UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE

DEFINICIÓN DE UNA CARTERA DE PROYECTOS EN MATERIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR PÚBLICO PARA LA ESTRATEGIA ENERGÉTICA DE VILLA ALEMANA

MARIO FELIPE URZÚA FRITZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

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

ENERO 2017

A mis padres, por todo el cariño, apoyo y facilidades que me brindaron durante estos años, fueron mi pilar fundamental y sin ellos esto no hubiese sido posible.

A mis profesores, por acompañarme e instruirme en esta etapa, principalmente a Francisco por la disposición y la guía para sacar adelante este proyecto.

A mis amigos, ya que estos son parte fundamental de mi vida y siempre me han apoyado y acompañado en todas las etapas.

Índice de Contenidos

1. Resumen Ejecutivo **1**

2. Problema de Investigación **3**

3. Objetivos **5**
3.1. Objetivo General 5
3.2. Objetivos Específicos 5

4. Marco Teórico **7**
4.1. Situación Energética 7
4.1.1. A nivel Global 7
4.1.2. A nivel Local 11
4.2. Cambio climático 15
4.3. Política energética 18
4.4. Participación ciudadana 20
4.5. Estrategia Energética Local (EEL) 22
4.5.1. El porqué surgen las EEL 22
4.5.2. Qué es y qué impacto tiene una EEL 23
4.5.3. Estructura de una EEL 24
4.6. Antecedentes de la Comuna 27
4.7. Energía Solar Térmica (Termosolar): 31
4.8. Energía fotovoltaica (FV) 32
4.9. Ley 20.571 (Net-Billing) 33
4.10. Evaluación de Proyectos 34
4.10.1. Preparación del Proyecto 35
4.10.2. Evaluación del Proyecto 35
4.10.3. Identificación de Beneficios 36
4.10.4. Cuantificación de Beneficios 37
4.10.5. Valoración de Beneficios 37
4.10.6. Identificación de Costos 37
4.10.7. Cuantificación de Costos 38
4.10.8. Valoración de Costos 38
4.10.9. Indicadores de Rentabilidad 39
4.10.9.1. Valor Actual Neto (VAN) 39
4.10.9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR) 40

4.10.9.3. PAYBACK 40
4.10.9.4. PAYBACK descontado 41

5. Cartera de Proyectos Públicos para Villa Alemana 42
5.1. Selección de los proyectos 42
5.2. Termo paneles solares 43
5.2.1. Sistema Termosolar para colegios municipales de Villa Alemana . 43
5.2.2. Sistema Termosolar empleado en colegio de gran envergadura . . 44
5.2.2.1. Colector solar 44
5.2.2.2. Interacumuladores 45
5.2.2.3. Cañerías 47
5.2.2.4. Aislación 49
5.2.2.5. Válvulas y Accesorios 50
5.2.2.6. Fluido de circulación por el circuito primario 50
5.2.2.7. Estanque de expansión 51
5.2.2.8. Bomba 54
5.2.3. Sistema Termosolar empleado en colegio de mediana envergadura 60
5.2.4. Emplazamiento físico del sistema térmico solar 61
5.2.4.1. Colegio de gran envergadura 61
5.2.4.2. Colegio de mediana envergadura 64
5.2.5. Calculo de rendimiento del sistema solar térmico 65
5.2.5.1. Retscreen 65
5.2.5.2. Explorador Solar 66
5.2.5.3. Locación seleccionada en Retscreen 67
5.2.5.4. Rendimiento en colegio de gran envergadura 68
5.2.5.5. Rendimiento en colegio de mediana envergadura 73
5.2.6. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica Privada 76
5.2.6.1. Precio de GLP y variación en el tiempo 76
5.2.6.2. Precio de energía 76
5.2.6.3. Tasa de inflación anual 76
5.2.6.4. Tasa de descuento 77
5.2.6.5. Horizonte de evaluación 77
5.2.6.6. Mantención 77
5.2.6.7. Incremento anual en el precio de compra de energía . . 77
5.2.6.8. Inversión colegio de gran envergadura 77
5.2.6.9. Inversión colegio de mediana envergadura 79
5.2.7. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica Social 81
5.2.7.1. Precio por tonelada ahorrada de dióxido de carbono equivalente 81
5.2.7.2. Tasa de descuento social 81
5.2.7.3. Ajuste de mano de Obra 81
5.2.7.4. Ajuste de mantención 81
5.2.7.5. Ajuste de Maquinaria e insumos 81
5.2.7.6. Total de inversión social colegio de gran envergadura . 81

5.2.7.7. Total de Inversión social colegio de mediana envergadura 82
5.2.8. Resultados de evaluación económica 83
5.3. Proyectos Fotovoltaicos 84
5.3.1. Contexto Solar Fotovoltaico de Villa Alemana 84
5.3.1.1. Explorador Solar 84
5.3.1.2. Sistema fotovoltaico empleado 85
5.3.1.3. Ubicación y orientación 85
5.3.1.4. Calculo de Sombras entre módulos FV 86
5.3.1.5. Generación eléctrica 86
5.3.1.6. Curva de generación de energía 88
5.3.2. Proyectos solares para colegios municipales de Villa Alemana. . . 89
5.3.2.1. Potencial de generación 89
5.3.2.2. Curva de consumo 96
5.3.2.3. Energía consumida e inyectada 97
5.3.3. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica privada 101
5.3.3.1. Inversión por Kilo Watt Pico (kWp) instalado 101
5.3.3.2. Mantención 102
5.3.3.3. Degradación 103
5.3.3.4. Tasa de inflación 103
5.3.3.5. Tasa de descuento 104
5.3.3.6. Precio de Venta de energía 104
5.3.3.7. Precio de Compra de energía 104
5.3.3.8. Incremento anual en el precio de compra y venta de energía 104
5.3.4. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica social 104
5.3.4.1. Reducción de gases de efecto invernadero (GEI) 104
5.3.4.2. Tasa de descuento social 105
5.3.4.3. Horizonte de evaluación 105
5.3.4.4. Ajuste de mantención 105
5.3.4.5. Ajuste de mano de obra 106
5.3.4.6. Ajuste de maquinaria e insumos 106
5.3.4.7. Total de inversión social 106
5.3.5. Resultados de evaluación económica 107
5.3.5.1. Colegio Manuel Montt 107
5.3.5.2. Colegio Juan Bautista Alberdi 108
5.3.5.3. Colegio Melvin Jones 108
5.4. Charlas de eficiencia energética en colegios 109
5.4.1. Tasa de adopción de medidas en función de programas internacionales de eficiencia energética 111
5.4.2. Ahorro energético esperado 112
5.4.2.1. Número de estudiantes involucrados 112
5.4.2.2. Número de familias involucradas 114
5.4.2.3. Ahorro producto de adopción de medidas de eficiencia energética 114
5.4.2.4. Ahorro de dióxido de carbono equivalente 114

5.4.3. Inversión requerida 115
5.4.3.1. Relator 115
5.4.3.2. Asistente 115
5.4.3.3. Encargado municipal 116
5.4.3.4. Presupuesto de Promoción y traslado 116
5.4.3.5. Inversión total 117
5.4.4. Resultados de la evaluación económica social del proyecto 117
5.4.4.1. Sensibilización de la tasa de adopción 118
5.4.4.2. Sensibilización del ahorro por hogar 119
5.5. Fuentes de financiamiento 120
5.5.1. Fondo de Acceso a la Energía (FAE) 121
5.5.2. Sistema Nacional de Inversiones (SIN) 121
5.5.3. Fondos nacionales de desarrollo regional 122
5.5.4. Fondos de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) 122
5.5.5. Programa de Asistencia para Proyectos Comunitarios (APC) . . . 123
5.5.6. Programa de ayuda directa (DAP) 123
5.5.7. Programa de Techos Solares Públicos (PTSP) 123
5.5.8. Otras posibles fuentes de financiamiento 124

6. Conclusiones: 125

Bibliografía 128

Índice de Tablas

4.1. Instituciones públicas y privadas relevantes en Villa Alemana. 29
4.2. Espacios públicos relevantes en Villa Alemana. 30
4.3. Ajustes de costos requeridos para realizar una evaluación social. 38

5.1. Válvulas requeridas para sistema termosolar. 50
5.2. Volumen contenido en el sistema. 53
5.3. Propiedades del sistema y del fluido. 57
5.4. coeficientes de fricción para tuberías. 58
5.5. Perdida de carga en válvulas. 59
5.6. Perdida de carga en tramos y equipos. 59
5.7. Caracterización de techos en colegio Manuel Montt. 63
5.8. Caracterización de techos en colegio J.B.Alberdi. 65
5.9. Comparación de radiación anual para Curicó y Villa Alemana. 68
5.10. Costo de mano de obra involucrado en colegio Manuel Montt 78
5.11. Costo de válvulas y accesorios 78
5.12. Inversión requerida en colegio Manuel Montt 79
5.13. Costo de mano de obra involucrado en colegio J.B.Alberdi 80
5.14. Inversión requerida en colegio J.B.Alberdi 80
5.15. Inversión social requerida en colegio Manuel Montt 82
5.16. Inversión social requerida en colegio J.B.Alberdi 82
5.17. Principales factores considerados en la evaluación económica 83
5.18. Indicadores económicos obtenidos para le colegio Manuel Montt 83
5.19. Indicadores económicos obtenidos para le colegio J.B.Alberdi 84
5.20. Características del sistema solar empleado 86
5.21. Potencia instalada y tarifa suscrita de cada colegio 91
5.22. Características de los techos del colegio Manuel Montt 92
5.23. Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio Manuel Montt . 93
5.24. Características de los techos del colegio J.B.Alberdi 94
5.25. Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio J.B.Alberdi . . . 94
5.26. Características de los techos del colegio Melvin Jones. 95
5.27. Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio Melvin Jones. . 95
5.28. Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio Manuel Montt. . . . 100
5.29. Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio J.B.Alberdi. 100
5.30. Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio Melvin Jones. 101
5.31. Precio promedio de inversión requerido por kWp según tamaño del proyecto. 102

5.32. Inversión requerida para cada colegio. 102
5.33. Inversión social requerida para cada colegio 107
5.34. Resultados de la evaluación económica para colegio Manuel Montt 107
5.35. Resultados de la evaluación económica para colegio J.B.Albedi 108
5.36. Resultados de la evaluación económica para colegio Melvin Jones 108
5.37. Listado de colegios y alumnos pertenecientes a la municipalidad de Villa Alemana. 113
5.38. presupuesto asignado a promoción y traslado 117
5.39. Inversión requerida para proyecto de charlas de eficiencia energética . . . 117
5.40. Indicadores económicos para proyecto de charlas de eficiencia energética 118
5.41. Sensibilización en base a la tasa de adopción 119
5.42. Sensibilización en base al ahorro por hogar 120

Índice de Figuras

4.1. Matriz de energía primaria global desde 1971 a 2013 medido en Mtoe. . . 8
4.2. Distribución de la matriz de energía primaria global en los años 1973 y 2013. 9
4.3. Fuentes de generación eléctrica desde 1971 a 2013 medido en TWh. . . . 9
4.4. Participación en generación eléctrica para los años 1973 y 2013 medido en TWh. 10
4.5. Matriz energética primaria en Chile y el Mundo. 11
4.6. Matriz energética secundaria (de consumo) en Chile y el Mundo. 12
4.7. Consumo energético final por sector en Chile medido en Tera calorías. . . 13
4.8. Fuentes de generación eléctrica en Chile. 13
4.9. Participación en Generación eléctrica histórica en Chile. 14
4.10. Efecto invernadero. 16
4.11. Concentración de CO2 y temperatura media global entre los años 1000 y 2000. 17
4.12. Mapa del área de influencia considerada para la estrategia energética local. 28

5.1. Proporción de popilenglicol en función de la temperatura de seguridad . . 51
5.2. Diagrama de Moody 58
5.3. Porción de superficie aprovechable en colegio Manuel Montt 63
5.4. Porción de superficie aprovechable en colegio J.B.Alberdi 64
5.5. Locación seleccionada como input del Explorador Solar 66
5.6. Demanda energética anual para colegio Manuel Montt según Retscreen . 69
5.7. Parámetros de rendimiento del sistema en colegio Manuel Montt según Retscreen 71
5.8. Demanda energética anual para colegio J.B. Alberdi según Retscreen . . . 73
5.9. Parámetros de rendimiento del sistema en colegio J.B. Alberdi según Retscreen 75
5.10. Generación eléctrica promedio del sistema FV en Watt hora (Wh). 87
5.11. Perdidas porcentuales en generación producto de desviaciones de orientación. 88
5.12. Ejemplo de curva de generación FV para instalación en Villa Alemana de 1 kWp en el mes de abril. 88
5.13. Porción de superficie aprovechable en colegio Melvin Jones. 95
5.14. Curva de consumo tipo de un colegio. 96
5.15. Representación gráfica de inyección y consumo de sistema FV en red. . . 98
5.16. Curvas de generación y consumo para colegio Manuel Montt. 98
5.17. Curvas de generación y consumo para colegio J.B.Alberdi. 99

5.18. Curvas de generación y consumo para colegio Melvin Jones. 99
5.19. Degradación experimentada por módulos fotovoltaicos. 103

1 | Resumen Ejecutivo

El presente estudio tiene como fin el desarrollar una cartera de proyectos en materia energética para el sector público de Villa Alemana, esto dentro de la temática de una Estrategia Energética Local que desea implementar la comuna.

La cartera confeccionada para el sector público está estructurada para ser llevada a cabo en los colegios municipales con los que cuenta la comuna. Estos proyectos contemplan la evaluación de la instalación de un sistema solar térmico, un sistema de generación fotovoltaico y un ciclo de charlas del buen uso de la energía para estudiantes.

La evaluación de cada proyecto se realiza en base a indicadores de rentabilidad tanto privados como sociales a partir de los flujos generados. Además, el diseño del proyecto se realiza en base a requerimientos técnicos y antecedentes tanto locales como nacionales detallados en cada uno.

Para la evaluación del sistema solar térmico se dimensionaron dos sistemas, uno para colegios de gran envergadura y otro para colegios de mediana envergadura. Para el colegio de gran envergadura, la evaluación privada resulta en un VAN de $60.296, una TIR de 10,09 % y un PAYBACK de 8 años, por otro lado, de la evaluación social resulta un VAN de $5.527.700, una TIR de 13,48 % y un PAYBACK de 7 años. Para el colegio de mediana envergadura, el evaluación privada resulta en un VAN negativo de -$374.551, una TIR de 9,08 % y un PAYBACK de 8 años, por otro lado, la evaluación social resulta en un VAN de $2.751.995, una TIR de 12,26 % y un PAYBACK de 7 años.

La instalación de módulos fotovoltaicos se dimensiono para tres tipos de colegio, los colegios de gran envergadura, los colegios de mediana envergadura y los colegios de pequeña envergadura. Para el colegio de gran envergadura, la evaluación privada resulta en un VAN negativo de -$5.301.697, una TIR de 8,33 % y un PAYBACK de 12 años, por otro lado, de la evaluación social resulta un VAN positivo de $15.851.751, una TIR de 10,05 % y un PAYBACK de 11 años. Para el colegio de mediana envergadura, el evaluación privada resulta en un VAN positivo de $3.511.526, una TIR de 11,55 % y un PAYBACK de 10 años, por otro lado, la evaluación social resulta en un VAN de $21.232.116, una TIR de 13,53 % y un PAYBACK de 9 años. Por último, para el colegio de pequeña envergadura, el evaluación privada resulta en un VAN de $2.022.627, una TIR de 11,43 % y un PAYBACK de 10 años, por otro lado, la evaluación social resulta en un VAN de $12.985.522, una TIR de 13,39 % y un PAYBACK de 9 años.

Para promover el programa de charlas de eficiencia energética en los colegios municipales, se propuso incluir en el programa al 50 % del total de estudiantes pertenecientes a los 15 colegios municipales de Villa Alemana. De esta forma, el programa considera abarcar 112 charlas de eficiencia energética incluyendo un total de 2.801 alumnos. La evaluación de este proyecto se realizó solamente desde un punto de vista social y para el horizonte de 1 año, donde se obtuvo un VAN de $1.518.264 y una TIR de 22,86 %.

Las fuentes de financiamiento que destacan a la hora de conseguir fondos para llevar a cabo los proyectos son, el Fondo de Acceso a la Energía, el Sistema Nacional de Inversiones, el Fondo Nacional de Desarrollo Regional, Fondo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el Programa de Asistencia para Proyectos Comunitarios, el Programa de Ayuda Directa y, para el caso particular de los sistemas fotovoltaicos, el Programa de Techos Solares Públicos.

2 | Problema de Investigación

El consumo y suministro energético de los diversos países es un tema de suma importancia en la actualidad, permitiendo impulsar el desarrollo de la sociedad y mejorar la calidad de vida de los habitantes. A nivel mundial, la producción y el consumo energético se han duplicado los últimos 40 años. Este aumento se debe en gran medida al aumento de la población mundial, aumento en la capacidad productiva de los países y un aumento en el tamaño del sector de transporte (Ministerio de Energía, 2015a).

Las tasas de crecimiento del consumo energético a nivel mundial presumen variaciones en la demanda y en los precios de combustibles necesarios para asegurar el suministro energético. El incremento sostenido en los precios de los combustibles fósiles hace posible afirmar que el periodo de los precios bajos de la energía terminó hace algunos años, y que difícilmente los precios regresaran a niveles previos, esto cobra aún más fuerza al considerar la presión por generalizar impuestos al carbono (Maldonado, 2014).

El suministro eléctrico de Chile es sumamente dependiente de los combustibles fósiles importados, donde prácticamente la totalidad del petróleo crudo y carbón proviene de importaciones. Además existen limitantes a diversos proyectos energéticos debido al rechazo de la ciudadanía a macro proyectos de generación eléctrica, esto por su impacto medio ambiental, amenazas a comunidades indígenas o prioridades de desarrollo de las zonas en la cuales se implementaría el proyecto (Maldonado, 2014). Sin duda, el panorama de abastecimiento energético local debe ser examinado si es que se espera asegurar el crecimiento y desarrollo del país, más aun si se pronostica que el consumo energético para el año 2030 aumente un 72,98 % para clientes del Sistema Interconectado Central (SIC) y

un 93,76 % para clientes del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) (Comisión Nacional de Energía, 2015).

Las comunidades locales pueden contribuir en gran medida al desarrollo energético de su región, ya que estas tienen la capacidad de identificar las necesidades energéticas locales, integrando a las personas a un proceso colaborativo de desarrollo. Los proyectos energéticos locales incentivan a la comunidad para alcanzar metas comunes respecto a disminuir los costos de la energía, reducir el impacto al medio ambiente, mejorar la salud de sus habitantes, e incluso permite obtener beneficios en la región mediante la creación de nuevos negocios y empleos (Prasad et al., 2015). Si bien en Chile solo existen 6 comunas que actualmente desarrollan una Estrategia Energética Local (EEL), la comuna de Villa Alemana es consciente del contexto energético que vive el país y planea convertirse en la primera comuna de la región de Valparaíso en desarrollar una EEL, integrando actores tanto públicos como privados. De esta forma Villa Alemana planea un ambicioso proyecto de desarrollo energético acuñando como lema “Villa Alemana la capital del Medioambiente”.

Para el desarrollo de una EEL no solo basta con desarrollar propuestas aisladas, sino que es necesario integrar al proceso a los diversos participantes de la comunidad y actuar en pos del objetivo común. El sector público posee un rol fundamental liderando el proceso de desarrollo de la EEL, donde debe dejar en claro su compromiso con el aprovechamiento energético y promoverlo entre los demás agentes que integran la comuna. Considerando la diversidad de actividades y servicios prestados por el sector público de la comuna, es necesario identificar ¿cuáles son las actividades claves y principales oportunidades del sector público, y de qué forma un cambio en éstas repercute en el ahorro del consumo energético? Por esto, se pretende efectuar un análisis de la situación energética local para así desarrollar propuestas viables de mejoramiento del uso energético en el sector público, que signifique una disminución en el consumo y represente un beneficio para la localidad y sus integrantes.

3 | Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar una cartera de proyectos del sector público que favorezca el desarrollo energético de Villa Alemana, mediante un análisis de las características que presenta la comuna, con el fin de contribuir al desarrollo de una Estrategia Energética Local.

3.2. Objetivos Específicos

• Diseñar proyectos que incorporen ERNC en edificios del sector público de Villa Alemana, a través de literatura existente y softwares de modelación, con el fin de acercar las nuevas tecnologías de generación a la comuna y contribuir a las metas de la política energética nacional al año 2050.

• Estimar los resultados de un proyecto que contemple educación en materia energética para habitantes de Villa Alemana mediante información local y precios del mercado nacional, de modo que la energía se emplee de manera eficiente y genere un beneficio para la comunidad y para quienes lo adoptan.

• Realizar una evaluación económica privada de los diversos proyectos incluidos en la cartera del sector público, mediante indicadores de rentabilidad económica con el objetivo de caracterizar el beneficio para la comuna en caso de llevar a cabo cada proyecto.

• Realizar una evaluación económica social de los proyectos incluidos en la cartera del sector público, mediante la incorporación de precios sociales vigentes, con el fin de incorporar el bienestar colectivo y el real impacto en la sociedad.

4 | Marco Teórico

4.1. Situación Energética

4.1.1. A nivel Global

Se debe entender que el contexto internacional energético está en constante cambio y marcado por diversos fenómenos como la revolución tecnológica, crecimiento económico de las naciones, inclusión de nuevos suministros energéticos y un aumento en el intercambio de energía en los mercados internacionales, donde la incorporación de electricidad y combustible a nuevas actividades requiere evaluar los nuevos desafíos para satisfacer la demanda energética a nivel local y global (Ministerio de Energía, 2015a).

Con el pasar del tiempo, los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo han evolucionado respecto roles productivos y actividades económicas. Por un lado los países más desarrollados han reducido su participación en industrias de manufactura y en el sector de alto consumo energético, esto surge al re enfocar sus actividades económicas en productos y servicios con un mayor valor añadido. Por otro lado, países en vía de desarrollo apuntan a un aumento de su participación económica mediante un proceso de manufactura intensiva y fuerte industrialización, lo que implica grandes volúmenes de procesamiento y exportación al resto del mundo. Estos cambios en el rol de los países de economía emergente y países desarrollados trae consigo consecuencias en términos de lo que respecta a la demanda energética global (Arto et al., 2016).

En las últimas cuatro décadas, tanto el consumo como la producción de energía se han duplicado (Ver Figura 3.1) para satisfacer los nuevos requerimientos energéticos asociado a diversas causas como el aumento poblacional, aumento en el sector de transportes y otros factores, ya mencionados anteriormente, como el crecimiento económico mundial y la variación en la capacidad de producción de los países (Ministerio de Energía, 2015a). Según datos proporcionados por The International Energy Agency (2015), el consumo energético final total del mundo (TFC, por sus siglas en inglés) paso de ser 2.815,56 [Mtoe][1] en el año 1973 a 9.301,06 [Mtoe] en el año 2013. Por otro lado el suministro energético primario total (TPES, por sus siglas en inglés) también ve reflejado un incremento desde 6.100,45 [Mtoe] en el año 1973 a 13.541,28 [Mtoe] en el año 2013. Es importante notar que a pesar de la creciente demanda energética que enfrenta el mundo, aún puede apreciarse la fuerte dependencia de combustibles en la matriz energética primaria global (Ver Figura 3.2).

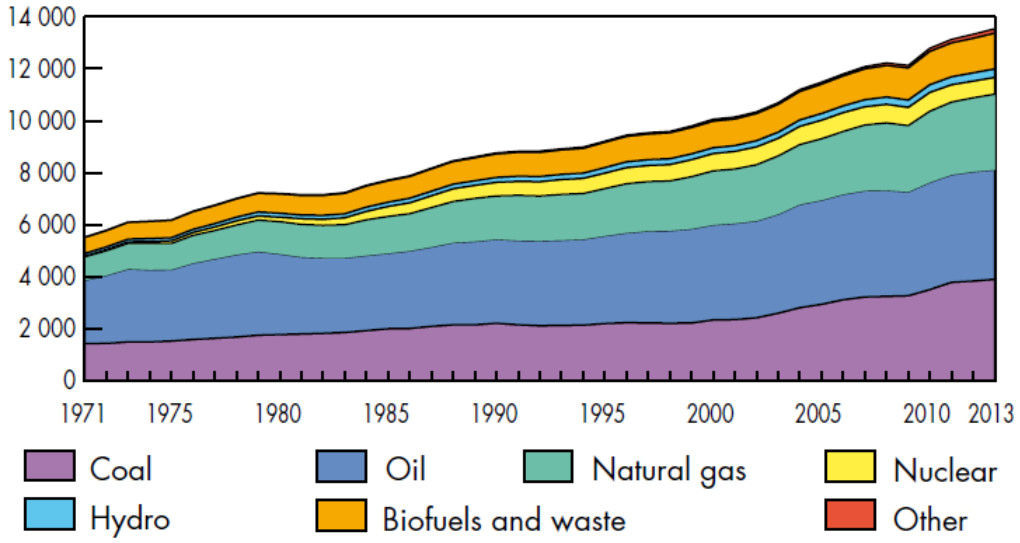

Figura 4.1: Matriz de energía primaria global desde 1971 a 2013 medido en Mtoe.
(Fuente:The International Energy Agency, 2015.)

[1]Mtoe corresponde a una mega tonelada equivalente de petróleo

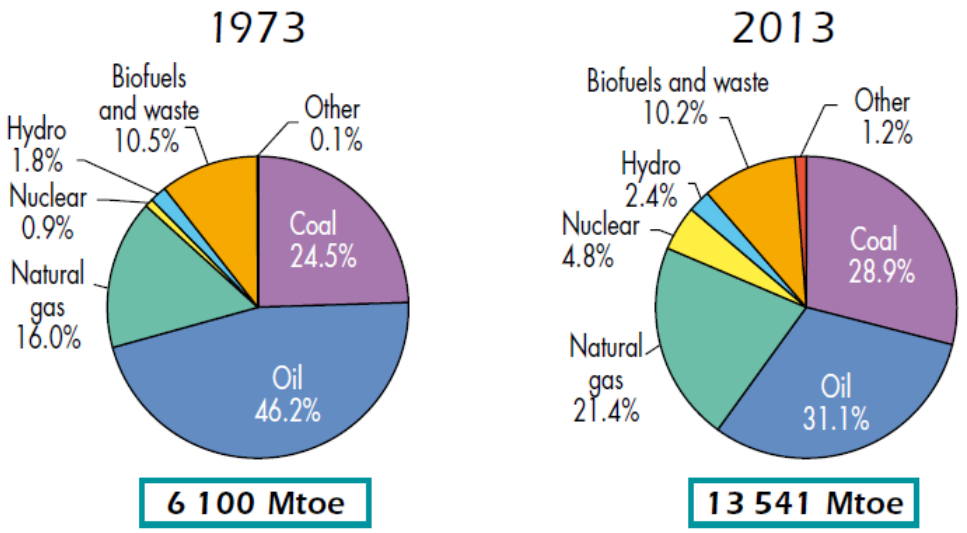

Figura 4.2: Distribución de la matriz de energía primaria global en los años 1973 y 2013.
(Fuente:The International Energy Agency, 2015.)

A nivel mundial, la demanda por electricidad también ha aumentado considerablemente (Ver Figura 3.3). La participación de la electricidad, en la matriz de energía secundaria (consumo final), notó un incremento desde un 9,4 % a un 18,1 % de la demanda global por energía en los últimos 40 años, adquiriendo así un mayor protagonismo y concentrando los esfuerzos en asegurar el suministro y buen uso de ésta. (Ministerio de Energía, 2015a).

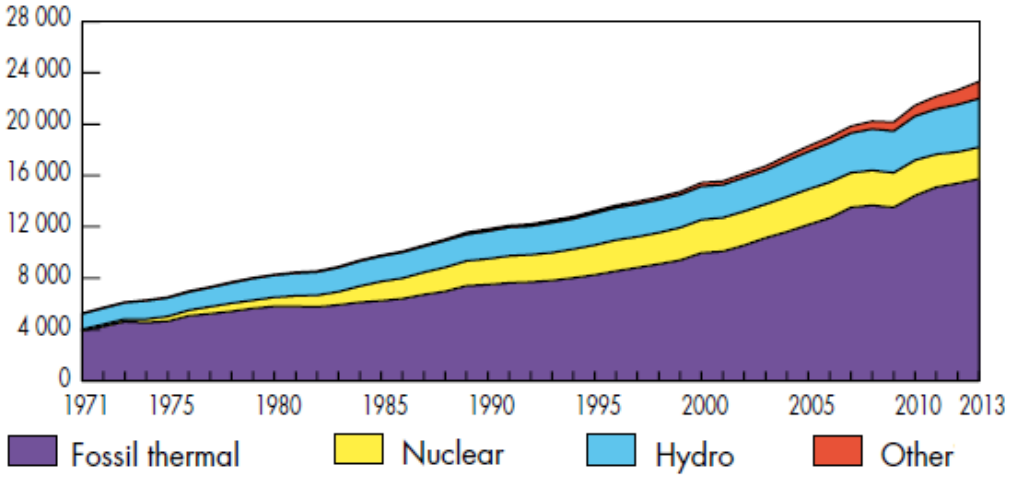

Figura 4.3: Fuentes de generación eléctrica desde 1971 a 2013 medido en TWh.
(Fuente:The International Energy Agency, 2015.)

La generación eléctrica a partir del carbón ha mantenido su protagonismo con un leve incremento en las últimas cuatro décadas, otorgándole una participación cercana al 40 % del total de fuentes de generación eléctrica a nivel mundial (Ver Figura 3.4). Por otra parte, existe una importante disminución hasta solo cerca del 5 % en generación eléctrica a partir de derivados del petróleo y existe mayor protagonismo de energía a base de gas natural, nuclear y energías renovables (Ministerio de Energía, 2015a).

