capacitación de evaluadores. Sin embargo, al utilizar como base la calificación energética de viviendas ya existente, se pueden

reducir costos y tiempos para la creación e implementación de la nueva calificación.

Al realiza una comparación energética entre una línea base y un edificio con las medidas propuestas, se nota una disminución del 53 % de energía en calefacción y refrigeración (Ver Tabla: 9.3), y, del 20 % en iluminación (Ver Tabla: 9.5) lo que conlleva a un gran ahorro monetario. Por otro lado, al evaluar la propuesta, se constata que económicamente, implica un aumento del 9,48 % del costo total de construcción del edificio, tal como se demuestra con los costos expuestos en la tabla 9.6. Esto demuestra que, si bien se genera un aumento en el costo de construcción, sigue siendo factible, además, para los usuarios se genera un ahorro energético anual que permite reducir los costos de calefacción, refrigeración e iluminación.

El alcance de la propuesta es para futuros edificios de oficina, y, siendo la comuna de Providencia un espacio restringido para la construcción de edificios se crea una gran limitación para la aplicación de la propuesta. Es por lo que se recomienda desarrollar medidas similares para otros tipos de edificios, ya sea de vivienda, municipales o privados, además de generar propuestas para edificios ya existentes. Al crear la calificación, se puede fomentar la calificación, tanto de edificios residenciales como no residenciales, edificios existentes o remodelaciones. De esta forma se incentiva el uso responsable de energía, y el compromiso de la comunidad permite facilitar la transición a una construcción más eficiente con edificios que tengan un consumo casi nulo o que alcancen niveles de energía positiva.

Bibliografía

ACEE. (2016) *Elevado gasto en edificios por concepto de climatización*. Recuperado de: <https://www.acee.cl/>

4.6

ACEE. (2018). *Eficiencia energética en edificios: Cogeneración presenta nuevas oportunidades de negocios para las inmobiliarias y distribuidoras de gas*. Recuperado de: <https://www.acee.cl/>

4.6.2.3

ACEE. (s.f.) *Que es eficiencia energética*. Recuperado el 07 de julio de 2018 de: <https://www.acee.cl/>

4.3

ACEE. (s.f.). *Cogeneración*. Recuperado el 16 de noviembre de 2018 de: <http://www.cogeneracioneficiente.cl/>

4.6.2.3, 4.21

Agencia Alemana de Cooperación Técnica. (2008). *Eficiencia energética en la Unión Europea y Alemania: Selección de directivas y leyes*. Recuperado de: <https://www.cofemersimir.gob.mx/>

6.1.2

American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). (2018). *The 2018 International Energy Efficiency Scorecard*. Washington, DC.

5.1

ANESCO Chile. (s.f). Eficiencia energética en ascensores. Recuperado el 09 de abril de 2018 de: <https://www.anescochile.cl/>

4.7.3

ASHRAE. (2001). ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta: ASHRAE.

7

Banco Central de Chile. (s.f.) *Indicadores Diarios*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de: <https://si3.bcentral.cl/Bdemovil/BDE/IndicadoresDiarios>

8.5.2.1

BBC. (2017). *Alemania: cómo es vivir en Friburgo, la ciudad "más ecológica y sostenible" del mundo*. Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/>

6.1.2

Besser, D., Bobadilla, A., Diaz, M., Figueroa, R., Guzmán, F., Muñoz, C., Piderit, M., Sánchez, R., Sánchez, R. & Trebilcock, M.(2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética de Edificios Públicos*. 4.7.2.2

Bustamante, W., De Herde, A., & Encinas, F. (2011). Análisis de comportamiento térmico de edificios de oficinas en comunas de la Región Metropolitana, Chile. *Revista de la construcción*, 10(1), 64-77. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2011000100007>

7, 7.1, 7

Calificación Energética. (s.f.a). *Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas*. Recuperado el 1 de diciembre de 2018 de: <http://www.calificacionenergetica.cl>

5.3

Calificación Energética. (s.f.b). *Evaluadores*. Recuperado el 12 de diciembre de 2018 de: <http://www.calificacionenergetica.cl/>

8.5.2.1

California Energy Commission. (2015). *California's 2016 Building energy efficiency standards*.

6.1.3

California Energy Commission. (2018.a). *California's 2018 Building energy efficiency standards*.

