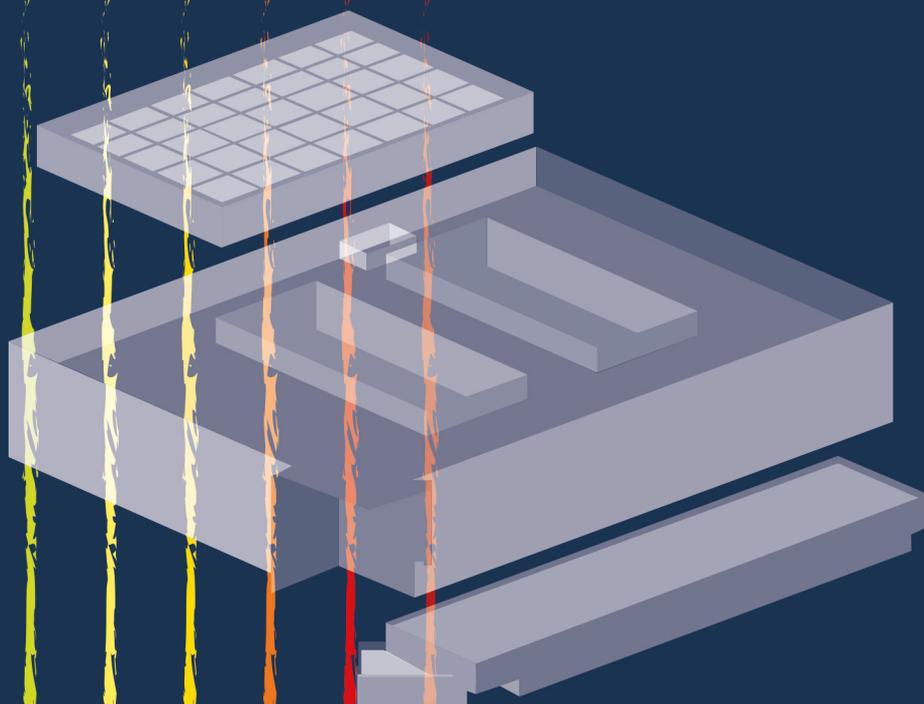


EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CENTROS DE SALUD PÚBLICA PRIMARIA PARA MORFOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS SUSTENTABLES

El caso de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) en Chile

Alberto Nope Bernal
Rodrigo García Alvarado
Ariel Bobadilla Moreno



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

**Evaluación energética de centros de
salud pública primaria para morfologías
arquitectónicas sustentables**

Evaluación energética de centros de salud pública primaria para morfologías arquitectónicas sustentables

El caso de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) en Chile

Alberto Nope Bernal
Rodrigo García Alvarado
Ariel Bobadilla Moreno



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Evaluación energética de centros de salud pública primaria para morfologías arquitectónicas sustentables. El caso de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) en Chile / Alberto Nope Bernal, Rodrigo García Alvarado, Ariel Bobadilla Moreno -- 1a edición -- Bogotá, Universidad La Gran Colombia, 2023.

280 páginas ; 16.5 * 23.5 cm

ISBN 978-958-5179-79-0

E-ISBN 978-958-5179-80-6

1. Instituciones de salud - construcciones sostenibles 2. Desarrollo urbano - Chile 3.

Abastecimiento de energía 5. Sistemas de energía fotovoltaica 6. Energía solar I. Universidad La Gran Colombia

621.312 44 SCDD 23 ed.

CAJR BUGC

Evaluación energética de centros de salud pública primaria para morfologías arquitectónicas sustentables. El caso de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) en Chile

Primera edición, 2023

ISBN IMPRESO: 978-958-5179-79-0

ISBN DIGITAL: 978-958-5179-80-6

© Alberto Nope Bernal
© Rodrigo García Alvarado
© Ariel Bobadilla Moreno

© Universidad La Gran Colombia
Editorial Universidad La Gran Colombia
Carrera 5a n.º 12 – 49, bloque H (piso 3)
Bogotá, D. C., Colombia
PBX: 327 69 99, ext.: 1048, 1049, 1050
investigaciones.editorial@ugc.edu.co

Edición:

Director de Investigaciones: Alejandro Montes Briceño
Coordinación editorial: Deixa Moreno Castro
Diseño de carátula: Danna V. Arenas Gómez

Producción e impresión:

Ediciones Carrera 7.a S.A.S.
Calle 73 n.º 53 – 37
Teléfono: 2727837
gerentecarrera7@hotmail.com
Corrección de estilo: Sebastián Díaz Escobar
Diagramación: Nathalia A. López Ramírez

Impreso en Colombia • *Printed in Colombia*

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos patrimoniales. Universidad La Gran Colombia I Vigilada Mineducación. Reconocimiento como universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución n.º 47 del 25 de septiembre de 1953.

Abreviaciones y acrónimos

ACH: Recambios de Aire (Air CHange).

BIM: Software de Modelado de Edificación (Building Information Modeling).

BIPV: Colectores Fotovoltaicos Integrados Arquitectónicamente (Building Integrated Photovoltaics).

BIPVT: Colectores Híbridos Fotovoltaicos – Térmicos (Building Integrated Photovoltaic & Thermal Hybrid Collectors).

BIPVTa: Colectores Híbridos Fotovoltaicos – Térmicos con fluido aire (Building Integrated Photovoltaic & Thermal Hybrid Collectors air type).

BIPVTw: Colectores Híbridos Fotovoltaicos – Térmicos con fluido líquido (Building Integrated Photovoltaic & Thermal Hybrid Collectors liquid type).

BIST: Colectores térmicos Integrados Arquitectónicamente (Building Integrated Solar Thermal Collectors).

CNE: Comisión Nacional de la Energía de Chile.

COP: Coeficiente de desempeño de un dispositivo que relaciona energía útil frente a energía invertida (Coefficient of performance).

DOE: Departamento de Energía de los Estados Unidos (Department of Energy).

EDP: Etapas Tempranas de Diseño (Early Design Phase).

ER: Energías Renovables.

EREC: Consejo Europeo de Energía Renovable (European Renewable Energy Council).

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

IEA: Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency).

IFC: Lenguaje de exportación de modelos tridimensionales (Industry Foundation Classes).

INE: Instituto Nacional de Estadística.

Minenergía: Ministerio de Energía de Chile.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile.

NZE: Vivienda con demanda energética próxima a cero en balance anual (Net- Zero Energy House).

OMN: Organización Meteorológica Mundial.

PV: Fotovoltaico (Photovoltaic).

TMY: Archivo climático para simulación Ambiental año Meteorológico Típico (Typical Meteorological Year).

Tabla de contenido

Abreviaciones y acrónimos.....	5
Unidades.....	21
Agradecimientos	23
Perfiles de los autores	25
Prefacio	27
Introducción	29
Capítulo 1. Antecedentes	37
Problema oportunidad	37
Preguntas de investigación	39
Hipótesis de investigación	39
Objetivos.....	40
Capítulo 2. Marco teórico y estado del arte.....	43
Procesos sostenibles en edificaciones	43
Métodos y herramientas utilizadas para el diseño de edificios de bajo consumo y alta generación en e tapas tempranas de diseño	44
Edificios de consumo energético cero o casi cero	48
La forma de los edificios y coeficientes de desempeño.....	52
Compacidad y factor de forma.....	61
Arquitectura de centros de salud pública primaria.....	68
Eficiencia energética y la edificación pública en salud en Chile	74
Normas y términos de referencia para edificaciones públicas en Chile.....	80
Energía solar alternativa en edificación pública.....	82
Eficiencia energética y rentabilidad social de centros de salud primaria en Chile	92
Conclusiones	97

Capítulo 3. Registro y caracterización de la planeación, arquitectura, eficiencia energética y generación solar de Centros de Salud Familiar (CESFAM).....	101
Proceso de planeación y diseño de centros de salud pública primaria	101
Atención primaria en Chile	103
Cuantificación y localización de los Centros de Salud Familiar (CESFAM)	105
Caracterización de planeación.....	108
Caracterización arquitectónica y constructiva	116
Caracterización bioclimática y energética.....	141
Caracterización climática - macro zonas climáticas	158
Conclusiones	162
Capítulo 4. Evaluación del desempeño energético, generación solar y costos sociales de Centros de Salud Familiar (CESFAM)	164
Análisis de la factibilidad técnica y económica.....	164
Evaluación energética mediante <i>Building Performance Simulation</i> (BPS).....	166
Modelado energético BIM/BPS	169
Simulación base y multivariada	171
Simulación PV.....	178
Simulación de costos de ciclo de vida.....	185
Conclusiones	191
Capítulo 5. Resultados evaluación del desempeño energético, generación solar y costos sociales de Centros de Salud Familiar (CESFAM)	192
Factibilidad técnica y económica	192
Consumo energético	193
Costos de ciclo de vida incorporación medidas de eficiencia energética	215
Consolidado por macrozona climática	217
Conclusiones	228

Capítulo 6. Cuadro de recomendaciones para morfologías energéticamente eficientes y socialmente rentables	229
Introducción	229
Cuadro de recomendaciones por macro zona para edificios hasta 3500 m ² / edificio energía plus.....	233
Cuadro de recomendaciones por macro zona para edificios hasta 1500 m ² / edificio energía plus	234
Uso de cuadros de recomendaciones.....	235
Conclusiones	239
Capítulo 7. Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	241
Respecto al objetivo general	242
Respecto a los objetivos específicos.....	244
Futuras líneas de investigación.....	249
Anexos.....	250
Referencias	267

Índice de figuras

Figura 1. Esquema de investigación.....	36
Figura 2. Formas básicas de edificios en diferentes climas.....	53
Figura 3. FF para distintas formas simples.....	54
Figura 4. Grados de compacidad de un edificio.....	62
Figura 5. Uso de energía eléctrica en un establecimiento con un sistema fotovoltaico.....	85
Figura 6. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red pública eléctrica.....	86
Figura 7. Instalaciones registradas en SEC.....	87
Figura 8. Número de sistemas fotovoltaicos según tipo de usuario. ..	88
Figura 9. Implementación de tecnologías solares fotovoltaicas en CESFAM de Chile.	91
Figura 10. Red Asistencial de Chile.	103
Figura 11. Cantidad de centros de salud primaria en Chile 2013.	104
Figura 12. Cantidad de centros de salud familiar (CESFAM) por región a 2013.....	105
Figura 13. 33 CESFAM licitados; 50 CECOF licitados y 41 SAR licitados durante 2015.	106
Figura 14. Esquema ciclo de proyecto y procesos de inversión.	109
Figura 15. Centros de Salud Familiar CESFAM construidos en los últimos 10 años.	117
Figura 16. Flujograma de recorrido.	125
Figura 17. Flujograma de permanencia.....	126
Figura 18. Relación funcional espacial de un CESFAM.....	126
Figura 19. Esquema de relaciones funcionales de los recintos – CESFAM.....	128
Figura 20. Caso 1. Volumetría CESFAM Algarrobo/ Valparaíso.	130

Figura 21. Caso 1. Disposición PMA y relación funcional nivel 1 y 2 CESFAM Algarrobo/Valparaíso.	130
Figura 22. Caso 1. Sección transversal CESFAM Algarrobo/Valparaíso.	130
Figura 23. Caso 2. Volumetría CESFAM Curepto.	132
Figura 24. Caso 2. CESFAM Curepto / Distribución funcional.	132
Figura 25. Caso 2. CESFAM Curepto / Sección longitudinal.	132
Figura 26. Caso 3. Volumetría CESFAM Juan Petrinovic.	134
Figura 27. Caso 3. CESFAM Juan Petrinovic / Distribución funcional primer nivel.	134
Figura 28. Caso 3 CESFAM Juan Petrinovic / Distribución funcional segundo nivel.	135
Figura 29. Caso 3. CESFAM Juan Petrinovic / Sección longitudinal.	135
Figura 30. Caso 4. Volumetría CESFAM O'higgins.	137
Figura 31. Caso 4. CESFAM O'higgins / Distribución funcional.	137
Figura 32. Caso 5. CESFAM Dalcahue.	138
Figura 33. Caso 5. CESFAM Dalcahue / Distribución funcional.	139
Figura 34. Zonificación espacial del programa médico arquitectónico PMA en casos de estudio.	140
Figura 35. Caracterización climática – macro zonas climáticas.	162
Figura 36. Esquema general, estrategia para la evaluación energética, generación solar y costos sociales de inversión para centros de salud familiar (CESFAM).	166
Figura 37. Modelado de casos de estudio en Revit, configuración de zonas térmicas y exportación a Design Builder Mediante el formato gbXML.	169
Figura 38. Secuencia de trabajo BIM BPS para análisis energético multivariado.	172
Figura 39. Esquema de conexión sistema fotovoltaico conectado a red.	179
Figura 40. Configuración de localización para asignación de datos climáticos en PV-SOL Premium.	180
Figura 41. Interfaz 3D para la adaptación de paneles solares fotovoltaicos en cubierta.	181
Figura 42. Esquema eléctrico instalación fotovoltaica.	183