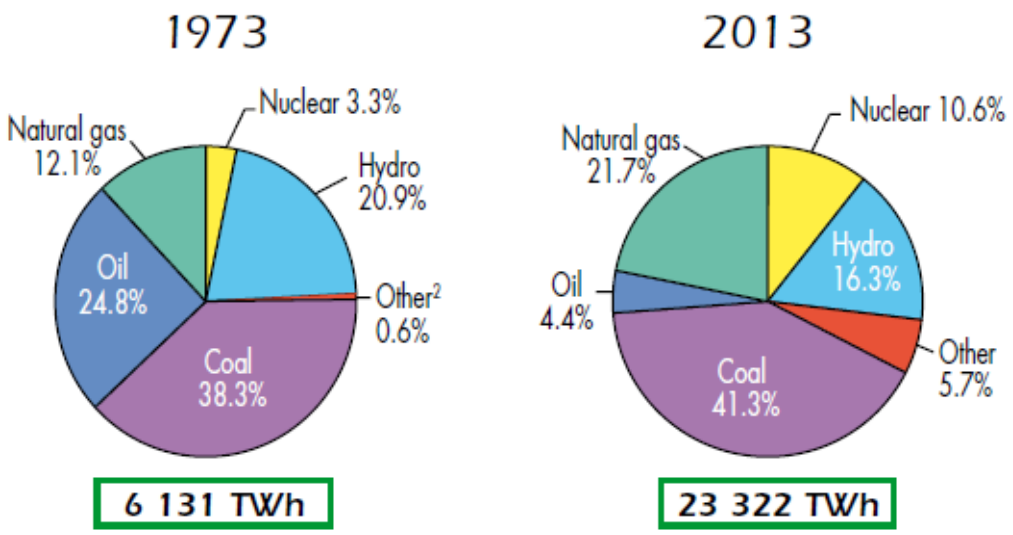

Figura 4.4: Participación en generación eléctrica para los años 1973 y 2013 medido en TWh. (Fuente:The International Energy Agency, 2015.)

Actualmente cerca de 2.600 millones de personas alrededor del mundo no tiene acceso a servicios de energía limpios de contaminantes, que se encuentran a un precio asequible y que funcionen de forma confiable para asegurar la satisfacción de sus necesidades energéticas básicas (Terrapon-Pfaff et al., 2014). Junto con esto, la inequidad energética que se experimenta a nivel mundial es algo insostenible, basta con apreciar las elevadas tasas de crecimiento en el consumo energético de algunos países. La situación debe ser revertida en un plazo breve, donde se espera una re-estructuración de los suministros energéticos, apoyando nuevas fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC), y que exista un cambio en los patrones de consumo de energía que existen hoy en día (Maldonado, 2014).

4.1.2. A nivel Local

Gran cantidad de estudios han encontrado fuertes correlaciones entre uso de energía y los estándares del nivel de vida para países en vías de desarrollo como Brasil, Rusia e India, donde un mejor manejo energético trae consigo un incremento en el grado de desarrollo (Arto et al., 2016). De esta forma es imperativo para un país como Chile el poder asegurar un suministro energético confiable y que permita impulsar el desarrollo nacional.

En Chile la matriz energética primaria es sumamente dependiente del petróleo (32,9 %), el carbón (24,4 %) y de leña y biomasa (23,7 %) (Ver Figura 3.5), caracterizando la leña y biomasa como la principal fuente energética local y donde el 95 % del petróleo, y cerca del 90 % del requerimiento de combustibles fósiles, es importado (Ministerio de Energía, 2015a). Sabiendo que el abastecimiento del país es en gran medida dependiente del petróleo y por tanto del mercado internacional que regula los precios de los combustibles fósiles, a Chile no le queda más opción que ser tomador de precios (Maldonado, 2014).

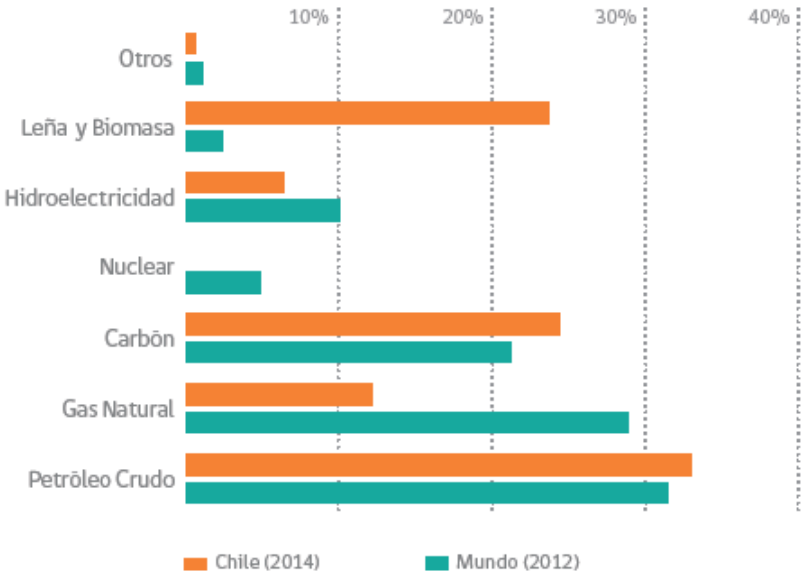

Figura 4.5: Matriz energética primaria en Chile y el Mundo.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2015a)

Por otro lado si nos referimos al consumo final de energía en Chile, la participación de la electricidad en el periodo 2014 es de un 22,4 %, siendo uno de los tres recursos energéticos con mayor participación en el consumo final (Ver Figura 3.6) junto a los derivados del petróleo (56 %) y leña y biomasa (15 %)(Ministerio de Energía, 2015a).

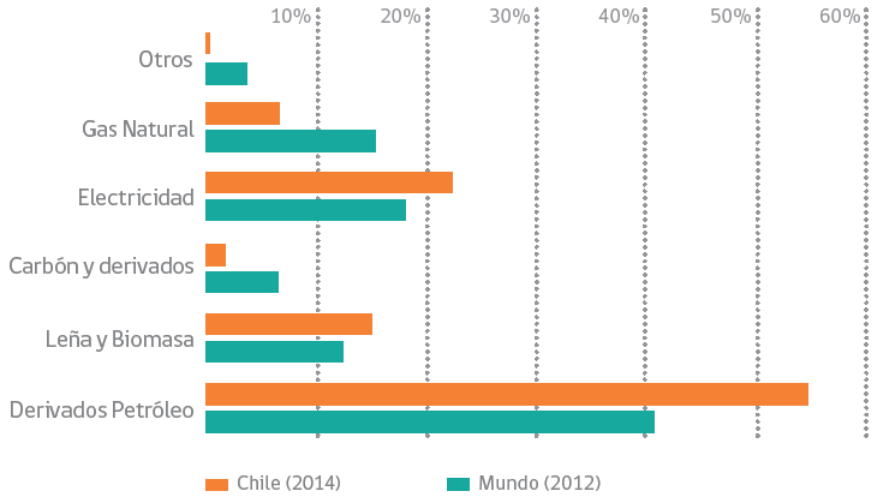

Figura 4.6: Matriz energética secundaria (de consumo) en Chile y el Mundo.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2015a)

El consumo energético del país es posible segmentarlo en cinco sectores principales (Ver Figura 3.7), estos son, comercial, industria y minería, transporte, público y residencial (Ministerio de Energía, 2015a).

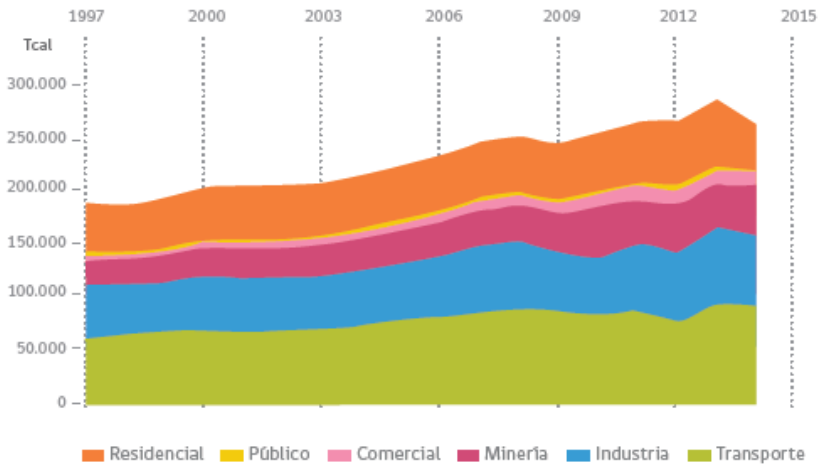

Figura 4.7: Consumo energético final por sector en Chile medido en Tera calorías.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2015a)

La generación eléctrica de Chile para el año 2014 (Ver Figura 3.8) fue principalmente a partir de energía térmica, mediante carbón (41 %) y Gas natural (11 %), y a partir de energía hidroeléctrica (34 %) (Ministerio de Energía, 2015a).

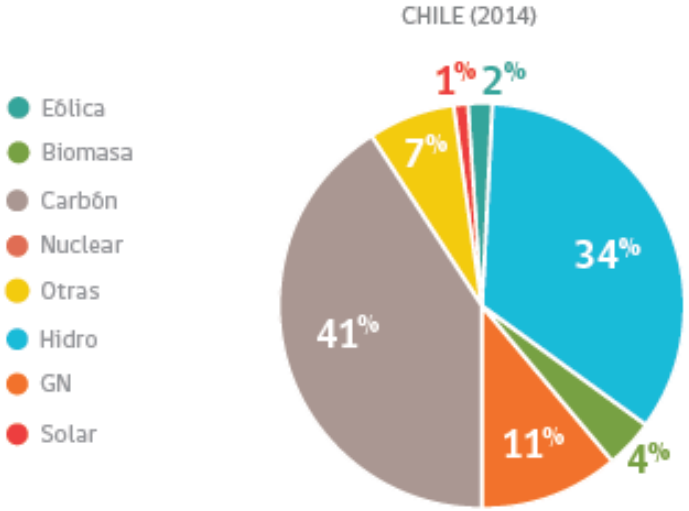

Figura 4.8: Fuentes de generación eléctrica en Chile.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2015a)

A partir de la Figura 3.8, se puede apreciar la importante participación de fuentes renovables en la generación de electricidad nacional. Sin embargo, en el pasado Chile aprovechaba aún más los recursos renovables (Ver Figura 3.9), donde obtuvo participaciones de ERNC de cerca del 65 % en la década de los sesenta y de hasta un 80 % en la década de los ochenta, lo cual dista de los 30 % a 40 % observados en la última década (Ministerio de Energía, 2015a). Esto clarifica aún más la dependencia energética de Chile y la necesidad actual de asegurar el suministro energético.

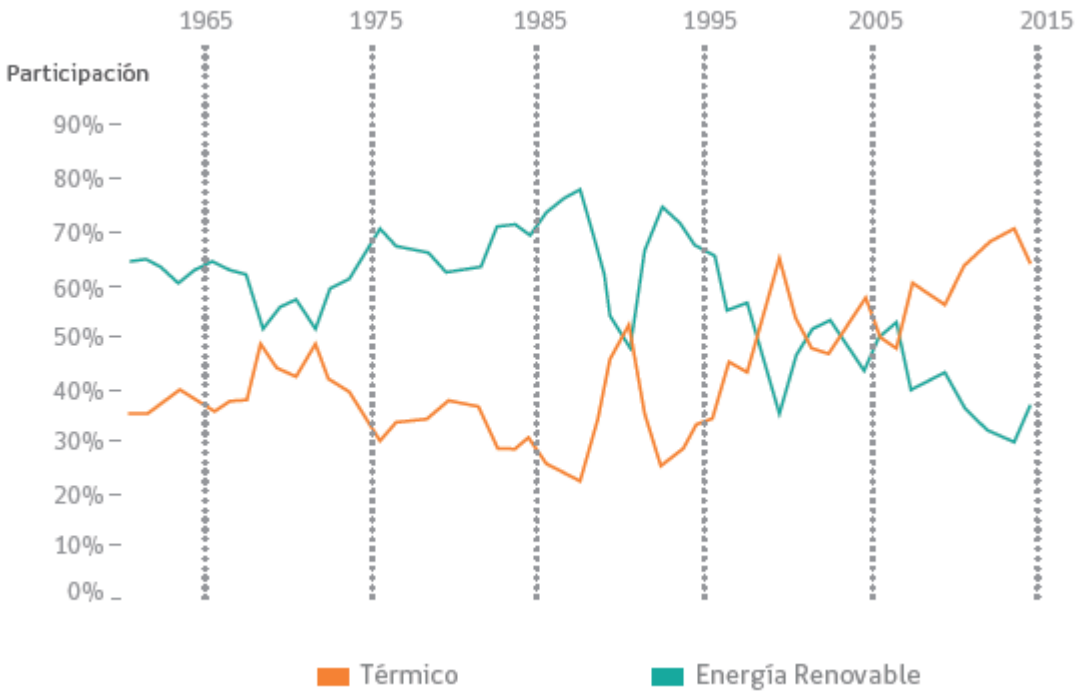

Figura 4.9: Participación en Generación eléctrica histórica en Chile.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2015a)

No es difícil imaginar que la situación energética nacional dista de países conscientes y especialistas en materia energética. El World Energy Council (WEC) desarrolla el índice "trilemma", éste es empleado para poder realizar un ranking que incluye a 129 países considerando 3 dimensiones: seguridad energética, equidad energética y sustentabilidad ambiental, además de considerar el equilibrio en la interacción de éstas dimensiones. Para el año 2014, Chile ocupa el lugar número 89 en seguridad energética, el número 55 en equidad energética, el número 67 en sustentabilidad ambiental, posicionándolo finalmente

en lugar 53 del ranking general (Ministerio de Energía, 2015a). De esta forma queda claro que existen múltiples dimensiones que deben fortalecerse para poder asegurar un suministro energético confiable, eficiente y sustentable por sobre todas las cosas, pudiendo así definir el rumbo de acción orientado a construir un sector energético de clase mundial.

4.2. Cambio climático

Actualmente el debate del cambio climático que experimenta el planeta cobra mayor protagonismo, impulsando un mejor uso de los recursos y menor impacto en el ambiente por parte del hombre. Existe evidencia científica que señala que el planeta experimenta un calentamiento neto desde el año 1750, en el cual se continuara elevando la temperatura durante el presente siglo a consecuencia de los gases de efecto invernadero producidos por el hombre, principalmente a través del consumo de petróleo y carbón (Mance y Becerra, 2009).

El calentamiento que ha experimentado la tierra en los últimos 50 años ha sido mayor que el de cualquier otro periodo en los últimos 1.300 años, donde con un 90 % de confianza, se puede afirmar que el calentamiento global es producto del aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero producto de las sociedades humanas (Conde y Saldaña, 2007).

El calentamiento en la superficie de la tierra es originada mediante el efecto invernadero (Ver Figura 3.10). Este efecto se origina debido a que cerca de la mitad de la radiación solar que alcanza la atmósfera logra penetra la superficie de la tierra, la radiación logra calentar el suelo y los océanos, los cuales, a su vez, liberan calor en forma de radiación infrarroja. El calentamiento se produce precisamente debido a los gases de efecto invernadero que se acumulan en la atmósfera, estos gases absorben parte de la radiación infrarroja emitida desde la Tierra, no dejándola escapar y enviándola en múltiples direcciones, lo que se traduce a un incremento en la temperatura en la superficie del planeta (Mance y Becerra, 2009).

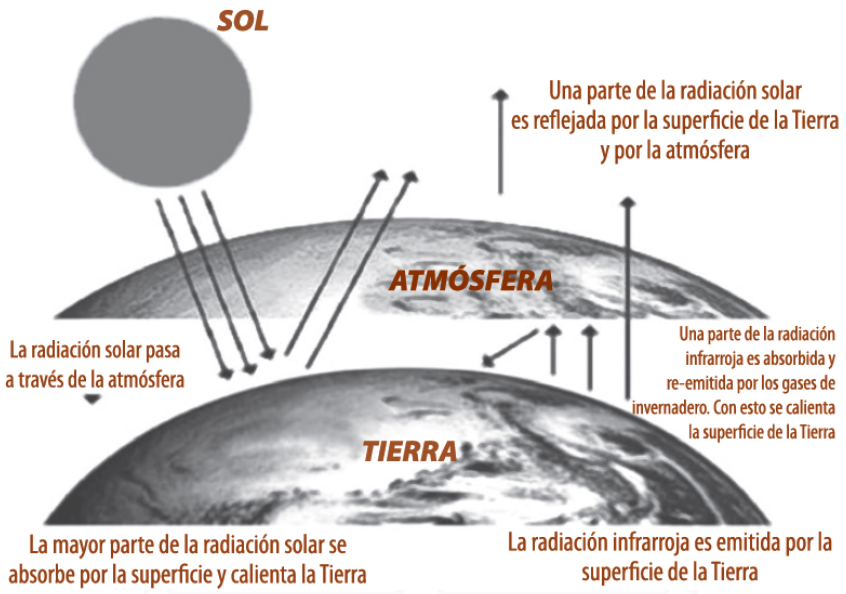

Figura 4.10: Efecto invernadero.
(Fuente: Mance y Becerra, 2009)

Sin duda el impacto ambiental de la actividad humana debe analizarse detenidamente, más aun con un consumo energético cada vez más elevado. Las emisiones a nivel mundial de dióxido de carbono provenientes de los combustibles fósiles aumentaron un 40 % para el año 2008, respecto a las emisiones registradas en 1990 (UNSW Climate Change Research Centre, 2009).

El impacto negativo producto del efecto invernadero amenaza a gran parte del ecosistema, se estima que entre un 20 % y 30 % de las especies vegetales y animales aumentaran su riesgo de extinción con un aumento de entre un 1,5 y 2,5 grados Celsius (Conde y Saldaña, 2007). El efecto producto de la contaminación es tan significativo que en el caso de estabilizar el nivel de emisiones actuales, se espera que para el año 2030 (considerando cero emisiones luego de 2030) existe una probabilidad de 25 % de elevar la temperatura en 2 grados Celsius, lo que significaría que cada año sin tomar medidas adecuadas aumenta esta probabilidad (UNSW Climate Change Research Centre, 2009).

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha crecido desde 280 ppm (partes por millón) en la época preindustrial hasta 387 ppm medidos en el año 2009. Esto

acompañado del incremento de temperatura real registrado equivalente a 0,74 grados Celsius en el periodo desde 1906 al año 2005 (Ver Figura 3.11). A este ritmo existen predicciones de un incremento de hasta 4 grados Celsius para antes del año 2055 (Mance y Becerra, 2009)

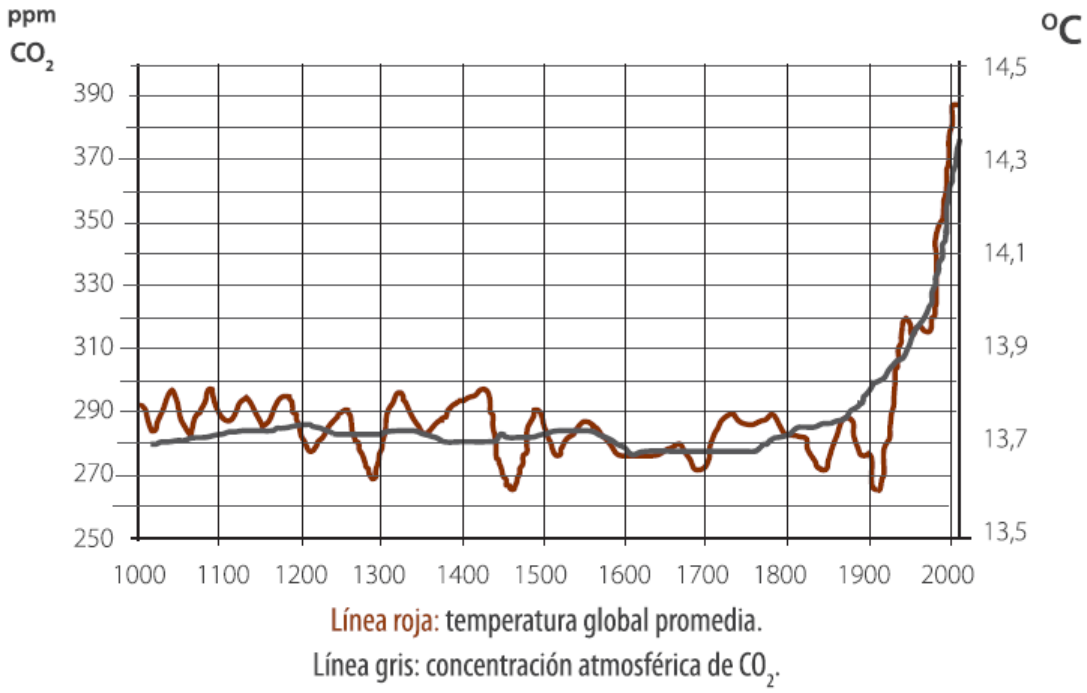

Figura 4.11: Concentración de CO2 y temperatura media global entre los años 1000 y 2000. (Fuente: Mance y Becerra, 2009)

El cambio climático afecta a todo el planeta y sus efectos no pasan por alto América Latina. Durante las últimas décadas grandes cambios han ocurrido tanto en la precipitación como en aumentos de temperatura. Por ejemplo en áreas de climas secos, como los presentes en la zona norte y centro de Chile, el clima puede conducir a la perdida de tierra agrícola gracias a la salinización y desertificación de éstas. A grandes rasgos el cambio climático producirá transformación de bosques tropicales en sabanas, zonas semiáridas en áridas y muchas zonas se verán afectadas por estrés hídrico. Los cambios afectaran a muchas personas, particularmente a los sectores agrícolas y la que vive bajo el umbral de la pobreza por lo que será necesario un programa para mitigar los efectos y ayudar a la adaptación de los cambios climáticos (Conde y Saldaña, 2007).

Considerando que aún existe un equivalente a 7 mil millones de barriles de petróleo por ser extraídos, es claro que el agotamiento de reservas no podrá solucionar el problema en el corto plazo. De esta forma será necesario modificar los hábitos en el consumo de recursos y particularmente en el uso de combustibles fósiles y fuentes de energía, entendiendo lo perjudicial que resulta para el medio ambiente el rumbo en el que se dirige (Mance y Becerra, 2009)).

4.3. Política energética

Ya se ha dado a entender la importancia de emplear de buena forma la energía para poder asegurar el suministro energético que requiere un país en desarrollo. En Chile el mal funcionamiento del sistema eléctrico provocó problemas económicos, ambientales, sociales y de calidad y seguridad del suministro eléctrico, impulsando así cambios legislativos que habían permanecido casi sin modificación alguna desde 1982 (Maldonado, 2014). Para poder evitar los problemas asociados a un mal manejo de energía y administrar de manera responsable el suministro de ésta, es imprescindible seguir una política energética en línea con las metas trazadas. De esta forma la definición de una política pública relativa la energía es una oportunidad colectiva, en la cual se puede establecer el rumbo que permita al sector energético establecerse como un medio seguro, sostenible, competitivo e inclusivo (Ministerio de Energía, 2015a).

A continuación se mencionaran aspectos importantes de la actual política energética de Chile “Energía 2050” dada a conocer por el Ministerio de Energía (2015a).

En primer lugar se debe mencionar la visión de la política energética 2050, en la cual se espera que para el año 2050 el sector energético sea un sistema que avanza hacia la sustentabilidad en todas sus dimensiones, como un sistema confiable, que permita la inclusividad social, que sea consciente de la protección del medio ambiente y que sea competitivo en el mercado.

La política energética nacional posee múltiples metas trazadas, donde las más próximas planean ser alcanzadas para el año 2035 y otras a más largo plazo se espera que se alcancen para el año 2050. Dentro de estas metas es posible resaltar aquellas que permiten alinear el trabajo realizado en la presente memoria con la búsqueda de la política energética, destacando 3 de ellas en particular: 1) Las emisiones de GEI del sector energético chileno son coherentes con los limites definidos por la ciencia a nivel global y con la correspondiente meta nacional de reducción, haciendo una contribución relevante hacia una economía baja en carbono; 2) Al menos el 70 % de la generación eléctrica nacional proviene de energías renovables para el año 2050; 3) La cultura energética está instalada en todos los niveles de la sociedad, incluyendo productores, comercializadores, consumidores y usuarios.

La política está articulada en base a 4 ejes principales: seguridad y calidad de suministro, energía como motor de desarrollo, compatibilidad con el medio ambiente y, por último, eficiencia y educación energética. De esta forma es posible describir la política energética al dar a conocer los objetivos que persigue cada pilar, los cuales se describen a continuación:

- **Seguridad y calidad de suministro**

Este eje apunta a que el país pueda contar con un sistema energético robusto, capaz de anticipar y afrontar efectos adversos provenientes de diversas crisis energéticas, conflictos geopolíticos, cambios climáticos, entre otros. Además, el sistema energético debe aumentar su grado de flexibilidad mediante incorporación de nuevas tecnologías, permitiendo aprovechar las oportunidades de intercambio energético a un nivel regional y global. Por último, Chile debe desarrollar un sistema eléctrico inteligente que impulse a ciudadanos y organizaciones a usar de manera inteligente la energía, pasando de ser un simple consumidor pasivo a ser incluso un productor de energía, donde debe existir un estándar de confiabilidad y calidad tanto para el acceso como para el suministro de los diversos servicios energéticos.

- **Energía como motor de desarrollo**

Este eje se orienta a poder lograr un desarrollo inclusivo y una economía competitiva, donde el desarrollo energético nacional permitirá mejorar la calidad de vida de la población

a través de un acceso equitativo a los servicios de energía. Además, las medidas para impulsar el desarrollo energético traen consigo un impacto positivo en las comunidades, esto mediante la generación de oportunidades de desarrollo económico local y una distribución equitativa de costos. Finalmente, se espera que el sector energético esté abierto a la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías en consumo eficiente y producción energética, de forma que permita lograr precios competitivos de la energía, constituyendo una fuente de competitividad para los sectores productivos y aprovechando de mejor forma las oportunidades de intercambio energético.

- **Energía compatible con el medio ambiente**

Este eje tiene como principal objetivo la sostenibilidad ambiental, donde la infraestructura energética debe generar un bajo impacto al medio ambiente y el sistema energético se caracteriza por bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

- **Eficiencia y educación energética**

Este eje se enfoca en poder alcanzar los objetivos de largo plazo en conjunto, donde se difunden hábitos y una cultura energética responsable entre la sociedad, la industria y los servicios tanto públicos como privados. Se espera que exista un cambio cultural tomando conciencia de la importancia del buen uso de la energía. De esta forma mediante la educación en buen uso de la energía y mejorando le eficiencia energética se espera reducir el gasto y contribuir al desarrollo sustentable de industrias, ciudades y sistemas de transporte nacional.

4.4. Participación ciudadana

La participación ciudadana es un término empleado para explicar cómo los diversos individuos y grupos sociales inciden en las diferentes etapas asociadas a resolver asuntos de interés público. De esta forma la participación ciudadana debe abarcar el universo de diversas agrupaciones del ámbito social (Guillen et al., 2009).

La inclusión de la ciudadanía en las decisiones adopta una valoración positiva, ya que permite construir un medio adecuado para alcanzar los objetivos propuestos(Guillen et al., 2009). No es posible en la actualidad llevar a cabo decisiones de alto impacto en una comunidad sin considerar como reaccionara ésta a los cambios. Según Offe (1996), "Se está cuestionando la utilidad analítica constante de la dicotomía convencional entre "Estado" y la "sociedad civil"., de esta forma la brecha que separa los asuntos políticos de asuntos privados es cada vez más pequeña, llevando a los ciudadanos a un nivel de actores políticos primarios en las decisiones.

Existen múltiples factores que impulsan a las personas a una mayor participación social, entre ellos es posible destacar a 3 fenómenos presentes en las comunidades de hoy en día. En primer lugar existe un aumento tanto de ideologías como de nuevas actitudes participativas, que permite un mayor acercamiento a los derechos democráticos con los que se cuentan. En segundo lugar, se encuentra el creciente uso de formas de participación política no convencionales, como es el caso de protestas y manifestaciones. Por ultimo existen exigencias en nuevos temas que antiguamente se consideraban temas morales más que estrictamente políticos (Offe, 1996).

El propósito de la participación ciudadana finalmente se traduce a lograr que la población pueda influir sobre las políticas y decisiones públicas (Guillen et al., 2009). En el caso de Chile, la opinión de la comunidad tiene suma importancia para el desarrollo de los proyectos, donde día a día pueden observarse diferentes movimientos sociales a lo largo del país. Dentro de los movimientos sociales más habituales se encuentran los referidos a preservar sectores patrimoniales y habitacionales. Actualmente solo en Santiago se cuenta con más de 30 movimientos ciudadanos que rechazan iniciativas públicas y privadas que pueden amenazar la calidad de sus barrios, donde en el 69 % de los casos de participación ciudadana en Santiago, los proyectos y planes reguladores fueron modificados o suspendidos de forma indefinida. Incluso existieron casos donde la participación de la ciudadanía permitió mejorar la calidad de los proyectos, preservando barrios históricos, incluyendo medidas de mitigación de impacto y permitió la creación de nuevos espacios públicos (Poduje, 2008).

Para la participación ciudadana es necesario institucionalizar procesos, organizaciones y mecanismos que permitan el correcto desarrollo de ésta, pudiendo ser apoyados por una normativa legal o incluso a través de alguna práctica democrática que constituya una plataforma de fácil uso que permita reconocer los consensos y desigualdades de la mano con la ciudadanía (Guillen et al., 2009).