6.1.3

California Energy Commission. (2018.b). *La Comisión de Energía Adopta Estándares Requiriendo Sistemas Solares Para Casas Nuevas*. Recuperado de: <https://www.energy.ca.gov/>

6.1.3

California Energy Commission. (2018.c). Blueprint. *Efficiency Division*,123,1-3. Recuperado de: <https://www.energy.ca.gov/>

6.1.3

California Building Standards Commission (CBSC).(2016). *Guide to the 2016 California Green Building Standards Code: Nonresidential*

6.1.3

Carretero, A. & García, J. M. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR.

2, 4.3

Comisión de servicios públicos de California. (s.f.). *Zero Net Energy*. . Recuperado el 22 de octubre de 2018 de: <http://www.cpuc.ca.gov/ZNE/>

6.1.3

CYPE Ingenieros, S.A.(s.f.). Generador de precios de la construcción. Chile. Recuperado el 28 de noviembre de 2018 de: <http://www.chile.generadordeprecios.info/>

9.6, C.4

Decreto Supremo N°37 (2015). Diario Oficial de la República de Chile, lunes 21 de

marzo de 2016.

DENA (Agencia Alemana de Energía). (s.f.a). *EnEV 2014 - Innovaciones más importantes*. Recuperado el 16 de octubre del 2018 de: <https://www.dena-expertenservice.de/>

6.1.2

DENA (Agencia Alemana de Energía). (s.f.b). *Pase Energético (general)*. Recuperado el 16 de octubre del 2018 de: <https://www.dena-expertenservice.de/>

6.1.2

Departamento de Energía de los Estados Unidos. (2016.a). *Ahorro de energía y dinero con los códigos de energía de los edificios en los Estados Unidos*. Recuperado de: <https://www.energy.gov/>

6.1.3

Departamento de Energía de los Estados Unidos. (2016.a). *Programa de códigos de energía para la construcción*. Recuperado de: <https://www.energycodes.gov/development/commercial>

6.1.3

Diario Oficial de la Unión Europea. (2010). Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).

6.1.1

Eficiencia Energética Chile. (s.f.). *Sistemas Geotérmicos*. Recuperado el 16 de noviembre de 2018 de: <http://www.eechile.cl/sistemas-geotermicos/>

4.6.2.2, 4.20

El Mundo. (2016). *¿Cómo determinar si un edificio es de consumo de energía casi nulo?* Recuperado de: <http://www.elmundo.es/>

4.6

El País. (2018). *California se compromete por ley a usar un 100 % de electricidad renovable en 2045*. Recuperado de: <https://elpais.com/>

6.1.3

Enel. (s.f.). Tarifas. Recuperado el 27 de noviembre de 2018 de: <https://www.eneldistribucion.cl/tarifas>

7, 7.1, 9.2

EPA. (2010). *U.S. Environmental Protection Agency 2010-2014 Pollution Prevention (P2) Program Strategic Plan*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/>

2

Energía Abierta. (s.f.). *Balance Nacional de Energía*. Recuperado el 07 de julio del 2018 de: <http://energiaabierta.cl/>

4.4

Global Buildings Performance Network (GBPN). (s.f.). *Herramienta comparativa de políticas*. Recuperado el 20 de octubre de 2018 de: <http://www.gbpn.org/> 6.2, 6.1.5

Gerber, A., Hatt, T., Hempel, R. & Saelzer, G. (2012). Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar “Passivhaus” en Chile. *Revista de la Construcción*, 12(22), 123-134.

4.6.1

GoToWebinar. (s.f.a). *Funcionalidades*. Recuperado el 19 de diciembre de 2018 de: <https://www.gotomeeting.com/webinar/features>

8.5.2.1

GoToWebinar. (s.f.b). *Precios*. Recuperado el 20 de diciembre de 2018 de: <https://www.gotomeeting.com/webinar/pricing>

8.5.2.1

Hatt, T. (2012). *El estándar "PASIVHAUS" en el centro-sur de Chile: un estudio paramétrico multifactorial*. (Tesis Doctoral). Universidad del Bio-Bio, Concepción,

Chile.

4.6.1

IBEC (Instituto para el Ambiente de Edificios y la Conservación de Energía de Japón). (2016). *Ley de eficiencia energética de los edificios*. Recuperada de: <http://www.mlit.go.jp/>
6.1.4, 6.1.4, 6.1.4, 6.1.4, 6.1.4

IEA (2017). *Estadísticas mundiales clave de energía 2017*. Paris, Francia: OCDE/IEA.
4.1, 4.1, 4.1, 4.2, 4.2, 4.1, 4.3

IEA (2018). *Perspectivas para la transición energética: El papel de la Eficiencia Energética*. Paris, Francia: OCDE/IEA.
1, 4.1, 4.3