Figura 43. Perfil anual de generación eléctrica mediante instalación fotovoltaica.	183
Figura 44. Adaptación de paneles fotovoltaicos sobre cubierta de casos de estudio.	184
Figura 45. Esquema metodológico para la abstracción de superficies desde Revit a ECSE (Eficiencias y Costos Sociales en Edificios).....	186
Figura 46. Volumetría en Revit para la abstracción de superficies y zonas térmicas (caso de estudio 1).	187
Figura 47. Tablas de cantidades elaboradas en Revit.	187
Figura 48. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Calama).	195
Figura 49. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Santiago).	195
Figura 50. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Valparaíso).	198
Figura 51. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Concepción).	200
Figura 52. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Temuco).	202
Figura 53. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Punta Arenas).	203
Figura 54. Caso 1. Generación solar fotovoltaica en Calama, según orientación y calidad constructiva.	207
Figura 55. Caso 2 - Generación solar fotovoltaica en Santiago, según orientación y calidad constructiva.	209
Figura 56. Caso 3 - Generación solar fotovoltaica en Valparaíso, según orientación y calidad constructiva.	210

Figura 57. Caso 4 - Generación solar fotovoltaica en Concepción, según orientación y calidad constructiva.....	212
Figura 58. Caso 5 - Generación solar fotovoltaica en Temuco, según orientación y calidad constructiva.	213
Figura 59. Caso 6 - Generación solar fotovoltaica en Punta Arenas, según orientación y calidad constructiva.	215
Figura 60. Costos de ciclo de vida - incorporación de medidas de eficiencia energética.	217
Figura 61. Variables que conforman los cuadros recomendaciones....	230
Figura 62. Ejercicio de diseño temprano con masas conceptuales.	236

Índice de tablas

Tabla 8. Área de apoyo técnico – CESFAM.	34
Tabla 1. Análisis de Factor de Forma, Factor de área envolvente piso y eficiencia geométrica relativa.	67
Tabla 2. Resultados del programa Techos Solares Públicos.	89
Tabla 3. Resultados de la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas.....	92
Tabla 4. Registro nacional de Centros de Salud Familiar CESFAM / 2016.	107
Tabla 5. Atención primaria - Centros de Salud Familiar (CESFAM).	108
Tabla 6. Costos y tiempos asociados a cada etapa del ciclo de proyecto y proceso de inversión en un CESFAM.	115
Tabla 7. Área atención clínica – CESFAM.	119
Tabla 8. Área de apoyo técnico – CESFAM.	121
Tabla 9. Área administrativa – CESFAM.....	122
Tabla 10. Área servicios generales – CESFAM.	123
Tabla 11. Circulaciones – CESFAM.	123
Tabla 12. Áreas adscritas a CESFAM.	124
Tabla 13. Caracterización arquitectónica caso 1.....	129
Tabla 14. Caracterización arquitectónica caso 2.....	131
Tabla 15. Caracterización arquitectónica caso 3.....	133
Tabla 16. Caracterización arquitectónica caso 4.....	136
Tabla 17. Caracterización arquitectónica caso 5.....	138
Tabla 18. Caracterización arquitectónica y constructiva de casos estudio.	140
Tabla 19. Valores de confort ambiental, ocupación y eficiencia energética para recintos representativos en CESFAM.	146
Tabla 20. Valores límite de transmitancia térmica y hermeticidad para escenario base, mejorado y optimizado.	146

Tabla 21. Caracterización energética - Caso 1.....	148
Tabla 22. Valores U para elementos de envolvente - Caso 1.	148
Tabla 23. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 1.....	149
Tabla 24. Caracterización energética - Caso 2.....	150
Tabla 25. Valores U para elementos de envolvente - Caso 2.	150
Tabla 26. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 2.....	150
Tabla 27. Caracterización energética - Caso 3.....	151
Tabla 28. Valores U para elementos de envolvente - Caso 3.	151
Tabla 29. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 3.....	152
Tabla 30. Caracterización energética - Caso 4.....	153
Tabla 31. Valores U para elementos de envolvente - Caso 4.	153
Tabla 32. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 4.....	153
Tabla 33. Caracterización energética - Caso 5.....	154
Tabla 34. Valores U para elementos de envolvente - Caso 5.	155
Tabla 35. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 5.....	155
Tabla 36. Consolidado estrategias pasivas.....	156
Tabla 37. Coeficientes de forma asociados a cada uno de los casos de estudio.....	157
Tabla 38. Consolidado estrategias activas.	157
Tabla 39. Caracterización climática Chile.....	160
Tabla 40. Macro zonas climáticas.	161
Tabla 41. Parámetros explotados por Revit a Design Builder mediante formato gbXML.....	168
Tabla 42. Plantillas de construcción.	170
Tabla 43. Parámetros de simulación energética para distinta solución constructiva.....	171
Tabla 44. Sintaxis - Tipo de datos permitidos por IDF.....	173
Tabla 45. Descripción de objeto ejemplo 'Site:Location'.....	174
Tabla 46. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación y ciudad.....	175
Tabla 47. Factor multiplicador.	182
Tabla 48. Cantidad de módulos fotovoltaicos adaptados sobre cubierta según localización geográfica.	184

Tabla 49. Evaluación de costos sociales de inversión caso 1 - orientación norte.....	189
Tabla 50. Herramienta ECSE (Eficiencia y Costos Sociales en Edificios), cálculo de costos de ciclo de vida.....	190
Tabla 51. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Calama).	194
Tabla 52. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Santiago).	196
Tabla 53. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Valparaiso).....	197
Tabla 54. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Concepción).	199
Tabla 55. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Temuco).....	201
Tabla 56. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Punta Arenas).....	202
Tabla 57. Coeficientes de forma, consumo energético y porcentajes de reducción según localización geográfica y mejoramiento constructivo.	204
Tabla 58. Caso 1 - Generación solar fotovoltaica en Calama, según orientación y calidad constructiva.	206
Tabla 59. Caso 2 - Generación solar fotovoltaica en Santiago, según orientación y calidad constructiva.	208
Tabla 60. Caso 3 - Generación solar fotovoltaica en Valparaíso, según orientación y calidad constructiva.	209
Tabla 61. Caso 4 - Generación solar fotovoltaica en Concepción, según orientación y calidad constructiva.	211

Tabla 62. Caso 5 - Generación solar fotovoltaica en Temuco, según orientación y calidad constructiva.	212
Tabla 63. Caso 6 - Generación solar fotovoltaica en Punta Arenas, según orientación y calidad constructiva.	214
Tabla 64. Costos de ciclo de vida - incorporación de medidas de eficiencia energética.	216
Tabla 65. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona norte (20 000 a 30 000 usuarios).	220
Tabla 66. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona norte (5000 a 19 500 usuarios).	221
Tabla 67. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona centro (20 000 a 30 000 usuarios).	222
Tabla 68. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona centro (5000 a 19 500 usuarios).	223
Tabla 69. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona sur (20 000 a 30 000 usuarios). .	224
Tabla 70. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona sur (5000 a 19 500 usuarios).	225
Tabla 71. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro Zona Austral (20 000 a 30 000 usuarios).	226
Tabla 72. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona austral (5000 a 19 500 usuarios). .	227
Tabla 73. Cuadro general de recomendaciones.	232
Tabla 74. Cuadro de recomendaciones macro zona norte / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).	233
Tabla 75. Cuadro de recomendaciones macro zona centro / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).	233

Tabla 76. Cuadro de recomendaciones macro zona sur / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).....	233
Tabla 77. Cuadro de recomendaciones macro zona austral / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).....	234
Tabla 78. Cuadro de recomendaciones macro zona norte / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).....	234
Tabla 79. Cuadro de recomendaciones macro zona centro / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).....	234
Tabla 80. Cuadro de recomendaciones macro zona sur / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).....	235
Tabla 81. Cuadro de recomendaciones macro zona austral / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).....	235
Tabla 82. Aplicación de cuadros normativos a dos esquemas básicos con distinto factor de forma para identificar consumos, generación y costo de ciclo de vida por unidad de área.	236
Tabla 83. Resultados de Factor de Forma (FF) y resultados de desempeño para macro zona norte y austral.....	237
Tabla 84. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación norte y ciudad.	250
Tabla 85. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación este y ciudad.	251
Tabla 86. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación sur y ciudad.	252
Tabla 87. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación oeste y ciudad.	254
Tabla 88. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación norte y ciudad.....	255

Tabla 89. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación este y ciudad.....	256
Tabla 90. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación sur y ciudad.....	258
Tabla 91. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación oeste y ciudad.....	259
Tabla 92. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación norte y ciudad.....	261
Tabla 93. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación este y ciudad.....	262
Tabla 94. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación sur y ciudad.....	263
Tabla 95. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación oeste y ciudad.....	265

Unidades

A: área de captadores (m^2).

GWh: unidad de energía expresada en potencia-tiempo gigavatio por hora.

Kg: unidad de medida de masa (kilogramo).

Kg/ m^2 : unidad de presión (kilogramos por metro cuadrado).

Kg/ m^3 : unidad de medida de densidad de los materiales (kilogramos por metro cúbico).

KWh: unidad de medida de energía expresada en unidades de potencia por tiempo (kilovatios por hora).

KWh/año: unidad de consumo o producción de energía en Kilovatios-hora y periodo anual.

KWh/ m^2 : unidad de demanda energética por unidad de superficie habitada (kilovatios hora por metro cuadrado).

m^2 : unidad de superficie en metros cuadrados.

m^3 : unidad de volumen (metros cúbicos).

$Wm^{-2}K^{-1}$ – (Vatios sobre metro cuadrado Kelvin) Coeficiente de Transferencia de Calor.

Agradecimientos

A la Universidad del Bío Bío, a su Departamento de Investigación y fundamentalmente a mis directores Rodrigo García y Ariel Bobadilla, por el tiempo, paciencia, guía, oportunidades y herramientas proporcionadas para lograr culminar el trabajo. Así mismo, a la doctora Maureen Trebilcock a quien le debo la oportunidad de ingresar a la Universidad, al doctor Eric Forcael y al proyecto Fondecyt Regular N°1171108 y a cada uno de sus integrantes, quienes contribuyeron con datos y criterios, actuando como interlocutores que enriquecieron esta investigación con opiniones y observaciones.

A los doctores Carlos Rubio Bellido y Alexis Pérez Fargallo, quienes estuvieron atentos a mis dudas y a mis compañeros de doctorado y trabajo.

Perfiles de los autores

Alberto Nope Bernal

Arquitecto por la Universidad La Gran Colombia, magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética y doctor en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad del Bío Bío de Chile. Cuenta con experiencia en consultorías en sostenibilidad, eficiencia energética y BIM/BPS. A nivel investigativo, ha desarrollado trabajos asociados como los siguientes: “Estrategias de arquitectura y gestión para el diseño, construcción y operación de centros de atención primaria inteligentes y eficientes en el consumo de energía en Chile”, “Evaluación del potencial solar de techumbres mediante drones + BIM”, “Método para la integración arquitectónica de energía solar en establecimientos de salud”, “Mansardas solares por optimización paramétrica y fabricación digital para viviendas cero energía”, “Estudio del comportamiento de usuarios BIM en un ambiente de trabajo colaborativo”, entre otros.

Correo electrónico: yuber.nope@ugc.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2580-8666>

CvIac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvIac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001699636

Rodrigo García Alvarado

Arquitecto por la Pontificia Universidad Católica de Chile, magíster en Informática para la Arquitectura por la Universidad Politécnica de Madrid (España) y doctor en Representación Arquitectónica por la Universidad Politécnica de Catalunya (España). Ha sido académico visitante en la Universidad de Houston y Georgia Institute of Technology (EE. UU.), Universidad de Strathclyde (Reino Unido), Universidad Técnica de Kaiserslautern y Universidad Bauhaus de Weimar (Alemania), Universidad de Guadalajara (Méxi-

co), Federal de Rio Grande do Sul (Brasil), Universidad Nacional del Litoral y Universidad Católica de Córdoba (Argentina) y Aalto University (Finlandia). Se desempeña actualmente como director del Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura y docente e investigador en Medios Digitales para Arquitectura, Simulación Energética y Vivienda en la Universidad del Bio Bio (Chile).

Correo electrónico: rgarcia@ubiobio.cl

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2216-2388>

Ariel Bobadilla Moreno

Ingeniero mecánico y doctor en Sciences de l'Ingénieur. Actualmente es director del CITEC-UBB y es miembro del Departamento de Ciencias de la Construcción de la Universidad del Bio-Bio (Chile). Ha realizado trabajos en el área de la física de la construcción durante 25 años, participando en proyectos Fondecyt, Fondef, Fontec e Innova. Tiene experiencia realizando evaluaciones de proyectos tecnológicos, productivos y sociales, para instituciones como Fosis, Mideplan, CORFO, CONICYT y diversas universidades. Igualmente, realizando labores de diseño, formulación y ejecución de proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, de infraestructura tecnológica, de inversión productiva y social, postulados a fondos e instituciones como PNUD, Mideplan, FDI, Fontec, Fondef, Mecesup, Fondart, Fondecyt, Innova Bío-Bío e Innova Chile. Ha administrado y coordinado proyectos de asistencia tecnológica a empresas, como director responsable de la Dirección de Desarrollo y Transferencia Tecnológica (DITEC) de la Universidad del Bío-Bío.