4.5. Estrategia Energética Local (EEL)

4.5.1. El porqué surgen las EEL

En la actualidad, el concepto de energía sustentable se asocia a satisfacer las necesidades energéticas presentes y futuras, de una forma económica y generando un impacto positivo a nivel social y medio ambiental. Para poder encontrar soluciones a los actuales problemas y limitantes asociados al uso y obtención de energía, se requiere soluciones transversales que integren los diferentes niveles que componen la sociedad y las instituciones (Klein y Coffey, 2016).

Alrededor del mundo están surgiendo muchos movimientos de energía comunitaria, donde las personas adoptan diversas estrategias e incorporan tecnologías en grupo, en lugar de hacerlo individualmente como es habitual. Junto con esto, hoy existe mucha tecnología que permite mejorar el aprovechamiento energético, esto va desde fuentes de energía renovable (agua, viento, radiación solar, etc), hasta eficiencia energética a diferentes escalas productivas y residenciales (Klein y Coffey, 2016). Se proyecta que las tecnologías que involucren energía renovable tendrán costos cada vez menores y tecnologías como la fotovoltaica e iluminación eficiente caerán en promedio un 40 % y 50 % respectivamente para el año 2040, por otra parte las tecnologías convencionales mantendrán o incluso elevaran su costo de desarrollo (Ministerio de Energía, 2015a). Sin embargo, aún existe un espacio entre las tecnologías disponibles y las realmente empleadas. La diferencia se origina debido a que los consumidores, de hoy en día, hacen uso de la energía sin saber cómo ésta es

generada y como el uso que le dan repercute sobre la sustentabilidad energética (Klein y Coffey, 2016).

Una comunidad altamente comprometida y que haga uso eficiente de sus recursos locales, hace posible flexibilizar y descentralizar los sistemas de energía, logrando así, llevar la generación de energía más cerca de los consumidores y reducir costos, ineficiencias y complejidad del sistema de abastecimiento energético (Prasad et al., 2015). De esta forma, mediante el compromiso y la integración de la comunidad, es posible acercar a las personas a la generación de energía y comunicar a éstas lo importante que es aprovechar los recursos energéticos y los beneficios que conlleva. “ Un plan robusto de estrategia energética local para el gobierno y la comunidad puede ayudar a ahorrar dinero, crear empleos locales, y mejorar nuestra seguridad nacional ” (Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2013)

4.5.2. Qué es y qué impacto tiene una EEL

La Estrategia Energética Local consiste en un plan a largo plazo que permite orientar las acciones de las comunidades a un mejor uso de la energía, determinando oportunidades tanto para reducir los desperdicios como para crear nuevos suministros energéticos en la región (Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2013).

Según el Ministerio de Energía (2015b) la experiencia observada en diversas Estrategias Energéticas Locales, implementadas tanto en el contexto nacional como internacional, permite asociar los impactos y beneficios de una EEL a 3 niveles, a nivel social, a nivel ambiental y a nivel económico:

• A nivel social son múltiples los beneficios percibidos por la localidad. En primer lugar se promueve un cambio conductual en la población de la localidad al sensibilizar y capacitar a la comunidad en materia energética. Además existe mayor participación y cohesión entre los actores públicos, privados y habitantes del sector. Por último, el impulsar una mejora en la calidad de vida genera un reconocimiento público y una cobertura positiva

en medios de comunicación.

• A nivel ambiental una EEL permite reducir las emisiones de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero en general, esto gracias a requerir menores cantidades de combustibles fósiles y leña producto de impulsar fuentes de energía renovable y aprovechar de manera eficiente la energía disponible.

• A nivel económico un EEL permite generar mayor riqueza en la región y contribuir a aumentar los ingresos de los participantes. Por un lado, la descentralización del sistema energético producto de fuentes energéticas locales, permite obtener precios más bajos y más estables de energía. Otro punto a considerar son los ahorros público, privado y residencial generados luego de implementar planes y capacitaciones de eficiencia energética. Por último, existe la posibilidad de generar nuevos negocios y empleos en torno al desarrollo energético de la comunidad y aprovechar modelos de valor compartido entre agentes públicos y privados.

4.5.3. Estructura de una EEL

La estructura que posee la estrategia energética local dependerá del contexto en el cual se desarrolle, por ejemplo el Departamento de Energía de los Estados Unidos provee lineamientos para el desarrollo de una EEL, los cuales no son exactamente los mismos en otros contextos geográficos. En el caso de desarrollar la estrategia energética en Chile, existen similitudes y diferencias en la estructura definida por el departamento norteamericano. Para esta memoria, la EEL se estructurara en base a la guía metodológica propuesta por el Ministerio de Energía (2015b). A continuación se describe los 15 elementos básicos que estructuran la creación de una EEL:

1. En primer lugar debe existir la designación de un encargado municipal y, junto con esto, definir las responsabilidades y rol de los participantes en la elaboración de la EEL. Los involucrados en el proceso deben contar con habilidades técnicas mínimas para su desarrollo, donde el asesor externo cumple una tarea fundamental a la hora de involucrar al

equipo y generar capacidades que permitan a éstos trabajar de forma autónoma a futuro.

2. Se debe designar un límite territorial de la comuna. Esta designación, además de identificar los límites de influencia y gravitación de la zona de intervención, busca identificar los sectores más relevantes en términos de la demanda y oferta energética.

3. Se debe realizar un taller de capacitación para los principales actores municipales encargados del desarrollo de la EEL y para otros actores relevantes dentro de la comuna. El asesor externo expone los aspectos más relevantes para elaborar una EEL, con un nivel de profundidad técnico adecuado a las capacidades del municipio.

4. Se requiere identificar a los actores principales del sector energético y de otros sectores industriales que puedan ser relevantes dentro de la comuna, elaborando finalmente un mapa éstos los actores. Con el apoyo del municipio se recurre a contactar a los actores y recolectar información para un diagnóstico inicial (a nivel de equipos técnicos).

5. A partir de la información provista por los actores previamente identificados, se identifica la demanda por energía térmica y eléctrica por sectores: Privado (Comercial e Industrial), residencial y público.

6. Se identifica la oferta de energía térmica y eléctrica a partir de datos proporcionados por los actores identificados.

7. En base a un sistema de metodologías establecidas, se debe realizar una proyección sectorial de la demanda energética térmica y eléctrica, ésta a un horizonte de tiempo de al menos 15 años. Sobre la predicción es posible definir metas y objetivos a largo plazo.

8. Se requiere calcular el potencial de eficiencia energética que permitiría una reducción en la demanda de energía. El potencial es calculado mediante inclusión de medidas como buenas prácticas o incorporación nuevas tecnologías en diversos sectores de la comuna.

9. Se debe identificar el potencial de abastecimiento mediante energías renovables en la comuna. El cálculo de potencial de generación de energías renovables considera energía solar, biomasa, eólica, hidroeléctrica y geotérmica.

10. Se requiere realizar taller con actores del sector privado, sector público, actores del municipio y la sociedad civil para definir cuáles serán los objetivos estratégicos y la visión del proyecto. El desarrollo de los talleres consiste en un proceso integrativo y colaborativo, que represente una visión compartida de los involucrados, genere beneficios a todos los integrantes de la localidad y represente los intereses de cada actor. El Departamento de Energía de los Estados Unidos (2013) plantea que es necesario entender que al trabajar con las diferentes partes interesadas en el proyecto, cada parte se comprometerá de una manera distinta, esto va a depender de los resultados que esperan y de la contribución individual que le corresponde aportar al proceso.

11. Es necesario elaborar y fijar metas claras, que puedan ser medibles y verificables. Las metas se desarrollan con el fin de poder alcanzar los objetivos estratégicos planteados y la visión propuesta al inicio de la estrategia energética.

12. Se debe llevar a cabo un proceso participativo, donde se puedan identificar proyectos concretos dentro de la comuna, los cuales estén validados socialmente por medio de opinión y consulta de los habitantes, el sector público y el sector privado.

13. Se requiere elaborar un listado de proyectos clave, los cuales deben ser validados por la comunidad, actores del sector público y privado, y aprobado por la autoridad local de la comuna.

14. Se debe definir un modelo de gestión, comunicación y seguimiento que de soporte al plan de acción de la EEL. El modelo debe comprender una visión de resultados de corto, mediano y largo plazo, y debe estar alineado con la visión del municipio.

15. Finalmente, se debe llevar a cabo una validación final por parte de la comunidad, donde pueda existir una integración de los comentarios referidos al proyecto y una publicación de la estrategia a desarrollar, de manera de dar inicio a la fase de implementación de la EEL. En comunas que cuenten con SCAM (sistema de certificación ambiental), deben validar el plan de acción los representantes de la sociedad civil a través del COSOC (Consejo Comunal de Organizaciones de la Sociedad Civil) y/o CAC (Comité Ambiental Comunal).

4.6. Antecedentes de la Comuna

El levantamiento de antecedentes de la comuna fue entregado por la empresa Eco-energías mediante un documento de diagnóstico territorial, elaborado a partir de datos provenientes del SERVIU, Ministerio de Desarrollo Social, informes del INE, PLADECO y actores de la misma municipalidad de Villa Alemana. Villa alemana constituye una comuna y ciudad ubicada en la región de Valparaíso, más específicamente en la provincia de Marga Marga. La superficie con la que cuenta comprende 97 kilómetros cuadrados y se ubica a una altitud media de 143 metros sobre el nivel del mar. Actualmente la comuna cuenta con 138.348 habitantes en el territorio, donde el ratio entre la porción de superficie urbana y la superficie útil arroja un resultado de un 85 % de zona urbana. Los habitantes de la comuna cuentan con escolaridad promedio de 10 años y un ingreso promedio por hogar de $216.070.

El área de impacto considerada para este proyecto puede apreciarse en la Figura 3.12, con las zonas de trabajo demarcadas en gris y áreas verdes demarcadas en color verde:

Figura 4.12: Mapa del área de influencia considerada para la estrategia energética local.
(Fuente: Ecoenergías, 2016.)

Para poder caracterizar de mejor forma la comuna es importante destacar observaciones relevantes para dirigir la EEL. Entre ellas se encuentra:

• La comuna de Villa Alemana posee un fuerte sentido de compromiso con el medio ambiente, donde esta se autoproclama como la "Capital del Medioambiente", concepto fuertemente potenciado por su alcalde y ya integrado dentro de la cultura ciudadana.

• La comuna se caracteriza por ser una ciudad orientada a la entrega de servicios y a zonas residenciales. No cuenta con grandes industrias ni un alto grado comercio.

• El ingreso promedio por hogar, per cápita y escolaridad (10 años) en Villa Alemana es levemente superior al promedio nacional al año 2011.

• La población posee una tendencia a envejecer y es más vieja que el promedio nacional.

• Villa Alemana ha crecido mucho más rápido que el promedio nacional, en términos de población.

Además, mediante el diagnostico territorial, se ha podido identificar diversas instituciones y espacios público pertenecientes a la comuna, y junto con esto, las necesidades energéticas que requieren para poder orientar ELL y alinearla con las necesidades de la comuna. A continuación se listan las instituciones y espacios identificados:

Instituciones relevantes

Tabla 4.1: Instituciones públicas y privadas relevantes en Villa Alemana.

Nombre	Ubicación	Uso	Necesidades
Piscina Municipal	La Torre, junto al Polideportivo	Deporte	Agua Caliente, Energía Eléctrica
Nuevo Edificio Municipal	Proceso/Buenos Aires	Administrativo	Eléctrico / Calefacción
Municipalidad	Centro	Administrativo	Eléctrico / Calefacción
Centro Cultural Gabriela Mistral	Centro	Cultura / Recreación	Eléctrico
Teatro Pompeya	Centro	Cultura / Recreación	Eléctrico
Estadio Polideportivo	La Torre	Deporte	Eléctrico / Agua Caliente
Gimnasio Luis Cruz Martínez	Peñablanca	Deporte	Eléctrico / Agua Caliente
Sanatorio / hospital Peñablanca	Peñablanca	Salud	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Liceo A-38 Villa Alemana	Sargento Aldea	Educación	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Centro Recreativo salud	Calle Cienaguilla	Deporte / Salud	Eléctrico / Agua Caliente
Polideportivo Colegio Nacional	San Enrique	Deporte	Eléctrico / Agua Caliente
Estadio Marista	Lima	Deporte	Eléctrico / Agua Caliente
Colegio Entre Valles	Villa Alemana Norte	Educación	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Colegio Valle Dorado	Villa Alemana Norte	Educación	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Colegio Hispano	Sargento Aldea	Educación	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Colegio Champagnat	Victoria	Educación	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Círculo Baquedano Cummings	Villa Alemana	Otro	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción
Club rotario	Villa Alemana	Otro	Eléctrico
Nuevo Hospital	Villa Alemana Norte	Salud	Eléctrico / Agua Caliente / Calefacción / Cocina

(Fuente: Ecoenergías, 2016.)

Espacios públicos relevantes

Tabla 4.2: Espacios públicos relevantes en Villa Alemana.

Nombre	Ubicación	Uso	Necesidades
Plaza Belén	Frente Estación, centro	Comercio, Recreación, Peatonal	Iluminación
Estación Villa Alemana	Villa Alemana	Transporte	Iluminación / Consumos eléctricos
Estación Sargento Aldea	Sargento Aldea	Transporte	Iluminación / Consumos eléctricos
Estación Peñablanca	Peñablanca	Transporte	Iluminación / Consumos eléctricos
Parque Marga Marga 1 Ha	Villa Alemana	Recreación	Iluminación
Plaza Carab. Chile	Villa Alemana	Recreación	Iluminación
Plaza Dinamarca	Villa Alemana	Recreación	Iluminación
Manuel Montt (Área Verde)	Peñablanca	Recreación, peatonal	Iluminación

(Fuente: Ecoenergías, 2016.)

Por último, es importante definir el rumbo de la comuna y como se proyecta a futuro. Donde las principales predicciones apuntan a:

• Escasez de empleos locales. La vocación residencial y de servicios de la comuna pronostican que se mantendrán las condiciones laborales en la comuna.

• Mejora en la conectividad. A raíz de su ubicación privilegiada, como un corredor estratégico, parte del Troncal Sur y de Merval, se espera que mejore la conectividad de la comuna.

• Crecimiento poblacional positivo considerable. Villa Alemana espera un fuerte crecimiento poblacional, aunque desacelerado comparativamente con años anteriores.

• Aumento del tráfico y necesidades de transporte. Debido al aumento poblacional y a la ubicación de la comuna, se espera que nuevos corredores como el Troncal Sur o el Metro de Valparaíso se plasmen en la zona.

• Necesidades hídricas. La posición geográfica de Villa Alemana, su nivel de consumo y baja pluviosidad, en el contexto de desertificación y sequía de Chile, auspician mayores complicaciones para abastecer las necesidades hídricas de la comuna.

4.7. Energía Solar Térmica (Termosolar):

Los sistemas termosolares corresponden a un conjunto de equipos y componentes que permiten aprovechar la energía solar para producir agua caliente sanitaria para el consumo diario en los distintos inmuebles en los que se implementan. Estos sistemas no solamente significan un medio no contaminante para calefaccionar el agua, sino que además permiten generar un importante ahorro en lo que respecta al consumo anual de energía (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014).

Las instalaciones solares térmicas se diseñan con un circuito primario y un circuito secundario de circulación de fluidos. El circuito primario portara un fluido caloportador encargado de circular por los sistemas de captación solar, aprovechando la energía térmica que estos le entregan, y posteriormente circular por el sistema de intercambio de calor para transferir el calor ganado al agua de consumo del inmueble. Por otro lado, el circuito secundario es el encargado de portar el fluido de consumo, de esta forma aprovecha el calor entregado por el sistema de intercambio y porta el fluido hasta la salida (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014).

Los sistemas solares térmicos pueden diseñarse a partir de un sistema de producción instantánea, en la cual el sistema hará circular el fluido por este solo en el momento de consumo, o por otro lado pueden diseñarse sistemas con acumulación, los cuales permiten obtener un rendimiento más homogéneo al incorporar estanques de acumulación que almacenen agua caliente producida por el sistema de forma continua (IDAE, 2010). Según esta consideración, se diseñara un sistema que permita la acumulación de agua en momentos de baja demanda para afrontar de mejor forma los instantes de demanda peak de agua caliente.

El sistema térmico diseñado para este proyecto consta de cinco elementos principales, estos son: 1) Colector solar, el encargado de captar la radiación solar y transferirlo como energía térmica al fluido del circuito primario; 2) Sistema hidráulico, el cual consta del sistema de cañerías y válvulas por las que circularan los fluidos; 3) Bomba de circulación, empleada para lograr el movimiento del fluido por caloportador contenido en el circuito primario; 4)Estanque de vaso expansión, encargado de absorber variaciones de volumen y presión del fluido en el circuito primario ; 5) Interacumulador, equipo que contiene un estanque de acumulación de agua y además un intercambiador de calor que permite transferir la energía térmica entre los circuitos primario y secundario.

4.8. Energía fotovoltaica (FV)

La energía solar fotovoltaica, consiste en aprovechar la radiación proveniente del sol para transformarla en energía eléctrica, siendo una de las energías renovables con menor impacto ambiental y llamada a ser una de las energías del futuro. Los sistemas de energía fotovoltaicos se caracterizan por reducir la emisión de gases contaminantes producto de la generación de electricidad a partir de un recurso único, no contaminante e inagotable como lo es el sol (Guardiola Parera, 2008).

Los sistemas FV tienen tres componentes principales además del sistema eléctrico que lo integra, estos corresponden a los módulos fotovoltaicos, el inversor y la estructura de soporte de los módulos (Ministerio de Energía, 2016b).

El funcionamiento de los modulo fotovoltaicos comienza a partir de las células foto-eléctricas que lo integran. Estas consisten en un dispositivo electrónico, fabricado a partir de un material semiconductor como el silicio, capaz de transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Este efecto se produce cuando la célula fotovoltaica capta la radiación solar y se crea un campo eléctrico al interior del material, donde las cargas positivas y negativas serán separadas generando una diferencia de potencial entre dos zonas del material, las cuales al ser conectadas mediante un circuito

externo dan paso a corriente eléctrica (Guardiola Parera, 2008).

Una vez se obtiene la electricidad a partir de la radiación solar, esta se traslada al inversor del sistema. Este componente tiene una labor fundamental, donde transforma la electricidad generada desde corriente continua a corriente alterna. Es importante destacar que la corriente alterna permite no solo hacer funcionar los distintos artefactos en el hogar, sino que además es este el tipo de corriente que circula por las redes de distribución (Ministerio de Energía, 2016b).

El último elemento que compone el sistema fotovoltaico es la estructura de soporte de los módulos. Estas estructuras tiene la labor de poder fijar los captadores de forma segura y además orientarlos con una inclinación óptima, todo esto con el fin de que absorban la mayor cantidad de radiación posible del sol y el sistema pueda generar la mayor cantidad de energía posible (Ministerio de Energía, 2016b).

Dentro de las distintas aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, los sistemas que presentan mayores expectativas de incremento en el mercado fotovoltaico son los sistemas de conexión a red (Guardiola Parera, 2008). Respecto a la situación nacional, a partir del año 2014 comenzó a regir la ley de generación distribuida, siendo esto un impulso a la maduración del mercado fotovoltaico en el país, y será el tipo de sistema fotovoltaico evaluado en este trabajo.

4.9. Ley 20.571 (Net-Billing)

La ley 20.571 entro en vigencia el 22 de octubre de 2014 y tiene el objetivo de entregar a los clientes de empresas distribuidoras el derecho a generar energía eléctrica propia, auto consumirla, y además, otorga la posibilidad de vender los excedentes energéticos a las empresas de distribución (Arroyo Klein, 2015).

La ley 20.571, conocida además como ley de generación distribuida o ley de Net-Billing, permite a los clientes aprovechar sistemas de energías renovables no convencionales o sistemas de cogeneración eficiente. La capacidad instalada por el cliente o usuario final no podrá superar los 100 kW o de lo contrario pasara a ser considerado parte del grupo de PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuidos) y deberá someterse a la regulación correspondiente a este último grupo (Ministerio de Energía, 2016a).

El proceso debe ser inscrito y fiscalizado por la súper intendencia de electricidad y combustible (SEC) y firmar un contrato con la empresa distribuidora correspondiente al cliente. Si bien el proceso consta de múltiples etapas, con un tiempo de respuesta asociado a cada una, actualmente se están perfeccionando los procedimientos y el reglamento de Net-Billing, de forma que se simplifique la burocracia y se acelere el proceso, con resultados que han permitido disminuir en un 45 % el tiempo de tramitación en proyectos pequeños desde el 2014 (Ministerio de Energía, 2016a).

El periodo de tramitación es variable en cuanto al tiempo refiere. Para la evaluación de los proyectos fotovoltaicos desarrollados en este trabajo se consideró el periodo como instantáneo (al igual que la instalación de todo el sistema fotovoltaico), de forma que el proyecto ya se encuentra montado y en funcionamiento a partir del año 2017.

4.10. Evaluación de Proyectos

El desarrollo de un proyecto representa una fuente de costos y beneficios que ocurren en distintos periodos de tiempo. El proyecto en sí, consistirá en realizar una combinación de insumos asociados a un costo de comprarlos, combinarlos y transformarlos, para de esta forma poder obtener productos que entreguen beneficios y que este beneficio exceda, lo más posible, el valor pagado por los insumos. Para conseguir esto, el proyecto debe perseguir la búsqueda de eficiencia en la combinación de insumos y productos, de manera que maximicen el excedente económico a lo largo de la vida del proyecto (Fontaine, 2008).

El proceso de evaluación económica de proyectos, se encarga de realizar una comparación de sus costos y beneficios económicos, permitiendo poder emitir un juicio sobre la conveniencia de llevar a cabo éste y a la vez relacionarlo con otros posibles proyectos (Fontaine, 2008).

Para el desarrollo de esta memoria se empleara como guía la metodología general de preparación y evaluación social de proyectos promulgada por el Ministerio de Desarrollo Social (2013). A continuación se dará a conocer en que consiste y que elementos componen la metodología descrita.

La guía se compone de dos secciones principales, en la primera sección se aborda la preparación del proyecto y en una segunda sección la evaluación propiamente tal.

4.10.1. Preparación del Proyecto

Esta primera fase, posee un enfoque con un carácter más bien cualitativo cuyo objetivo es recopilar y analizar antecedentes e información que justifique el desarrollo del proyecto. Para el desarrollo de esta etapa es necesario abordar tres aspectos principales: Identificación del problema, diagnóstico de la situación actual y proyectada, y finalmente identificación de alternativas de solución.

4.10.2. Evaluación del Proyecto

El objetivo de realizar la evaluación del proyecto es poder establecer la conveniencia técnico-económica de llevar a cabo éste. Para la evaluación del proyecto es posible recurrir a un enfoque costo-beneficio o a un enfoque costo-eficiencia, dependiendo de si es posible cuantificar los beneficios generados por el proyecto. Para este estudio, se realizara una evaluación a partir del enfoque costo-beneficio.

El principal objetivo del enfoque costo-beneficio es poder determinar si los beneficios generados por el proyecto son mayores que los costos involucrados en su realización. Para esto, es necesario identificar, medir y valorar los beneficios y costos del proyecto.

4.10.3. Identificación de Beneficios

Esto requiere de gran cuidado, ya que gran parte de los errores en la evaluación de un proyecto se cometen durante la etapa de identificar beneficios y costos verdaderamente atribuibles al proyecto, frecuentemente al no incluir costos pertinentes e incorporando beneficios que no son necesariamente atribuibles al proyecto (Fontaine, 2008).

Dependiendo de la naturaleza del proyecto, es que pueden identificarse múltiples beneficios asociados a su implementación. En la Metodología destacan:

• Aumento del consumo de un bien o servicio: este beneficio es producto de un aumento en la oferta disponible gracias a la implementación del proyecto, lo que genera una disminución en el costo para los consumidores del bien o servicio y por ende genera también un aumento en la cantidad consumida.

• Ahorro de costos: este beneficio se presenta cuando la implementación del proyecto permite una disminución en los costos (ya sea costo de mantención, operación, entre otros) con respecto a la situación de no implementar el proyecto.

• Revalorización de bienes: se genera cuando el proyecto permite aumentar el valor patrimonial de un bien por efecto de intervención directa o sobre el entorno inmediato de éste.

• Reducción de riesgos: producto de que la implementación del proyecto permite aumentar los niveles de seguridad de un determinado servicio.

• Mejoras en el medio ambiente: este beneficio surge cuando el proyecto permite recuperar espacios y recursos naturales.

• Seguridad nacional: Cuando el proyecto permite resguardar los límites territoriales, la soberanía, etc.

4.10.4. Cuantificación de Beneficios

La cuantificación de los beneficios se encarga de asignar unidades de medida apropiadas que permitan medir los beneficios identificados previamente. Ejemplos de unidades pueden ser número de vehículos, minutos de espera ahorrados por consulta, litros de combustible ahorrado por mes, entre otros, donde dependerá del objetivo y el impacto del proyecto.

4.10.5. Valoración de Beneficios

La valoración de beneficios tiene como finalidad el poder asignar un valor monetario a los beneficios previamente identificados y cuantificados en las etapas anteriores. Para realizar esto, se puede aplicar precios de mercado (sin IVA) en casos que no se presenten impuestos, subsidios u otro tipo de distorsión, y junto con esto, también es posible aplicar precios sociales dispuestos por el Ministerio de Desarrollo Social. Existen casos donde el formulador del proyecto requerirá realizar estimaciones para llevar a cabo la valoración de los beneficios, en estos casos es necesario explicitar la forma de cálculo empleada, junto con los parámetros y variables empleadas.

4.10.6. Identificación de Costos

Al igual que con los beneficios, es necesario identificar los costos del proyecto, los cuales son todos aquellos recursos utilizados para su materialización durante las etapas de diseño, ejecución y operación. Algunos ejemplos de los costos de inversión son la compra de materiales e insumos, los terrenos necesarios, estudios y la supervisión y asesorías a la etapa de inversión. Por otra parte los costos asociados a la etapa de operación se

utilizaran para el funcionamiento de cada periodo, como por ejemplo sueldos y salarios del personal, servicios básicos y repuestos. Finalmente deben considerarse además, los costos de conservación, los cuales se asocian a acciones destinadas a recuperar la calidad y estándares de la infraestructura o máquinas para poder mantener la vida útil considerada inicialmente.

4.10.7. Cuantificación de Costos

La cuantificación de costos, al igual que con los beneficios, consiste en asignar unidades de medida acordes a los costos identificados, por ejemplo Horas-hombre, toneladas empleadas, número de máquinas necesarias, entre otros.

4.10.8. Valoración de Costos

La valoración de los costos se realiza principalmente mediante los precios de mercado asociados. Sin embargo, al realizar las evaluaciones de tipo social es necesario realizar ajustes que reflejen verdaderamente el costo de usar esos recursos en el proyecto.

A continuación se muestran costos referidos al proyecto y el ajuste correspondiente en caso de realizar una evaluación social:

Tabla 4.3: Ajustes de costos requeridos para realizar una evaluación social.

Costos	Ajuste
Maquinarias, equipos e insumos nacionales	Descontar IVA y otros impuestos
Maquinarias, equipos e insumos nacionales	Descontar IVA, arancel y otros impuestos; aplicar el factor de corrección de la divisa
Sueldos y salarios	Aplicar el factor de corrección de la mano de obra, para cada nivel de calificación.

(Fuente:Ministerio de Desarrollo Social, 2013.)

Existen recursos como gasolina, diésel o tiempo de viaje, cuyos precios sociales son publicados anualmente por el Ministerio de Desarrollo Social para ser utilizados en la evaluación de proyectos que involucren este tipo de recursos.

4.10.9. Indicadores de Rentabilidad

4.10.9.1. Valor Actual Neto (VAN)

Desde una interpretación económica, este indicador se encarga de medir el aumento de riqueza que el proyecto genera para su dueño, teniendo en consideración la que se hubiese obtenido sin realizar el proyecto, donde el costo de oportunidad asociado a proyectos alternativos es capturado por una tasa de descuento bajo un determinado horizonte de evaluación (Fontaine, 2008).

El cálculo del valor actual neto (VAN) se desprende a partir de la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{BN_t}{(1+r)^t} \tag{4.1}$$

Donde en esta fórmula, BN_t representa el beneficio neto obtenido del periodo t, I_0 corresponde a la inversión inicial en el periodo cero, n corresponde al horizonte de evaluación que comprende el proyecto y r captura la tasa de descuento empleada.

El criterio de decisión obtenido a partir de la utilización del VAN dependerá de si el valor es positivo, negativo o igual a cero, según:

- VAN > 0 : El proyecto genera riqueza por sobre el costo de oportunidad y por tanto es conveniente ejecutar el proyecto.

- VAN = 0 : Es indiferente llevar a cabo el proyecto.

- VAN < 0 : No es conveniente llevar a cabo el proyecto.

4.10.9.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) permite medir la rentabilidad promedio que posee el proyecto sobre el cual se aplica .Este indicador, corresponde a aquella tasa de descuento que hace que el Valor actual neto (VAN) tome un valor igual a cero. De esta forma, es posible calcular su valor de acuerdo a la manipulación de la siguiente fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum \frac{BN_t}{(1 + TIR)^t} \tag{4.2}$$

El uso de este indicador es complementario al uso del VAN (empleando las mismas variables de cálculo), donde se esperaría que un VAN positivo conlleve una TIR mayor que la tasa de descuento aplicada. Además, al igual que con el VAN, se puede aplicar un criterio de decisión al utilizar este indicador en función de la tasa de descuento considerada en el proyecto, según:

- TIR > r : Es conveniente llevar a cabo el proyecto.

- TIR = r : Es indiferente el ejecutar el proyecto.

- TIR < r : No es conveniente llevar a cabo el proyecto.