INE (2018). Resultados CENSO 2017. Vivienda [Base de datos]. Recuperado de: <https://resultados.censo2017.cl/>
4.4, 4.5

Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). (2005). Guía Técnica: Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de Edificios. Madrid.
4.25

IPCC. (2015). *Cambio climático 2014: Informe de Síntesis*. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/>
4.2, 4.5, 4.2, 4.6, 4.2

Jara, W. (2006). *Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERN)*. Endesa Chile.
4.6.2.1, 4.6.2.2

La Tercera. (2014). *Chile, el segundo país que más emisiones per cápita genera en Latinoamérica*. Recuperado de: <http://www2.latercera.com/>
4.4

Legifrance. (2017). Código de urbanismo: Artículo L111-19. Recuperado de:
<https://www.legifrance.gouv.fr/>

6.1.1

Mercado Público. (2018.a). *Servicios de impresión Sistema de Bibliotecas de Providencia*. Recuperado de: <http://www.mercadopublico.cl/> 5.5.2, 8.2

Mercado Público. (2018.b). *SUMINISTRO DE MATERIAL GRÁFICO PARA DIFUSIÓN DE LA MUNICIPALIDAD DE PROVIDENCIA*. Recuperado de:
<http://www.mercadopublico.cl/> 5.5.2, 8.2

Ministerio de Economía, Comercio, e Industria de Japón. (2015). *Top Runner Program*.
Recuperado de: <http://www.enecho.meti.go.jp/>

6.1.4

Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de: <https://united4efficiency.org/>

4.4

Ministerio de Energía. (2015). *Nueva Política Energética para Chile* Recuperado de:
<http://www.energia.gob.cl/>

2, 4.4, 4.4

Ministerio de Energía. (2016). *Estrategia Energética Providencia*. Recuperado de:
<http://www.minenergia.cl/>

1, 4.5, 4.15, 4.5, 4.5

Ministerio de Energía.(2018). *Informe Balance Nacional de Energía 2016*. Recuperado de: [http:// energiaabierta.cl/](http://energiaabierta.cl/)

4.4, 4.4, 4.4, 4.8, 4.4, 4.9, 4.4, 4.10, 4.4, 4.11, 4.5

Ministerio de Energía. (s.f.a). *¿Qué es una Estrategia Energética Local?* Recuperado el 19 de abril de 2018 de: <http://www.minenergia.cl/>

2

Ministerio de Energía. (s.f.b). *Comuna Energética: Providencia*. Recuperado el 05 de julio de 2018 de: <http://www.minenergia.cl/>

4.5

Ministerio de Energía. (s.f.c). *Explorador Solar*. Recuperado el 27 de noviembre de 2018 de: www.minenergia.cl/exploradorsolar/

9.1, 9.1, A.1

Ministerio de Energía. (s.f.d). *Ley 20.571 para la Generación Distribuida*. Recuperado el 27 de noviembre de 2018 de: <http://www.minenergia.cl/ley20571/>

9.1

Ministerio del Medio Ambiente. (2017a). *Plan de acción nacional de cambio climático 2008-2012 (PANCC)*. Recuperado de: <http://portal.mma.gob.cl/>

4.4

Ministerio del Medio Ambiente. (2017b). *Segundo Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2013*. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://www.snichile.cl/>

4.4, 4.12, 4.13, 4.4

Ministerio del Medio Ambiente, Energía y Mar de la República francesa. (2016). *La ley de transición energética para el crecimiento verde*. París, Francia. Recuperado de: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>

6.1.1

Ministerio de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania. (s.f.). *La transición energética en Alemania*. Recuperado el 15 de octubre de 2018 de: <http://www.energiewende-global.com/es/>

6.1.2

Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria de la República Francesa. (2016). *Requisitos reglamentarios para la construcción de edificios*. Recuperado de:

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>

6.1.1

Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria de la República Francesa. (2018). *Diagnóstico de rendimiento energético - DPE*. Recuperado de: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). *Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica*.

4.7.1, 4.22, 4.7.2.1, 4.7.2.1, 4.7.2.1, 4.7.2.1, 4.23, 4.24, 4.7.3

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). *Tabla de Costos Unitarios por Metro Cuadrado de Construcción*. Recuperado de: <http://www.minvu.cl/>

9.3

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (s.f.). *Directorio Histórico de Personal a Honorarios*. Recuperado el 13 de diciembre de 2018 de: <http://www.minvu.cl/>

5.5.3, 8.3

Ministerio Federal de Justicia y Protección al Consumidor de Alemania. (s.f.). Ley de ahorro de energía en edificios. Recuperado el 8 de octubre de 2018 de: <http://www.gesetze-im-internet.de/>

6.1.2

Morales, J. (2018). *Propuesta para la calificación de eficiencia energética: modificación de metodología para incorporar calificación en vivienda existente*. (Memoria). Universidad Técnica Federico Santa María. Santiago, Chile.