Correo electrónico: abobadil@ubiobio.cl

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2781-5325>

Prefacio

Chile ha sido una de las economías latinoamericanas de más rápido crecimiento en las últimas décadas. Al hablar de progreso socioeconómico, sale a relucir un área de las que más avanzó, inclusive en la última década del siglo XX, la salud. Esto es especialmente valioso, cuando se encuentra que, desde 1993, Chile promovió un novedoso modelo de prevención familiar, en el que desarrolló un plan de ejecución constante que ha resultado en la creación de más de 628 establecimientos denominados Centros de Salud Familiar (CESFAM), dotados con innovadoras técnicas administrativas y sanitarias para su funcionamiento. El señalamiento del asunto radica en que, aun cuando no puede negarse la importancia social de los mismos, los establecimientos sanitarios son, en general, edificaciones complejas de alto consumo operativo.

Por ello, sorprende que aun con el interés actual por construir edificaciones sustentables, Chile haya incluido en su diseño reducidas estrategias bioclimáticas, elevando el consumo de energía y los costos asociados a esto. Lo anterior, impulsó un estudio pormenorizado que incluye la caracterización operativa, arquitectónica, constructiva y bioclimática de una muestra representativa de cinco casos de CESFAM en proceso de licitación para su construcción. Ello permitió construir plantillas para diferentes escenarios, a través de simulaciones energéticas base y combinando variables como la volumetría, la orientación y la ubicación geográfica. Según las simulaciones, se advierte una escasa incidencia de la disposición solar, además de una influencia notable de las condiciones materiales, en el que se evidencia una reducción progresiva de la demanda del 60 % al 40 % y una disminución sustancial de los requerimientos energéticos, para todos los establecimientos y calidades constructivas.

El libro representa los resultados de una investigación que tuvo como objeto abordar la sustentabilidad de todo el esfuerzo de renovación, inclui-

das nuevas categorías, criterios e indicadores. A continuación, el lector encontrará una serie de cuadros de recomendaciones para etapas tempranas de diseño, en morfologías de alta eficiencia y generación energética que permiten entender la relación entre la forma de los edificios, la materialidad y la localización geográfica; orientando al arquitecto en la toma temprana de decisiones para lograr edificaciones sustentables con costos sociales de inversión aceptables.

Introducción

El desarrollo de una política de infraestructura sostenible y su implementación son fundamentales para el desarrollo de cualquier país, y así mismo, el retraso en la toma de decisiones estratégicas para su implementación constituye un costo demasiado alto para la ciudadanía y para el desarrollo mismo. Es indispensable advertir que el desarrollo de una apropiada infraestructura tiene un impacto directo en la calidad de vida y en el logro de fines mundialmente anhelados, como la integración social, el acceso equitativo y no discriminatorio a los beneficios del desarrollo y la sostenibilidad de las ciudades y comunidades. Es por ello que hacer un seguimiento de la infraestructura permite asegurar niveles de inversión que la sustenten y diseñar opciones prácticas en la retroalimentación del proceso.

Concierne al estudio exponer que la inversión en infraestructura de salud, específicamente, es responsabilidad de las autoridades sectoriales, y ello implica asegurar el acceso oportuno de la población a la atención de salud, mejorando y renovando la red asistencial. Históricamente, y por medio de la “Declaración de Alma Ata” (Organización Mundial de la Salud, 1978), se reconoce internacionalmente que la atención primaria hace parte del sistema sanitario, dada su efectividad y su posibilidad de adaptación tanto en el contexto político, como en el social, cultural y económico. Y a partir de 1993 (Montero Labbé *et al.*, 2010), Chile ha transformado los Centros de Salud en Centros de Salud Familiar con población a cargo, y les ha conferido, además de una infraestructura arquitectónicamente funcional, innovadoras técnicas administrativas y financieras para su funcionamiento. Esto ha significado la construcción de cerca de 628 centros de salud primaria en las últimas décadas, de los cuales 170 son Servicios de Atención Primaria en Urgencia (SAPU), 142 Estaciones Médico Rurales, 44 Consultorios de Salud Mental (COSAM), 20 Servicios de Alta Resolución (SAR) y 252 Centros de Salud Familiar (CESFAM) (Ministerio de Salud de Chile, 2018). Lo anterior convierte estadísticamente a estos últimos en el elemento central

de la ejecución del modelo de salud familiar, ya que resuelven el 80 % de las necesidades de atención de la población (Benavides Salazar *et al.*, 2013).

En los establecimientos de atención primaria, y en particular en los CESFAM (objeto directo de la investigación), gran parte de los recursos se destinan al diseño y la construcción de edificios (Ministerio de Desarrollo Social de Chile, 2013). Generalmente, su diseño se basa en una configuración compacta, inspirada en la tipología hospitalaria “sistémica” (Santos Guerras, 2003), considerando variables como el tamaño de la población, la condición socioeconómica, la accesibilidad, los límites geográficos naturales, políticos y administrativos, la respectiva ordenanza municipal, la vialidad, la geometría del terreno y el programa médico arquitectónico (P.M.A.) (Health, 2006).

La combinación de estas variables determina un tipo de arquitectura característico, con límites muy estrechos, con reducidas estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética incorporadas, donde prevalece notoriamente el desempeño funcional del edificio; y aun cuando dentro de los objetivos y requerimientos generales de diseño emitidos por el Ministerio de Salud para este tipo de establecimientos, se busca una armonía arquitectónica con el entorno, diseño volumétrico y espacial atractivo, con aptitud comercial, orientado al confort del usuario y a destacar la imagen corporativa de la institución, se evidencian tipologías arquitectónicas sin mucha diferencia morfológica a lo largo del territorio, faltando mayor integración con el ambiente natural en el que están insertas. Y si bien es cierto que el centro de salud es visto como un objeto programado o una máquina que busca satisfacer sus propias necesidades funcionales, espaciales y de capacidad tecnológica; también es un importante consumidor de energía debido a su necesidad de electricidad y suministro de energía térmica (International Energy Agency, 2005; Santamouris *et al.*, 1994) para calefacción, ventilación, iluminación, aire acondicionado y el uso de equipos médicos y no médicos (World Health Organization [WHO], 2010), por lo cual habría que considerársele desde varias perspectivas.

En países como Escocia, por ejemplo, el consumo de energía en centros de salud de mediana escala se acerca a los 56 KWh/m³ (Mickaityte *et al.*,

2008). En Barcelona, un estudio realizado por el servicio municipal a 978 instalaciones de salud encontró que el consumo de energía en pequeños centros de salud varía de 36,8 KWh/m² a 265,5 KWh/m², con un promedio de 95 KWh/m² (Oliver-Solà et al., 2013). Y en Australia, la evaluación del comportamiento energético actual y simulado, realizado a tres centros de salud de tamaño medio del tipo “Community Healthcare”, con una superficie de 1000 a 4000 m², varía de 167 a 306 KWh/m², debido a la intensidad de uso, solicitudes energéticas y confort de algunos recintos (Rajagopalan & Elkadi, 2014). En definitiva, el comportamiento energético de estos edificios está fuertemente influenciado por la forma en que las variables de diseño de la envolvente (aislación térmica, hermeticidad, protección solar, entre otros), arquitectónicas (orientación, emplazamiento, métrica, forma, relación superficie de envolvente/superficie construida) y factores humanos (Menezes et al., 2012; Moos & Schaefer, 1987), se ajustan a las exigencias climáticas del lugar. Desde este punto de vista, el desempeño energético orientado a la reducción de la demanda y consecuente consumo energético impone patrones de diseño propio, que no necesariamente corresponden a los patrones que dicta la funcionalidad.

El caso de los CESFAM es una situación digna de analizar, ya que, hoy por hoy, se exige que este tipo de edificios, además de responder a requerimientos funcionales, muestren un desempeño energético socialmente aceptable, es decir, deben adecuarse a demandas energéticas la política energética de Chile para el 2050. Como corolario de lo anterior, la importan corporativa de la institución, se evidencian tipologías arquitectónicas sin mucha diferencia morfológica a lo largo del territorio, faltando no es equiparable, pues los criterios constructivos aplicables para eficiencia energética de estos establecimientos son generales para todos los climas y tipologías, enfocándose en adecuaciones prestacionales de envolventes, según condiciones económicas inmediatas tal y como lo indican los Términos de Referencia Estandarizados (TDRé)¹ con parámetros de eficiencia energética

1 Los Términos de Referencia Estandarizados (TDRé) con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental de edificios públicos, son guías técnicas que la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas empezó a incorporar el año 2013 en las Bases de Licitaciones de Diseño y Construcción de Edificios Públicos. Estos documentos definen por zona y tipo de edificio las

y confort ambiental de edificios públicos, sugiriendo además morfologías compactas que se contraponen con las recomendaciones de volúmenes extendidos para integrar generación solar.

Distintos autores afirman que, para reducir el impacto humano en el calentamiento global es necesario diseñar edificios con demandas mínimas de energía e incorporación de energías renovables en lugar de combustibles fósiles. Así, en los últimos años, el diseño sustentable de edificios ha promovido el concepto de edificios cero energía o casi cero (ZEBs / nZEB). El diseño de este tipo de edificios, así como el de los centros de salud, requiere la evaluación de modelos energéticos en etapas preconceptuales y conceptuales (Uttinger & Bradley, 2009). No obstante, las herramientas energéticas empleadas en la actualidad, a pesar de ser muy sofisticadas, son solo utilizadas en etapas avanzadas, principalmente para demostrar el cumplimiento de estándares como LEED (Picco *et al.*, 2014). En ese mismo renglón, diversas investigaciones confirman que la mayoría de las herramientas de simulación energética no son compatibles con los métodos de trabajo y las necesidades de los arquitectos (Attia *et al.*, 2009). Pues, aun cuando son herramientas útiles para predecir el rendimiento de edificio, comparando opciones de diseño, la mayor parte de las simulaciones ocurren demasiado tarde (Ellis *et al.*, 2008). Y es que, durante el proceso de diseño es necesario tomar un gran número de decisiones que permitan obtener resultados aceptables respecto al costo, flexibilidad, eficiencia energética, impacto ambiental, confort ambiental, productividad y creatividad de los ocupantes. Pero es evidente que las decisiones en las etapas tempranas del diseño tienen un mayor impacto en el rendimiento del edificio que las medidas tomadas en etapas posteriores o durante la construcción y operación, lo cual hace necesarias herramientas proyectuales asociadas a cuadros de recomendaciones según la ubicación geográfica.

exigencias, los indicadores, los criterios de desempeño (valores límites) y los procedimientos de verificación de exigencias en fase de diseño y de obra antes de recepción. Considera exigencias y métodos de verificación en materia de demanda de energía para el acondicionamiento térmico e iluminación, calidad del aire, protecciones acústicas y otras. Fueron desarrollados por un consorcio conformado por el Centro de Investigación en Tecnologías de Construcción de la Universidad del Bío-Bío (CITEC UBB) y la Dirección de Extensión en Construcción de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DECON UC).

Inclusive, variables como la forma del edificio, orientación, fenestración y materiales, a menudo se deciden en etapas tempranas del diseño, mediante esquemas y croquis sin ningún soporte técnico que relacione el desempeño energético, la generación solar y el costo de ciclo de vida. Y en un proceso de diseño tradicional, el consultor de sustentabilidad y eficiencia energética realiza simulaciones sólo después de que el proyectista haya completado la arquitectura, esto trae como consecuencia edificios con elevado consumo energético y bajo confort ambiental, lo que definitivamente comprueba que las simulaciones tempranas deben ser una parte importante del proceso de diseño (Hayter *et al.*, 2000).

Es así como, aprovechando la detección del problema expuesto, el objetivo de esta investigación es desarrollar cuadros de recomendaciones para morfologías energéticamente eficientes y socialmente rentables en proyectos CESFAM, que equilibren la demanda energética y generación solar con el respeto a la funcionalidad y el confort ambiental para diferentes zonas climáticas del territorio nacional. Lo anterior, permitirá dar solución a las siguientes preguntas: i) ¿la combinación de criterios de eficiencia energética y generación solar determina volumetrías de baja demanda, alta generación y bajo costo de ciclo de vida, aproximándose al concepto “edificio cero energía”?, y ii) ¿los cuadros de recomendaciones morfológicas y constructivas que compatibilicen eficiencia energética y generación solar, respetando funcionalidad y confort ambiental, permiten promover edificios de salud energéticamente eficientes y rentables socialmente a lo largo del territorio nacional?

Tabla 8. Área de apoyo técnico – CESFAM.