4.10.9.3. PAYBACK

El indicador PAYBACK permite determinar cuánto es el tiempo estimado que le tomara al proyecto retornar la inversión en el mismo. Este indicador se calcula a partir de la inversión inicial y se le descuentan los flujos de caja de cada periodo de forma progresiva, esto se realiza hasta determinar el periodo en el cual la suma de los flujos de caja hasta entonces es al menos la inversión en el proyecto, el periodo donde ocurre esto es considerado el indicador PAYBACK o tiempo de recuperación del proyecto.

4.10.9.4. PAYBACK descontado

El PAYBACK descontado consiste en una variación del indicador PAYBACK, donde es necesario considerar la tasa de descuento empleada para descontar los flujos futuros hacia el valor presente. A continuación se presenta la expresión para descontar los flujos futuros a valor presente, el cual es similar al empleado en el indicador VAN:

$$V_p = \frac{BN_t}{(1+r)^t} \tag{4.3}$$

Entendiendo BN_t como el flujo de caja en el periodo t y V_P como el valor presente de aquel flujo de caja.

5 | Cartera de Proyectos Públicos para Villa Alemana

5.1. Selección de los proyectos

A partir del diagnóstico territorial y energético realizado en Villa Alemana, se desprende que la comuna posee un carácter primordialmente orientado al sector residencial, esto puede incluso verse reflejado en el consumo eléctrico, donde el 73 % del total demandado proviene de este sector (Ecoenergías, 2016). A partir de esto, lograr acercar las fuentes alternativas de generación de energía e informar a la comunidad de buenas prácticas, podría traer enormes beneficios para la comunidad involucrada.

La selección de los proyectos para el sector público de la comuna de Villa Alemana, se estructura sobre la base de poder instruir y concientizar a las nuevas generaciones en el buen uso de la energía. Teniendo como foco el lograr educar a la población, la opción más lógica para comenzar a implementar proyectos, que aborden la temática energética, es acudir a los establecimientos cuya labor es formar a los futuros habitantes de la comuna, con esto nos referimos a los colegios de Villa Alemana.

A la hora de hablar posibles de proyectos de Energía Renovable No Convencional (ERNC), la comuna de Villa Alemana no cuenta con un vasto potencial eólico, sin embargo, se caracteriza por contar con una alta radiación solar de 1.810 kWh/m^2 anualmente, la que incluso permite superar a la ciudad modelo en cuanto a aprovechamiento de energía

solar respecta, la "ciudad solar" de Friburgo, Alemania (Ecoenergías, 2016). De esta forma, el primer acercamiento a proyectos que contemplan ERNC, debiese ser a través del alto potencial solar con el que cuenta la comuna.

A partir de todo lo anterior se estructuraran tres tipos de proyectos públicos los cuales se implementaran en los colegios municipales de Villa Alemana. El primer proyecto propuesto consiste en un sistema termosolar que permita abastecer a los colegios de agua caliente sanitaria y de esta forma reducir el consumo de GLP. El segundo proyecto, también bajo la temática de ERNC, plantea aprovechar la radiación solar de Villa Alemana mediante la instalación de paneles fotovoltaicos en los techos de colegios municipales. Finalmente, se promueve un proyecto cuyo objetivo es educar a las futuras generaciones de habitantes de Villa Alemana mediante charlas del buen uso de la energía en los distintos colegios municipales de la comuna.

5.2. Termo paneles solares

5.2.1. Sistema Termosolar para colegios municipales de Villa Alemana

Para el proyecto termo solar los colegios municipales de Villa Alemana se segmentaron a partir del número de alumnos que pertenecen al establecimiento, encasillando de esta forma a los colegios en tres categorías. La primera categoría encasilla a colegios pequeños con menos de 150 estudiantes, una segunda categoría contendrá los colegios de mediana envergadura con entre 150 y 400 estudiantes, y por último, existirá una categoría con los colegios con mayor número de estudiantes al poseer sobre 400 alumnos.

El diseño del sistema termosolar será considerado para colegios de mediana y gran envergadura, esto para atender principalmente a los colegios que presentan mayor demanda de agua caliente sanitaria y que se presume que deben contar con instalaciones acorde al mayor número de estudiantes, como un sistema que incorpore duchas, que en colegios más

pequeños puede ser limitado o incluso no existir.

Para este proyecto se toman como referencia dos colegios pertenecientes a la corporación municipal. El primero corresponde al colegio Manuel Montt, el cual posee 509 alumnos matriculados y pertenece a la categoría de colegios de gran envergadura, y el segundo, corresponde al colegio Juan Bautista Alberdi, el cual cuenta con 297 alumnos y es perteneciente a la categoría de colegios de mediana envergadura. A partir de esto, se busca diseñar un sistema termosolar capaz de abastecer a la escuela con cerca de un 50 % de la energía anual requerida en agua caliente sanitaria.

5.2.2. Sistema Termosolar empleado en colegio de gran envergadura

5.2.2.1. Colector solar

Para este proyecto se decidió optar por un sistema de captadores solares de tubo de vacío del tipo Heat Pipe. Este tipo de colectores son cada vez más usados por sobre los colectores tradicionales de placa plana, ya que reducen las perdidas térmicas, tanto por convección como por conducción, donde la diferencia de precios en el mercado respecto a los tradicionales es cada vez menor (CDT, 2010).

La selección del colector empleado en el proyecto termosolar, consiste en un colector de tubos de vacío marca Khöne modelo PM25-58/0.1 y que cuenta con una superficie de captación de 2 metros cuadrados. Este colector se presenta como una alternativa real en el mercado de colectores nacional y con un costo menor al indicado en el índice de precios para sistemas solares térmicos dado a conocer por la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y Programa de Energías Renovables y Eficiencia Engética Chile (2015) para la superficie de captación especificada.

Para poder caracterizar el colector, se recurre a parámetros estándar conocidos en el mercado y que precisamente permiten diferenciar el comportamiento y rendimiento de los distintos equipos. Los parámetros determinantes a la hora de definir cuál será el rendimiento

del colector son, el factor de eficiencia óptica (η_0), el cual equivale al rendimiento máximo del colector, y por otra parte, los coeficientes de pérdidas térmicas, que describen la variación lineal (k_1) y cuadrática (k_2) de las perdidas térmicas (CDT, 2010). De esta forma, los indicadores de rendimiento del colector seleccionado son:

η_0=0,752

k_1=2,949 W/(k*m^2)

k_2=0,013 W/(k*m^2)

Finalmente, para el sistema en cuestión se consideró una instalación que cuente con diez colectores solares dispuestos en dos baterías de cinco colectores y todos conectados en paralelo, donde además de la ya mencionada superficie de captación unitaria de dos metros cuadrados, estos presentan una superficie bruta de 3,7 metros cuadrados cada uno.

5.2.2.2. Interacumuladores

Para este sistema solar térmico se consideró la incorporación de un interacumulador, el cual consiste en un aparato que cumple las funciones de un estanque de acumulación y de un intercambiador de calor entre el fluido caloportador del circuito primario y el agua de consumo en el estanque.

Para este proyecto se eligió emplear dos interacumuladores solares Ferco BW 800 debido a los requerimientos que se detallan a continuación.

La primera consideración que se debe realizar para la elección de un interacumulador es el volumen de almacenamiento con el que cuenta. El rendimiento global de una instalación solar aumentara con el volumen de acumulación al permitir estabilizar la disponibilidad del suministro de agua caliente, permitiendo así cubrir las necesidades en los momentos de mayor demanda con reservas obtenidas del sistema en momentos de menor demanda. Habitualmente para determinar el volumen del estanque solar, se recurre a un cálculo de volumen específico en función del área de captación total de los colectores con los que cuenta el sistema. A continuación, se define el rango según el (CDT, 2010) para el volumen

del estanque (V) en función del área de captación solar total (A_{col}):

$$40 \leq \frac{V}{A_{col}} \leq 180 \tag{5.1}$$

En la experiencia, es posible observar que al emplear un valor por debajo de entre los 40 y 50 litros por metro cuadrado de captación el rendimiento baja significativamente, y que el valor habitual de selección es cercano a los 75 litros de acumulación por metro cuadrado (CDT, 2010). Considerando que para este proyecto la superficie de captación es de 20 metros cuadrados y la capacidad volumétrica individual de cada interacumulador es de 765 litros, resulta en un volumen específico de 76,5 litros por metro cuadrado de captación y es acorde al valor de diseño habitualmente empleado.

Otro punto a considerar en la selección es la superficie del intercambiador de calor interno que presenta el interacumulador. Para poder determinar la superficie de intercambio adecuada para un sistema solar es posible recurrir a una expresión dada por (CDT, 2010), la cual es en función del área útil de intercambio del intercambiador de calor (A_{int}) y la superficie total de captación (A_{col}), según la expresión:

$$A_{int} \geq A_{col} * 0,2 \tag{5.2}$$

A partir de esta expresión, y de la ya mencionada superficie total de intercambio, basta con conocer el área útil del intercambiador de calor para determinar si es del tamaño suficiente. Para el caso del interacumulador seleccionado, el intercambiador de calor corresponde a un serpentín de dos metros cuadrados de superficie, con lo que permite satisfacer las exigencias técnicas de diseño manifestadas en la formula 5.2. Además, ya habiendo determinado que el intercambiador de calor cumple con las exigencias técnicas para diseño del interacumulador, y para evitar un cálculo minucioso sin mayor relevancia en el objetivo de este proyecto, se asumirá una eficiencia referencial de un 80 % del intercambiador debido a la alta eficiencia que presentan los sistemas de serpentín.

Por último es necesario considerar la aislación del estanque, la cual requiere un espesor

mínimo dependiendo del tipo de aislante. A continuación se presenta la fórmula de cálculo dada por el (CDT, 2010):

$$e_{min} \geq \frac{50 * \lambda}{0,04} \tag{5.3}$$

El interacumulador, además de contar con un interior vitrificado al titanio con tres milímetros de espesor, cuenta con un aislamiento de Poliuretano de cien milímetros de espesor. La conductividad térmica de este material es de 0,028 w/k*m^2 (AISLA, 2016), por lo que el mínimo espesor de aislamiento requerido seria de 35 milímetros y donde el interacumulador seleccionado lo cubre con creces al poseer un espesor de 100 milímetros de recubrimiento con este tipo aislante.

5.2.2.3. Cañerías

La selección de cañerías del sistema será de suma importancia, debido a que estas interconectaran los diversos componentes y serán las encargadas de transportar el fluido de trabajo.

El circuito primario se definió para un edificio con una altura de doce metros, considerando este como el edificio de mayor altura en un colegio tipo de Villa Alemana. El circuito considera un largo total de 70 metros de tubería de cobre de tres cuartos de pulgada y 20 metros de tubería de cobre de tres octavos de pulgada para el circuito primario, y además se agregaran once metros para el circuito de abastecimiento y otros once metros para el circuito de inyección de agua.

El primer paso en la selección de cañerías es la elección del material de estas, donde para el circuito primario es necesario seleccionar cañerías de cobre, acero inoxidable o acero negro, ya que permiten soportar condiciones extremas de temperatura y presión del circuito, a diferencia de las cañerías fabricadas a partir de materiales plásticos (CDT, 2010). Para este proyecto, se seleccionara, tanto para el circuito primario como para el resto del sistema, el material más comúnmente empleado en los sistemas térmicos el cual es el cobre.

Ya conociendo el material de la cañería empleada es posible determinar el diámetro requerido. Para esto, en primer lugar es necesario conocer el caudal máximo de diseño del circuito, el cual se considerara como el caudal de ensayo típico de un colector, equivalente a 72 litros/h*m^2 (CDT, 2010), por la superficie de captación total de los colectores pertenecientes al sistema, que en este caso al ser diez colectores equivale a 20 metros cuadrados, dando como resultado un caudal total de 1.440 litros por hora. Por otro lado, existe un segundo tramo de cañerías de igual material y diámetro debido a que hay un punto en el que el caudal total se separa en dos flujos de igual caudal, destinado cada uno a una batería de colectores diferente, de forma que el caudal es de 720 litros por hora en este tramo. Por último, existe un tercer tramo de tuberías a partir del cual el fluido es transportado al colector para adquirir calor, este tramo contendrá un caudal equivalente al de diseño para un solo colector, es decir 144 litros por hora.

Una vez determinado el caudal de diseño que circulara por el circuito, es necesario conocer la velocidad del fluido admitida por la tubería, que para el caso de tuberías de cobre permite que este viaje entre los 0,5 y 2 metros por segundo (IDAE, 2010). A partir de esto, se evalúa una tubería de tres cuartos de pulgada, para los tramos de mayor caudal, y tuberías de tres octavos de pulgada, para el tramo de alimentación de cada colector, según la siguiente formula: (CDT, 2010):

$$Velocidad = \frac{Caudal}{Area.transversal} \tag{5.4}$$

Obteniendo así una velocidad de 1,41 metros por segundo para la sección de mayor caudal, una velocidad de 0,705 metros por segundo para la sección luego de la división y una velocidad de 0,56 metros por segundo para el tramo de alimentación de cada colector. De esta forma, la tubería de tres cuartos de pulgada y la tubería de tres octavos de pulgada, toleran el caudal de diseño del circuito y por tanto son el diámetro de tubería escogido.

5.2.2.4. Aislación

La aislación de la red de cañerías, que componen el sistema térmico solar, es de suma importancia para evitar pérdidas de energía del fluido al ambiente.

El material escogido para llevar a cabo la aislación de tuberías es lana de vidrio. Este aislante es uno de los más económicos y empleados en el mercado y sus propiedades permiten trabajar con sistemas que transportan fluidos a altas temperaturas. El aislante lana de vidrio, posee una conductividad térmica que varía entre los 0,032 y 0,043 W/k*m dependiendo de la densidad del aislante empleado (Isover, 2006).

Para determinar el espesor requerido, en primer lugar se recurrirá a la metodología entregada por el (CDT, 2010) que define un espesor mínimo de aislación para tuberías en exterior. Los parámetros considerados para el cálculo de espesor mínimo son, el diámetro externo de la tubería (d) y la conductividad térmica del material aislante (λ). A continuación se presenta la fórmula de cálculo del espesor mínimo (e_{min}) requerido en tuberías en exterior:

$$e_{min} = \frac{d * \lambda}{0,04} \tag{5.5}$$

Considerando el diámetro exterior de las tuberías de cobre seleccionadas, equivalente a 22 milímetros, y la conductividad térmica del aislante como 0,043 W/m*K, el espesor mínimo requerido es de 23,65 milímetros.

Ya conociendo el espesor mínimo requerido, se escoge mediante el generador de precios de CYPE un cubre tuberías de lana de vidrio moldeada, que de acuerdo a los parámetros del sistema, tendrá un espesor de 25 milímetros con una lámina de aluminio, de forma tal que se ajuste a la realidad del proyecto y minimice al máximo las perdidas térmicas del fluido. Se empleara la misma coquilla de lana de vidrio para todos los tramos de cañería del circuito primario y el circuito de consumo.

5.2.2.5. Válvulas y Accesorios

Si bien los sistemas térmicos varían en función de las características físicas de los emplazamientos, es posible obtener una referencia del número, tipo de válvulas y accesorios requeridos para el sistema solar térmico dimensionado.

A continuación se detallan la cantidad y tipo de válvulas contempladas para todo el sistema solar térmico a partir de sistemas elaborados por (IDAE, 2010) y (CDT, 2010).

Tabla 5.1: Válvulas requeridas para sistema termosolar.

Descripción	Cantidad
Válvula de corte	17
Manómetro	2
Purgador automático	2
Válvula de equilibrado	2
Válvula anti-retorno	2
Válvula de seguridad	3
Codo	12
Válvula T	15
Válvula termostática de 3 vías	1
Termómetro	4

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.6. Fluido de circulación por el circuito primario

Habitualmente en los circuitos primarios de los sistemas, se emplea como fluido caloportador una mezcla de agua con anticongelante que permiten proteger al circuito de las heladas y de esta forma evitar el riesgo de congelación (CDT, 2010).

Para determinar la proporción de la mezcla empleada es necesario conocer las propiedades del anticongelante y las temperaturas mínimas de la región donde se pretende implementar el sistema. Habitualmente el anticongelante empleado es propilenglicol, y es el que se empleara en este proyecto (Ministerio de Energía, 2010).

Es necesario tener en cuenta la temperatura mínima de la región, ya que se definirá una temperatura de seguridad de cinco grados Celsius bajo esta para determinar el cálculo de la mezcla de agua con propilenglicol. Villa Alemana ha alcanzado temperaturas mínimas anuales cercana a los cero grados Celsius, por lo que la temperatura de seguridad se definirá como cinco grados bajo cero. A partir de esto, se determina la proporción de propilenglicol que debe poseer la mezcla, la que equivale a una concentración alrededor del 17 % pero se aproximara al 20 % del total de la mezcla. A continuación se muestra la proporción requerida de propilenglicol en función de la temperatura de congelación, que equivale a la temperatura de seguridad mencionada anteriormente:

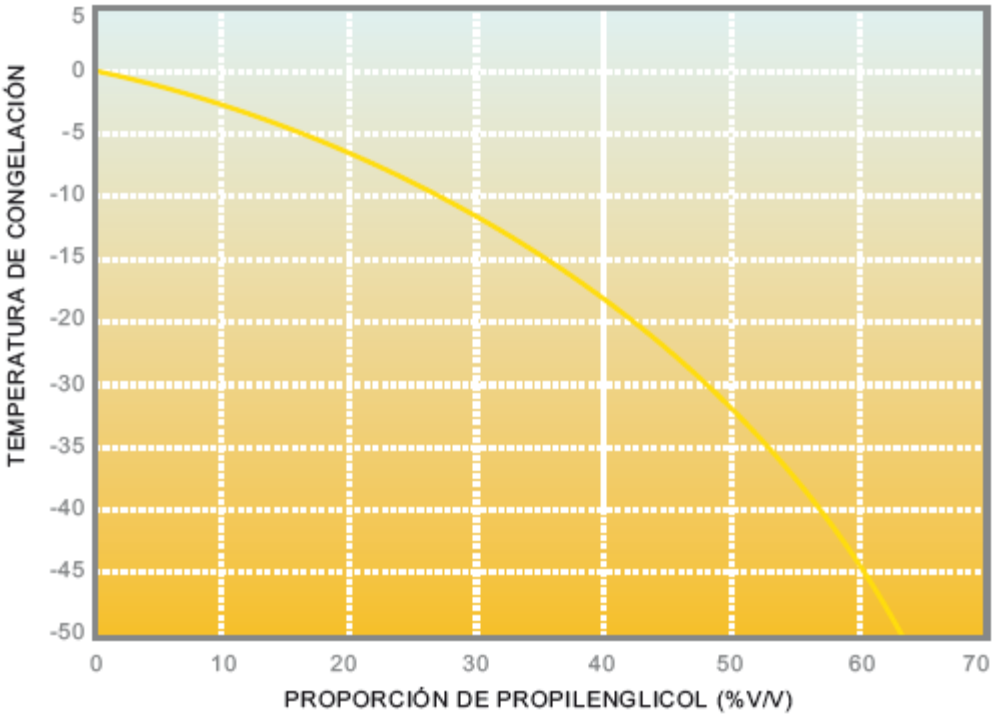

Figura 5.1: Proporción de popilenglicol en función de la temperatura de seguridad (Fuente: CDT,2010)

5.2.2.7. Estanque de expansión

El estanque de expansión del sistema permitirá absorber las variaciones en el volumen y presión de un circuito cerrado, esto último producto de las variaciones de temperatura del

fluido que circula por dicho sistema (CDT, 2010).

Para el cálculo del volumen requerido, para el estanque de vaso expansión, se siguió la metodología propuesta por la norma UNE 100-155-88 dispuesta por (AENOR, 1998).

El cálculo del volumen total de expansión (V_t) se realiza a partir del producto entre el volumen total del fluido (V) contenido en el circuito primario, el coeficiente de dilatación del fluido (C_e) y el coeficiente de presión del gas (C_p). A continuación se muestra la fórmula de cálculo:

$$V_t = V * C_e * C_p \tag{5.6}$$

En primer lugar, es requerido calcular el volumen total del fluido en el circuito. Este volumen se compone del fluido que se encuentra en las cañerías, en los colectores y en el intercambiador de calor en cada interacumulador. El volumen tanto de los colectores como del interacumulador vienen dados por los respetivos fabricantes, mientras que el de las cañerías es posible calcularlo en función de los litros contenidos por metro de cañería, esto último es calculado a partir del área transversal de una tubería de tres cuartos de pulgada por un largo estándar de un metro. A continuación se presenta el volumen de fluido contenido en cada sección:

Tabla 5.2: Volumen contenido en el sistema.

Sección		
Cañerías 3/4"	Metros de cañería	70
	Litros por metro de cañería	0,284
	Litros	19,85
Cañerías 3/8"	Metros de cañería	20
	Litros por metro de cañería	0,071
	Litros	1,424
Colectores	Volumen unitario	1,6
	Numero de colectores	10
	Litros	16
Intercambiador	Volumen unitario	11,5
	Numero de intercambiadores	2
	Litros	23
Total litros		60,27

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenido el volumen total del circuito se pasa a calcular el valor del coeficiente de presión del gas (C_p). Este valor está dado por la presión máxima (P_M) y la presión mínima (P_m) en el vaso, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} \tag{5.7}$$

El valor de la presión máxima en el vaso (P_M) se obtiene a partir del menor valor entre las expresiones:

$$P_M = 0,9 * P_{vs} + 1 \tag{5.8}$$

$$P_M = P_{vs} + 0,65 \tag{5.9}$$

El valor P_{vs} representa la presión de tarado en la válvula de seguridad, la cual corresponde a la presión máxima admitida por el colector que según el fabricante es un valor de 6 bar. A partir de esto, el mínimo valor obtenido para la presión máxima en el vaso es de 6,4 bar.

Seguido de esto, es necesario calcular el valor de la presión mínima de funcionamiento del vaso (P_m). Este valor esta dado en función de la altura (h) de los colectores respecto al estanque de vaso expansión. Para este proyecto se considera el estanque de vaso expansión a nivel del suelo y los colectores a una altura de doce metros respecto a este. A continuación se muestra la fórmula de cálculo:

$$P_m = 1,5 * bar + 0,1 * h \tag{5.10}$$

El valor obtenido para la presión mínima en el vaso es de 2,7 bar. De esta forma, el valor del coeficiente de presión del gas, a partir de los valores de presión mínima (P_m) y máxima (P_M) del vaso ya mencionadas, es de 1,73.

Por ultimo falta conocer el valor del coeficiente de expansión del fluido, el cual para el caso de una mezcla de agua-glicol es de 0,085 (CDT, 2010).

Ya habiendo obtenido los valores necesarios, se reemplazan los valores en la formula 5.6, dando como resultado un estanque de expansión con un volumen mínimo de 8,9 litros de capacidad.

Se escoge finalmente un estanque de expansión VAREM R8 012 241 con una capacidad de 12 litros y de esta forma se agrega un margen de seguridad al dimensionado del sistema.

5.2.2.8. Bomba

Para dimensionar de la bomba requerida por el sistema, se aplicó la ecuación de Bernoulli que contempla la fricción que experimenta el fluido al circular por el circuito. Esta ecuación se aplica en función de dos puntos de control del circuito y por lo cual poseen subíndices en la expresión presentada a continuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + F \tag{5.11}$$

Donde las variables empleadas son:

•P: Presión del fluido.

•V: Velocidad del fluido.

•g: Aceleración de gravedad.

•Z: Altura a la que se encuentra el fluido.

•γ: Peso específico del fluido.

•H_B: Altura requerida de la bomba.

•F: Caída de presión del fluido producto del sistema.

Para el cálculo realizado, el punto de control de inicio y término es el mismo, de esta forma la velocidad, presión y altura del fluido serán la misma a ambos lados de la ecuación, por lo que en la expresión 5.11 se simplifican los términos equivalentes, resultando en que la altura requerida de la bomba es igual a la caída de presión en el sistema:

$$H_B = F \tag{5.12}$$

La caída de presión producto de la fricción, se genera a través del paso del fluido por las cañerías, las diversas válvulas, los colectores y el serpentín de intercambio de calor contenido en el interacumulador. Para determinar los valores de caída de presión de interacumuladores y colectores, se empleara información dada a conocer por los fabricantes, mientras que para las caídas ocurridas en cañerías y válvulas se empleara valores referenciales.

A continuación se presenta la expresión que permitirá determinar la altura requerida de la bomba, a partir de la ecuación de Darcy-Weisbach e incorporando las pérdidas del colector y del interacumulador:

$$H_B = (f * \frac{(L + \sum L_{eq})}{D} + \sum K) + \frac{v^2}{2g} + F_{colector} + F_{interacumulador} \tag{5.13}$$

Donde:

- f: Coeficiente de fricción.
- L: Largo del tramo de cañerías.
- L_eq: Largo equivalente de pérdidas por válvulas en metros de tubería.
- D: Diámetro de la tubería.
- K: Coeficiente adimensional de pérdidas producto de válvulas.
- $F_{colector}$: Perdida de carga en colector solar.
- $F_{interacumulador}$: Perdida de carga en interacumulador.

En primer lugar, se determina la caída de presión, dada por los fabricantes, en el colector y el interacumulador. En función del caudal empleado en este proyecto, la caída de presión del colector solar es 950 pascales, que equivalen a 0,097 metros de columna de agua aproximadamente. Por otra parte, la caída de presión dispuesta en el interacumulador es de 0,65 metros de columna de agua.

Una vez identificadas las perdidas por fricción en los artefactos, se calculara las pérdidas de carga producto de la circulación por las tuberías y válvulas. Para esto será necesario conocer el valor del coeficiente de fricción, el cual se determina mediante el número de Reynolds del fluido y la rugosidad relativa del cobre, donde a partir de estos dos parámetros se extrae el valor del diagrama de Moody. El número de Reynolds será calculado a partir de la siguiente formula:

$$R_e = \frac{\rho * v * D}{\mu} \tag{5.14}$$

Donde:

- ρ: Densidad del fluido.
- v: Velocidad del fluido.
- D: Diámetro de la cañería.
- μ: viscosidad dinámica del fluido.

Antes de continuar, es necesario recordar que existen puntos donde el fluido se divide, donde existirán tres tramos de distinta velocidad, en el primer tramo la partícula de agua recorrerá 30 metros a una velocidad de 1,41 metros por segundo, en el segundo tramo recorrerá 20 metros a 0,705 metros por segundo, y en el tercero recorrerá 2 metros a una velocidad de 0,56 metros por segundo. Si a estas velocidades se suman las características del fluido caloportador y las propiedades del circuito, es posible calcular el número de Reynolds. A continuación se muestran las propiedades del fluido y los números de Reynolds obtenidos para los tramos:

Tabla 5.3: Propiedades del sistema y del fluido.

Densidad [Kg/m^3]	1.050
Diámetro cañería 3/4"[m]	0,019
Diámetro cañería 3/8"[m]	0,00952
Viscosidad [Pa/s]	0,0015
gravedad [m/s^2]	9,81
Velocidad 1 [m/s]	1,41
Velocidad 2 [m/s]	0,71
Velocidad 3 [m/s]	0,56
Reynolds 1	18.764
Reynolds 2	9.382
Reynolds 3	3.865

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez determinado el número de Reynolds, se procede a calcular la rugosidad relativa (ε_t) de la cañería, la cual se determina como el cociente entre la rugosidad absoluta del cobre, que equivale a 0,015 milímetros, y el diámetro de la cañería empleada, según la expresión:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon}{D} \tag{5.15}$$

La rugosidad relativa resultante se aproxima a 0,001 milímetros para la cañería de tres cuartos de pulgada y a 0,002 milímetros para la cañería de tres octavos de pulgada, con lo que es posible ingresar al diagrama de Moody (Ver figura 5.2) y extraer el valor del coeficiente de fricción para ambos tramos .

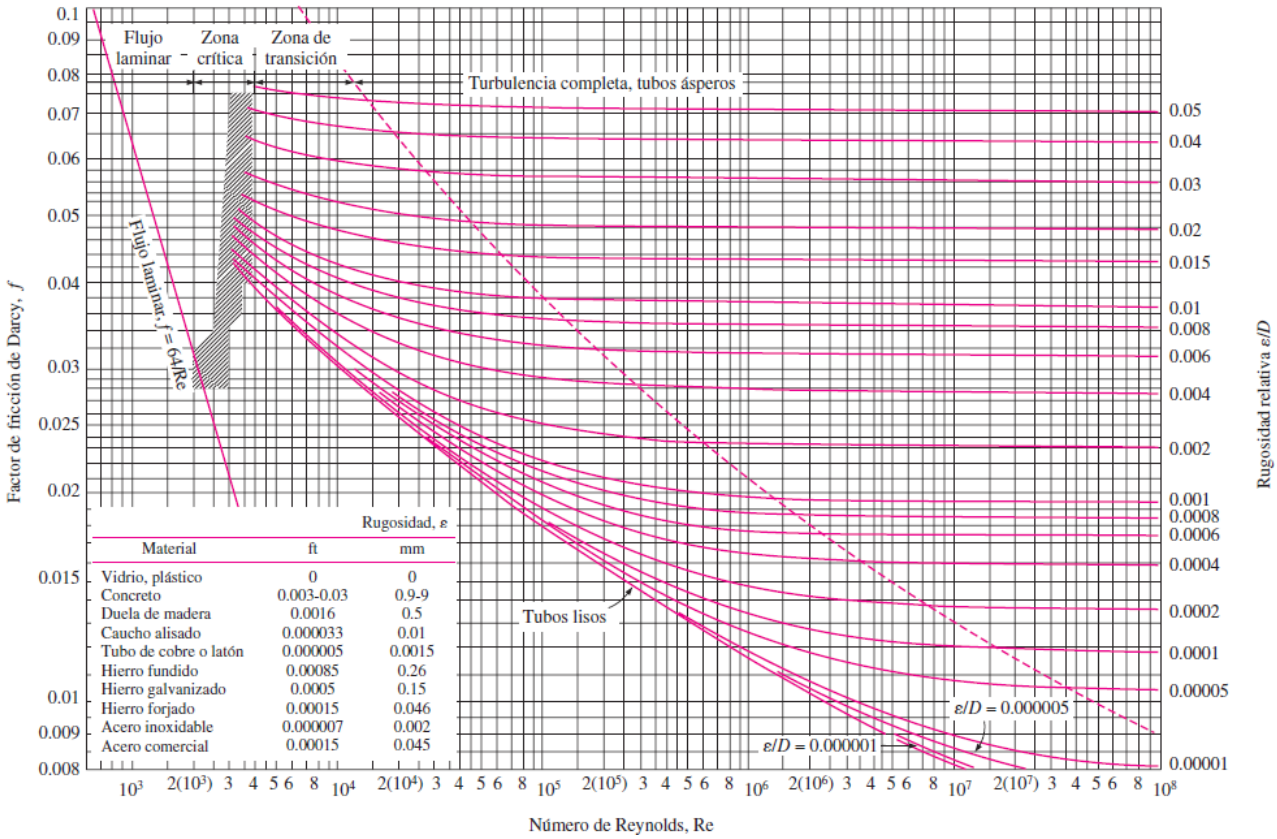

Figura 5.2: Diagrama de Moody
(Fuente: Yunus A. Cengel,2007)

A continuación se presentan los coeficientes de fricción para ambos tramos en función de los números de Reynolds y la rugosidad mencionada anteriormente:

Tabla 5.4: coeficientes de fricción para tuberías.