5.4

Municipalidad de Providencia. (2007). *Ordenanza Local* Recuperado de: <http://firma.providencia.cl/>

1, 2, 4.7, 4.7.1

Municipalidad de Providencia. (s.f.). *Estrategia Energética Local*. Recuperado el 4 de junio de 2018 de: <http://www.providencia.cl/energia/estrategia-eel>
2, 4.5, 4.14, 4.5, 4.16, 4.5, 4.3, 4.17, 4.18

Naciones Unidas. (s.f.). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2015*. Recuperado el 05 de julio de 2018 de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cop21/>
4.2

OECD. (2014). *OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics*. Paris, France: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/factbook-2014-en>.
<http://dx.doi.org/10.1787/http://dx.doi.org/10.1787/factbook-2014-en>.

ONDAC. (s.f.). Manual de Precios: Materiales, Análisis y Presupuestos de Obra. Recuperado el 28 de noviembre de 2018 de: <https://manual.ondac.com/cl/>
9.6, C.4

PACENation. (s.f.). *¿Qué es PACE?* Recuperado el 22 de octubre de 2018 de: <http://pacenation.us/what-is-pace/>
6.1.3

Passivhaus Chile. (s.f.a). *Passivhaus ¿Qué es?* Recuperado el 27 de septiembre de 2018 de: http://passivhaus-chile.cl/#Que_es
4.6.1

Passivhaus Chile. (s.f.b). *Passivhaus: Certificación*. Recuperado el 27 de septiembre de 2018 de: <http://passivhaus-chile.cl/#Certificacion>
4.6.1

Passivhaus Chile. (s.f.c). *Estrategías de Diseño: Descripción General*. Recuperado el 27 de septiembre de 2018 de: http://passivhaus-chile.cl/#Descripcion_General
4.6.1

- Passivhaus Chile. (s.f.d). *Passivhaus en Santiago*. Recuperado el 27 de septiembre de 2018 de: <http://passivhaus-chile.cl/#Santiago>
4.19, 4.6.1
- Plataforma Urbana. (2015). *Schlierberg: el barrio alemán que con paneles solares genera 4 veces más energía que la que consume*. Recuperado de: <http://www.plataformaurbana.cl/>
6.1.2
- PV Up-Scale. (2007). *Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg (Breisgau), Germany*. Recuperado de: <http://cdn.plataformaurbana.cl/>
6.1.2
- RapidTables. (s.f.). Lux to watts calculator. Recuperado el 29 de noviembre de 2018 de: <https://www.rapidtables.com/> C.2, C.3
- Senado de Chile. (2017). *Ratifican acuerdo de París sobre cambio climático*. Recuperado de: <http://www.senado.cl/>
2
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (S.E.C.). (2003). NCH Elec. 4/2003. Electricidad Instalaciones de consumo en baja tensión.
7
- UNFCCC. (s.f). *Paris Agreement - Status of Ratification*. Recuperado el 05 de julio de 2018 de: <https://unfccc.int/process/>
4.2
- U.S Department of Energy. (2009). *Country Report on Building Energy Codes in Japan*. Recuperado de: <https://www.pnnl.gov/>
6.2
- Warr, B. Ayres, R. Eisenmenger, N. Krausmann, F. & Schandl, H. (2010). Uso de la energía y desarrollo económico: un análisis comparativo de la oferta de trabajo útil en Austria, Japón, el Reino Unido y los Estados Unidos durante

100 años de crecimiento económico. *Ecological Economics*, (69), 1904-1917. Doi: [10.1016/j.ecolecon.2010.03.021](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.021).

4.1

Zalaquett, V. (2013). Política de Eficiencia Energética en Chile. *Ministerio de Energía de Chile*.

4.4, 4.7



12 | Anexos



A | Paneles Fotovoltaicos

Las características del sistema fotovoltaico seleccionado son las siguientes:

Tabla A.1: Características del sistema fotovoltaico.