Área de apoyo técnico	Superficie promedio(m²)
CESFAM de 5000 a 30 000	
usuarios	
Unidad de farmacia	
Sala espera	9 a 16
Despacho farmacia	12 a 18
Box químico farmacéutico / fraccionamiento	12
Bodega farmacia	9 a 56
Unidad de programas de alimentación	
Sala espera	9 a 16
Despacho P.N.A.C	6 a 12
Bodega P.N.A.C	9 a 30
Unidad de esterilización	
Área sucia y área limpia y estéril	24

Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

Para dar respuesta al objetivo planteado, el proyecto de investigación se estructura en tres partes (figura 1), divididas en siete capítulos, se utilizaron modelos estadísticos a nivel regional para explorar las relaciones entre los descriptores de formas agregadas y el potencial para recolectar energía solar dentro de los Centros de Salud Familiar en Chile. Se analizaron diferentes escenarios posibles de morfología y se evaluaron algunas variables con el objetivo de aumentar el potencial de energía solar de los mencionados establecimientos de salud. Finalmente, se ofrecen algunas recomendaciones para estrategias de diseño con el objetivo de alentar a los planificadores y arquitectos a implementar el potencial de energía solar en edificaciones nuevas o existentes, desde las primeras etapas de diseño.

Orgánicamente, en la primera parte: i) se revisa el catastro nacional del Ministerio de Salud, reconociendo 252 CESFAM y seleccionando, según información disponible, una muestra representativa de cinco casos en proce-

so de licitación para su construcción; ii) se realiza la conceptualización del ciclo de proyecto y proceso de inversión, mediante entrevistas a funcionarios, y revisión de la metodología de preparación, evaluación y priorización de proyectos de atención primaria del sector salud (Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile [Mideplan], 1998), para identificar costos de planeación, diseño, construcción y operación; iii) se realiza la caracterización arquitectónica, constructiva, climática, bioclimática y de eficiencia energética, mediante la revisión de planos de arquitectura, especificaciones técnicas, entrevistas a expertos, informes de eficiencia energética, Términos de Referencia Estandarizados (TDRé), con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental para el diseño y construcción de edificios públicos (CITECTUBB y Decon UC, 2004; CITECTUBB, 2015), y zonificación climática según la norma NCh1079-2008; para determinar la población atendida por año, lugar de emplazamiento, programa médico arquitectónico (P.M.A.), relación funcional, dimensiones por recinto, equipamiento, superficie construida, superficie de envolvente, volumen, coeficientes de forma, materialidad, estrategias pasivas y activas incorporadas, así como valores límite de eficiencia energética, confort ambiental y macro zonas climáticas (Norte, Centro, Sur y Austral).

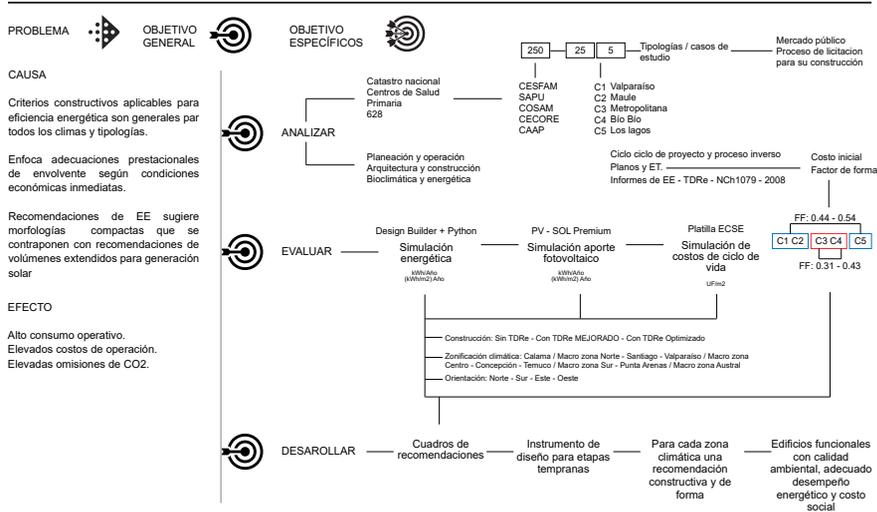
En la segunda, se construyen plantillas para escenarios sin TDRé, TDRé Mejorado y TDRé Optimizado, que provee un aumento de aislación y hermeticidad en un 30 % y 60 %, respecto al escenario base y considerando espesores comerciales de aislación en muros EIFS entre 3 cm a 16 cm variando espesor según zona climática, acogiendo lo sugerido en la herramienta ECSE, realizando simulaciones energéticas base en Design Builder y simulaciones multivariadas en Python Eppy mediante el formato IDF (*Intermediate Data Format*), combinando variables como: volumetría, orientación, ubicación geográfica, control solar, horarios de operación, cargas latentes y sensibles, rangos de temperatura, hermeticidad y calidad constructiva. Así mismo, con base en la zonificación climatológica definida en la norma NCh1079-2008, se diseñan las macro zonas Norte, Centro, Sur y Austral. Posteriormente, con PV-SOL y la planilla ECSE (Eficiencia y Costos Sociales

en Edificios) se calculan los aportes energéticos fotovoltaicos y Costo de Ciclo de Vida CCV para distintas orientaciones y calidad constructiva.

Finalmente, en la última parte, se muestra la consolidación de cuadros de recomendaciones según calidad constructiva, forma y zonificación climática, denotando consumo energético y generación solar en (kWh/m²) año, así como, Costo de Ciclo de Vida CCV en UF/m².

Figura 1. Esquema de investigación.

Formular cuadros de recomendaciones para morfologías energéticas eficientes y socialmente rentables en proyectos de Centros de Salud Familiar CESFAM, que equilibran menor demanda energética y generación solar, respetando funcionalidad y confort ambiental para diferentes zonas climáticas del territorio nacional



Fuente: elaboración propia.

Capítulo 1

Antecedentes

Problema oportunidad

La sustentabilidad en la arquitectura aborda impactos ambientales y sociales negativos de los edificios mediante la utilización de métodos de diseño, materiales, energía y espacios de desarrollo que son perjudiciales para el ecosistema o las comunidades circundantes. La filosofía es garantizar que las acciones tomadas hoy no tengan consecuencias negativas para las generaciones futuras y cumplan con los principios de sostenibilidad social, económica y ecológica; teniendo en cuenta los recursos naturales y las condiciones del sitio, incorporándolos al diseño siempre que sea posible. La arquitectura sustentable, sugiere, entonces, diseños ecológicamente responsables como herramienta base para la transición de metrópolis que han crecido de manera desorganizada, causando fuertes impactos ambientales, representados, por ejemplo, en altos consumo de energía, problemas con el tratamiento de desechos sólidos y emisiones directas de CO₂. Esto se debe, principalmente, a que por mucho tiempo se ha otorgado importancia únicamente a la funcionalidad y estética en el asentamiento de edificaciones, lo cual soslaya la utilización de materiales y prácticas respetuosos con el ambiente, que bien implementados en etapas de planeación, diseño, construcción y operación pueden ser determinantes en la elevación de la calidad de vida y, por tanto, en los índices de desarrollo social (Food and Agriculture Organization [FAO], 1995).

Específicamente, en el caso de Chile, aun cuando a partir de 1993, ha transformado sus Centros de Salud con innovadoras técnicas administrativas y financieras para su funcionamiento, en los establecimientos de atención primaria, y en particular en los CESFAM (objeto directo de la investi-

gación), la mayoría de los recursos se destinan al diseño y la construcción de edificios con un tipo de arquitectura muy general, con insuficientes estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética. La generalidad se evidencia claramente con una revisión a las tipologías arquitectónicas sin mucha diferencia a lo largo del territorio, sin importar el ambiente natural en el que se encuentren las edificaciones. Obviando que además de las expectativas funcionales y espaciales de los centros de salud, estos también tienen una gran responsabilidad social como altos consumidores de energía.

Entre los académicos y profesionales que trabajan en los campos de la planificación y el diseño arquitectónico, hay un debate en curso sobre las relaciones entre la morfología urbana y la sostenibilidad ambiental. Un foco principal de análisis ha sido investigar si la forma de los edificios y de los vecindarios se puede relacionar con su eficiencia energética, especialmente, con respecto a la intensidad energética de los edificios y el transporte. Sin embargo, para analizar el rendimiento energético general de los sistemas urbanos, es necesario evaluar tanto el consumo como la generación de recursos. En términos de sostenibilidad ambiental urbana, el potencial para generar energía renovable dentro de los límites de la ciudad es un tema de investigación de creciente interés, siendo la energía solar uno de los principales recursos disponibles.

Es así como, pese al interés general de una edificación sustentable y la importancia social de los centros de salud primaria, y en particular los CESFAM, actualmente los criterios constructivos aplicables para la eficiencia energética de estos establecimientos son generales para todos los climas y tipologías, están enfocados a adecuaciones prestacionales según condiciones económicas inmediatas, además sugieren morfologías compactas con elevados consumos energéticos que se contraponen con las recomendaciones de volúmenes extendidos para integrar generación solar; surge la oportunidad de: i) aportar una evaluación social de ciclo de vida de tipologías zonificadas de establecimientos y ii) sugerir adecuaciones constructivas y morfologías que armonicen eficiencia y generación energética a un costo socialmente aceptable.

Preguntas de investigación

¿Qué estrategia metodológica permite compatibilizar la dualidad de requerimientos funcionales, confort ambiental y desempeño energético en edificaciones?

Objetivo 1

¿Cómo se estructura la planeación e inversión de los centros de salud primaria en Chile?

¿Cuáles son las tipologías, variables arquitectónicas bioclimáticas y de eficiencia energética presentes en los centros de salud familiar CESFAM?

Objetivo 2

¿Cuál es el balance energético y rentabilidad social de un centro de salud familiar CESFAM según tipologías y zonas climáticas?

Objetivo 3

¿Cuál es el coeficiente de compacidad que equilibra y/o compatibiliza mejores prestaciones energéticas y solares según zona climática respetando funcionalidad?

¿Se pueden organizar las tendencias volumétricas más óptimas en una herramienta proyectual?

Hipótesis de investigación

El desarrollo de una metodología que combine características arquitectónicas funcionales, consumos de energía, generación solar fotovoltaica y costo de ciclo de vida, permite compatibilizar requerimientos funcionales, energéticos y ambientales al menor costo posible en edificaciones.

Las relaciones volumétricas que distinguen y diferencian las zonas climáticas y las tipologías de centros de salud primaria, con adecuaciones constructivas y pertinentes a las condiciones funcionales de los establecimientos,

permiten estimar bajos consumos con aportes solares y reducidos costos sociales.

La combinación de criterios de eficiencia energética y generación solar determinan volumetrías de bajo consumo y alta generación.

Los centros sanitarios más extensos horizontalmente tendrán un consumo más bajo en la zona norte del país, y los centros más verticales y compactos, un consumo más bajo en la zona sur.

Los cuadros normativos de morfologías que compatibilicen eficiencia energética y generación solar, respetando funcionalidad y confort ambiental, permitirán promover edificios de salud energéticamente eficientes y rentables socialmente a lo largo del territorio nacional.

Objetivos

Objetivo general

Formular cuadros de recomendaciones para morfologías energéticamente eficientes y socialmente rentables en proyectos de Centros de Salud Familiar (CESFAM), que equilibren menor consumo energético y generación solar, respetando funcionalidad y confort ambiental para diferentes zonas climáticas del territorio nacional.

Objetivos específicos

- Analizar la planeación, arquitectura, eficiencia energética, generación solar y confort ambiental de Centros de Salud Familiar (CESFAM), para reconocer tipologías representativas, funcionamiento, estrategias de diseño sustentable, rangos, valores límite e indicadores de desempeño.
- Evaluar el desempeño energético, la generación solar y los costos sociales en Centros de Salud Familiar (CESFAM), para identificar los escenarios de mayor rendimiento y rentabilidad social por zona climática.

- Desarrollar un instrumento de diseño para etapas tempranas que indique las recomendaciones de compactación y construcción por zona climática relacionando desempeño operacional, generación solar y costo de ciclo de vida en tipologías compactas y extendidas, de Centros de Salud Familiar (CESFAM).

Capítulo 2

Marco teórico y estado del arte

Procesos sostenibles en edificaciones

En la actualidad, el investigador se enfrenta, a menudo, con que hay una enorme cantidad de trabajos que afirman algún tipo de relevancia para el mapeo existente. Dada esta diversidad, es difícil identificar las áreas problemáticas y comprender las soluciones proporcionadas. El objetivo general de este capítulo es brindar al lector una visión general de los trabajos de mapeo hasta la fecha y proporcionar conocimientos para la comprensión práctica de los temas involucrados.

Como se verá, los métodos y las herramientas de simulación energética son valiosos instrumentos de análisis que permiten una aproximación al desempeño final de un proyecto de edificación. Sin embargo, actualmente estas herramientas son empleadas (por disponibilidad) en etapas avanzadas de diseño, lo cual reduce las posibilidades de proyectar edificaciones altamente sostenibles, o de promover autonomía energética mediante la reducción del consumo y la integración de renovables. Y sabiendo que la construcción de edificios tiene un papel determinante en el medio ambiente a través de: i) el consumo de tierras y materias primas, ii) la generación de residuos, iii) la necesidad de energía no renovable y, iv) la emisión de gases de efecto invernadero y otros desechos gaseosos. A medida que los problemas ambientales continúan siendo cada vez más importantes, los edificios se vuelven más eficientes energéticamente y las necesidades de energía para su funcionamiento disminuyen. Por lo tanto, la energía requerida para la construcción y, en consecuencia, para la producción de material está adquiriendo una mayor importancia.