Rugosidad cobre [mm]	0,015
Rugosidad relativa 3/4"[mm]	0,001
Rugosidad relativa 3/8"[mm]	0,002
Coeficiente de fricción 1	0,028
Coeficiente de fricción 2	0,033
Coeficiente de fricción 3	0,04

(Fuente: Elaboración propia)

El último paso para la estimación de pérdidas en la sección de cañerías es determinar las pérdidas de carga en las distintas válvulas que lo integran. A continuación se presenta el tipo de válvulas presentes en el circuito primario, la cantidad de estas y las pérdidas por

fricción expresadas en función de la constante K o como una equivalencia en tuberías de cobre, según (CDT, 2010) y (Jordi Noguera, 2011):

Tabla 5.5: Perdida de carga en válvulas.

Circuito primario	tipo	cantidad	K	∑K	Largo equivalente [m]
Válvulas	Corte	13	0,2	2,6	x
	Equilibrado	2	2	4	x
	Seguridad	1	2,5	2,5	x
	Codo	8	1	8	x
	T abierta	13	1	13	x
	T cerrada	1	x	x	0,2
	T división	2	x	x	3,36
	Anti-retorno	1	x	x	0,77
	Reducción	10	x	x	5
total				30,1	9,33

(Fuente: Elaboración propia)

Con lo que finalmente al ingresar los datos en la formula (5.13), es posible obtener las perdidas asociadas a cada tramo. A continuación se muestran las pérdidas totales que experimenta el fluido en el sistema:

Tabla 5.6: Perdida de carga en tramos y equipos.

Perdidas por fricción	[mca]
Tramo 1	5,67
Tramo 2	0,56
Tramo 3	0,13
Colector	0,10
Interacumulador	0,65
Total	7,11

(Fuente: Elaboración propia)

A partir de esto, la bomba seleccionada es una de las que cuenta con menor potencia en el mercado, marca Grundfos modelo 120 Watts UPA 15-90. Esta bomba permite circular un caudal de 1,8 metros cúbicos por hora y a una altura de nueve metros columna de agua.

5.2.3. Sistema Termosolar empleado en colegio de mediana envergadura

El sistema termoslar para un colegio de mediana envergadura será una variación del sistema dimensionado previamente para un colegio de gran tamaño, pero que debido a la menor demanda de agua caliente sanitaria se reducirá el tamaño y por ende la inversión requerida en el sistema.

Para esto, se empleara el mismo modelo de colector solar pero se reducirá el número de diez a cinco colectores, y el número de interacumuladores pasara de dos a solamente uno de igual modelo que el sistema previo. Esta selección de cinco colectores y un interacumulador, se da para aprovechar la máxima superficie de captación dadas las restricciones de diseño del sistema mencionadas previamente, principalmente por las características del interacumulador en cuanto volumen de almacenamiento e intercambiador de calor respecta.

Ya que existen edificios de similares características en estos inmuebles, se mantendrá las características del sistema hidráulico previamente descrito, donde el sistema requerirá el mismo tipo de válvulas y accesorios, que por simplicidad se mantendrá inalterado.

En el sistema de mediana envergadura existirá solo un banco de cinco colectores, por ende se trabajara con la mitad del caudal máximo del sistema de mayor envergadura y no se dividirá el caudal principal del fluido en dos tramos, de esta forma se requerirán 20 metros menos de cañería de cobre de tres cuartos de pulgada, requiriendo ahora un total de 50 metros de tuberías de este tipo. A partir de lo anterior, la velocidad que circulara por el tramo de cañerías de tres cuartos de pulgada, aplicando la formula 5.4, resulta en 0,705 metros por segundo en el circuito principal. Por otro lado, aun existirá el tramo que alimenta cada colector, el cual mantiene la velocidad y el caudal descritos previamente en el sistema de mayor envergadura.

Para el sistema de mediana envergadura es necesario emplear un estanque de vaso expansión más pequeño, ya que al reducir a la mitad el número de colectores y de interacumuladores, el volumen que estos equipos aportan al sistema se reduce a la mitad. Además es necesario reducir también el volumen de los 20 metros de tubería que no serán requeridos respecto al sistema anterior, resultando de esta forma en un volumen total del sistema de 40,77 litros. El coeficiente de dilatación del fluido (C_e) y el coeficiente de presión del gas (C_p) mantienen el mismo valor calculado previamente, de forma que aplicando la formula (5.7) resulta que el estanque de vaso expansión requerido para este sistema es de 6 litros. Finalmente, se seleccionara un estanque de vaso expansión VAREM R8 008 241 con una capacidad de 8 litros.

Por último, se mantendrá la elección de la bomba de circulación debido a que en el diseño previo para colegios de gran tamaño, esta fue la bomba de menor potencia disponible encontrada.

A partir de todo lo anterior, la variación para colegios medianos se reducirá a variar el sistema de captación solar y de acumulación a la mitad, manteniendo el mismo sistema hidráulico previamente descrito y disminuyendo el tamaño del estanque de vaso expansión.

5.2.4. Emplazamiento físico del sistema térmico solar

5.2.4.1. Colegio de gran envergadura

Sombras

La presencia de sombras obstaculiza la radiación solar incidente sobre los colectores solares generando pérdidas de captación, y por lo tanto, mermando el rendimiento del sistema solar empleado. Debido a esto, es de suma importancia que los sistemas se emplacen de forma tal que no exista un problema de sombras a lo largo del año.

Según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014) es posible determinar la distancia mínima que debe existir entre los colectores y obstáculos frontales (obstáculos que formen

un ángulo igual o inferior a 45 grados con el norte). De este modo, la metodología de cálculo definirá una distancia (df) entre el colector y el obstáculo, en función de una contante (K) dependiente de la latitud del lugar, y de la altura relativa del obstáculo frontal (hf) con la parte baja y anterior del colector. A continuación se presenta la fórmula de cálculo de la distancia mínima:

$$df = k * hf \tag{5.16}$$

El valor de la constante (K), en función de la latitud de Villa Alemana (33 grados), es igual a 1,47 adimensional. A partir de esto, es posible realizar el cálculo de la distancia mínima entre baterías de colectores considerando que estos tienen una altura de 2 metros y poseen una inclinación de 29 grados, por lo que en un techo plano la altura relativa corresponde a 0,97 metros, producto de:

$$hf = 2 * sen(29) \tag{5.17}$$

Finalmente, el valor de altura relativa es multiplicado por la constante adimensional (K), obteniendo así que la distancia mínima entre baterías de colectores es de 1,4 metros.

Superficie disponible

La superficie disponible para la instalación de colectores se aprecia en los techos planos o cuya inclinación sea hacia el norte geográfico. Estos techos fueron identificados y caracterizados mediante el software Google Earth y se trabajara sobre el supuesto de que están construidos con criterios técnicos que permitan aguantar el peso del sistema sobre estos.

A continuación se presentan los techos del colegio Manuel Montt cuya orientación es favorable y donde no existen sombras producto de obstáculos externos:

Figura 5.3: Porción de superficie aprovechable en colegio Manuel Montt
(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan las dimensiones y orientación de los techos identificados:

Tabla 5.7: Caracterización de techos en colegio Manuel Montt.

Manuel Montt	Ancho [m]	Largo [m]	Orientación
techo 1	30,1	9,4	65° O
techo2	13	9,1	65° O
techo 3	38,2	5,1	65° O
techo 4	9,5	4,9	65° O
techo 5	28	4,6	50°E
techo 6	30	8,6	50°E
techo 7	10	8,3	50°E

(Fuente: Elaboración propia)

De esta forma, bastaría solamente con el techo 6 para la instalación de los diez colectores solares, donde además de poseer holgura de espacio, este techo posee la menor desviación respecto al norte geográfico.

5.2.4.2. Colegio de mediana envergadura

El sistema empleado en un colegio de mediana envergadura contempla un único banco de colectores, de forma que la sombra entre colectores se torna intrascendente al estar dispuestos siempre uno junto al otro.

Superficie disponible

Para este colegio, al igual que para el colegio Manuel Montt, se determinó la superficie disponible con la ayuda de Google Earth. A continuación se presentan los techos del colegio Juan Bautista Alberdi cuya orientación es favorable y donde no existen sombras producto de obstáculos externos:

Figura 5.4: Porción de superficie aprovechable en colegio J.B.Alberdi
(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presentan las dimensiones y orientación de los techos identificados:

Tabla 5.8: Caracterización de techos en colegio J.B.Alberdi.

J.B. Alberdi	Ancho [m]	Largo [m]	Orientación
techo 1	20,8	2,9	10° O
techo2	18,6	5,8	10° O
	4,9	3,7	10° O
techo 3	28,8	7,3	10° O
techo 4	12,5	3,5	10° O
techo 5	9,7	5,6	10° O
techo 6	37,8	3,7	Norte (0°)

(Fuente: Elaboración propia)

Para este caso el sistema solar térmico podría emplearse en el techo 6, el cual cuenta con una superficie disponible adecuada y no presenta desviaciones respecto al norte geográfico.

5.2.5. Calculo de rendimiento del sistema solar térmico

5.2.5.1. Retscreen

Retscreen consiste en un software en materia energética desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales de Canadá y se nutre de diversos organismos colaboradores como GEF (Global Enviromental Fund) o la NASA (Román, 2012)

Esta herramienta permitiré contribuir al análisis energético del sistema solar térmico que se desea implementar. De esta forma, será posible determinar la demanda de agua caliente sanitaria del establecimiento evaluado y el aporte energético del sistema para suplir esta demanda.

A partir de Retscreen, se realizaran todos los cálculos que respectan al aporte energético al ingresar los parámetros cruciales que permiten caracterizar el sistema solar térmico.

5.2.5.2. Explorador Solar

Para el estudio de radiación solar de Villa Alemana se empleó el Explorador Solar de la Universidad de Chile como software de apoyo. La elección de este programa se debe a que es gratuito y es empleado en la evaluación de diversos proyectos solares a nivel gubernamental y privado en Chile. El explorador Solar permite obtener un diagnóstico del potencial solar presente en la región seleccionada, entregando además las variaciones en función del mes, la orientación y la hora del día.

Selección de ubicación y orientación en función del Explorador Solar

Las coordenadas del lugar seleccionado, a partir del cual se generan los datos de radiación provenientes del Explorador Solar, son 33,0529 grados latitud sur y 71,3857 grados longitud oeste, particularmente en la calle Araya de la comuna Villa Alemana (Ver figura 5.5). Estas coordenadas fueron elegidas debido a que fueron utilizadas en la etapa previa de diagnóstico energético de Villa Alemana como parte del programa de la estrategia energética local (EEL), y por ende ayuda a alinear el proyecto de manera global.

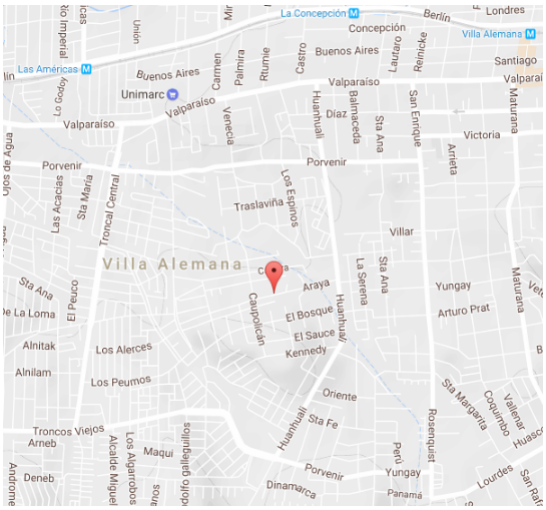

Figura 5.5: Locación seleccionada como input del Explorador Solar
(Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps)

La instalación de colectores solares debe ser de manera tal que estos puedan aprovechar al máximo la radiación solar incidente. Dependiendo de la región analizada, el Explorador

permite optimizar la inclinación y orientación de los captadores solares, para el caso de Villa alemana, el óptimo seleccionado se obtiene con una orientación a la cara Norte y una inclinación de 29 grados respecto al plano horizontal.

La orientación del colector solar (Azimut de la superficie) no es un parámetro de tan alta criticidad, ya que podría tolerar desviaciones de hasta 30 grados respecto al norte geográfico, donde las pérdidas de captación solar resultarían inferiores a un 5 % como media anual (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014).

5.2.5.3. Locación seleccionada en Retscreen

El software Retscreen no posee los antecedentes de radiación de la región de Villa Alemana, por lo que para la evaluación se seleccionara la ubicación con la radiación más cercana a la entregada por el Explorador Solar de la Universidad de Chile.

El lugar seleccionado para la evaluación del sistema fotovoltaico corresponde a Curicó. Este lugar, según datos entregados por Retscreen, presenta una radiación mensual comparable a Villa Alemana e incluso la radiación anual es similar al no considerar los meses de enero y febrero, ya que estos meses los alumnos se encuentran de vacaciones y por tanto se considera una tasa de ocupación nula del inmueble. A continuación se presenta la tabla comparativa de radiación para los meses desde marzo a diciembre, obtenida a partir de Retscreen para Curicó y del Explorador Solar para Villa Alemana:

Tabla 5.9: Comparación de radiación anual para Curicó y Villa Alemana.

	Radiación Curicó kWh/m^2/d	Radiación Villa Alemana kWh/m^2/d
Marzo	5,56	5,72
Abril	4,1	4,2
Mayo	2,73	2,81
Junio	2,25	2,38
Julio	2,56	2,66
Agosto	3,37	3,4
Septiembre	4,82	4,75
Octubre	6,2	6,09
Noviembre	7,63	7,31
Diciembre	8,39	8,12
Anual	4,76	4,74

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.5.4. Rendimiento en colegio de gran envergadura

Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para el cálculo de la demanda anual de un colegio se recurrió a la sugerencia entregada por Retscreen, donde para un colegio que cuenta con duchas se necesitaran siete litros de agua caliente sanitaria por alumno calculados a sesenta grados Celsius de temperatura. De esta forma, un colegio con 509 alumnos requiere 3.461 litros de ACS anualmente.

Para determinar la energía requerida que es necesaria suministrar al agua de consumo en el colegio es necesario conocer la temperatura a la que se encuentra la red de agua de Villa Alemana. Según (Ministerio de Energía, 2009) la temperatura mínima de la red corresponde a 11,6 grados Celsius , mientras que la temperatura máxima es de 18,1 grados Celsius.

Además, es necesario además considerar la tasa de ocupación de un colegio, ya que debido al calendario regular de los estudiantes la demanda de un colegio es estacional en función de las vacaciones. Para el proyecto se consideraron los meses de enero y febrero

como meses sin demanda de ACS, además de considerar los meses de julio y diciembre con una ocupación de la mitad del tiempo. A partir de todo lo anterior, la demanda anual de energía para consumo de ACS entregada por Retscreen es de 36,3 Megawatt hora. A continuación se muestra los resultados entregados por Retscreen en función de los parámetros descritos:

Tipo de carga		Escuela - con duchas	
Número de unidades	Estudiante	509	
Tasa de ocupación	%	100%	
Uso diario de agua caliente - estimado	L/d	3.461	
Uso diario de agua caliente	L/d	3.461	3.461
Temperatura	°C	60	60
Días de operación por semana	d	5	5
Porcentaje del mes usado	**Mes**		
	Enero	0%	0%
	Febrero	0%	0%
	Marzo	100%	100%
	Abril	100%	100%
	Mayo	100%	100%
	Junio	100%	100%
	Julio	50%	50%
	Agosto	100%	100%
	Setiembre	100%	100%
	Octubre	100%	100%
	Noviembre	100%	100%
	Diciembre	50%	50%
Método de evaluación de la temperatura de suministro		Definido por el usuario	
Temperatura del agua - mínima	°C	11,6	
Temperatura del agua - máxima	°C	18,1	

	Unidad	Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada	Costos iniciales incrementales
Demanda de calor	MWh	36,3	36,3	0%	

Figura 5.6: Demanda energética anual para colegio Manuel Montt según Retscreen
(Fuente: Elaboración propia)

Sistema actual

Para evaluar el aporte del sistema solar térmico, se instalara como apoyo respecto a un sistema eficiente en colegios a base de GLP, donde Retscreen propone una eficiencia de entre un 75 % a 85 % de rendimiento en equipos de alta eficiencia. A partir de esto se seleccionara un equipo con la cota media de rendimiento, es decir 80 %, todo esto para evitar un escenario muy optimista respecto a los beneficios de la instalación del sistema solar térmico.

Generación

Para el cálculo de generación de energía por parte del sistema, se ingresan al software los datos propios asociados al sistema descrito previamente, que incluye las características del tipo de colector, tipo de interacumulador, bomba empleada y pérdidas asociadas al sistema.

En primer lugar es necesario recordar las características del emplazamiento geográfico del techo seleccionado para la instalación. Para el caso del colegio Manuel Montt, se optó por un colegio con una orientación del techo de 50 grados al Este, de forma que para ingresarlo al programa Retscreen equivale a un azimut de 130 grados. Debe además mencionarse que este proyecto incluye estructuras de soporte que regulen la inclinación, por lo que se optara por la inclinación óptima proveniente del Explorador Solar equivalente a 29 grados.

A la hora incorporar las perdidas varias que presenta el captador solar, se recurrirá a un valor dado por la experiencia, donde según (MasterD, 2014) estas son cercanas a un 6 % debido la suciedad, el envejecimiento y al ángulo variable que los rayos solares forman con el colector a lo largo del día.

Las pérdidas consideradas para el sistema total se determinan a partir de rangos otorgados por Retscreen, donde para cañerías bien aisladas pero con una distancia relativamente larga, en relación a la superficie de captación del sistema, son de un 4 % de pérdidas térmicas. Este valor de pérdidas no solo es propuesto por Retscreen, sino que además es empleado como sugerencia para el diseño de sistemas solares por (IDAE, 2009) , sin embargo, se considerara una pérdida del 6 % en el sistema de tuberías para dar un mayor margen a ineficiencias en el sistema real implementado en el colegio. Además de las perdidas térmicas en cañerías, existen perdidas asociadas al interacumulador, al ceder calor desde el agua caliente almacenada hacia el ambiente. El rango de perdidas asociado a un estanque de acumulación solar fluctúa entre un 5 % y un 10 %, a partir del cual se seleccionara un 6 %

de perdidas producto del importante espesor de material aislante que presenta el modelo escogido. De esta forma, las perdidas referenciales asociadas al sistema constituyen un total de un 12 % de pérdidas termicas.

A partir de lo anterior y de las características del sistema solar descrito, es posible obtener el aporte de calor entregado anualmente por el sistema al fluido, siendo este de 19,4 Megawatt hora al año, representando un 53 % de la demanda anual de energía necesaria para calentar el agua.

A continuación se presentan todos los parámetros ya mencionados del sistema ingresado al Software Retscreen, junto con los resultados generados, incluyendo el gasto anual de funcionamiento de la bomba:

Evaluación de recursos			
Modo de rastreo solar		Fijado	
Inclinación	°	29,0	
Azimut	°	130,0	
Mostrar datos			
Calentador solar de agua			
Tipo		Evacuado	
Fabricante		Khöen	
Modelo		PM25-58/1.8	
Área bruta por colector solar	m²	3,70	
Área de captación de colector solar	m²	2,00	
Coeficiente Fr (tau alfa)		0,75	
Coeficiente Fr UL	(W/m²)/°C	2,95	
Coeficiente de temperatura para Fr UL	(W/m²)/°C²	0,013	
Número de colectores		10	8
Área del colector solar	m²	37,00	
Capacidad	kW	14,00	
Pérdidas varias	%	6,0%	
Balance del sistema y misceláneos			
Almacenamiento		Sí	
Capacidad de almacenamiento / área de colector solar	L/m²	76	
Capacidad de almacenamiento	L	1.520,0	
Intercambiador de calor	sí/no	Sí	
Eficiencia del intercambiador de calor	%	80,0%	
Pérdidas varias	%	12,0%	
Potencia de bomba / área de colector solar	W/m²	6,00	
Tarifa de electricidad	/kWh		
Resumen			
Demanda de electricidad - bomba	MWh	0,3	
Calentamiento entregado	MWh	19,4	
Fracción solar	%	53%	

Figura 5.7: Parámetros de rendimiento del sistema en colegio Manuel Montt según Retscreen (Fuente: Elaboración propia)

Ahorro de combustible

Si bien Retscreen permite estimar el ahorro producto de la implementación del sistema solar térmico, se optó por realizar un cálculo manual, ya que dentro de las opciones que entrega Retscreen no figura como combustible empleado el GLP o gas licuado de petróleo.

Para el cálculo del ahorro de GLP, es necesario conocer el poder calorífico que presenta. Según (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2015) el GLP posee un poder calorífico de 12.100 kilocalorías por kilogramo, donde al realizar la conversión en función de que una caloría equivale a 4,184 joules, resulta en 50,626 MJ por kilogramo.

Ya conociendo el aporte de calor proveniente del GLP, se trasladara el aporte de energía que genera el sistema solar térmico a kilogramos de GLP. Para esto, es necesario trasladar los 19,4 Megawatt hora generados por el sistema, a la unidad de MJ y así hacer las unidades comparables. Realizando la conversión respecto a que un Megawatt hora equivale a 3.600 MJ, resulta en que el sistema aporta 69.840 MJ.

Sin embargo, el sistema del inmueble evaluado no posee un rendimiento de 100 %, sino que de 80 %, por lo que esto incrementaría el ahorro de kilogramos de GLP necesarios para suministrar la energía.

De esta forma, el cálculo de Kilogramos de GLP se calcula según la siguiente expresión:

$$Ahorro_{GLP,Kg} = \frac{Demanda[MJ]}{50,626[\frac{MJ}{Kg}] * 0,8} \tag{5.18}$$

Resultando así en un ahorro de 1.724 kilogramos de GLP al año.

Dióxido de carbono equivalente evitado

El cálculo del beneficio de carbono se realizara a partir de los kilogramos de GLP que

se dejan de consumir anualmente multiplicado por el factor de emisión de este. Según la (Oficina Catalana del Canvi Climátic, 2011) el factor de emisión perteneciente al GLP es de 2,96 kilogramos de CO_2 equivalente por kilogramo de GLP empleado en combustión, el cual si se multiplica por los 1.724 kilogramos ahorrados al año, permite un ahorro anual de 5,1 toneladas de CO_2 equivalente.

5.2.5.5. Rendimiento en colegio de mediana envergadura

Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para un colegio con 297 alumnos, tomando como referencia el colegio Juan Bautista Alberdi, se requieren 2.020 litros de ACS a sesenta grados Celsius anualmente. Incluyendo los parámetros previamente considerados para el colegio de gran envergadura, la demanda anual de energía para consumo de ACS entregada por Retscreen es de 21,2 Megawatt hora.

A continuación se muestra los resultados entregados por Retscreen en función de los parámetros descritos:

	Unidad	Caso base	Caso propuesto
Tipo de carga		Escuela - con duchas	
Número de unidades	Estudiante	297	
Tasa de ocupación	%	100%	
Uso diario de agua caliente - estimado	L/d	2.020	
Uso diario de agua caliente	L/d	2.020	2.020
Temperatura	°C	60	60
Días de operación por semana	d	5	5
Porcentaje del mes usado	**Mes**		
	Enero	0%	0%
	Febrero	0%	0%
	Marzo	100%	100%
	Abril	100%	100%
	Mayo	100%	100%
	Junio	100%	100%
	Julio	50%	50%
	Agosto	100%	100%
	Setiembre	100%	100%
	Octubre	100%	100%
	Noviembre	100%	100%
	Diciembre	50%	50%
Método de evaluación de la temperatura de suministro		Definido por el usuario	
Temperatura del agua - mínima	°C	11,6	
Temperatura del agua - máxima	°C	18,1	

	Unidad	Caso base	Caso propuesto	Energía ahorrada
Demanda de calor	MWh	21,2	21,2	0%

Figura 5.8: Demanda energética anual para colegio J.B. Alberdi según Retscreen
(Fuente: Elaboración propia)

Sistema actual

Al igual que para el colegio de gran envergadura se empleara un sistema de calefacción de agua en base a GLP y con un 80 % eficiencia para transferir calor al fluido.

Generación

A diferencia del caso del colegio Manuel Montt, el colegio Juan Bautista Alberdi cuenta con un techo de orientación Norte, de forma que para ingresarlo al programa Retscreen equivale a un azimut de 180 grados. Al igual que para el colegio de gran envergadura, este proyecto incluye estructuras de soporte que regulen la inclinación, por lo que se optara por la inclinación óptima previamente descrita equivalente a 29 grados.

Como se mencionó en la descripción del sistema, se empleara un sistema solar termico de características similares, donde la variación se realizara respecto al número de colectores, disminuyendo de diez a cinco colectores, y respecto al número de interacumuladores, disminuyendo de dos equipos a solamente uno.

Finalmente, es posible obtener el aporte de calor entregado anualmente por el sistema es de 10,8 Megawatt hora al año, representando un 51 % de la demanda anual de energía necesaria para calentar el agua.

A continuación se presentan todos los parámetros del sistema ingresado al Software Retscreen:

Evaluación de recursos			
Modo de rastreo solar		Fijado	
Inclinación	°	29,0	
Azimut	°	180,0	
Mostrar datos			
Calentador solar de agua			
Tipo	Evacuado		
Fabricante	Khöen		
Modelo	PM25-58/1.8		
Área bruta por colector solar	m²	3,70	
Área de captación de colector solar	m²	2,00	
Coeficiente Fr (tau alfa)		0,75	
Coeficiente Fr UL	(W/m²)/°C	2,95	
Coeficiente de temperatura para Fr UL	(W/m²)/°C²	0,013	
Número de colectores		5	5
Área del colector solar	m²	18,50	
Capacidad	kW	7,00	
Pérdidas varias	%	6,0%	
Balance del sistema y misceláneos			
Almacenamiento		Sí	
Capacidad de almacenamiento / área de colector solar	L/m²	76	
Capacidad de almacenamiento	L	760,0	
Intercambiador de calor	sí/no	Sí	
Eficiencia del intercambiador de calor	%	80,0%	
Pérdidas varias	%	12,0%	
Potencia de bomba / área de colector solar	W/m²		
Tarifa de electricidad	/kWh		
Resumen			
Demanda de electricidad - bomba	MWh	0,0	
Calentamiento entregado	MWh	10,8	
Fracción solar	%	51%	

Figura 5.9: Parámetros de rendimiento del sistema en colegio J.B. Alberdi según Retscreen (Fuente: Elaboración propia)

Ahorro de combustible

La metodología de cálculo de ahorro de combustible es la misma que para el caso anterior. A partir de la expresión 5.18, con una demanda de 38.880 [MJ] resulta en un ahorro de 960 kilogramos de GLP anualmente.

Dióxido de carbono equivalente evitado

Como ya se mencionó, el factor de emisión del GLP es de 2,96 kilogramos de CO_2 equivalente por kilogramo de GLP empleado en combustión, el cual al ser multiplicado por los 960 kilogramos ahorrados al año, permite un ahorro anual de 2,84 toneladas de CO_2 equivalente.

5.2.6. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica Privada

5.2.6.1. Precio de GLP y variación en el tiempo

El precio de GLP fijado para el proyecto es de $ 1.035 pesos por kilogramo, ya que este es el resultante del promedio del precio por kilogramo de los tres distribuidores más grandes de la zona, Gasco, Abatible y Lipigas, para los balones de gas de mayor contenido, es decir, 45 kilogramos.

El precio del GLP se consideró invariante en el tiempo. Este supuesto de trabajo se obtiene a partir de la opinión de expertos en el manejo de gas provenientes de CGS Chile y Electrogas. Esta opinión está fundada en el alto precio que tiene el combustible hoy en día en el país y la tendencia estable que ha presentado en el último tiempo, donde incluso ha presentado bajas en algunas ocasiones, por lo que un precio constante podría representar la tendencia futura a 15 años.

5.2.6.2. Precio de energía

El precio de energía dependerá de la tarifa a la cual está suscrito cada colegio y cuyo precio está dado por (Chilquinta Energía S.A, 2016a). Para el colegio Manuel Montt el precio de energía es de $139,14 por kWh, mientras el colegio J.B. Alberdi se considera un precio de 89,74 kWh.