Configuración	Fijo Inclinado
Montaje	open rack cell glassback
Inclinación	26°
Azimut	-3°
Coef. Temperatura	-0,45 %/°C
Ef. Inversor	96.0 %
Pérdidas	-14 %

Fuente: ([Ministerio de Energía, s.f.c.](#))

B | Ahorro Energético: Herramienta CEV

B.1. Planilla Excel Línea Base

1.2.- Descripción general de los elementos de la envolvente (esto sólo se utiliza en la confección del certificado)

Muro principal	Muro Hormigón Armado con aislación por Sin. de materialidad Pesado, con $U= 1,9$ [W/m ² K], espesor soldo 15 [cm] y espesor aislante de [cm]
Muro secundario	Muro Hormigón Armado con aislación por Sin. de materialidad Liviano-Otro, con $U= 1,9$ [W/m ² K], espesor soldo 15 [cm] y espesor aislante de [cm]
Piso principal	Piso Pisos transmitancia con aislación por Sin, con $U = 0,7$ [W/m ² K].
Techo principal	Techo Techo con aislación por Interior con $U= 0,47$ [W/m ² K] y espesor aislante de 6 [cm]
Techo secundario	Techo Techo con aislación por Interior con $U= 0,47$ [W/m ² K] y espesor aislante de 6 [cm]
Ventana principal: Vidrio y Marco	Vidrio VM con espaciador de 4mm con $U= 5,8$ [W/m ² K] y factor solar de 0,82
Ventana secundaria: Vidrio y Marco	Vidrio VM con espaciador de 4mm con $U= 5,8$ [W/m ² K] y factor solar de 0,82
Puerta principal	Puerta Liviana de madera con $U= 2,63$ [W/m ² K] y 0% de vidrio

3.1.- Area y coeficiente de transferencia de calor por elemento constructivo

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
-------	---------------	-------------	---------------	------------------------	------------------------

Muro 1	Hormigón Armado	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Pesado	58,0	1,9
Muro 2	Hormigón Armado	0° ≤ Az < 22,5°	N	Pesado	29,0	1,9
Muro 3	Hormigón Armado	112,5° ≤ Az < 135°	SE	Pesado	6,9	1,9
Muro 4	Hormigón Armado	67,5° ≤ Az < 90°	E	Pesado	11,6	1,9
Muro 5	Hormigón Armado	157,5° ≤ Az < 180°	S	Pesado	40,6	1,9
Muro 6	Hormigón Armado	180° ≤ Az < -157,5	S	Pesado	46,4	1,9
Muro 7	Hormigón Armado	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Pesado	18,8	1,9
Muro 8	Hormigón Armado	135° ≤ Az < -112,5	SO	Pesado	23,2	1,9

Puentes térmicos particulares					
Alojada en el muro	Azimut	Orientación	Elemento perpendicular	Aislación	Longitud [m]

P04	Hormigón Armado	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Marco Metálico	Sin Aislación	27,0
P04	Hormigón Armado	180° ≤ Az < -157,5	S	Marco Metálico	Sin Aislación	24,0
P04	Hormigón Armado	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Marco Metálico	Sin Aislación	19,6
P04	Hormigón Armado	157,5° ≤ Az < 180°	S	Marco Metálico	Sin Aislación	23,0
P04	Hormigón Armado	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Marco Metálico	Sin Aislación	16,0

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)	Categoría para PT y Infit	Tipo
Ventana (incluye marco)									Marco	

Ventana 1	VM 4mm	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Hormigón Armado	Abatir	Centrada	Sin	1,20	12,30	Metálico	Sin RPT
Ventana 2	VM 4mm	180° ≤ Az < -157,5	S	Hormigón Armado	Abatir	Centrada	Sin	1,00	11,00	Metálico	Sin RPT
Ventana 3	VM 4mm	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Hormigón Armado	Abatir	Centrada	Sin	1,00	8,80	Metálico	Sin RPT
Ventana 4	VM 4mm	157,5° ≤ Az < 180°	S	Hormigón Armado	Abatir	Centrada	Sin	1,00	10,50	Metálico	Sin RPT
Ventana 5	VM 4mm	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Hormigón Armado	Abatir	Centrada	Sin	1,00	7,00	Metálico	Sin RPT

		Renovaciones de aire por hora [1/hr]											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0		4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
1		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
2		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
3		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
4		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
5		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
6		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
7		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
8		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
9		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
10		4.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40
11		4.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40
12		1.40	1.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40
13		1.40	1.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40	4.40
14		1.40	1.40	1.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40	1.40
15		1.40	1.40	1.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40	1.40
16		1.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40
17		4.40	4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40	4.40
18		4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40
19		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
20		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
21		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
22		4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40
23		4.40	4.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	4.40