Así pues, la contribución principal de este libro será una descripción contemporánea y completa del campo como tal. Una contribución metodológica en el intento de realizar un análisis multivariable de los elementos de marca en relación con los datos de rendimiento para el estudio.

Métodos y herramientas utilizadas para el diseño de edificios de bajo consumo y alta generación en etapas tempranas de diseño

Distintos son los documentos, métodos y herramientas utilizadas para orientar diseños sostenibles con bajo consumo de energía y alta generación solar fotovoltaica. En este apartado se revisarán investigaciones que muestran algún tipo de aproximación respecto al diseño sostenible y de su importancia, especialmente en etapas tempranas de diseño.

Según Petersen y Svendsen (2010), las primeras etapas del diseño del edificio incluyen una serie de decisiones que al final tendrán una gran influencia en el rendimiento del edificio durante el resto del proceso. De ahí, la importancia de que los diseñadores estén conscientes de las consecuencias de estas decisiones de diseño. De igual manera, Attia *et al.* (2013) indican que existe la necesidad de herramientas de apoyo a la toma de decisiones que integren la simulación de energía en el diseño temprano de edificios de energía cero en la práctica arquitectónica porque, en la actualidad, la mayoría de las herramientas existentes se centran en evaluar las alternativas de diseño después de la toma de decisiones en etapas tempranas. Por su parte, Ochoa y Capeluto (2009) afirman que los modelos informáticos existentes aún son rudimentarios, con muchas limitaciones para su uso en las primeras etapas de diseño de cualquier proyecto arquitectónico, y requieren datos exactos en una etapa en la que los diseñadores consideran ideas conceptuales de un rango de opciones en lugar de detalles y números precisos. Investigaciones como esta proponen un método simplificado que se basa en una hoja de cálculo que evalúa la demanda y consumo de energía donde se examina la capacidad de acumulación de calor del edificio respecto a pérdidas y ganancias de energía.

Para Attia *et al.* (2013), la simulación del rendimiento del edificio (BPS, del inglés *Building Performance Simulation*) es la base para la toma de decisiones informada del diseño de los edificios de energía neta (nZEB, del inglés *Net Zero Energy Buildings*); sin embargo, resultan ser muy especializadas para que un arquitecto las emplee en etapas iniciales. Así mismo, Petersen y Svendsen (2010) refieren que una demanda en rápido crecimiento para un mejor rendimiento energético en edificios está llevando a un desarrollo continuo de estrategias y tecnologías para mejorar la eficiencia energética en la construcción sin comprometer el confort, el costo, la estética y otras prestaciones considerables. Elegir una combinación adecuada de opciones de diseño es, por lo tanto, una tarea de creciente complejidad y coste. Es así como, la creación de una visión general de posibles opciones de diseño y su rendimiento es una tarea crítica para diseñadores de edificios, si se tiene en cuenta que existe un claro riesgo de falta de oportunidades de diseño que habrían llevado a un mejor desempeño o a la obtención efectos indeseables si el proceso de diseño no es correctamente informado. Tomar decisiones de diseño informadas requiere la gestión de una gran cantidad de información, detallando propiedades de las opciones de diseño y la simulación de su rendimiento.

Las herramientas de simulación energética basadas en computadora son ideales para predecir el futuro desempeño de las edificaciones. Sin embargo, Radford y Gero (1980) señalan que la información proporcionada por herramientas de simulación es a menudo evaluativa en lugar de preceptiva, argumentando que tales herramientas son ineficientes para la investigación de alternativas en las primeras etapas de diseño. Un estudio de Ellis *et al.* (2008) analizaron 20 programas de simulación energética para edificios. El estudio indicó, con algunas excepciones como Energy-10, un enfoque en el desarrollo y sofisticación de herramientas evaluativas detalladas en lugar de las herramientas prescriptivas. La razón es que la construcción de herramientas de simulación a menudo son producto de actividades de investigación. Es así que, la investigación en herramientas perceptivas con enfoques evaluativos detallados es un importante requisito previo para este desarrollo de los proyectos en etapas iniciales de diseño.

Attia *et al.* (2009) afirman que una amplia gama de herramientas de simulación de rendimiento de construcción científicamente validadas (BPS) están disponibles internacionalmente. Los usuarios de esas herramientas son principalmente investigadores, físicos y expertos que valoran la validación empírica, la verificación analítica y la calibración de la incertidumbre. Sin embargo, la literatura y las encuestas comparativas indican que la mayoría de los arquitectos que usan herramientas BPS en la práctica del diseño están mucho más preocupados por la interfaz de usabilidad e información de la interfaz y la base de conocimientos de diseño inteligente. Esos dos problemas son los principales factores para identificar un programa de simulación de edificios como “amigable para los arquitectos”.

Desafortunadamente, como ya se ha visto, las herramientas de análisis de desempeño energético tienden a centrarse en el desarrollo de análisis de diseños alternativos en etapas avanzadas, en lugar de dar consejos o recomendaciones de diseño basados en casos reales. Esto fuerza al diseñador a realizar gran cantidad de iteraciones hasta llegar a un modelo óptimo que compatibilice prestaciones energéticas, de confort ambiental y funcionales, lo cual reduce el costo de diseño del edificio. En lo que concierne, Attia *et al.* (2013) reseñan que la simulación de funcionamiento del edificio (BPS) es la base para la toma de decisiones informadas de *Net Zero Energy Buildings* (nZEBs) de diseño, y por ello, investigan el uso de las herramientas de simulación de rendimiento de edificios como un método para informar la decisión de diseño de los nZEB. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de una ayuda de decisión basada en la simulación, ZECO, en la toma de decisiones informadas empleando análisis de sensibilidad, considerando principalmente tres resultados específicos: i) conocimiento y satisfacción al utilizar la simulación para el diseño de nZEB; ii) actitudes y patrones de toma de decisiones de los usuarios; y iii) solidez del rendimiento basada en una energía análisis. El documento utiliza tres estudios de casos de diseño que comprenden un marco para probar el uso de las herramientas BPS y proporciona resultados que arrojan luz sobre la efectividad del análisis de sensibilidad como un enfoque para informar las decisiones de diseño de los nZEB.

En lo que respecta a los edificios de energía neta cero, proporcionar soporte de diseño temprano para arquitectos nunca ha sido más importante. En este contexto, Weytjens *et al.* (2011) señalan que la construcción de herramientas de simulación de rendimiento podría ser una técnica de apoyo sólida, cuando se integra temprano en el proceso de diseño arquitectónico. No obstante, a pesar de la gama de herramientas disponibles, la mayoría de ellas no cumplen con los requisitos de los arquitectos. Para identificar esta brecha, este estudio comparó herramientas de simulación de última generación como Ecotect, IES/VE - Sketch-Up, Energy10, eQuest, HEED y Design Builder; el análisis se basó en una extensa lista de criterios que definen la facilidad de uso de las herramientas desde el punto de vista de un arquitecto, mostrando en los resultados que ninguna herramienta individual es completamente adecuada para ayudar al proceso de toma de decisiones del arquitecto.

Igualmente, a pesar de todas las tecnologías solares disponibles y la oportunidad de reducir la demanda de energía, los sistemas de energía solar, en la mayoría de los casos, no se utilizan en los edificios en la actualidad, por la falta de conocimiento técnico entre los arquitectos. Según Frucht y Melamed (1984), alguno de los problemas que enfrentan los arquitectos durante el diseño de edificios que integren sistemas fotovoltaicos es la incertidumbre de estimar el rendimiento fotovoltaico.

Por otro lado, en Chile, en el Centro de Innovación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITECUBB), se desarrolló el servicio de evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios público (2015). En su informe final, se ofrecen las especificaciones técnicas de las tres metodologías desarrolladas, productos finales de la consultoría y toda la información necesaria para su uso conforme a una metodología: i) general: basada en el análisis de costo de ciclo de vida, aplicable a los casos en que se dispone de los diseños y especialidades del edificio. El objetivo de la metodología es entregar una guía para la preparación y evaluación social de proyectos de inversiones en eficiencia energética (EE) y ahorro de agua (AA) en edificios públicos; ii) simplificada: fundada en el uso y análisis de cuadros de información dedu-

cidos de la aplicación de la metodología general a distintos casos de estudio en Chile, aplicable a los casos en que no se dispone de los diseños ni las especialidades. Sirve para orientar y seleccionar inversiones en EE y AA en la fase de concepción del edificio, en función de sus potenciales beneficios económicos y ambientales, según tipo de edificio y zona climática; y iii) simplificada avanzada: apoyada en la metodología general y el uso de una herramienta informática que calcula y estima rendimientos energéticos, costos de ciclo de vida y rentabilidades sociales, aplicable a los casos en que no se dispone de los diseños y especialidades del edificio. Sirve para evaluar, orientar y seleccionar inversiones según tipo de edificio y zona climática en tiempo real, en función de sus potenciales impactos energéticos, ambientales y de su rentabilidad social.

Sin embargo, aun con sus valiosas herramientas, este instrumento de evaluación carece de un análisis a nivel de aporte solar fotovoltaica, por lo cual en el diseño deberían acogerse otras ayudas, adicionales a esta.

Edificios de consumo energético cero o casi cero

Los conceptos de edificios cero energía y casi cero energía, han ganado una amplia atención internacional durante los últimos años y ahora se consideran el objetivo del diseño de edificios, pues se ven como un medio para reducir las emisiones de carbono y la dependencia de los combustibles fósiles. No obstante, antes de implementarse por completo en los códigos de construcción nacionales y las normas internacionales, requieren una definición clara y coherente y una metodología de cálculo de energía previamente acordada. Para empezar, el concepto básico de un edificio cero energía es que la generación de energía renovable en el sitio cubre la carga energética anual, es decir, es un edificio con necesidades de energía muy reducidas a través de ganancias de eficiencia, de manera que el equilibrio de las necesidades de energía se puede suministrar con tecnologías renovables.

Así pues, el objetivo del edificio y de la arquitectura sustentable es utilizar los recursos de manera más eficiente y reducir el impacto negativo de un edificio en el medio ambiente. La energía generalmente se recolecta en

el sitio a través de tecnologías que producen energía como la energía solar y eólica. El objetivo de energía cero es cada vez más práctico a medida que disminuyen los costos de las tecnologías de energía alternativa y aumentan los costos de los combustibles fósiles tradicionales. Y como sus ventajas representativas, se puede hablar de mayor comodidad debido a temperaturas interiores más uniformes; reducción del costo total de propiedad debido a la mejora de la eficiencia energética; costo de vida mensual neto total reducido y confiabilidad; los sistemas fotovoltaicos tienen garantías de más años ante eventos climáticos problemáticos.

El desarrollo de edificios modernos de energía cero se hizo posible en gran medida a través del progreso realizado en nuevas tecnologías y técnicas de energía y construcción. Estas innovaciones también se han mejorado significativamente mediante la investigación académica, que recopila datos precisos de rendimiento energético en edificios tradicionales y experimentales y proporciona parámetros de rendimiento para modelos informáticos avanzados para predecir la eficacia de los diseños de ingeniería. Hoy en día, existe la necesidad de herramientas de apoyo a la toma de decisiones que integren la simulación de energía en el diseño temprano de edificios de energía cero o casi cero en la práctica arquitectónica, pues a pesar de la proliferación de programas de simulación en las últimas décadas, la mayoría de las herramientas existentes se centran en evaluar las alternativas de diseño después de la toma de decisiones, y pasan por alto en gran medida el tema de informar el diseño antes de la toma de decisiones.

De acuerdo con los datos de la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency, 2018), aproximadamente el 36 % de la energía mundial se consume en la construcción y operación de edificios. Este consumo está asociado a casi un 40 % de las emisiones de CO₂ a nivel global, y va en aumento debido al creciente uso de aparatos eléctricos en las viviendas, el incremento de la población mundial y el grado de urbanización cada vez más extendido. Para evitar los devastadores efectos del cambio climático, es necesario adoptar medidas que promuevan una reducción drástica de las emisiones de CO₂, y aumenten tanto la eficiencia energética como el uso de fuentes de energía renovables. Esto ha llevado a los gobiernos a lanzar

iniciativas y a aprobar una legislación específica para alcanzar este objetivo. Así, por ejemplo, en Europa, la Directiva 2010 de Eficiencia Energética en Edificios procura que todos los edificios deben ser “edificios de consumo energético casi nulo” (nZEB), antes del 31 de diciembre de 2020, siendo esta obligación aplicable al sector público desde el 31 de diciembre de 2018. Por su parte, en los países latinoamericanos y del Caribe, también se están promoviendo políticas que incentiven el uso de las energías renovables, así como el consumo racional de la energía.

En concreto, un edificio de consumo energético neto casi cero, es aquel que requiere para su funcionamiento una baja cantidad de energía, la cual ha de ser generada en su mayor parte por fuentes de energía renovable situadas en el propio edificio o en sus inmediaciones. Una de las posibles estrategias para contribuir al rendimiento energético de un edificio se basa en la integración de elementos constructivos con nuevas funcionalidades que contribuyan tanto a la generación como al ahorro energético. El concepto de Edificios Cero-Energía (ZEB: Zero-energy building) surge para impulsar el desarrollo sostenible de la edificación. Plantea la combinación de acciones de eficiencia energética y generación renovable, para reducir el consumo y suplir lo necesario con elementos en el propio edificio, anulando la alimentación externa (National Institute of Buildings Sciences, 2015).