5.2.6.3. Tasa de inflación anual

La inflación anual que experimentara el proyecto se fijara en una tasa fija de un 3 %. Esto se debe a que esta es la meta de inflación fijada por el Banco Central de Chile como tasa anual (BCCH, 2007).

5.2.6.4. Tasa de descuento

La tasa de descuento empleada para este proyecto será considerada como un 10 %, ya que esta es una tasa de descuento apropiada para proyectos de energías renovables no convencional en Chile (ACERA, 2013).

5.2.6.5. Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación considerado en este proyecto es de 15 años, ya que este es el valor medio de una evaluación de proyecto termosolar dada la vida útil de los equipos que lo componen.

5.2.6.6. Mantención

Para estimar la mantención anual se recurrirá a un 1 % de la inversión como costo anual, para mantener el buen funcionamiento del sistema. Este es un valor de referencia en función de la mitad del costo máximo estimado, en función de la inversión, de mantención de sistemas de generación fotovoltaicos.

5.2.6.7. Incremento anual en el precio de compra de energía

La variación del precio de la energía es relativamente volátil por periodos y con una tendencia general al alza, por lo que se seleccionó un incremento conservador de 5 % anual sostenido en los periodos de evaluación del proyecto. Este valor es admisible dentro de la evaluación del proyecto según opinión de expertos de Ecoenergías.

5.2.6.8. Inversión colegio de gran envergadura

Mano de Obra

El cálculo de la mano de obra requerida se realiza en relación a precios elaborados para viviendas sociales en Chile según (Pizarro Maure, 2013), donde se considera un tiempo estimado de 15 días para la implementación del sistema y constara de un equipo con un instalador principal y dos asistentes. El precio se estima a partir del precio por día

considerado en el proyecto de viviendas sociales y se reajusta al año 2017 considerando una tasa de un 3 % de inflación anual constante para cada año. A continuación se muestra el detalle del costo de mano de obra involucrado:

Tabla 5.10: Costo de mano de obra involucrado en colegio Manuel Montt

Cargo	año 2013	año 2017	Cantidad	Días	Total
Instalador principal	$ 25.000	$ 28.138	1	15	$ 422.066
Asistente	$ 17.500	$ 19.696	2	15	$ 590.892
					$ 1.012.958

(Fuente: Elaboración propia)

Válvulas y accesorios

A continuación se presenta el detalle de válvulas y accesorios contemplados para el sistema:

Tabla 5.11: Costo de válvulas y accesorios

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Válvula de corte	17	$ 7.300	$ 124.100
Manómetro	2	$ 13.800	$ 27.600
Purgador automático	2	$ 17.500	$ 35.000
Válvula de equilibrado	2	$ 57.000	$ 114.000
Válvula anti-retorno	2	$ 3.500	$ 7.000
Válvula de seguridad	3	$ 10.000	$ 30.000
Codo	12	$ 1.200	$ 14.400
Válvula T	15	$ 3.200	$ 48.000
Válvula termostática de 3 vías	1	$ 30.000	$ 30.000
Termómetro	4	$ 6.800	$ 27.200
			$ 457.300

(Fuente: Elaboración propia)

Total de inversión

A partir de todos los elementos ya descritos previamente, se agregara un equipo de control para el correcto funcionamiento y diagnóstico del sistema. Además se agregara una bomba estándar extra, la cual permitirá bombear agua desde el sistema de calefacción hacia el estanque de acumulación con el fin de poder elevar la temperatura del estanque, de ser necesario, para evitar el riesgo de contraer la enfermedad legionelosis producto de la acumulación de agua (IDAE, 2010).

A continuación se detalla la inversión requerida a partir de cotizaciones realizadas en empresas especializadas en retail en construcción y que cuentan además con implementos solares como lo son Easy, Homecenter Sodimac, Cosmoplas y CYPE Chile:

Tabla 5.12: Inversión requerida en colegio Manuel Montt

Inversión Manuel Montt	Descripción	Cantidad	Precio
Colectores	Colector de tubo de vacío Khöne PM25-58/1.8	10	$ 6.704.972
Bomba	Bomba Grunfos UPA 15-90 120 W	1	$ 39.990
Interacumulador	Interacumulador solar Ferco BW 800	2	$ 2.000.000
Cañerías de cobre	Cañería de cobre M en tira 3/4"x3m	23	$ 214.360
	Cañería de cobre L en tira 3/8"x1m	20	$ 51.800
Aislación	Aislante lana de vidrio de 25 mm con revestimiento de lámina de aluminio x1m	101	$ 1.313.000
Estanque de expansión	Estanque de expansión VAREM R8 012 241	1	$ 32.986
Sistema de control	Controlador TRA 502 TT	1	$ 198.000
Accesorios y Válvulas	Accesorios y Válvulas	1	$ 457.300
Fluido anticongelante	Polipropilenglicol con inhibidor de corrosión 10 L	1	$ 50.000
Estructura	Soporte tipo Bulnes	2	$ 60.000
Bomba estándar extra por legionelosis	Bomba Humboldt 0.5 HP	1	$ 19.990
Mano de Obra	Un instalador y 2 asistentes por 15 días	1	$ 1.012.958
Total			$ 12.155.356

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.6.9. Inversión colegio de mediana envergadura

Mano de Obra

Para este caso se requiere instalar una menor cantidad de equipos y por esto se destinaron 3 días menos respecto al tiempo requerido para el proyecto de mayor envergadura. A continuación se muestra el detalle del costo de mano de obra involucrado:

Tabla 5.13: Costo de mano de obra involucrado en colegio J.B.Alberdi

Cargo	año 2017	Cantidad	Días	Total
Instalador principal	$ 28.138	1	12	$ 337.653
Asistente	$ 19.696	2	12	$ 472.714
				$ 810.366

(Fuente: Elaboración propia)

Total de inversión

A continuación se detalla la inversión requerida para el sistema de mediana envergadura:

Tabla 5.14: Inversión requerida en colegio J.B.Alberdi

Inversión J.B. Alberdi	Descripción	Cantidad	Precio
Colectores	Colector de tubo de vacío Khöne PM25-58/1.8	5	$ 3.352.486
Bomba	Bomba Grunfos UPA 15-90 120 W	1	$ 39.990
Interacumulador	Interacumulador solar Ferco BW 800	1	$ 1.000.000
Cañerías de cobre	Cañería de cobre M en tira 3/4"x3m	23	$ 214.360
	Cañería de cobre L en tira 3/8"x1m	10	$ 25.900
Aislación	Aislante lana de vidrio de 25 mm con revestimiento de lámina de aluminio x1m	81	$ 1.053.000
Estanque de expansión	Estanque de expansión VAREM R8 012 241	1	$ 28.264
Sistema de control	Controlador TRA 502 TT	1	$ 198.000
Accesorios y Válvulas	Accesorios y Válvulas	1	$ 457.300
Fluido anticongelante	Polipropilenglicol con inhibidor de corrosión 10 L	1	$ 50.000
Estructura	Soporte tipo Bulnes	1	$ 30.000
Bomba estándar extra por legionelosis	Bomba Humboldt 0.5 HP	1	$ 19.990
Mano de Obra	Un instalador y 2 asistentes por 15 días	1	$ 810.366
Total			$ 7.279.657

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.7. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica Social

5.2.7.1. Precio por tonelada ahorrada de dióxido de carbono equivalente

El (Ministerio de Desarrollo Social, 2016) provee un precio social producto de evitar la emisión de gases de efecto invernadero, el cual es $5.972 por tonelada de CO_2 equivalente evitado.

5.2.7.2. Tasa de descuento social

Para la evaluación social del proyecto, se empleara la tasa de descuento dada por (Ministerio de Desarrollo Social, 2016) para proyectos sociales, equivalente a un 6 % anual.

5.2.7.3. Ajuste de mano de Obra

Para la evaluación de tipo social debe incluirse un factor de corrección sobre el costo de mano de obra, donde según (Ministerio de Desarrollo Social, 2016) equivale a un factor de 0,98 sobre el costo asociado, considerando que la mano de obra contratada es calificada.

5.2.7.4. Ajuste de mantención

Se considerara un factor de corrección de 0,98 debido a que el mantenimiento estará a cargo de mano de obra calificada.

5.2.7.5. Ajuste de Maquinaria e insumos

El reajuste considerado para la inversión, será descontar el IVA a los a la maquinaria e insumos adquiridos para realizar el proyecto (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

5.2.7.6. Total de inversión social colegio de gran envergadura

A continuación se presenta la inversión requerida en el proyecto una vez ajustada a factores de corrección de precios sociales:

Tabla 5.15: Inversión social requerida en colegio Manuel Montt

Inversión Manuel Montt	Descripción	Cantidad	Precio social
Colectores	Colector de tubo de vacío Khöne PM25-58/1.8	10	$ 5.634.431
Bomba	Bomba Grunfos UPA 15-90 120 W	1	$ 33.605
Interacumulador	Interacumulador solar Ferco BW 800	2	$ 1.680.672
Cañerías de cobre	Cañería de cobre M en tira 3/4"x3m	23	$ 180.134
	Cañería de cobre L en tira 3/8"x1m	20	$ 43.529
Aislación	Aislante lana de vidrio de 25 mm con revestimiento de lámina de aluminio x1m	101	$ 1.103.361
Estanque de expansión	Estanque de expansión VAREM R8 012 241	1	$ 27.719
Sistema de control	Controlador TRA 502 TT	1	$ 166.387
Accesorios y Válvulas	Accesorios y Válvulas	1	$ 384.286
Fluido anticongelante	Polipropilenglicol con inhibidor de corrosión 10 L	1	$ 42.017
Estructura	Soporte tipo Bulnes	2	$ 50.420
Bomba estándar extra por legionelosis	Bomba Humboldt 0.5 HP	1	$ 16.798
Mano de Obra	Un instalador y 2 asistentes por 15 días	1	$ 992.699
Total			$ 10.356.059

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.7.7. Total de Inversión social colegio de mediana envergadura

Tabla 5.16: Inversión social requerida en colegio J.B.Alberdi

Inversión J.B. Alberdi	Descripción	Cantidad	Precio
Colectores	Colector de tubo de vacío Khöne PM25-58/1.8	5	$ 2.817.215
Bomba	Bomba Grunfos UPA 15-90 120 W	1	$ 33.605
Interacumulador	Interacumulador solar Ferco BW 800	1	$ 840.336
Cañerías de cobre	Cañería de cobre M en tira 3/4"x3m	23	$ 180.134
	Cañería de cobre L en tira 3/8"x1m	10	$ 21.765
Aislación	Aislante lana de vidrio de 25 mm con revestimiento de lámina de aluminio x1m	81	$ 884.874
Estanque de expansión	Estanque de expansión VAREM R8 012 241	1	$ 23.751
Sistema de control	Controlador TRA 502 TT	1	$ 166.387
Accesorios y Válvulas	Accesorios y Válvulas	1	$ 384.286
Fluido anticongelante	Polipropilenglicol con inhibidor de corrosión 10 L	1	$ 42.017
Estructura	Soporte tipo Bulnes	1	$ 25.210
Bomba estándar extra por legionelosis	Bomba Humboldt 0.5 HP	1	$ 16.798
Mano de Obra	Un instalador y 2 asistentes por 15 días	1	$ 794.159
Total			$ 6.230.537

(Fuente: Elaboración propia)

5.2.8. Resultados de evaluación económica

En primer lugar, se muestra una tabla que resume los principales factores ya mencionados y que dan contexto a la evaluación económica del proyecto:

Tabla 5.17: Principales factores considerados en la evaluación económica

Tasa de inflación	3 %
Tasa de descuento privada	10 %
Tasa de descuento social	6 %
Precio por Kg de GLP	$ 1.035
Horizonte de evaluación	15 años

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se muestran los indicadores económicos obtenidos a partir de la evaluación económica realizada para ambos sistemas bajo una mirada privada y social:

Tabla 5.18: Indicadores económicos obtenidos para le colegio Manuel Montt

Manuel Montt	
Inversión	$ 12.155.356
Inversión Social	$ 10.356.059
VAN	$ 60.296
VAN Social	$ 5.527.700
TIR	10,09 %
TIR Social	13,48 %
PAYBACK	8
PAYBACK descontado	15
PAYBACK social	7
PAYBACK descontado social	9

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.19: Indicadores económicos obtenidos para le colegio J.B.Alberdi

J.B. Alberdi	
Inversión	$ 7.279.657
Inversión Social	$ 6.230.537
VAN	-$ 374.551
VAN Social	$ 2.751.995
TIR	9,08 %
TIR Social	12,26 %
PAYBACK	8
PAYBACK descontado	16 (fuera de horizonte)
PAYBACK social	7
PAYBACK descontado social	9

(Fuente: Elaboración propia)

5.3. Proyectos Fotovoltaicos

A continuación se presenta el proyecto solar fotovoltaico propuesto para Villa Alemana. En primera instancia se dará a conocer el contexto solar de la localidad y del sistema empleado, para luego desarrollar el proyecto en los colegios de la comuna.

5.3.1. Contexto Solar Fotovoltaico de Villa Alemana

5.3.1.1. Explorador Solar

Al igual que para el proyecto termosolar, el Explorador Solar es una herramienta que se empleara para estimar los beneficios y el potencial de los proyectos energéticos. Sin embargo, el Explorador Solar está diseñado primordialmente para los proyectos fotovoltaicos, lo que brinda otras funcionalidades para el usuario que permitirá obtener mayor provecho al facilitar cálculos de generación eléctrica a partir de un sistema FV propuesto.

5.3.1.2. Sistema fotovoltaico empleado

Como se mencionó anteriormente, el Explorador Solar admite una personalización del sistema fotovoltaico empleado, seleccionando para el desarrollo de estos proyectos los paneles Trina Solar 265 Wp TSM PD05.08, ya que este tipo se encuentra autorizado para su uso por la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), además cuenta con información técnica y garantías que aseguran un desempeño eficiente. De esta forma, las características relevantes del módulo FV a considerar son: Una eficiencia de un 16 % respecto a la tasa de conversión de radiación incidente a energía eléctrica; Una potencia nominal de 265 Watt pico (Wp); Un coeficiente de temperatura, que indica la disminución de eficiencia del panel por cada grado sobre los 25°C, de -0,41 % por cada grado Celsius.

Además de los módulos fotovoltaicos, es necesario considerar el inversor empleado ya que es importante conocer la eficiencia que este presenta, donde hoy en día existen equipos que presentan una eficiencia incluso cercana a un 98 % (Ministerio de Energía, 2016b). Para estos proyectos, los inversores se consideraron con una eficiencia estándar de un 96 % a la hora de realizar la conversión desde corriente continua a alterna.

Por último, es necesario considerar el factor de pérdidas del sistema que no están asociadas directamente con la generación en las celdas fotovoltaicas, sino más bien, producto de resistencia en los cables o suciedad de paneles, entre otros factores. Para este factor se empleara un 14 % de perdidas, considerado como un valor estándar por el explorador solar y donde según los expertos de CGS Chile se encuentra dentro del rango admisible.

5.3.1.3. Ubicación y orientación

Ya habiendo definido el sistema FV, se procede a incluir sus características en el explorador solar, y además, se selecciona la región donde se pretende instalar, para determinar así el comportamiento que se espera de este. Al igual que para el proyecto termosolar, el lugar del cual se obtienen los datos de radiación solar (mediante el Explorador Solar), son 33,0529 grados latitud sur y 71,3857 grados longitud oeste, particularmente en la calle

Araya de la comuna Villa Alemana.

La orientación óptima de los paneles FV viene dada por el Explorador Solar, donde al igual que con el sistema termosolar, la orientación es a la cara Norte (azimut 0 grados) y una inclinación de 29 grados respecto al plano horizontal.

5.3.1.4. Calculo de Sombras entre módulos FV

Para determinar la distancia entre las diversas filas o bancos de paneles FV, se recurrirá a la misma metodología que la empleada en los sistemas termosolares (Ver formula 5.16) pero adaptándolo a las dimensiones de los paneles FV. De esta forma, se obtiene que la distancia mínima entre las filas de paneles FV sea de al menos 1,2 metros considerando un techo plano y una inclinación del módulo de 29 grados.

5.3.1.5. Generación eléctrica

Para determinar la capacidad de generación eléctrica del sistema implementado, es necesario considerar los factores ya mencionados respecto a las características y ubicación del proyecto. A continuación se resumen los factores ingresados al explorador solar:

Tabla 5.20: Características del sistema solar empleado

Potencia Nominal de Panel FV	265 Wp
Eficiencia de Panel FV	16 %
Coeficiente de Temperatura	-0,41 %/°C
Eficiencia de inversor	96 %
Factor de perdidas	14 %
Orientación	Norte
Inclinación	29°

(Fuente: Elaboración propia)

A partir de los factores ingresados, el explorador solar entrega una tabla resumen con la generación promedio de electricidad en Villa Alemana, en función de la hora, en función del mes en el que se encuentre y de la capacidad instalada del sistema FV. Como la generación

de electricidad se comportara de forma lineal con la capacidad instalada, basta con emplear los datos de generación asociado a un sistema de 1 Kilo Watt Pico (Ver Figura 5.10) de capacidad instalada y multiplicar el valor de cada hora por el de la capacidad instalada del proyecto particular que se esté analizando, para así obtener la generación esperada.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
19:00	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
18:00	0.09	0.08	0.04	0.01	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.06
17:00	0.26	0.26	0.21	0.12	0.06	0.04	0.07	0.1	0.12	0.14	0.17	0.22
16:00	0.45	0.45	0.4	0.31	0.21	0.2	0.22	0.25	0.29	0.33	0.35	0.4
15:00	0.59	0.58	0.54	0.46	0.35	0.33	0.35	0.37	0.43	0.48	0.5	0.55
14:00	0.67	0.66	0.64	0.55	0.42	0.4	0.42	0.46	0.53	0.59	0.59	0.64
13:00	0.7	0.68	0.67	0.59	0.48	0.44	0.47	0.51	0.57	0.64	0.65	0.68
12:00	0.67	0.64	0.65	0.58	0.48	0.43	0.48	0.52	0.58	0.65	0.66	0.66
11:00	0.6	0.56	0.59	0.53	0.43	0.4	0.44	0.48	0.55	0.6	0.61	0.61
10:00	0.5	0.45	0.49	0.44	0.35	0.32	0.35	0.4	0.48	0.53	0.53	0.52
09:00	0.38	0.34	0.35	0.32	0.24	0.22	0.24	0.29	0.37	0.42	0.42	0.41
08:00	0.23	0.2	0.19	0.17	0.11	0.1	0.1	0.14	0.21	0.27	0.29	0.27
07:00	0.09	0.06	0.05	0.03	0.01	0	0	0.02	0.06	0.12	0.14	0.12
06:00	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.03	0.03

Figura 5.10: Generación eléctrica promedio del sistema FV en Watt hora (Wh).
(Fuente: Explorador Solar de Universidad de Chile)

Una vez obtenida la generación del sistema, pueden darse casos donde la superficie empleada no permita una óptima orientación e inclinación de los paneles FV, por lo que es posible asociar una pérdida extra por el concepto de orientación. Para la estimación de las perdidas por orientación inadecuada, se empleó una tabla referencial elaborada por el Ministerio de Energía (2016b) a partir del uso del explorador solar. A continuación se presenta la Figura 5.11 que contiene las pérdidas asociadas a orientación para las regiones de Coquimbo, Metropolitana y Valparaíso:

Orientación / Angulo	270º	280º	290º	300º	315º	325º	0º	35º	45º	60º	70º	80º	90º
5º	8,9%	8,3%	7,8%	7,4%	6,7%	4,2%	3,7%	4,1%	4,3%	5,7%	6,1%	6,3%	7,0%
10º	9,3%	9,1%	8,6%	6,3%	5,1%	4,5%	3,6%	5,0%	8,5%	7,1%	8,1%	9,1%	8,9%
20º	11,1%	8,2%	7,2%	5,4%	3,3%	2,1%	0,7%	3,1%	4,5%	6,9%	8,7%	10,7%	12,7%
30º	14,0%	11,1%	8,5%	6,2%	3,3%	1,8%	0,0%	3,2%	5,0%	8,1%	10,6%	13,3%	16,1%
40º	17,7%	14,2%	11,1%	8,4%	5,2%	3,6%	1,7%	5,3%	7,3%	10,9%	13,7%	16,8%	20,2%
45º	19,8%	16,1%	12,9%	10,1%	6,8%	5,2%	3,4%	7,1%	9,0%	12,7%	15,6%	18,9%	22,5%

Figura 5.11: Perdidas porcentuales en generación producto de desviaciones de orientación.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2016b)

5.3.1.6. Curva de generación de energía

Por último, es posible generar una curva de la generación eléctrica del sistema FV. Esta curva es posible estructurarla en base a los datos provenientes del explorador solar y las consideraciones de pérdidas y capacidad instalada. De esta forma, la curva permitirá apreciar gráficamente el aporte energético diario del sistema FV.

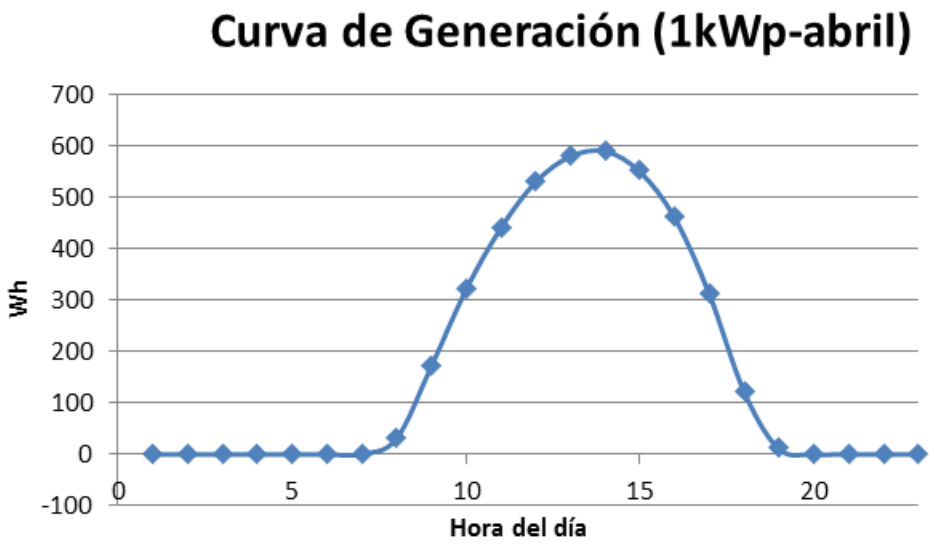

Figura 5.12: Ejemplo de curva de generación FV para instalación en Villa Alemana de 1 kWp en el mes de abril.
(Fuente: Elaboración propia)

5.3.2. Proyectos solares para colegios municipales de Villa Alemana.

Como proyectos solares para edificios públicos de Villa Alemana, se optó por incluir sistemas fotovoltaicos conectados a la red en los colegios municipales. Actualmente la comuna de Villa Alemana cuenta con 15 colegios a su disposición, y a los cuales pertenecen en total más de 5.000 alumnos. La instalación de sistemas de energía renovable no convencional en los colegios será una forma de poder acercar las nuevas tecnologías de generación energética a las nuevas generaciones de estudiantes, y de esta forma, generar un impacto positivo en la sociedad a futuro constituida por estos los alumnos.

Al igual que para el proyecto termosolar, se encasillara a los colegios en las tres categorías ya mencionadas a partir del número de alumnos. Recordando las categorías, se encuentra una primera categoría que encasilla a colegios pequeños con menos de 150 estudiantes, una segunda categoría con entre 150 y 400 alumnos, y por último, existirá una tercera categoría con los colegios que poseen sobre 400 alumnos.

Para los proyectos fotovoltaicos no solo se seleccionaras los colegios de gran y mediana categoría, sino que además se consideraran los colegios de menor envergadura. Los colegios seleccionados serán nuevamente el colegio Manuel Montt, con 509 alumnos, y colegio Juan Bautista Alberdi, con 297 alumnos, en las categorías de gran y mediana envergadura respectivamente, y además, se considerara el colegio Melvin Jones dentro de la categoría de pequeños colegios con 109 estudiantes matriculados.

5.3.2.1. Potencial de generación

Para los colegios seleccionados, es importante poder dimensionar el tamaño del sistema que se implementara, el cual está sometido a diversas restricciones dependiendo del contexto evaluado.

Restricción asociada al Net-Billing

La primera restricción definida para estos proyectos, se asocia a lo mencionado anteriormente en cuanto a la ley 20.571. Los proyectos deben tener una cota superior de 100 kilowatt pico en lo que respecta a capacidad instalada, esto debido a que al superar este límite de capacidad, cambia su regulación y el proyecto pasa a ser de PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuidos), lo cual le asocian altos costos injustificados para instalaciones tan pequeñas (Ecoenergías, 2016).

Restricción asociada a la potencia conectada

Otra punto a tener en cuenta esta dado por el Ministerio de Energía (2016b), y que plantea que un sistema fotovoltaico conectado a la red se integrara a la instalación eléctrica con la que cuente el inmueble existente. Para que esto pueda desarrollarse sin requerir sobre costos debido a adecuaciones, es necesario cumplir con dos condiciones básicas:

- El sistema fotovoltaico que se pretende instalar no debe superar la potencia conectada del inmueble.

- La instalación eléctrica que presenta el inmueble debe estar de acuerdo a la normativa de instalaciones eléctricas en baja tensión.

De esta forma, el alcance de este trabajo se limitara a dimensionar los sistemas de generación en base a la capacidad instalada del inmueble analizado, con el fin de no recurrir a costos de adecuación del sistema eléctrico.

A continuación se presenta una tabla con los colegios municipales escogidos como referencia, la tarifa a la que pertenecen y la potencia instalada que estos poseen:

Tabla 5.21: Potencia instalada y tarifa suscrita de cada colegio

Colegio	Potencia instalada [kW]	Tarifa
Manuel Montt	24	BT-2
J.B. Alberdi	16	BT-1
Melvin Jones	10	BT-1

(Fuente: Elaboración propia)

Para este proyecto, esta será la restricción que limitara la dimensión de los tres establecimientos evaluados.

Restricción asociada a la superficie de captación disponible

Por último, existe una restricción física asociada a la superficie de captación solar disponible en los techos de cada inmueble y que limitara eventualmente el número posible de paneles FV a instalar.

Al igual que con el proyecto termosolar, la herramienta empleada para poder identificar la superficie de captación solar disponible es Google Earth, considerando nuevamente el supuesto de que los techos demarcados cumplen con una norma técnica de construcción que les permite soportar el peso extra dado por el sistema solar.

Otra consideración que se tomó en cuenta para determinar la superficie disponible está dada por el Ministerio de Energía (2016b), la cual indica que se debe dejar un espacio de al menos un metro entre la orilla del techo y los módulos fotovoltaicos.

Considerando todo lo anterior, se seleccionaron los techos favorables para la instalación de módulos fotovoltaicos, donde los seleccionados no presentan sombras producto de obstáculos cercanos y la inclinación del techo no se considerara como influyente ya que la inversión contempla estructuras para ajustar la inclinación de los paneles. A continuación se caracterizara la superficie solar disponible en cada inmueble analizado.

1. Superficie de captación colegio de gran envergadura

Los techos disponibles en el colegio Manuel Montt para la instalación fotovoltaica, son los mismos techos demarcados para el proyecto termosolar (ver figura 5.3).

A continuación se presentan las características de cada techo, junto con las pérdidas de captación debido a desviaciones de orientación del techo:

Tabla 5.22: Características de los techos del colegio Manuel Montt

Manuel Montt	Ancho [m]	Largo [m]	Orientación	Perdidas
techo 1	30,1	9,4	65° O	6,0 %
techo2	13	9,1	65° O	6,0 %
techo 3	38,2	5,1	65° O	6,0 %
techo 4	9,5	4,9	65° O	6,0 %
techo 5	28	4,6	50°E	4,5 %
techo 6	30	8,6	50°E	4,5 %
techo 7	10	8,3	50°E	4,5 %

(Fuente: Elaboración propia)

Ya conociendo las dimensiones del techo es posible determinar el número de módulos solares que pueden ser instalados sobre este, a partir de las dimensiones de cada panel, la sombra generada por los mismos módulos y teniendo en consideración un margen de un metro respecto al borde del techo. A continuación se presenta el número de posibles colectores solares a instalar por techo:

Tabla 5.23: Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio Manuel Montt

Manuel Montt	N° paneles por corrida	N° de corridas	Paneles
techo 1	28	1	28
techo2	11	2	22
techo 3	36	1	36
techo 4	7	2	14
techo 5	26	1	26
techo 6	28	3	84
techo 7	8	3	24
total			234

(Fuente: Elaboración propia)

Para este colegio, basta con los techos 6 y 7 para la instalación de todos los módulos fotovoltaicos que requiere el sistema según la restricción de capacidad instalada, lo que conlleva una pérdida de un 4,5 % producto de la orientación de estos.

2. Colegio de mediana envergadura

Al igual que para el colegio Manuel Montt, los techos disponibles en el colegio J.B.Alberdi para emplear en el proyecto fotovoltaico fueron previamente demarcados para el proyecto termosolar (Ver figura 5.4).