B.2. Planilla Excel Propuesta

1.2.- Descripción general de los elementos de la envolvente (esto sólo se utiliza en la confección del certificado)	
Muro principal	Muro Hormigón Armado con aislación por Exterior, de materialidad Pesado, con U= 0.8 [W/m2K], espesor solido 15 [cm] y espesor aislante de 6 [cm]
Muro secundario	Muro Hormigón Armado con aislación por Exterior, de materialidad Pesado, con U= 0.8 [W/m2K], espesor solido 15 [cm] y espesor aislante de 6 [cm]
Piso principal	Piso Pisos transmitancia con aislación por Sin, con U = 0.7 [W/m2K].
Techo principal	Techo Techo con aislación por Interior con U= 0.47 [W/m2K] y espesor aislante de 6 [cm]
Techo secundario	Techo Techo con aislación por Interior con U= 0.47 [W/m2K] y espesor aislante de 6 [cm]
Ventana principal: Vidrio y Marco	Vidrio DVH con espaciador de 6mm con U= 3.28 [W/m2K] y factor solar de 0.7743
Ventana secundaria: Vidrio y Marco	Vidrio VM con espaciador de 4mm con U= 5.8 [W/m2K] y factor solar de 0.82
Puerta principal	Puerta Liviana de madera con U= 2.63 [W/m2K] y 0 % de vidrio

3.1.- Area y coeficiente de transferencia de calor por elemento constructivo

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
-------	---------------	-------------	---------------	------------------------	------------------------

Muro 1	HA	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Pesado	58,0	0,8
Muro 2	HA	0° ≤ Az < 22,5°	N	Pesado	29,0	0,8
Muro 3	HA	112,5° ≤ Az < 135°	SE	Pesado	6,9	0,8
Muro 4	HA	67,5° ≤ Az < 90°	E	Pesado	11,6	0,8
Muro 5	HA	157,5° ≤ Az < 180°	S	Pesado	40,6	0,8
Muro 6	HA	180° ≤ Az < -157,5	S	Pesado	46,4	0,8
Muro 7	HA	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Pesado	18,8	0,8
Muro 8	HA	-135° ≤ Az < -112,5	SO	Pesado	23,2	0,8

Puentes térmicos particulares					
Alojada en el muro	Azimut	Orientación	Elemento perpendicular	Aislación	Longitud [m]

P04	HA	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Marco MaderamX300mm	27,0
P04	HA	180° ≤ Az < -157,5	S	Marco MaderamX300mm	24,0
P04	HA	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Marco MaderamX300mm	19,6
P04	HA	157,5° ≤ Az < 180°	S	Marco MaderamX300mm	23,0
P04	HA	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Marco MaderamX300mm	16,0

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)	Categoría para PT y Infit	Tipo
Ventana (incluye marco)									Marco	

Ventana 1	DVH con 6mm	22,5° ≤ Az < 45°	NE	Hormigón Arm	Abatir	Centrada	Sin	1,20	12,30	Madera	Con RPT
Ventana 2	DVH con 6mm	180° ≤ Az < -157,5	S	Hormigón Arm	Abatir	Centrada	Sin	1,00	11,00	Madera	Con RPT
Ventana 3	DVH con 6mm	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Hormigón Arm	Abatir	Centrada	Sin	1,00	8,80	Madera	Con RPT
Ventana 4	DVH con 6mm	157,5° ≤ Az < 180°	S	Hormigón Arm	Abatir	Centrada	Sin	1,00	10,50	Madera	Con RPT
Ventana 5	DVH con 6mm	-45° ≤ Az < -22,5°	NO	Hormigón Arm	Abatir	Centrada	Sin	1,00	7,00	Madera	Con RPT

		Renovaciones de aire por hora [1/hr]											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Infiltraciones												
0	¿Cuenta con ensayo de presurización?	3.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
1	Indicar valor del ensayo de presurización	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
2	De existir ductos de ventilación, ¿Cuántos hay?	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
3	De existir Celosías, ¿Cuántas hay?	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
4		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
5		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
6		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
7		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
8		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
9		0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57
10	Ventilación	3.57	3.57	3.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	3.57
11	Ventilación Mecánica (VM)	3.57	3.57	3.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	3.57	3.57
12		0.57	0.57	3.57	3.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	3.57	3.57
13		0.57	0.57	3.57	3.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	3.57	3.57	3.57
14		0.57	0.57	0.57	3.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	3.57	3.57	0.57
15		0.57	0.57	0.57	3.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	3.57	3.57	0.57
16		0.57	3.57	3.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	3.57	3.57
17		3.57	3.57	3.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	3.57	3.57
18		3.57	3.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	3.57
19		0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57
20		0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57
21		0.57	0.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	0.57
22		3.57	3.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	3.57
23		3.57	3.57	0.57	0.57	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.57	0.57	3.57

Sistema fotovoltaico para aporte de consumo en vivienda

¿Dispone de un sistema de paneles fotovoltaicos para generar electricidad?