En ese mismo renglón, la Comunidad Europea mediante la Directiva 2010/31 define los Edificios Casi-Cero Energía (nZEB: Near Zero Energy Building) como edificios de muy alto rendimiento con bajos requerimientos de energía, asumida en gran medida de fuentes renovables, calculado según energía primaria en kilovatio-hora por m² de superficie ocupada al año (Bointner, 2016). En la misma dirección, la Federación Europea de Asociaciones Profesionales de Climatización (REHVA) propuso analizar este balance energético, mediante una gráfica de valores de demanda y consumo frente a generación (Kurnitski *et al.*, 2011). Pero como en todo, existen críticas respecto de aspectos tales como precisar los sistemas de medición y alcances de este concepto; consideración respecto de los elementos externos al edificio o varios edificios del mismo propietario; necesidad de administración conjunta de edificios contiguos; sí el periodo de análisis es diario,

mensual, anual o del ciclo de vida completo, lo que produce resultados diferentes; y, por último, la observación hacia cómo se relaciona esta condición con el diseño arquitectónico del edificio. También en Reino Unido, se ha difundido el concepto de Edificios Cero-Carbón (ZCB: Zero-Carbon Building), midiendo demanda energética (kWh/ m²-y) y consumo de CO₂ (en kg/ m²-y), además costes de operación y ejecución para lograr una condición balanceada en todos estos aspectos. Otra definición son los Edificios Cero-Energía en Red (Net-ZEB), promovida por instituciones norteamericanas (Crawley, 2009), que considera reducir necesidades energéticas con alimentación renovable de redes urbanas.

Chile, por su parte, ha tenido un rol pionero en Latinoamérica desarrollando estudios y requerimientos energéticos en edificación desde la década de 1980, que llevaron a implementar una regulación térmica para viviendas y programas estatales de eficiencia energética. Recientemente se han establecido certificaciones para edificios sostenibles, pero son voluntarios y sin metas de rendimiento. El 2012 se plantea un manual de gestión de energía para edificios públicos (CITECTUBB y Decon UC, 2012) y, luego, una estrategia nacional de construcción sostenible (Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, 2013), que propone reducir un 12 % del consumo al 2020, y generar un 10 % con energías renovables. Además, se considera la implementación de Planes de Descontaminación Atmosférica por ciudades (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2014), que otorgan fondos de reacondicionamiento térmico de viviendas. La política energética nacional plantea implementar en los edificios condiciones constructivas eficientes, mejorar el confort y gestión inteligente de la energía, así como el empleo de un 70 % de energías renovables en la matriz general (Ministerio de Energía de Chile, 2016). Estas metas son más reducidas que las europeas o norteamericanas y, más prescriptivas o administrativas, porque la disminución energética severa puede aumentar el consumo por carencias de confort (efecto rebote), pero igualmente, se enfocan en la reducción energética y la integración de fuentes propias. Por ende, son convergentes con los planteamientos de edificios cero-energía, considerando que integren una demanda y consumo energético menor que el usual en edificios similares, median-

te mejoras constructivas o de equipos e incluyendo generación de energía renovable, para alcanzar un balance anual reducido.

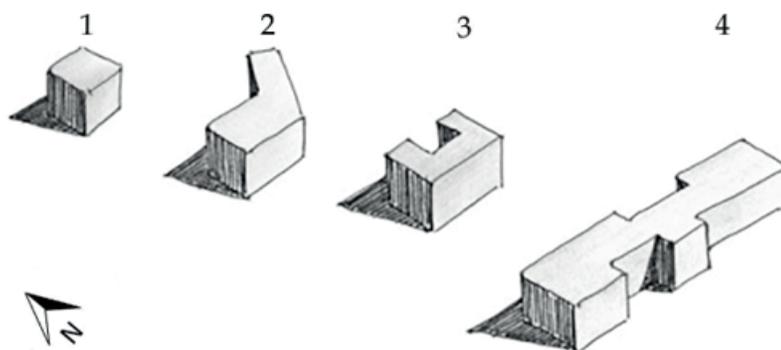
La forma de los edificios y coeficientes de desempeño

Un tema como el estado del arte de la arquitectura será siempre un espacio para el debate, el diálogo y la producción de nuevas ideas. En todo caso, la investigación en curso sugiere que cada vez hay menos énfasis en edificios tradicionales y más grandes planes, enfocados a proyectos ecológicos. En lo que concierne, no es extraño encontrar en un proyecto arquitectónico, oportunidades para comparar y poder elegir entre un rango de alturas; dado que el coeficiente de forma tiene un efecto significativo en el consumo energético, y el ahorro obtenido, está muy próximo a la reducción del coeficiente de superficies; Inclusive, el ahorro es ligeramente superior al porcentaje de reducción de dicho coeficiente.

El reconocido arquitecto suizo Le Corbusier desarrolló la interesante y amplia idea de una interrelación óptima en el volumen construido y su medio ambiente. Para esto, diseñó nuevas formas geométricas de organización espacial, las cuales por medio de una maximización de la superficie perimetral podían acoplar y encajar profundamente el espacio interior con el exterior; a partir de ello, en 1922 y 1933 presentó su concepto de “Villas” y “forma esponja”. Su idea era, desarrollar una tipología habitacional para la construcción en altura en los centros urbanos, que debía tener el mismo confort que una villa aislada y que, al mismo tiempo, aumentara la superficie externa. Por su parte, el conocido manual Neufert (2006), a partir de la norma alemana de 1984, planteó un coeficiente general entre las superficies externas y el volumen del edificio relacionado con la transmitancia térmica. Por otro lado, el destacado especialista Victor Olgyay, en uno de los primeros manuales de arquitectura bioclimática (Olgyay, 1998) publicados, definía la forma como la razón entre los lados horizontales, recomendando para las viviendas, formas alargadas con distintas proporciones según las zonas climáticas (1 Frío, 2 Templado, 3 Cálido seco, 4 Cálido húmedo) y con orientaciones preferentes (figura 2) para minimizar las pérdidas de calor en épocas frías y las ganancias en épocas calurosas, promover la pro-

tección ante los vientos y garantizar ventilación natural en los climas que lo requieran.

Figura 2. Formas básicas de edificios en diferentes climas.



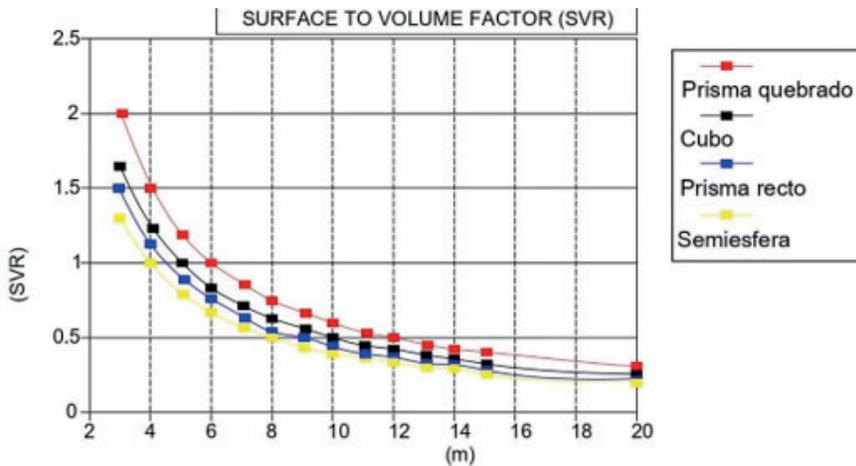
Fuente: adaptado de *Huellas de arquitectura* (2013).

El manual denominado *Vitrubio ecológico* (Sanmiguel, 2007) menciona una alta incidencia de la superficie expuesta en el consumo de energía, por lo cual propone formas alargadas en sentido este-oeste, pero sin indicar relaciones particulares. Serra y Coch (1995), prestigiosos especialistas en el ámbito hispanoamericano, proponen distintos indicadores geométricos de compacidad, porosidad, esbeltez, asentamiento, adosamiento, pesadez, perforación, transparencia, aislamiento y tersura, con diversas repercusiones lumínicas, acústicas y climáticas en los edificios. Goulding *et al.* (1994) utiliza el Factor Forma (FF) para indicar cómo debe ser la manera de agrupar los edificios para maximizar la recolección solar y minimizar las pérdidas de calor, en aquellos lugares donde la calefacción es la necesidad predominante, ellos sugieren los siguientes límites 0,6 a 1,00 para edificios aislados y 0,2 a 0,45 para viviendas agrupadas y edificios en altura. Bergmann *et al.* (1980) indican que para una vivienda unifamiliar el valor de FF debería estar entre 0,6 a 0,4 m⁻¹. Por lo tanto, el FF no indica diferencias al momento de ejemplificar cómo debe ser la forma para la conservación de la energía.

Estas condiciones definen el “factor de forma”, concepto aplicado principalmente en termodinámica, para expresar la potencialidad de radiación

de calor de un cuerpo homogéneo, según la proporción entre la superficie externa y el volumen. En edificaciones, esta relación se ha interpretado en correspondencia directa con el requerimiento energético, ya que un valor menor, concedido por menor superficie expuesta al ambiente presentaría una menor demanda (cargas de calefacción o refrigeración para una misma temperatura de confort), que formas con mayor superficie expuesta. Sin embargo, Esteves *et al.* (1997) resaltan que, si se decidiera tomar las distintas formas simples: cubo, semiesfera, prisma recto, prisma quebrado, etc., y analizarlas aumentando la dimensión característica de cada volumen, se encontraría con que todos los FF disminuyen al aumentar esta dimensión, la variación entre ellos sería muy pequeña, dando la sensación de que la diferencia entre tales volúmenes no es tan grande, ni tan seria como podría esperarse (figura3).

Figura 3. FF para distintas formas simples.



Fuente: adaptado de Esteves *et al.* (1997).

Así mismo, resalta que al ser un factor que involucra unidades diferentes, área/volumen, el resultado de estas es difícil de predecir, de hecho, al considerar formas cuyas superficies y volúmenes aumenten proporcionalmente, se dan valores constantes para el FF mostrando como una forma totalmente ineficiente el concepto de “Factor de Área Envoltante Piso” (FAEP), el

cual expresa la relación entre la superficie de la envolvente y la superficie de piso, lo cual arroja un número que corresponde a las veces que la superficie de la envolvente contiene la superficie del piso. Es decir, mientras más eficiente es la forma, menor será el FAEP y, por lo tanto, se incurrirá en menos área de envolvente para cubrir una superficie de piso determinada.

En arquitectura, los principios de sustentabilidad indican que la geometría de una edificación en combinación con otras variables incide en su desempeño térmico y que, según la condición climática, el factor de forma puede ser incluso inverso (una mayor superficie externa puede facilitar mayor ventilación natural, iluminación y/o disipación del sobrecalentamiento). Además, cada edificación en sí misma, carece de distribución continua, conformando recintos independientes y geoméricamente diversos que producen flujos internos con diferente valor de transmitancia. Por lo tanto, se requiere identificar la incidencia de la forma en tipologías constructivas emplazadas en distintas zonas climáticas.

A nivel normativo, la norma europea EN 1521710, de desempeño energético de edificaciones, menciona la relación entre superficie expuesta y volumen como un indicador, pero sin clarificar su incidencia en la demanda de las construcciones. Así mismo, la norma chilena Nch.1960 establece un procedimiento de cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas, que sugiere relaciones formales, pero no están expresadas ni analizadas según condiciones constructivas específicas. Por su parte, la Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE, para poder comparar el desempeño energético entre modelos hospitalarios compactos y extendidos, aplicó el concepto de factor de forma, configurando volúmenes constantes de 8 hasta 27 cubos de 27 m³ cada uno, pero sin considerar patios internos para iluminación y ventilación natural. Y los TDRé indican que un factor de forma bajo significa que el edificio tiene menor superficie envolvente y, por lo tanto, menos pérdida de calor. Es así como volúmenes pequeños suelen tener factor de forma mayor que los grandes edificios, especialmente si son de un solo nivel. En el caso en que no se pueda modificar el factor de forma de un edificio —debido a requerimientos funcionales—, se debe prestar más atención a la calidad de la envolvente (en climas fríos) y al control solar (ya

sea aprovechándola o controlándola). Finalmente, en un reciente sumario de consideraciones energéticas para la edificación (Pacheco *et al.*, 2012), se sugiere un factor equivalente a la proporción de lados según la orientación, que incidiría en un 36 % de la calefacción en climas fríos.

En el campo de la investigación, trabajos dirigidos por Ourghi *et al.* (2007) revisaron edificios de oficinas y advirtieron una influencia combinada de la geometría, el área vidriada y tipo de vidrio, según distintos climas, comprobando una correlación directa entre la proporción de volumen y los requerimientos energéticos. Capozzoli *et al.* (2009) lo comprobaron también en varias ciudades italianas, aunque advirtieron mayor incidencia de las ventanas. Tuhus-Dubrow y Krarti (2010) analizaron distintas formas de edificios residenciales mediante un sistema de simulación energética y optimización genética, identificando un mejor desempeño de las formas rectangulares y trapezoidales. Danielski (2011) estudió edificios residenciales colectivos de climas fríos, encontrando una reducción de 5 kW-h/m² por cada 0,1 de la proporción general, pero advirtiendo la singularidad de las áreas comunes.