A continuación se presentan las características de los techos del colegio J.B. Alberdi, junto con las pérdidas de captación producto de desviaciones de orientación del techo:

Tabla 5.24: Características de los techos del colegio J.B.Alberdi

J.B. Alberdi	Ancho [m]	Largo [m]	Orientación	Perdidas
techo 1	20,8	2,9	10° O	0,50 %
techo2	18,6	5,8	10° O	0,50 %
	4,9	3,7	10° O	0,50 %
techo 3	28,8	7,3	10° O	0,50 %
techo 4	12,5	3,5	10° O	0,50 %
techo 5	9,7	5,6	10° O	0,50 %
techo 6	37,8	3,7	Norte (0°)	0 %

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presenta el número de módulos fotovoltaicos que pueden ser instalados en cada techo:

Tabla 5.25: Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio J.B.Alberdi

J.B. Alberdi	N° paneles por corrida	N° de corridas	Paneles
techo 1	18	1	18
techo2	16	2	32
	2	1	2
techo 3	26	2	52
techo 4	10	1	10
techo 5	7	2	14
techo 6	35	1	35
total			163

(Fuente: Elaboración propia)

Para este establecimiento, bastara con el techo 6 para la instalación de los paneles fotovoltaicos del sistema, y por ende, no existe una pérdida de captación asociada a la orientación de los módulos ya que estos apuntan al norte geográfico.

3. Colegio de pequeña envergadura

A continuación se muestran demarcados los techos cuya orientación y superficie es

adecuada para la instalación de módulos fotovoltaicos en el colegio Melvin Jones :

Figura 5.13: Porción de superficie aprovechable en colegio Melvin Jones.
(Fuente: Elaboración propia)

A partir de esto, se presenta la caracterización de cada techo según sus dimensiones y pérdidas de captación debido a la orientación de estos:

Tabla 5.26: Características de los techos del colegio Melvin Jones.

Melvin Jones	Ancho [m]	Largo [m]	Orientación	Perdidas
techo 1	24,23	2,9	80°E	6,3 %
techo 2	25,4	5,3	80°E	6,3 %
techo 3	17,8	3,23	80°E	6,3 %

(Fuente: Elaboración propia)

De esta forma, el número de paneles fotovoltaicos que pueden ser instalados por techo es:

Tabla 5.27: Capacidad de instalación de paneles por techo en colegio Melvin Jones.

Melvin Jones	N° paneles por corrida	N° de corridas	Paneles
techo 1	12	2	24
techo 2	13	2	26
techo 3	15	1	15
total			65

(Fuente: Elaboración propia)

Para este establecimiento, todos los techos presentan la misma orientación, de forma que la perdida asociada por desviación respecto al norte geográfico será de un 6,3

5.3.2.2. Curva de consumo

A la hora de poder evaluar el comportamiento de un sistema conectado en red, es importante poder establecer el comportamiento de consumo del establecimiento que se está evaluando. El comportamiento podrá mostrar en que momentos del día se demanda mayor energía y así comprender como el sistema fotovoltaico contribuiría con el suministro energético del inmueble. No todos los inmuebles monitorean su consumo eléctrico a lo largo del día, ni siquiera las mismas compañías distribuidoras pueden proveer esta información de clientes particulares. Por esta razón, es necesario obtener una curva de consumo diario tipo, que permita modelar el comportamiento de consumo general de un colegio.

La elaboración de la curva de consumo tipo empleada en estos proyectos, se elabora a partir de datos proporcionados por el Colegio Suizo. Los datos proporcionados corresponden a lecturas en el medidor a distintas horas del día a lo largo de varias jornadas, los cuales permiten promediar el consumo asociado a cada hora y desprender el porcentaje, sobre el total de electricidad diaria, demandada en cada hora. A continuación, se presenta en la figura 5.14, la curva de consumo obtenida:

Figura 5.14: Curva de consumo tipo de un colegio.
(Fuente: Elaboración propia)

Es posible apreciar un mayor consumo en las primeras horas del día, lo cual es algo congruente para un colegio dado que tanto la temperatura como la luz, a esas horas, es reducida y los estudiantes requerirán mayor energía para cumplir esas condiciones mínimas de confort.

5.3.2.3. Energía consumida e inyectada

Una vez determinada la curva de consumo tipo, es posible determinar cómo se consume la energía en el establecimiento. Para esto, es necesario obtener el consumo mensual de energía de cada establecimiento.

Se realizó un levantamiento de información de los colegios seleccionados y se determinó, mediante facturas de electricidad, el consumo mensual de energía para cada mes en el último año. Posteriormente, el consumo mensual se llevó a un consumo diario en función del número de días que contiene el mes y de esta forma, se distribuyó el consumo a lo largo de las horas del día según la curva de consumo tipo, elaborada a partir del Colegio Suizo.

Ya conociendo como se consume diariamente la energía, es posible comparar el comportamiento de la demanda con la energía generada por el sistema fotovoltaico, calculada gracias a la ayuda del explorador solar en función de la capacidad y los parámetros mencionados previamente.

De esta manera, cuando la energía generada por el sistema FV sea menor a la energía demandada por el colegio, se estará incurriendo en un consumo de energía equivalente a la diferencia entre la demanda y la generación del sistema FV. Por otro lado, cuando la energía generada sea mayor a la energía demandada, se estará inyectando energía eléctrica a la red.

Una forma gráfica de apreciar la inyección a la red en función del consumo y la demanda, es mediante la curva diaria de consumo, con los valores de energía para el establecimiento, y la curva de generación eléctrica del sistema FV que se pretende instalar. Para esto, basta

con apreciar que cuando la curva de generación este por sobre la curva de consumo, se estará inyectando energía a la red y en el caso contrario es estará demandando energía a la compañía distribuidora (ver figura 5.15)

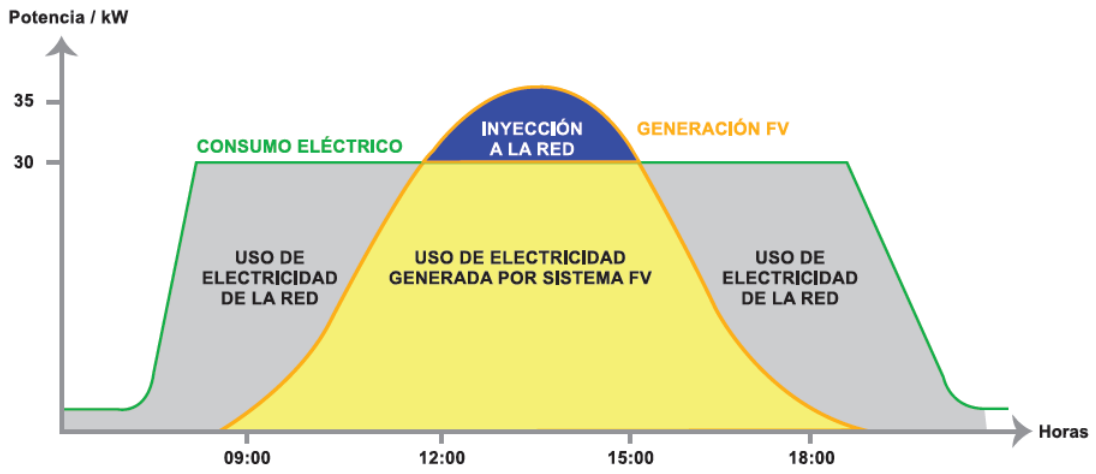

Figura 5.15: Representación gráfica de inyección y consumo de sistema FV en red.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2016b)

De esta forma, es posible determinar el rendimiento del sistema al superponer la generación de energía y la demanda de electricidad a lo largo del día, lo cual al llevarlo a término mensual y posteriormente anual, permitirá determinar cuanta energía requerirá el inmueble de la compañía distribuidora, cuanta energía auto consumirá del sistema y cuanta energía inyectara a la red de distribución. A continuación se puede apreciar las curvas diarias para los meses de diciembre, agosto y abril:

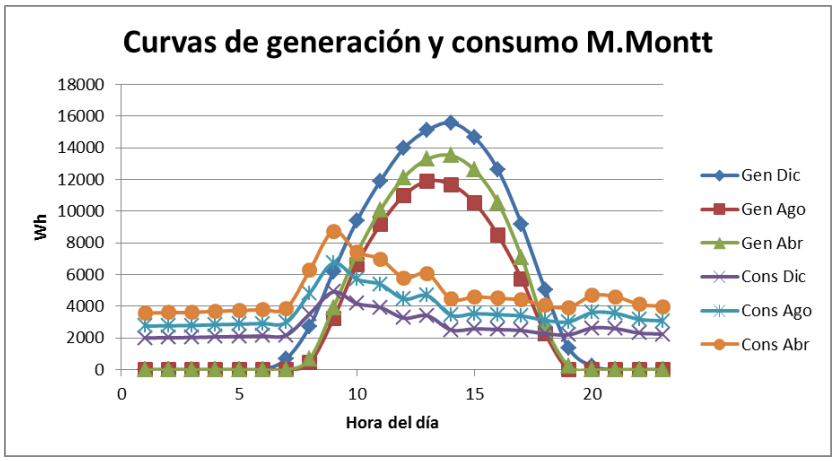

Figura 5.16: Curvas de generación y consumo para colegio Manuel Montt.
(Fuente: Elaboración propia.)

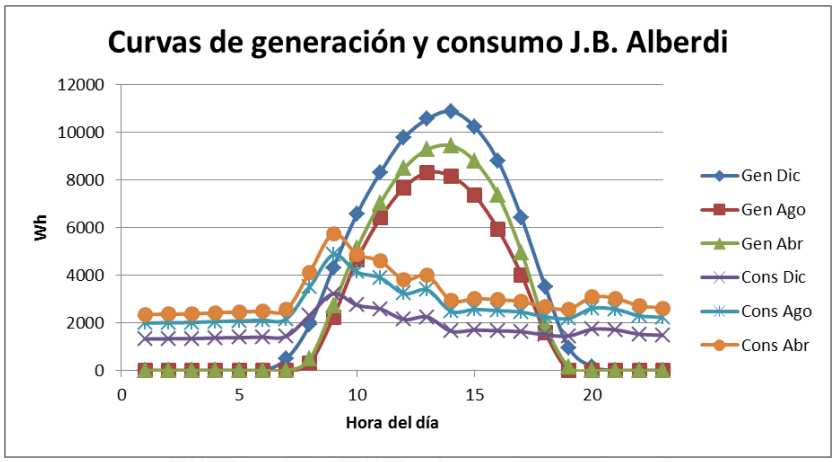

Figura 5.17: Curvas de generación y consumo para colegio J.B.Alberdi.
(Fuente: Elaboración propia.)

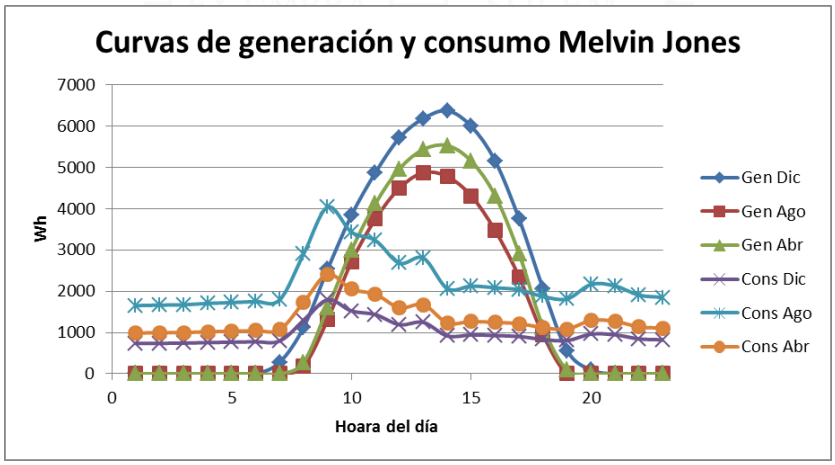

Figura 5.18: Curvas de generación y consumo para colegio Melvin Jones.
(Fuente: Elaboración propia.)

Finalmente, se presenta el desempeño anual de los sistemas evaluados para los tres tipos de colegios, considerando la generación anual del sistema, el consumo anual del colegio actualmente y la cantidad de energía que se requiere comprar y que es posible vender luego de la implementación del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 5.28: Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio Manuel Montt.

Manuel Montt	
Capacidad instalada [kW]	24
Perdidas por orientación techo	4,50 %
Generación [kWh]	35.551,9
E. comprada [kWh]	16.162,4
E. consumida [kWh]	31.376,0
E. del sistema vendida [kWh]	20.338,3
E. del sistema auto consumida [kWh]	15.213,6
E. del sistema vendida	57,21 %
E. del sistema auto consumida	42,79 %

(Fuente: Elaboración propia.)

Tabla 5.29: Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio J.B.Alberdi.

J.B. Alberdi	
Capacidad instalada [kW]	16
Perdidas por orientación techo	0 %
Generación [kWh]	24.818,1
E. comprada [kWh]	10.012,3
E. consumida [kWh]	19.373,0
E. del sistema vendida [kWh]	15.457,4
E. del sistema auto consumida [kWh]	9.360,7
E. del sistema vendida	62,28 %
E. del sistema auto consumida	37,72 %

(Fuente: Elaboración propia.)

Tabla 5.30: Desempeño anual de sistema fotovoltaico en colegio Melvin Jones.

Melvin Jones	
Capacidad instalada [kW]	10
Perdidas por orientación techo	6,30 %
Generación [kWh]	14.534,1
E. comprada [kWh]	7.758,2
E. consumida [kWh]	14.495,0
E. del sistema vendida [kWh]	7.797,3
E. del sistema auto consumida [kWh]	6.736,8
E. del sistema vendida	53,65 %
E. del sistema auto consumida	46,35 %

(Fuente: Elaboración propia.)

5.3.3. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica privada

Los índices y factores presentados a continuación, para la realización de evaluación económica, provienen no solo de diversos textos especialistas, sino que además, se contó con el apoyo de profesionales en la materia, pertenecientes a las compañías Ecoenergías y CGS Chile.

5.3.3.1. Inversión por Kilo Watt Pico (kWp) instalado

Para determinar la inversión requerida en cada proyecto fotovoltaico, se empleó como base de cálculo la cuarta versión de los índices de precios de sistemas solares fotovoltaicos dados a conocer por Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y Programa de Energías Renovables y Eficiencia Engética Chile (2015).

El documento provee un precio promedio de costo de instalación por cada Kilo Watt Pico (kWp) en función de las dimensiones del sistema fotovoltaico. Los precios entregados se dividen en seis tramos donde el valor disminuye a medida que la dimensión del proyecto aumenta, esto producto de la existencia de economías de escala.

A continuación se presentan los precios promedio empleados para cada tramo:

Tabla 5.31: Precio promedio de inversión requerido por kWp según tamaño del proyecto.

Dimensión	1 kWp	10 kWp	30 kWp	100 kWp	500 kWp	1000 kWp
$/kWp	1.971.581	1.461.040	1.278.831	1.331.820	1.214.085	1.106.613

(Fuente: Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ).)

De esta forma, la inversión requerida para cada inmueble asciende a:

Tabla 5.32: Inversión requerida para cada colegio.

Colegio	Potencia instalada [kWp]	inversión
Manuel Montt	24	$ 35.064.960
J.B. Alberdi	16	$ 23.376.640
Melvin Jones	10	$ 14.610.400

(Fuente: Elaboración propia.)

5.3.3.2. Mantención

Aunque los sistemas FV presente alta confiabilidad y donde su vida útil pueda rondar los 25 años, existen una serie de factores con el paso del tiempo como la humedad, suciedad y pequeños desperfectos que podrían mermar el desempeño del sistema. El mantenimiento permitirá asegurar el máxima disponibilidad del sistema FV y asegurar un correcto funcionamiento de este, donde el costo de mantención anual de un sistema FV, de acuerdo a referencias internacionales, puede variar entre un 0,5 % y 2 % de la inversión inicial (Ministerio de Energía, 2016c).

De esta forma se seleccionó un valor de un 2 % de la inversión, donde aunque las condiciones climáticas no son las más adversas y el nivel de polución es mínimo respecto a grandes ciudades como Santiago, se prefiere optar por un escenario pesimista con tal de mantener en buenas condiciones los elementos del sistema fotovoltaico.

5.3.3.3. Degradación

A pesar de los avances tecnológicos en el campo solar, los módulos fotovoltaicos aun presentan una pequeña degradación en el tiempo. De esta forma, la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos decaerá con el paso de los años, lo que finalmente conlleva un menor rendimiento energético (Ministerio de Energía, 2016b).

El módulo fotovoltaico seleccionado garantiza una potencia de salida igual a un 80 % de la potencia nominal indicada luego de transcurso de 25 años. Además, la degradación que presenta el panel es de forma lineal, con lo que es posible estimar el desgaste como un 0,8 % menos de generación fotovoltaica cada año (Ver Figura 5.19). De esta forma, dado la degradación lineal, la generación anual se calcula con un rendimiento medio igual al que presenta justo en la mitad del año.

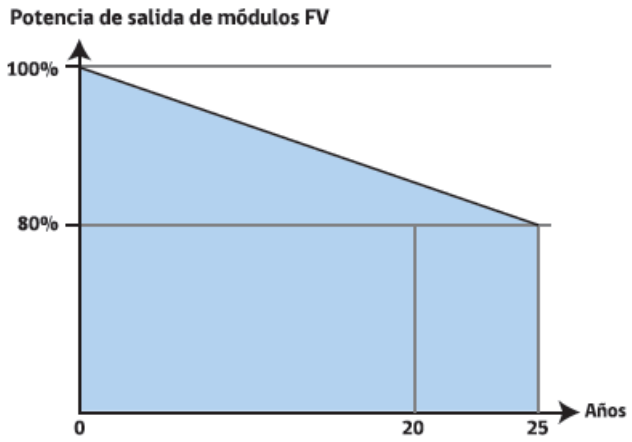

Figura 5.19: Degradación experimentada por módulos fotovoltaicos.
(Fuente: Ministerio de Energía, 2016b.)

5.3.3.4. Tasa de inflación

La tasa de inflación considerada para el proyecto es de un 3 % anual, ya que esta es la tasa meta fijada por el Banco Central de Chile (BCCH, 2007).

5.3.3.5. Tasa de descuento

Para este proyecto se recurrirá a una tasa del 10 %, la que como se mencionó anteriormente en el proyecto termosolar, es una tasa valida para proyectos de energía renovable no convencional.

5.3.3.6. Precio de Venta de energía

El precio de venta de energía que rige en la comuna de Villa Alemana es entregado por la distribuidora Chilquinta Energía S.A (2016b), con un valor de $73,140 por kWh inyectado a la red. Este valor es igual para todos los clientes en tarifas de baja tensión (BT).

5.3.3.7. Precio de Compra de energía

El precio de compra de energía dependerá de la tarifa a la cual se encuentra suscrito el inmueble con (Chilquinta Energía S.A, 2016a), siendo:

- BT-1a: $139,14/kWh
- BT-2: $89,74/kWh

5.3.3.8. Incremento anual en el precio de compra y venta de energía

Se empleara, al igual que en proyecto termosolar, un aumento anual de un 5 % en el precio de la energía.

5.3.4. Índices, factores y precios empleados la evaluación económica social

5.3.4.1. Reducción de gases de efecto invernadero (GEI)

El proyecto de generación fotovoltaico no solo genera un beneficio directo asociado al consumo, sino que además existe un efecto positivo producto de la reducción de gases de efecto invernadero (GEI).

Según (Ministerio de Energía, 2016c), el beneficio producto de la reducción de GEI en Villa Alemana es posible estimarlo gracias a la energía total generada en el año por el sistema fotovoltaico y al factor de emisión promedio, que para el caso de esta comuna, corresponde al del Sistema Interconectado Central (SIC) equivalente a 0,36 toneladas de

De esta forma, el cálculo de toneladas de CO_2 equivalente se realiza mediante la energía generada anualmente (E_a) por el factor de emisión (F_e), según la expresión:

$$CO_{2eq} = E_a * F_e \tag{5.19}$$

Ya habiendo estimado la reducción anual de toneladas de CO_2 equivalente, es posible cuantificar el beneficio al multiplicar las toneladas de emisión evitadas por el precio entregado por el Ministerio de Desarrollo Social (2016), el cual equivale a $5.972 por tonelada.

5.3.4.2. Tasa de descuento social

Al igual que para la evaluación social termosolar, se empleara una tasa de descuento social equivalente a un 6 %.

5.3.4.3. Horizonte de evaluación

El horizonte de evaluación considerado en este proyecto es de 25 años, valor medio empleado para la evaluación de proyectos fotovoltaicos dada la vida útil de los componentes.

5.3.4.4. Ajuste de mantención

Este proyecto contempla emplear a mano de obra calificada, de forma que nuevamente se empleara el factor de corrección empleado en el proyecto de colectores solares, el que equivale a 0,98 aplicado sobre el costo asociado a mano de obra.

5.3.4.5. Ajuste de mano de obra

Como la mantención del sistema solar será realizada por personal calificado, se aplicara el mismo factor de corrección aplicado sobre la mano de obra, es decir, 0,98.

5.3.4.6. Ajuste de maquinaria e insumos

Al igual que para el proyecto termosolar, se realizara un ajuste sobre la maquinaria e insumos requeridos en el proyecto, descontando el impuesto al valor agregado que estos poseen.

5.3.4.7. Total de inversión social

La inversión considerada para cada proyecto fotovoltaico evaluado se obtuvo a partir del ya mencionado índice de precios de sistemas solares fotovoltaicos promulgado por Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y Programa de Energías Renovables y Eficiencia Engética Chile (2015). Este índice contabiliza el total de inversión del proyecto, contabilizando tanto adquisición de insumos como costo de mano de obra involucrada.

Para aplicar el factor de corrección social a la inversión, se separó la inversión en maquinaria e insumos de la inversión en mano de obra. La separación está dada a partir del porcentaje referencial sobre el total del proyecto que compone cada partida, donde a partir de información entregada por expertos de Ecoenergías, se aproximara el costo de mano de obra a un 20 % del proyecto, mientras que el costo en adquisición de maquinaria e insumos representara el 80 % restante.

De esta forma, la corrección social sobre la inversión se encargar de descontar el IVA sobre los activos tangibles y de aplicar un factor de 0,98 sobre el costo total de mano de obra. A continuación se presenta la inversión luego de la corrección social para cada colegio:

Tabla 5.33: Inversión social requerida para cada colegio

Colegio	Potencia instalada [kWp]	inversión
Manuel Montt	24	$ 30.445.815
J.B. Alberdi	16	$ 20.297.210
Melvin Jones	10	$ 12.685.756

(Fuente: Elaboración propia.)

5.3.5. Resultados de evaluación económica

5.3.5.1. Colegio Manuel Montt

Tabla 5.34: Resultados de la evaluación económica para colegio Manuel Montt

Manuel Montt	
Inversión	$ 35.064.960
Inversión Social	$ 30.445.815
VAN	-$ 5.301.697
VAN Social	$ 15.851.751
TIR	8,33 %
TIR Social	10,05 %
PAYBACK	12
PAYBACK descontado	29 (fuera del horizonte)
PAYBACK social	11
PAYBACK social descontado	16

(Fuente: Elaboración propia.)

5.3.5.2. Colegio Juan Bautista Alberdi

Tabla 5.35: Resultados de la evaluación económica para colegio J.B.Albedi

J.B. Alberdi	
Inversión	$ 23.376.640
Inversión Social	$ 20.297.210
VAN	$ 3.511.526
VAN Social	$ 21.232.116
TIR	11,55 %
TIR Social	13,53 %
PAYBACK	10
PAYBACK descontado	20
PAYBACK social	9
PAYBACK social descontado	11

(Fuente: Elaboración propia.)

5.3.5.3. Colegio Melvin Jones

Tabla 5.36: Resultados de la evaluación económica para colegio Melvin Jones

Melvin Jones	
Inversión	$ 14.610.400
Inversión Social	$ 12.685.756
VAN	$ 2.022.627
VAN Social	$ 12.985.522
TIR	11,43 %
TIR Social	13,39 %
PAYBACK	10
PAYBACK descontado	20
PAYBACK social	9
PAYBACK Social descontado	12

(Fuente: Elaboración propia.)

5.4. Charlas de eficiencia energética en colegios

Actualmente, el obstáculo más grande para poder aumentar la eficiencia energética es la falta de información respecto de los costes y disponibilidad de nuevas tecnologías, así como tampoco se tiene conciencia de los costes del propio consumo energético (Comisión Europea, 2005).

La educación energética puede inspirar a jóvenes y adultos e influir transversalmente en la sociedad a través de los familiares y amistades de los participantes. La información de los consumidores debe mostrar claramente los beneficios que serán percibidos con el cambio de conducta, entendiendo que el ahorro energético significa múltiples consecuencias positivas como, por ejemplo, ahorro de dinero, beneficios en la salud y atenuar efectos del cambio climático. Informar a los consumidores a partir de explicar el beneficio personal es una forma de comprometer al consumidor, sin embargo exponer además un beneficio social positivo y demostrable, es un elemente aún más motivador y duradero para la comunidad involucrada (Comisión Europea, 2006).

El plan de información busca dirigirse a la ciudadanía con un mensaje coherente a las prioridades tanto nacionales como internacionales, en el caso de Chile alineándolo con la política energética y los desafíos propuestos. Según la Comisión Europea (2006) son 3 los objetivos de la educación energética:

- Identificar las acciones al alcance de la sociedad y particulares.
- Aumentar el grado de conciencia respecto a los problemas y antecedentes energéticos.
- Explicar los beneficios de las acciones sugeridas.

Según la Comisión Europea (2005), el contexto energético que se presenta hoy en día evidencia un escaso esfuerzo por generar conciencia en los consumidores respecto al valor de la energía. Las campañas publicitarias, que se estructuran con información clara sobre la forma de ahorrar energía de manera económica y con conductas adecuadas por parte de los consumidores, pueden ser muy útiles para lograr un cambio en la mentalidad y empujar a

la comunidad a la participación. La intervención que buscan las campañas educativas en los consumidores, es posible llevarla a cabo en 3 niveles:

• Información a los ciudadanos sobre temas relacionados con la reducción en el consumo energético de los hogares a través de, por ejemplo, calefacción y alumbrado eficiente, comportamiento de consumo adecuado y decisiones en el uso de electrodomésticos.

• Información a clientes industriales.

• Información a expertos en eficiencia energética y a los suministradores de servicios, para de esta forma crear una red de expertos calificados.

Dado la caracterización energética de Villa Alemana, donde el 73 % del consumo de electricidad se da en el sector residencial, es preferible orientar el proceso educativo de la comunidad hacia sus hábitos de consumo en el hogar, optando por realizar una primera etapa de charlas dirigidas a los estudiantes y que estos actúen en sus propios hogares.

A partir de lo anterior, el proyecto se concibe como un ciclo de charlas de una hora, realizadas en los distintos colegios municipales con un mensaje claro para los alumnos y que permita concientizarlos en materia energética. El desarrollo integraría alumnos pertenecientes a los 15 colegios municipales que pertenecen a la comuna de Villa Alemana.

La duración del proyecto se pretende diseñar para 6 meses, donde el mes de febrero permitirá armar en primera instancia los detalles iniciales y estrategia, para luego comenzar a dar marcha al proyecto y desarrollarlo plenamente desde marzo a julio, la cual es temporada de clases. El realizar el proyecto de esta forma permitirá aprovechar de recordar las buenas prácticas energéticas en el primer semestre del año, de cara a los meses con menor luminosidad y con mayor demanda de calefacción en el hogar. Además, el conseguir la organización de charlas dentro del plazo, para la mitad del alumnado municipal, permitiría suponer que a futuro el programa (de tener éxito) podría aplicarse a la totalidad del alumnado a partir de un programa anual.

5.4.1. Tasa de adopción de medidas en función de programas internacionales de eficiencia energética

Numerosos estudios realizados en todo el mundo, sugieren que la educación energética es, a largo plazo, uno de los métodos que posee mayor rentabilidad para ahorrar energía y promover la eficiencia energética. Ejemplo de esto es Brasil, país que en el año 1985 creo un programa de conservación de electricidad (Procel) y cuyo resultado permitió un ahorro aproximado de 5,3 TWh por año en 1998, equivalente a un 1,8 % del consumo total en electricidad de Brasil. El programa permitió posteriormente, realizar un análisis de presupuesto y actividades del Procel, dando como resultado que las actividades educativas y de formación, generaban una rentabilidad considerablemente mayor que el resto de iniciativas adoptadas, donde el costo educativo significaba cerca de 0,01 dólares por Kwh ahorrado, mientras otras medidas como inversiones en el sector residencial o comercial significaban un costo cercano a los 0,15 dólares por Kwh ahorrado (Comisión Europea, 2006).

Otro ejemplo destacable en la realización de proyectos que promueven la eficiencia energética es el denominado autobús de la energía. El proyecto, lanzado en el año 2003, consistió en un autobús que visito más de 200 municipios en Polonia promoviendo información del buen uso de la energía. El resultado que arrojo este proyecto fue que cerca del 30 % de los visitantes intento emplear la información suministrada de manera casi inmediata, mientras que el 56 % se propuso poner en práctica la información a futuro. Además, la mayor parte expreso su deseo de compartir la información con familiares y amigos de forma de promover el buen uso de la energía en su símbolo más cercano (Comisión Europea, 2006).

Por último, se realizó un proyecto de educación energética en Reino Unido denominado "La energía cuenta: la educación energética en el hogar". Este proyecto consistió en un programa de educación destinado a generar concientización energética en niños, el cual fue impartido a cerca de 18.000 alumnos en 500 escuelas. Los resultados de este proyecto avalan la eficacia de los estudiantes a la hora de ser consejeros energéticos en sus propias

familias, donde el 76 % de las familias de los alumnos presentes en el programa de eficiencia energética habían mejorado el comportamiento energético en el hogar. Además se determinó que las familias valoraron la información proveniente de sus propios casi dos veces por encima de otras fuentes de información (Comisión Europea, 2006).

A partir de todo lo anterior se seleccionara una tasa de adopción de medidas de eficiencia energética de un 30 % como base, esta tasa de adopción hace referencia a cuál será el número de alumnos que aplicara medidas de eficiencia energética en su hogar respecto al total de alumnos involucrados en el proceso educativo. Esta tasa de adopción se debe a que el sistema de educación energética, que será mediante charlas de una hora, permitiría analogar el resultado de la educación de los estudiantes con el obtenido por el bus de la energía, siendo esto el punto de referencia inicial del beneficio esperado.