¿El sistema está conectado a la red?

Potencia nominal total de los captadores solares (W)

Angulo de inclinación de los paneles (grados)

Angulo de azimut de los paneles (grados)

Corrección por elementos de sombra (-)

Por defecto (-) Propuesto

Eficiencia nominal de inversor

Aporte solar fotovoltaico (kWh/año)

C | Costos totales

C.1. Dimensiones

Se asumen las siguientes medidas del edificio:

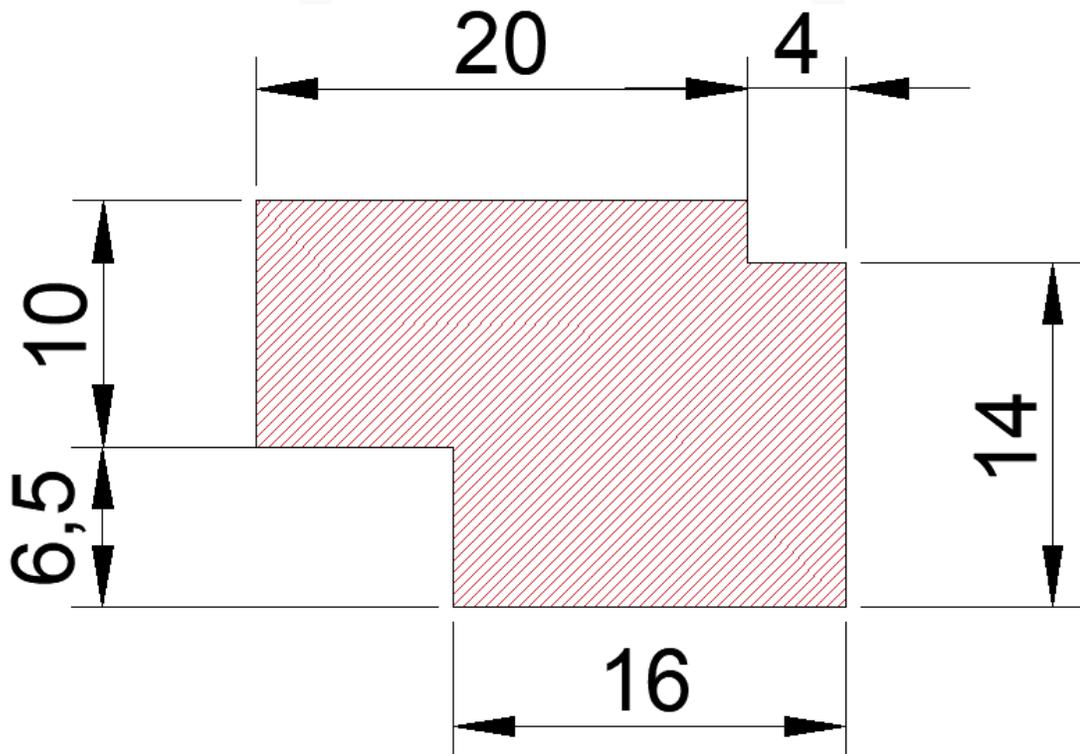


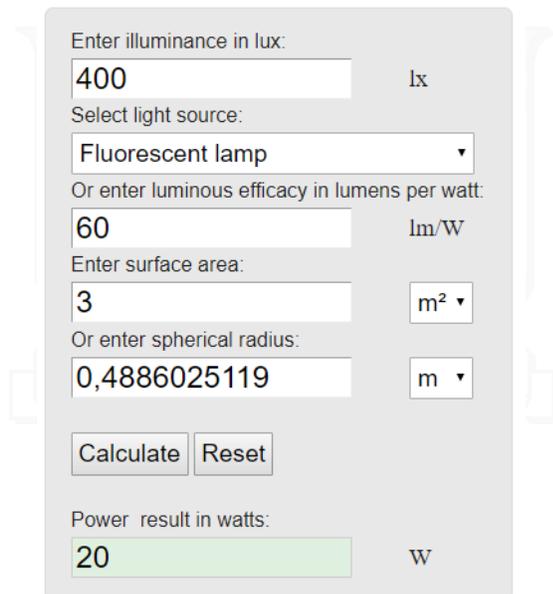
Figura C.1: Bosquejo de un piso estándar del edificio con sus medidas

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el perímetro del edificio es de 83 [m], y, si se asumen 2,9[m] por piso, por 9 pisos, se tiene un área superficial de las fachadas de 2.166,3 [m^2]. Las superficies vidriadas representan el 30%, es decir 649,89 [m^2], y el resto 1.516,41 [m^2].