Hatt (2012) revisó tres formas distintas en el clima de Concepción, Chile (cuboide planta cuadrada de un piso, cubo planta cuadrada de dos pisos y planta en U de un piso), considerando una misma materialidad sin vidrio y una superficie útil de 100 m² con un volumen de 250 m³. Los resultados demostraron que la demanda de energía es mayor en formas irregulares y menor en formas compactas con menor factor de forma. Cenci *et al.* (2013) estudiaron la influencia de las configuraciones formales y parámetros como la superficie edificada, superficie de envolvente, volumen total, compacidad, esbeltez, adosamiento y porosidad en tres museos de arte contemporáneo ubicados en distintas zonas climáticas de Brasil, demostrando que los desempeños de compatibilidad ambiental para invierno y verano sugieren la influencia de estrategias arquitectónicas en la satisfacción térmica y demanda energética. Balter *et al.* (2013) investigaron la evolución morfológica y material en edificios de altura en la ciudad de Mendoza. Los casos analizados demuestran que, frente a temperaturas exteriores equivalentes, las diferencias en tecnología y morfología edilicia (menor FF) significan importantes varia-

ciones en el comportamiento térmico interior, y, por lo tanto, en la demanda de energía.

Premrov *et al.* (2016) analizaron la influencia de la forma sobre el rendimiento energético de los edificios de madera y vidrio, en diferentes condiciones climáticas, demostrando que, para distintas configuraciones de panta (T, L y U) con vidrio aislante colocado sobre la fachada sur, la demanda anual total de energía para calefacción y refrigeración depende del aumento del factor de forma a un grado considerablemente mayor en condiciones climáticas frías con un potencial solar más bajo (en Helsinki). Por otro lado, en el análisis de las regiones con una temperatura media anual más alta (Ljubljana) el factor de forma tiene un impacto menor en la demanda de energía.

Esta variedad de definiciones y estudios expresa una influencia de condiciones formales en el comportamiento energético y ambiental, en particular, de la relación de superficie externa/volumen, superficie externa/superficie ocupada y superficie externa/superficie construida, pero con diversas singularidades, que ameritan revisarse en distintas situaciones. Además, cada tipología constructiva presenta variaciones geométricas relacionadas con estrategias de diseño, como la orientación solar, porosidad, esbeltez, asentamiento, adosamiento, pesadez, perforación, transparencia, aislamiento y tersura, entre otras, que podrían incidir de manera diferenciada. Desde otra perspectiva, es relevante reconocer que la forma general de las edificaciones puede variar dentro de diversas consideraciones funcionales, urbanas o expresivas, con distribuciones y costos similares, lo que representa una potencialidad importante de mejoramiento energético.

Por su parte, el distinto enfoque de dos estándares de arquitectura ecológica da lugar a interesantes cuestiones, aunque diferentes, en lo que se refiere a la forma del edificio, a saber: El LEED compara el proyecto de un edificio con un edificio de referencia con forma idéntica al edificio evaluado, pero sin ningún elemento constructivo específicamente ecológico, como muros bien aislados. Si bien el edificio evaluado tiene créditos por ser más eficiente que el de referencia, no recibe ninguno por tener una forma más eficiente. En este sistema, el edificio evaluado tiene la misma forma que el edificio de referen-

cia, pero incorpora toda una serie de características ecológicas: envolvente bien aislada, ventanas de alto rendimiento o sistemas de calefacción de alta eficiencia.

Tómese un ejemplo extremo: un edificio de oficinas de una sola planta y una superficie de 93 m² de un único espacio de 30 m de altura. Este edificio bien aislado podría obtener créditos con el sistema LEED de ahorro energético, e inclusive, alcanzar la puntuación máxima de la certificación (platino), con un uso energético por unidad de superficie muy elevada.

A diferencia del sistema LEED, el estándar *Passive house* se centra en el consumo energético por unidad de superficie en planta. Para *passive house*, el ejemplo anterior no obtendría una buena puntuación, ni su correspondiente certificado, debido al alto consumo energético por unidad de superficie. Sin embargo, al centrarse sobre la superficie, este sistema es vulnerable al problema opuesto. Otro ejemplo igualmente extremo, pero opuesto: un edificio de una sola planta, pero de gran superficie, como podría ser una vivienda unifamiliar de 9290 m². Si esta enorme vivienda tiene unos muros de fachada y una cubierta bien aislada, bajos niveles de filtración de aire y ventanas pequeñas, podría cumplir fácilmente los requisitos de rendimiento energético *passive house*. Sin embargo, si en la casa viviese una familia de cuatro miembros, la factura energética podría ser prohibitiva en comparación con la de una vivienda tradicional.

A partir de los ejemplos anteriores puede observarse que, tanto el sistema LEED como el estándar *passive house* muestran vulnerabilidades relacionadas con la forma y el tamaño de los edificios. Resulta extraño que un edificio alto y estrecho pueda superar los criterios del sistema LEED y aun así seguir siendo extremadamente ineficiente y que un edificio grande y bajo pueda cumplir con los de *passive house* sin dejar de ser también extremadamente ineficiente. De hecho, un edificio grande y bajo podría puntuar bien en el sistema LEED, y también resultar muy ineficiente; aunque la aplicación de este sistema para viviendas corrige el tamaño, penalizando aquellas que cuenten con grandes superficies, aunque no a las que tienen techos demasiado altos.

Es así como se concluye que, la forma del edificio puede influir en el consumo energético incluso más que el aislamiento de los muros, el coeficiente U de las ventanas u otras características térmicas. Es por ello que debería analizarse con detalle la forma del edificio en las primeras fases del proceso del proyecto, pues puede condicionar el consumo energético independientemente del aislamiento de los muros, de la eficiencia del sistema de calefacción o de cualquier otra mejora de rendimiento térmico incorporada en el edificio. Llegar a una buena respuesta depende de plantear la pregunta adecuada. En lugar de preguntar: ¿cómo elegir una forma que satisfaga necesidades y a las que más tarde se pueda incorporar elementos para que sea más ecológica?, deberíamos plantearnos: ¿cómo satisfacer necesidades con una forma intrínsecamente ecológica?

Si se observa detenidamente a los diversos sistemas de certificación de arquitectura ecológica, se puede encontrar incluso la tendencia opuesta. En un intento por afirmar que “se puede ser ecológicos sin dejar de ser únicos”, las formas de los edificios con certificación ecológica a menudo son complejas, o esbeltas o delgadas, con elevados coeficientes de superficies. Mediante componentes de alta eficiencia —como muros con alta resistencia térmica o ventanas con bajo coeficiente U—, estos edificios pueden asegurar que no son ejemplo de un “lavado de cara ecológico” sin una base real; sin embargo, a menudo sus formas son intrínsecamente ineficientes. Esta vía conduce a otro riesgo diferente al “lavado de cara ecológico”, que se podría definir como exageradamente ecológicos. Es decir, con los certificados ecológicos pertinentes, pero ineficientes debido a sus formas excesivamente complejas.

Respecto a la edificación pública, Cenci *et al.* (2013) indican que, en edificaciones culturales como los museos, la notoria alteración en la forma arquitectónica es consecuente con la voluntad de los diseñadores de que los espacios de las circulaciones y las salas de exposición se integren en un continuum fluido. Es sabido que las características arquitectónicas y constructivas de los edificios tienen una influencia determinante en las condiciones de confort interior. Un edificio que no ha sido diseñado de acuerdo con el clima

local donde está inserto, no puede ser considerado eficiente y, al contrario, puede reducir sustancialmente la demanda energética.

El clima es el agente exterior de primer orden al momento de iniciar el proceso de diseño arquitectónico porque tiene una fuerte influencia en factores como la forma del volumen, el color, la orientación y organización de los espacios, el confort del usuario, la conservación de los objetos, la iluminación interior, la integración con el medio natural y urbano, los materiales y sistemas constructivos y la localización. La construcción dependerá, en gran medida, de la rigurosidad del clima y sus exigencias. Y considerando la capacidad que tiene el edificio de captar radiación solar en el invierno o exponer menor superficie en el verano, factores que determinan el grado de confort de sus usuarios y, consecuentemente, el gasto de energía, un modo de evaluar la geometría del edificio, para ser eficiente desde el punto de vista energético y coherente con el clima donde está insertado, es el “Factor de Forma” (FF).

Al final, la forma de un edificio y el diseño de la envolvente son los factores que principalmente inciden en la pérdida de calor de los recintos. Este fenómeno se agudiza en condiciones climáticas extremas, lo cual obliga que, junto con la uniformidad, menor superficie expuesta y una adecuada solución constructiva de los paramentos verticales y horizontales, la demanda y consumo energético se reduzca al mismo tiempo que los costos de funcionamiento a lo largo de toda su vida útil. Por lo tanto, las decisiones proyectuales entorno a la forma, son de gran impacto respecto al comportamiento energético del edificio y a su calidad ambiental (iluminación, temperatura, acústica, etc.).

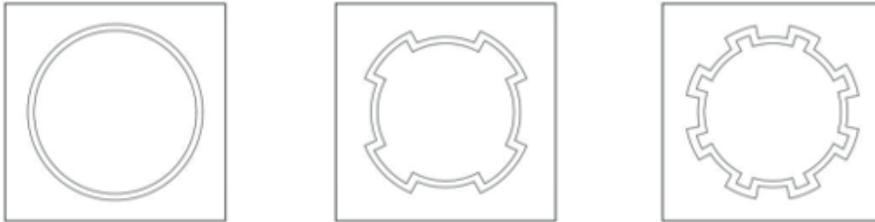
En lo que respecta a las etapas iniciales de diseño y su relación con el “Factor de Forma”, Jin y Jeong (2014) analizan el proceso de optimización para una forma de construcción de forma libre en términos de la característica de carga térmica en la etapa temprana del diseño, demostrando en los resultados que el proceso basado en simulación dinámica mediante Grasshopper propuesto podría predecir y optimizar rápidamente la variación de las características de ganancia y pérdida de calor causadas por el cambio de la

forma del edificio. Así mismo, Petersen y Svendsen (2010) presentan un método para tomar decisiones informadas en las primeras etapas del diseño del edificio para cumplir con los requisitos de rendimiento con respecto al consumo de energía y el ambiente interior; este método utiliza un programa de simulación simple para hacer predicciones de rendimiento de las variaciones de parámetros incluida el coeficiente de forma definidas por el usuario, presentando resultados gráficos de una manera que permite a los diseñadores tomar decisiones informadas en etapas iniciales. En la misma línea, Ourghi *et al.* (2007) desarrollaron un método de análisis simplificado en distintas formas de edificio, conservando el mismo volumen de aire para predecir el impacto de la forma de un edificio de oficinas en su enfriamiento anual y el uso total de energía. Los investigadores resaltan que existe una fuerte correlación entre la forma proyectada y el porcentaje de acristalamiento. Otros como Yi y Malkawi (2009), indican que los análisis de optimización energética que utilizan formas simples para la forma del edificio, como una caja, una forma poligonal o una curvatura simple, restringen su aplicabilidad e integración en el proceso de diseño, además de implicar el manejo de herramientas informáticas complejas.

Por último, es necesario considerar que, diversas investigaciones mencionan la influencia de la forma y otras variables como el porcentaje de vidriado y calidad constructivas en el desempeño energético final, sin embargo, el “Factor de Forma” (FF), no es un aspecto que se mencione como un atributo a considerar en etapas tempranas de diseño para equilibrar el desempeño energético y la generación solar.

Compacidad y factor de forma

La compacidad es entendida como la relación entre la superficie que rodea al edificio y su volumen, o sea, que se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen. La figura 4 muestra los grados de compacidad de un edificio según Serra y Coch (1995).

Figura 4. Grados de compacidad de un edificio.

Fuente: adaptado de Serra y Coch (1995).

Depecker *et al.* (2001) revisaron catorce variaciones formales de un mismo edificio en distintas ciudades europeas y encontraron una relación de la compacidad con una menor demanda energética en los climas fríos, pero no así en los climas templados, por lo que concluyeron no recomendar consideraciones generales. Albaciti y Passerini (2010) lo comprobaron luego en edificaciones y regiones similares, encontrando una incidencia consistente pero más basada en la superficie asoleada. También el trabajo dirigido por Parasonis *et al.* (2012) analizó edificios residenciales multifamiliares en Lituania y encontró una incidencia hasta la mitad de la demanda energética por la compacidad del volumen, esto sugiere un indicador general de área construida/superficie externa, con respecto a un edificio de referencia (lo que denominó “eficiencia geométrica relativa”). De igual manera, el estudio encabezado por Choi *et al.* (2012) revisó varios edificios residenciales multifamiliares en Corea, donde encontraron un mayor consumo energético en las construcciones más altas que las bajas. García y González (2014) analizaron las condiciones de forma en viviendas unifamiliares con volumetrías independientes ubicadas en el centro sur de Chile, considerando una misma superficie y características constructivas, ellos identificaron una influencia relevante de la variación, contigüidad y altura en la demanda energética, con una escasa incidencia de la orientación solar.