5.4.2. Ahorro energético esperado

5.4.2.1. Número de estudiantes involucrados

Para este colegio se consideraron alumnos pertenecientes a los 15 colegios municipales de Villa Alemana. El número de alumnos por colegio se obtuvo a partir del diagnóstico energético de Villa Alemana, resultando:

Tabla 5.37: Listado de colegios y alumnos pertenecientes a la municipalidad de Villa Alemana.

Colegio	Alumnos
WINDMILL COLLEGE	473
LICEO TECNICO PROF MARY GRAHAM NEFF	742
LICEO TECNICO PROF MARY GRAHAM NEFF (Sede Porvenir)	487
ESCUELA DIEGO BARROS ARANA	280
ESCUELA BASICA DIEGO PORTALES	274
ESCUELA BASICA JUAN BAUTISTA ALBERDI	297
ESCUELA BASICA CATALUNYA	330
ESCUELA VICEALMIRANTE ARTURO WILSON N	450
LICEO A-38	465
COLEGIO ITALO COMPOSTO SCARPATTI	161
COLEGIO MANUEL MONTT	509
ESCUELA BASICA LATINA	307
ESCUELA CHARLES DARWIN	606
ESCUELA BASICA MELVIN JONES	109
ESCUELA BASICA EL PATAGUAL	38
COLEGIO NUEVO AMANECER	74
Total	5602

(Fuente: Elaboración propia.)

A partir del total de 5.602 alumnos, el programa se estructurara como un proyecto de introducción en cuanto a educación en materia energética comunal, por lo que se busca incluir en este a solo la mitad de los estudiantes en el ciclo de charlas, lo que equivale a 2.801 alumnos. A la vez, se consideraran para este proyecto grupos de 25 estudiantes por charla, lo que facilitaría el manejo de estos y la posibilidad de mayor participación respecto a grupos más numerosos.

Finalmente, considerando los 2.801 estudiantes a los que se quiere concientizar y agrupándolos en 25 alumnos por charla, el número de charlas requeridas son 112 para el total de colegios.

5.4.2.2. Número de familias involucradas

Para determinar el impacto del proyecto sobre la población, se agrupara en primer lugar a la población total de Villa Alemana en familias, las cuales según (CASEN, 2011) presentan 3,4 integrantes por familia. De esta forma si se agrupan los 138.348 habitantes en familias de 3,4 integrantes, se obtendrá un total de 40.691 familias en Villa Alemana.

Para determinar el número de familias involucradas, se trabajara sobre el supuesto de que cada estudiante pertenecerá a una familia de las descritas anteriormente, de modo que al suponer una tasa de adopción de medidas de eficiencia energética del 30 %, involucraría que este es el porcentaje de alumnos que participaría en el proyecto y por ende el número de familias participantes seria un 30 % del total de alumnos incluidos en la charla, es decir, 841 familias involucradas. Esto representa un 2,07 % de la población total en Villa Alemana.

5.4.2.3. Ahorro producto de adopción de medidas de eficiencia energética

El impacto producto de los cambios en los hábitos de consumo en el hogar se calculara como un 5 % de ahorro, esto luego de aplicar las recomendaciones de buen uso energético en el hogar (Asociación de Empresas de Eficiencia Energética, 2014).

Ya conociendo el impacto de la charla sobre las familias involucradas, se recurrirá a calcular el ahorro efectivo, teniendo en cuenta además el consumo residencial de electricidad anual en Villa Alemana. A partir del diagnóstico energético realizado en la comuna, se desprende que el consumo anual residencial de Villa Alemana asciende a 80,3 GWh, lo que al considerar un 2,07 % de participación de la población, es decir un 2,07 % de los 80,3 GWh de consumo, y un 5 % de ahorro de estas familias respecto al consumo actual, resulta en un ahorro anual de 82,98 MWh.

5.4.2.4. Ahorro de dióxido de carbono equivalente

Además del ahorro de electricidad directo, existe un ahorro en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las cuales se contabilizaran de igual forma que en el proyecto

fotovoltaico. De esta forma, se mantiene el factor de emisión de 0,36 toneladas de CO_2 equivalente por MWh, lo cual asociado a los 82,98 MWh ahorrados, genera un ahorro de emisiones de 29,87 toneladas de CO_2 equivalente al año.

5.4.3. Inversión requerida

Para el ciclo de charlas se identificaron cuatro partidas principales, las que consisten en un relator, un asistente del relator, un encargado municipal que pueda coordinar los espacios y tiempos de las charlas, y finalmente un presupuesto asociado a la promoción de la eficiencia energética.

5.4.3.1. Relator

En un principio se evaluó la alternativa de emplear un profesional con un grado de magister y un precio de 2 UF por hora, sin embargo, dado el perfil del público objetivo de las charlas, se preferirá optar por un relator que no cuente con un grado de conocimiento tan especializado, pero si con una manejo energético adecuado y con habilidades para comunicarse con los estudiantes. De esta manera, se fijó un precio de 1,5 UF por hora.

El número de horas requeridas para este profesional se calculara a partir del número de horas dedicadas a preparar el curso, estimadas a partir de una semana de trabajo equivalente a 45 horas, el número de horas de capacitación al asistente, estimado en dos días equivalentes a 18 horas de trabajo, y el número de horas dedicado a charlas, correspondiente a las 112 charlas que equivalen a 112 horas. De esta forma, el total de horas requeridas es de 175.

5.4.3.2. Asistente

Para estimar el sueldo considerado para el asistente del relator, se determinó que este recibiría la remuneración mínima que percibe un profesor de acuerdo al estatuto docente, la cual es de 0,5 UF por hora de trabajo.

El número de horas requeridas de este profesional se estima a partir de las 18 horas requeridas para su capacitación y de las 112 horas requeridas para efectuar las charlas energéticas. A partir de esto, el total de horas requeridas asciende a 130.

5.4.3.3. Encargado municipal

El puesto de encargado de la coordinación de las charlas se asignara a un empleado de la municipalidad cuyo cargo no sea perteneciente al grupo de jefaturas. Se contactó a la Dirección Ambiental Municipal (DAM) de Villa Alemana y el sueldo para un trabajador que cumpla el perfil buscado es de $2.500 (cercano a 0,1 UF) por hora. El número de horas requerida se estima sobre la base de que se dedicaran tres horas por día mientras dure el proyecto en cuestión. Teniendo en consideración una duración de 6 meses para coordinar los tiempos entre las partes interesadas del proyecto, el total de horas requeridas del encargado será de 360 horas.

5.4.3.4. Presupuesto de Promoción y traslado

Para el presupuesto de promoción se consideró una inversión en pendones que otorguen apoyo visual, el diseño de un folleto por diseñadores calificados de la agencia Redo Digital y presupuesto para imprimir y distribuir los folletos y volantes.

Por otro lado el presupuesto asignado para transporte se determinó a partir de las tarifas de servicios urbanos de la provincia del Gran Valparaíso entregadas por la SEREMITT de la región de Valparaíso. Se estimó cada viaje, considerando regreso, con un valor de $1000, donde se destinaran para efectos de presupuesto 4 viajes por colegio, considerando visitar los 15 colegios de los cuales uno presenta 2 sedes, los que equivalen a 64 viajes en total.

A continuación se muestra el presupuesto asignado a promoción y traslado:

Tabla 5.38: presupuesto asignado a promoción y traslado

Promoción y Traslado	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Compra de dos pendones	2	$ 40.000	$ 80.000
Diseño de folleto estándar	1	$ 75.000	$ 75.000
Presupuesto impresión folleto	1	$ 31.000	$ 31.000
Traslados	64	$ 1.000	$ 64.000
Total			$ 250.000

(Fuente: Elaboración propia.)

5.4.3.5. Inversión total

A continuación se presenta el desglose de la inversión total requerida considerando el valor de la UF como $26.330 y aplicando los factores de corrección de mano de obra, equivalente a 0,98, y descuento de IVA al igual que en los proyectos termosolares y fotovoltaicos:

Tabla 5.39: Inversión requerida para proyecto de charlas de eficiencia energética

Partida	Unidad	Cantidad	Costo		Corrección Social
			Unitario	Total	
Relator	Horas	175	$ 39.495	$ 6.911.625	$ 6.773.393
Asistente	Horas	130	$ 13.165	$ 1.711.450	$ 1.677.221
Encargado municipal	Horas	360	$ 2.500	$ 900.000	$ 882.000
Promoción y Transporte	Gl	1	$ 200.000	$ 250.000	$ 210.084
Total				$ 9.773.075	$ 9.542.698

(Fuente: Elaboración propia.)

5.4.4. Resultados de la evaluación económica social del proyecto

A continuación se presentan los resultados de la evaluación del proyecto con un horizonte de evaluación de 1 año y con la tasa de descuento social fijada en un 6 % al igual que en los proyectos previos.

Tabla 5.40: Indicadores económicos para proyecto de charlas de eficiencia energética

Horizonte de evaluación	1 año
Tasa de Descuento	6 %
Precio de electricidad [$/KWh]	139,14
Tasa de adopción	30 %
Inversión	$ 9.542.698
Energía anual ahorrada [MWh]	82,98
Ingreso por ahorro de energía	$ 11.546.213
Ingreso por beneficio de carbono	$ 178.406
VAN	$ 1.518.264
TIR	22,86 %

(Fuente: Elaboración propia.)

5.4.4.1. Sensibilización de la tasa de adopción

Para este proyecto será sumamente determinante como se desarrolle el programa y como los estudiantes internalicen y apliquen la información transmitida. En función de esto, se realiza una sensibilización a partir de la respuesta de los estudiantes, donde se aplican variaciones de 1 % respecto a la tasa de adopción, y así determinar a partir de qué punto el proyecto comenzará a arrojar un indicador VAN negativo.

Tabla 5.41: Sensibilización en base a la tasa de adopción

Tasa de adopción	VAN	TIR
24 %	-$ 691.298	-1,68 %
25 %	-$ 323.037	2,41 %
26 %	$ 45.223	6,50 %
27 %	$ 413.483	10,59 %
28 %	$ 781.744	14,68 %
29 %	$ 1.150.004	18,77 %
30 %	$ 1.518.264	22,86 %
31 %	$ 1.886.525	26,96 %
32 %	$ 2.254.785	31,05 %
33 %	$ 2.623.045	35,14 %
34 %	$ 2.991.306	39,23 %

(Fuente: Elaboración propia.)

A partir de lo anterior se determina que el proyecto mantendría un VAN positivo con una tasa de adopción de al menos un 26 % del alumnado, manteniendo el resto de las condiciones de evaluación constantes.

5.4.4.2. Sensibilización del ahorro por hogar

El segundo escenario determinante a la hora de evaluar la respuesta del alumnado a la educación energética, consiste en el ahorro generado en el hogar a partir de la información entregada. De esta forma, en caso de no generar el 5 % de ahorro previsto en el hogar, se determinara a partir de qué punto el indicador VAN entregara un valor negativo. A continuación se presenta la variación de los indicadores económicos en función de la variación en el ahorro producido por hogar anualmente:

Tabla 5.42: Sensibilización en base al ahorro por hogar

Ahorro por hogar	VAN	TIR
4,2 %	-$ 251.490	3,21 %
4,3 %	-$ 30.270	5,66 %
4,4 %	$ 190.949	8,12 %
4,5 %	$ 412.168	10,58 %
4,6 %	$ 633.387	13,04 %
4,7 %	$ 854.607	15,49 %
4,8 %	$ 1.075.826	17,95 %
4,9 %	$ 1.297.045	20,41 %
5,0 %	$ 1.518.264	22,86 %
5,10 %	$ 1.739.483	25,32 %
5,20 %	$ 1.960.703	27,78 %

(Fuente: Elaboración propia.)

De esta manera, manteniendo el resto de las condiciones del caso base inalteradas, el proyecto continuara entregando un VAN positivo mientras el ahorro sea de al menos un 4,4 % en los hogares.

5.5. Fuentes de financiamiento

Para poder llevar a cabo los diversos proyectos contemplados dentro de la EEL, es de vital importancia poder identificar fuentes de financiamiento que permitan cubrir parte de los recursos necesarios para materializar los proyectos. Para identificar las posibles vías de financiamiento, se recurrió a las provistas por (Ministerio de Energía, 2015b), las cuales integran un abanico de entidades a las cuales acudir con el fin de solicitar fondos para implementar proyectos dentro del marco de una EEL.

La fuente de financiamiento de los proyectos puede surgir desde recursos propios aportados por el municipio, en este caso de Villa Alemana, o fondos externos provistos por entidades nacionales o internacionales que busquen apoyar este tipo de iniciativas.

Dependiendo del programa de financiamiento, los incentivos para desarrollar los proyectos puede que cubran un porcentaje de la inversión requerida, mientras el resto de la inversión debe ser aportada con recursos del municipio, todo dependerá del tipo de proyecto, el tipo de financiamiento y los resultados luego de postular a los fondos.

A continuación se presentan las principales fuentes de inversión para los proyectos, donde solo el programa de techos solares públicos constituye una fuente excepcional para proyectos fotovoltaicos.

5.5.1. Fondo de Acceso a la Energía (FAE)

El FAE corresponde a una fuente de financiamiento entregada por el Ministerio de Energía, con el fin de contribuir con el desarrollo y acceso a la energía. El fondo es utilizado por los distintos municipios para financiar actividades de implementación de su EEL, donde el principal uso se asigna a un mejoramiento energético municipal de colegios, centros comunitarios, centros deportivos, entre otros.

Esta fuente de financiamiento es adquirida mediante concurso abierto, y contempla aportes tanto para proyectos de energización como para talleres que involucren a la comunidad, cuyo sistema permite financiar hasta el 90 % del proyecto, requiriendo que parte del aporte sea realizado por el municipio.

5.5.2. Sistema Nacional de Inversiones (SIN)

Esta entidad se encarga de normar y regir el proceso de inversión pública de Chile. Para esto se ingresa una iniciativa al Ministerio de Desarrollo Social y este entregara un Resultado de Análisis Técnico Económico (RATE). A partir de un RATE positivo, la propuesta puede ser ingresada como solicitud al Ministerio de Hacienda, para que este la ingrese a la Ley de Presupuesto para ser aprobada en el congreso.

Para los proyectos considerados como parte de la implementación de la EEL, es posible

solicitar financiamiento a la línea de proyectos del SIN, la que considera financiar los proyectos de inversión físicos, respecto a sus gastos de estudios preinversionales de pre factibilidad, factibilidad y diseño destinados a generar información que sirva para decidir y llevar a cabo la ejecución futura de proyectos.

5.5.3. Fondos nacionales de desarrollo regional

Es posible obtener un financiamiento a partir del gobierno regional (GORE) correspondiente por medio de Fondos Nacionales de Desarrollo Regional (FNDR). Estos fondos permiten aportar financiamiento a proyectos de diversa índole, siendo las unidades presentadoras de proyectos servicios públicos, seremis, municipalidades, gobernaciones, entre otras.

Para adjudicarse los fondos de los proyectos, estos deberán pasara través del SIN, ser priorizados por el Consejo Regional y ser presentados por el intendente regional para la posterior adjudicación de fondos.

5.5.4. Fondos de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)

CORFO ofrece múltiples programas de apoyo a la inversión que pueden contribuir con los proyectos contemplados dentro de la EEL. Parte de estos proyectos tienen directa relación con el sector privado y la mejora de la gestión y productividad de una empresa, por lo que la inversión en energía renovable y eficiencia energética podrían ser vías para alcanzar estos objetivos.

Los programas y concursos desarrollados por CORFO abarcan múltiples aristas, entre las cuales fomentan diversos incentivos al desarrollo energético. Ejemplo de esto, son el “concurso de Innovación en Energías Renovables”, buscando financiar actividades que generen solución a partir de ERNC, y el “Programa Tecnológico de Desarrollo de Tecnología Solar Fotovoltaica en Climas Desérticos y de Alta Radiación”, para financiar actividades que desarrollen el potencial tecnológico en las condiciones particulares de zonas

desérticas y de alta radiación. De esta manera, CORFO podría constituir una forma de financiamiento en la medida que se presenten programas que se adecúen a las características de cada proyecto.

5.5.5. Programa de Asistencia para Proyectos Comunitarios (APC)

Este programa es promovido por el gobierno japonés, mediante su embajada en Chile, en el marco de su política de cooperación económica hacia países en vía de desarrollo. El programa está dedicado a apoyar a organizaciones sin fines de lucro como municipalidades, escuelas y hospitales, en proyectos que incluyen temáticas como educación, salud y medioambiente.

La obtención de estos fondos es mediante una postulación anual y posterior evaluación de esta.

5.5.6. Programa de ayuda directa (DAP)

Este programa es promovido por la embajada de Australia presente en Santiago, el cual consiste en un sistema de fondos concursables que selecciona y apoya proyectos de desarrollo local en Chile. El objetivo es contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades locales, buscando influir en temáticas como la sostenibilidad ambiental, infraestructura para la educación, equidad de género y otras.

El modo de poder acceder a estos fondos concursables es mediante una ronda de postulación anual que abre durante el mes de junio de cada año.

5.5.7. Programa de Techos Solares Públicos (PTSP)

Esta forma de financiamiento solamente puede ser considerada para los proyectos fotovoltaicos de la comuna, donde la capacidad mínima instalada para postular al beneficio es de 10 kilowatt pico, y como máximo 100 kilowatt pico de potencia instalada (Ministerio

de Energía, 2016b).

El programa de techos solares públicos permite mediante concursos, anunciados en la web (en www.gob.cl y en www.mercadopublico.cl), identificar y seleccionar edificios públicos idóneos para la instalación de sistemas fotovoltaicos .El programa consiste en que los edificios que obtienen la adjudicación se les proveerá el sistema fotovoltaico, siendo los equipos y la instalación del sistema cancelados por el Ministerio de Energía, mientras el monitoreo y la mantención serán responsabilidad del municipio.

El proceso dura cerca de 10 meses desde el momento de la postulación hasta la instalación. El proceso requiere, además de firmar un convenio, un alto grado de compromiso para facilitar información, permitir comunicación y otorgar acceso al personal del Ministerio de Energía, lo que por otro lado significara un gran apoyo de la entidad al municipio para determinar los requerimientos y características del sistema a instalar. Una vez firmado el compromiso y diseñado el proyecto, se abre una licitación pública por parte del Ministerio de Energía para elegir la empresa a cargo de la instalación.

5.5.8. Otras posibles fuentes de financiamiento

Si bien se mencionaron siete posibles fuentes de financiamiento, estas no son las únicas y es posible encontrar otras múltiples fuentes de financiamiento en organismos multilaterales como lo son el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, Global Enviromental Fund (GEF), y financiamientos provenientes de otras embajadas como por ejemplo Prosperity Fund del Reino Unido.

6 | Conclusiones:

Los resultados de este estudio permitirán contribuir a una mejor toma de decisiones por parte de la municipalidad de Villa Alemana, enfocando energía y esfuerzos hacia los proyectos que generen mayor interés para la comuna. La presentación de los diferentes proyectos contenidos en este trabajo, contribuirá a una Estrategia Energética Local de mayor robustez, donde además de presentar ideas para la comuna, presenta índices de rendimiento económico producto de llevar a cabo estas. Sin embargo, es necesario aclarar que este estudio corresponde a un primer acercamiento, por lo que una vez seccionados los proyectos que mejor representen los intereses de la comuna, es necesario acudir a profesionales en la implementación de estos, de forma que puedan verificar en terreno los beneficios y condiciones del proyecto realizando una evaluación más detallada.

La implementación de sistemas fotovoltaicos y termosolares son, hoy en día, una alternativa que permite el abastecimiento energético de una localidad. La maduración de la tecnología actualmente permite obtener sistemas de bajo impacto ambiental y que generan beneficios para quienes la instalan. Sin embargo, aunque la tasa de adopción va en alza, aun es necesario promover el uso de estas y dar a entender que el beneficio ambiental actual no necesariamente requiere asumir una pérdida económica por quienes la adopten. La implementación de estos proyectos contribuirá a promover los medios de generación de energía renovable no convencional y por lo tanto nuevas fuentes para abastecer la matriz energética que año a año cuenta con mayor demanda.

Por otro lado, la implementación del ciclo de charlas educativas permitirá promover un buen uso de la energía y educar a la población respecto a la importancia de esta para

el país. El desarrollo de los proyectos en los colegios, además de aportar a disminuir el gasto energético de la localidad, permitirá formar a futuras generaciones que adoptaran de mejor forma las buenas prácticas energéticas, entendiendo la importancia que tiene a nivel económico y medio ambiental. Según los indicadores económicos de los diversos proyectos planteados en este estudio, es de esperar que aquellos que presenten indicadores positivos, sean seleccionados para estudiar en mayor profundidad si llevarlos a cabo, no solo por el aporte económico que pueden generar, sino que por el hecho de que los proyectos contenidos en este estudio contribuirá al desarrollo energético a nivel local y nacional, alineándose con las metas propuestas por el gobierno en lo que a la política energética respecta. Permitiendo contribuir a la descentralización de la matriz energética, educar a la población, fomentar la maduración del mercado nacional de energías renovables no convencionales y disminuir el impacto ambiental.

Observando los resultados obtenidos, es necesario destacar la diferencia que existe en general entre los proyectos de evaluación privada y evaluación social. Para estos proyectos, esto pasa principalmente debido a dos factores que influyen significativamente dentro del rendimiento del proyecto, nos referimos al ajuste sobre la inversión y principalmente a la tasa de descuento exigida. Es posible apreciar que los proyectos cuyo VAN resultante es negativo presentan una TIR de un 8 % o 9 %, de forma que al modificar la tasa de descuento privada desde un 10 % a un valor inferior a la TIR, el proyecto comienza a arrojar indicadores positivos. A partir de esto, es interesante notar que para el caso de las evaluaciones privadas, basta con el simple hecho de relajar la tasa de descuento exigida, incluso a valores mayores a la exigida para proyectos sociales, para obtener un proyecto redituable económicamente sin necesidad de incurrir en ajustes al valor de inversión, ni considerar el efecto social positivo sobre el medio ambiente y la comunidad.

Finalmente, la recomendación de este estudio es llevar a cabo la mayor cantidad de proyectos posibles aquí presentados, donde si bien la evaluación privada no resulta en todos los casos con índices positivos, los proyectos se alinean con las necesidades de energéticas y medioambientales de hoy en día, por lo que dentro del aporte social son considerados

atractivos, soportando tasas de descuento de al menos un 8 % en los proyectos menos llamativos. De esta forma, los proyectos repercutirán positivamente sobre la comuna de Villa Alemana sin necesidad de asumir una pérdida económica por impulsar estas ideas, fortaleciendo el desarrollo energético local y junto con esto la educación a la población en la importancia de la energía.

El criterio de selección de los proyectos a implementar se dejara en manos de la municipalidad, siendo tentativos los criterios cuantitativos, relacionado a proyectos que requieran menor inversión, proyectos que retornen más rápidamente la inversión (menor PAYBACK) o proyectos cuyo retorno sea más alto (mayor VAN). Además podrían agregarse criterios cualitativos como parte de algún programa y la forma de financiamiento del proyecto.

Bibliografía

ACERA (2013). *Beneficios Económicos de Energías Renovables No Convencionales en Chile*. Technical report. 5.2.6.4

AENOR (1998). Norma UNE-100-155-88-VE.pdf. 5.2.2.7

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2015). Capacidades Cloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de Unidades. 5.2.5.4

AISLA (2016). Libro Blanco del Poliuretano Proyectado e Inyectado. 5.2.2.2

Arroyo Klein, Sebastián (2015). Principales Aspectos Regulatorios de la Ley 20.571. 4.9

Arto, Iñaki; Capellán-Pérez, Iñigo; Lago, Rosa; Bueno, Gorka; y Bermejo, Roberto (2016). The energy requirements of a developed world. *Energy for Sustainable Development*, 33, 1–13. 4.1.1, 4.1.2

Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (2014). Consumos, medidas y potenciales ahorros en edificios. 5.4.2.3

BCCH (2007). La Política Monetaria del Banco Central de Chile en el Marco de Metas de Inflación. 5.2.6.3, 5.3.3.4

CASEN (2011). Mujer y Familia. 5.4.2.2

CDT (2010). *Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria*. 5.2.2.1, 5.2.2.2, 5.2.2.2, 5.2.2.2, 5.2.2.3, 5.2.2.4, 5.2.2.5, 5.2.2.6, 5.2.2.7, 5.2.2.7, 5.2.2.8

Cengel, Yunus (2007). *Transferencia de calor y masa*.

Chilquinta Energía S.A (2016a). Tarifas de suministro eléctrico. 5.2.6.2, 5.3.3.7

Chilquinta Energía S.A (2016b). Tarifas eléctricas de las generadoras residenciales. 5.3.3.6

Comisión Europea (2005). *Cómo hacer más con menos, Libro Verde sobre la eficiencia energética*. 5.4

Comisión Europea (2006). *Educación energética, Enseñar a los futuros consumidores de energía*. 5.4, 5.4.1

Comisión Nacional de Energía (2015). *SIC - SING FIJACIÓN DE PRECIOS DE NUDO OCTUBRE 2015*. Technical report. 2

Conde, Cecilia y Saldaña, Sergio (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe : Impactos , vulnerabilidad y adaptación. 23(2000), 23–30. 4.2, 4.2, 4.2

Departamento de Energía de los Estados Unidos (2013). Guide To Community Energy Strategic Planning. 4.5.1, 4.5.2, 4.5.3

Ecoenergías (2016). Diagnostico territorial y diagnostico energético Villa Alemana. 5.1, 5.3.2.1

Fontaine, Ernesto R (2008). *Evaluación social de proyectos*. 4.10, 4.10.3, 4.10.9.1

Guardiola Parera, Roger (2008). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1,1 MW*. PhD thesis. 4.8

Guillen, Amalia; Sáenz, Karla; Badii, Mohammad; y Castillo, Jorge (2009). Origen, espacio y niveles de participación ciudadana. 4(1), 179–193. 4.4

IDAE (2009). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. 5.2.5.4

IDAE (2010). *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*. 4.7, 5.2.2.3, 5.2.2.5, 5.2.6.8

Isover (2006). Curso de aislación térmica y ahorro energético. 5.2.2.4

Jordi Noguera, Sebastián (2011). Climatización de una piscina cubierta mediante la combinación de energía solar térmica , geotermia y caldera de apoyo de biomasa . 5.2.2.8

Klein, Sharon J W y Coffey, Stephanie (2016). Building a sustainable energy future, one community at a time. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 867–880. 4.5.1

Maldonado, Pedro (2014). La política energética : una asignatura pendiente a nivel país. 2, 4.1.1, 4.1.2, 4.3

Mance, Henry y Becerra, Manuel (2009). *Cambio climático : lo que está en juego*. 4.2, 4.2, 4.2

MasterD (2014). Dimensionado de una instalación de energía solar térmica. 5.2.5.4

Ministerio de Desarrollo Social (2013). Metodología General de Preparación y Evaluación Social de Proyectos. 4.10, 5.2.7.5

Ministerio de Desarrollo Social (2016). Precios Sociales Vigentes 2016. 5.2.7.1, 5.2.7.2, 5.2.7.3, 5.3.4.1

Ministerio de Energía (2009). Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley Nº 20.365. 5.2.5.4

Ministerio de Energía (2010). Sistema solar térmico forzado para viviendas unifamiliares. 5.2.2.6

Ministerio de Energía (2015a). Energía 2050: Política Energética de Chile. 2, 4.1.1, 4.1.1, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.2, 4.1.2, 4.1.2, 4.1.2, 4.1.2, 4.3, 4.5.1

Ministerio de Energía (2015b). Guía Metodológica para el Desarrollo de Estrategias Energéticas Locales. 4.5.2, 4.5.3, 5.5

Ministerio de Energía (2016a). Generación Distribuida : Avances y oportunidades. 4.9

Ministerio de Energía (2016b). Guía de evaluación inicial de edificios para la instalacíon de sistemas fotovoltaicos. 4.8, 5.3.1.2, 5.3.1.5, 5.3.2.1, 5.3.2.1, 5.3.3.3, 5.5.7

Ministerio de Energía (2016c). Guía de operacíon y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos. 5.3.3.2, 5.3.4.1

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014). Manual sistemas solares térmicos. 4.7, 5.2.4.1, 5.2.5.2

Offe, Claus (1996). : (pp. 163–239). 4.4

Oficina Catalana del Canvi Climátic (2011). Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). 5.2.5.4

Pizarro Maure, Arak (2013). *Evaluación de proyecto viviendas sustentables para el norte de Chile*. PhD thesis. 5.2.6.8

Poduje, Iván (2008). Participación ciudadana en proyectos de infraestructura y planes reguladores. 4.4

Prasad, Binod; Koliou, Elta; Friege, Jonas; Hakvoort, Rudi A; y Herder, Paulien M (2015). Energetic communities for community energy : A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 722–744. 2, 4.5.1

Román, Roberto (2012). Retscreen : Un programa para Sistemas Energéticos. (pp. 1–38). 5.2.5.1

Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y Programa de Energías Renovables y Eficiencia Engética Chile (2015). Índice de precios de Sistemas Solares Térmicos. 5.2.2.1, 5.3.3.1, 5.3.4.7

Terrapon-Pfaff, Julia; Dienst, Carmen; König, Julian; y Ortiz, Willington (2014). How effective are small-scale energy interventions in developing countries? Results from a post-evaluation on project-level. *Applied Energy*, 135, 809–814. 4.1.1

The International Energy Agency (2015). *Key World Energy Statistics 2015*. Technical report. 4.1.1

UNSW Climate Change Research Centre (2009). *The Copenhagen Diagnosis: Updating the World on the Latest Climate Science*. Technical report. 4.2