C.2. Iluminación

Para determinar el tipo de iluminación necesaria, se pasan los lux a watt:



Enter illuminance in lux:
400 lx

Select light source:
Fluorescent lamp

Or enter luminous efficacy in lumens per watt:
60 lm/W

Enter surface area:
3 m²

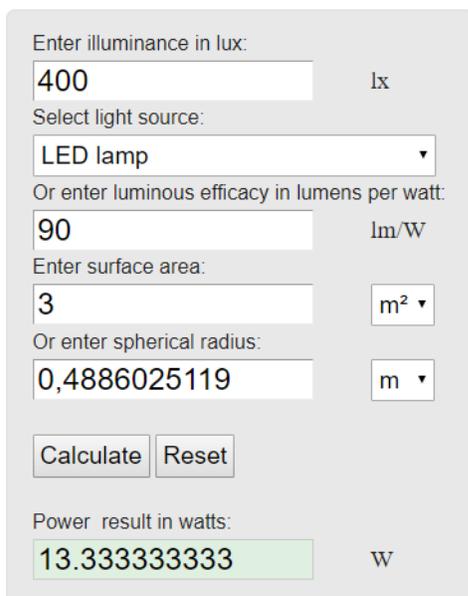
Or enter spherical radius:
0,4886025119 m

Calculate Reset

Power result in watts:
20 W

Figura C.2: Cálculo de watts equivalentes a 400 [lux] para una lámpara fluorescente

Fuente: ([RapidTables](#), s.f.)



Enter illuminance in lux:
400 lx

Select light source:
LED lamp

Or enter luminous efficacy in lumens per watt:
90 lm/W

Enter surface area:
3 m²

Or enter spherical radius:
0,4886025119 m

Calculate Reset

Power result in watts:
13.33333333 W

Figura C.3: Cálculo de watts equivalentes a 400 [lux] para una lámpara LED

Fuente: ([RapidTables](#), s.f.)

Supuestos:

- Una lámpara ilumina un área de 3 [m²]
- El área total del edificio destinada a oficinas es de 85 %, es decir 3000,5[m²].

Por lo tanto, se estiman un total de 1000 lámparas.

Para obtener la vida útil de cada tubo en años se consideró la siguiente ecuación:

$$Vida\ útil[año] = \frac{horas\ útiles\ [hrs]}{10\ [hrs/día] \times 5\ [día/semana] \times 52\ [semana/año]} \quad (C.1)$$

Por ejemplo, para los tubos LED, se obtiene una vida útil de 3,461 [año].

Luego, para calcular el precio total normalizado por año, se divide la inversión total en iluminación en la vida útil, para estimar la costo anual real. Por lo tanto, para los tubos LED, se tiene:

$$Costo\ Total\ Anual = \frac{1017000\ [\$]}{3,416\ [año]} = 293800\ [$/año] \quad (C.2)$$

C.3. Costos

		Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Total
Ventanas	Línea Base	100X100 CM VENTANA ALUMINIO MADERA CROWN	\$ 53.469,00	649,89	\$ 34.748.968,41
	Propuesta	VENTANA ALUMINIO 2 HJS BRONCE 121x100	\$ 120.884,00	541,575	\$ 65.467.752,30
Iluminación	Línea Base	TUBO FLUORESCENTE 20W T10 (M_OD_00016)	\$ 1.017,00	1000,00	\$ 1.017.000,00
	Propuesta	TUBO LED 1.200 MM 16 W LUZ CÁLIDA (M_OD_00161)	\$ 6.462,00	1000,00	\$ 6.462.000,00
Aislante	Línea Base	-	-	-	-
	Propuesta	SISTEMA ETICS DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL EXTERIOR DE	\$ 33.532,39	1516,41	\$ 50.848.851,52
Paneles Fotovoltaicos	Línea Base	-	-	-	-
	Propuesta	Paneles Fotovoltaicos de capacidad 10kWh	\$ 11.900.000,00	1	\$ 11.900.000,00

Figura C.4: Detalle de los costos totales

Fuente: Elaboración propia según los datos de (ONDAC, s.f.) y (CYPE Ingenieros, S.A., s.f.)