En este estado, conviene también, añadir que:

- La “repercusión lumínica” que puede producir el hecho de que la forma del edificio sea más o menos compacta, es que existan menores posibilidades de iluminación en las zonas centrales de edificios compactos.

- La “repercusión acústica” de este aspecto en el comportamiento del edificio es la mejora posible del aislamiento respecto al ruido exterior, ya que la mayor compacidad implica una superficie de contacto con el exterior más pequeña, esto supone una menor recepción de ruidos exteriores. Respecto a los ruidos internos del edificio, este aspecto no supone variación importante en su funcionamiento.
- La “repercusión climática” es más importante. A mayor compacidad menor es el contacto con las condiciones exteriores. Por un lado, ello significa menores posibilidades de captación de radiación y por otro, menos posibilidades de pérdida de energía. En los edificios más compactos hay también, pocas posibilidades de ventilación y aparecen espacios centrales alejados del perímetro, con los inconvenientes y ventajas que eso supone. Son edificios adecuados en zonas de clima extremos (muy cálidas, frías o ventosas), ya que el contacto con las condiciones exteriores es mínimo.

Ahora, para establecer el nivel del coeficiente de compacidad de un edificio (c), se establece la relación entre la “superficie equivalente” (SEQ) o volumen con la “superficie global” (SG) o de envolvente del edificio, entendiendo como tal toda la piel que la rodea (tanto la superficie libre, como la que está en contacto con los edificios vecinos o con el terreno). Sin embargo, al calcular la superficie de envolvente del edificio, no considera la de los patios interiores ni tampoco la de los pliegues de la fachada, ya que entiende como patio el caso en que la superficie de contacto exterior es inferior a un $1/6$ de la superficie total de las caras del patio. Igualmente, se considera como pliegue cualquier saliente o entrante de la fachada del edificio, siempre y cuando el punto más lejano esté a menos de un metro de la superficie soporte de la fachada. Este coeficiente de compacidad da una referencia de la forma geométrica del edificio, ya que las formas iguales tienen el mismo grado de compacidad, aunque su volumen sea diferente.

En cambio, el coeficiente de compacidad es adimensional y está definido de forma que, a la máxima compacidad, que es la de la esfera, le corresponde un coeficiente también máximo (igual a 1). En este caso, edificios con

la misma forma tendrán idéntico coeficiente de compacidad, aunque su volumen sea distinto. Y así, un edificio con mayor o menor grado de compacidad tiene repercusiones lumínicas, ya que puede reducir las posibilidades de iluminación en zonas centrales de edificios compactos, a diferencia de edificios extendidos en donde la iluminación penetra con mayor facilidad.

A nivel acústico, formas con mayor compacidad suponen mejor desempeño, ya que, a menor contacto de la superficie de envolvente con el exterior, existe menor recepción del ruido exterior. Asimismo, el comportamiento climático se ve beneficiado por un mayor nivel de compacidad reduciendo las pérdidas de energía; no obstante, el que su compacidad sea mayor reduce las posibilidades de captar radiación, así como las posibilidades de garantizar ventilación. Esta condición favorece a edificios ubicados en zonas climáticas muy extremas.

En arquitectura y eficiencia energética, la forma se estudia a través de la evaluación del Factor Forma (FF) con el objetivo de conservar la mayor cantidad de energía. Este concepto se entiende como la resultante de la superficie que constituye la envolvente (área de muros + área de ventanas + área de techos) dividido en el volumen que encierra dicha superficie. Este concepto sirve para indicar cuál debe ser la relación de superficies y así mantener una adecuada conservación de energía. Desde este punto de vista, el diseño de un edificio debe considerar, entre otras cosas, la relación de la forma con su desempeño energético y ambiental, ya que esta condición es fundamental para concebir una arquitectura más sustentable, formulando estrategias que permitan a la volumetría de las edificaciones aumentar o reducir la absorción solar, propiciando pérdidas térmicas, ganancias solares o ventilación natural según necesidades y condición climática. Este principio de diseño busca fundamentalmente, un mayor aprovechamiento de la iluminación y ventilación natural, al mismo tiempo que reduce la demanda energética, relacionando las proporciones dimensionales que dan forma a la volumetría, pero sin acordar consideraciones específicas.

En la búsqueda de la reducción del consumo de energía, también interviene una segunda característica geométrica de los edificios: la superficie

de la envolvente, aquella que limita con el exterior del edificio. El calor de un edificio se disipa en invierno, de forma proporcional a esta superficie, mientras que, en verano, la superficie tiene un fuerte impacto en las necesidades de refrigeración. Debido a que el consumo energético de la mayoría de los edificios está muy condicionado por las necesidades de calefacción y refrigeración, la superficie de envolvente se convierte en un factor crítico para la eficiencia energética del edificio.

De forma similar, reducir la superficie de envolvente de un edificio reduce significativamente el consumo de material y los costes de construcción, pues los muros exteriores y la cubierta de un edificio son elementos muy exigentes en términos de materiales. Para mayor ilustración, el impacto de la superficie de la envolvente sobre el consumo de energía puede verse en la ecuación de transferencia de calor que rige las pérdidas térmicas de un edificio.

$$\text{Pérdida de calor} = \left(\frac{S}{R}\right) * (T \text{ interior} - T \text{ exterior})$$

Donde:

S es la superficie de envolvente exterior del edificio;

R es la resistencia térmica (factor R), y;

T interior y T exterior son las temperaturas del aire en el interior y el exterior del edificio, respectivamente.

Históricamente, el proyecto y la arquitectura ecológica se han centrado en aumentar el aislamiento térmico (factor R) de los elementos de la envolvente para reducir las pérdidas de calor. Ahora bien, este enfoque tiene sentido y funciona, pero es posible que la superficie de la envolvente (S) no haya recibido la atención que merece, a pesar de tener fundamental importancia. De hecho, a diferencia de aumentar el aislamiento (que también incrementa el consumo de material y los costes de construcción), reducir la superficie de la envolvente no solo reduce las pérdidas de calor, sino que también disminuye el consumo de material y los costes de construcción.

Serra y Coch (1995), por ejemplo, describen, dentro de las características generales del proyecto, la influencia de la forma general del edificio indicando que, “el conjunto de las características geométricas y volumétricas que pueden tener y que lo definen. Se refiere por ello, tanto al tratamiento de sus volúmenes, como a sus proporciones y al aspecto exterior de estos volúmenes” (pp. 36-37). Con el factor de forma $f = SG / VT$ (una superficie dividida por un volumen) y el resultado que da es dimensional, expresado en m^{-1} . Debido a ello, un edificio más compacto que otro, si tiene un volumen más grande, puede resultar con un factor de forma más pequeño, lo cual es conceptualmente ilógico. Igualmente, dos edificios de forma idéntica, pero de tamaños distintos tendrán factores de forma distintos.

A continuación, en la tabla 1, se muestra el análisis de Factor de Forma (FF), Factor de área envolvente piso (FAEP) y eficiencia geométrica relativa para una volumetría de 10 m de largo x 10 m de ancho y de 3 a 6 m de alto, considerando una porosidad (porcentaje y vacío presente en una masa arquitectónica) del 9, 4 y 1 %.

Tanto el factor forma como el factor de área envolvente piso y la eficiencia energética relativa muestran una relación directa entre el porcentaje de porosidad de un volumen y la superficie expuesta, lo que significa, en teoría, mayores pérdidas de energía. Sin embargo, el grado de porosidad también implica mayores ganancias solares, lo cual reduce la demanda por calefacción e iluminación, además de garantizar mayor ventilación natural. Lo que permite establecer que el factor forma no es un valor que se pueda medir de forma independiente.

Tabla 1. Análisis de Factor de Forma, Factor de área envolvente piso y eficiencia geométrica relativa.

		Factor Forma FF	Factor de Área Envolvente Piso (FAEP)	Eficiencia geométrica relativa	
	Volumen de un solo nivel	Superficie de la envolvente/Volumen	Superficie de la envolvente/ Superficie de piso ocupado	Volumen de dos niveles	Área construida/superficie externa
A		FF: 0.73 % Porosidad respecto al volumen: 0	FAEP: 2.20 % Porosidad respecto a la superficie de piso: 0 %		ACSE: 0.90 % Porosidad respecto a la superficie construida: 0 %
A1		FF: 0.90 % Porosidad respecto al volumen: 9	FAEP: 2.38 % Porosidad respecto a la superficie de piso: 9 %		ACSE: 0.76 % Porosidad respecto a la superficie construida: 5 %
B1		FF: 0.38 % Porosidad respecto al volumen: 4 % Más eficiente	FAEP: 1.08 % Porosidad respecto a la superficie de piso: 4 % Más eficiente		Más eficiente ACSE: 1.77 % Porosidad respecto a la superficie construida: 2 %
C1		FF: 0.74 % Porosidad respecto al volumen: 1 %	FAEP: 2.21 % Porosidad respecto a la superficie de piso: 1 %		ACSE: 0.89 % Porosidad respecto a la superficie construida: 1 %

Fuente: elaboración propia.

En teoría, un volumen con menor superficie expuesta tiene menos pérdidas de energía, lo que significa volúmenes compactos, sin embargo, recomendaciones de eficiencia energética y confort ambiental sugieren estrategias geométricas que garanticen ganancias solares, iluminación y ventilación natural. Desde este punto de vista un factor de forma que involucre conceptos como el de la porosidad resulta más eficiente, ya que, si bien aumenta la superficie expuesta, aumenta en igual medida las ganancias solares para iluminación y calefacción pasiva, al igual que la ventilación natural.

Arquitectura de centros de salud pública primaria

Antes que nada, es importante señalar que el Centro de Salud es considerado como una Unidad del Sistema Nacional de Servicios de Salud, cuya misión específica es prestar servicios dentro de la atención primaria de salud a la población libremente inscrita, con el propósito de contribuir a resolver los problemas de salud del grupo familiar y elevar la calidad de vida de la población de cada centro (Ministerio de Salud de Chile, 2007).

Purves (2002) hace una breve reseña de la arquitectura en centros de salud, exhibiendo algunos ejemplos internacionales de atención primaria y de edificios comunitarios especialmente en Europa y Japón. Para el estudio, parece importante extraer que el poder de la arquitectura para influir en el bienestar de una persona ha sido reconocido durante siglos. En el diseño egipcio, por ejemplo, los templos eran reconocidos como contribuyentes a la espiritualidad de un lugar y, en las civilizaciones griega y romana se atribuían también, innumerables efectos beneficiosos a los edificios bien diseñados, por ser lugares sanos para vivir. Y por ahora, es importante reconocer que actualmente, la capacidad de la arquitectura para contribuir a una sensación de bienestar no solo se conoce filosóficamente sino también técnicamente a través del desarrollo de estándares ambientales para edificios responsables. El punto de partida es la obtención de un edificio bien diseñado, que contribuya a la buena salud de los habitantes de determinado territorio, pero, sobre todo, con un carácter ético, si se quiere lograr realmente el éxito de una edificación.

En este aparte se examinarán algunos de los requisitos mínimos que debe cumplir un proyecto para ser adjudicado y ejecutado como centro de salud pública primaria. Por ejemplo, refieren que los solares destinados a la construcción de centros de salud en Andalucía (España), deben contar con abastecimiento de agua, electricidad, gas, saneamiento, y telefonía, a pie de parcela con características y secciones suficientes para satisfacer la demanda del centro. El acceso a ellos debe estar resuelto mediante vías o carreteras y, han de ser aptos para su edificación y destino, tanto urbanística, como geotécnica y topográficamente. En todo caso, se evitará la selección de solares próximos a fábricas, vertederos, autopistas, líneas férreas o cualquier otro que puedan significar algún tipo de barrera para la función asistencial y pública a la que estaría destinado.

Frente a lo que concierne a Chile, en la *Guía de diseño de recintos hospitalarios comunitarios* (Ministerio de Salud, 2013) aplicable a los centros de salud familiar (CESFAM), se establecen los principios y pautas generales de diseño para estos últimos. En ella se introducen criterios de normas nacionales e internacionales, buscando principalmente (y específicamente para la investigación) suplir requerimientos tales como: i) la provisión de una solución arquitectónica que refleje un estándar de calidad y confort superior acorde con el uso hospitalario del edificio, con materialidad y diseño aptos para una vida útil prolongada y con bajo nivel de mantenimiento, que propicie el ahorro, conservación y uso eficiente de la energía; ii) la garantía de una armonía arquitectónica con el entorno, diseño volumétrico y espacial atractivo; y iii) la provisión de un alto grado de iluminación natural para los recintos habitables. Así mismo, el diseño de estos establecimientos deberá incorporar las variables de arquitectura sustentable con el objetivo de lograr un desempeño energético eficiente y un adecuado comportamiento ambiental, de modo que el ciclo de vida de la obra se realice con el menor consumo de energía e impacto para el medio ambiente.

Además de obtener un edificio de calidad y confort del ambiente construido, que contribuya a un mejor cuidado de la salud, aumento de la productividad y satisfacción de los ocupantes del establecimiento. Que los usuarios realicen sus actividades en un ambiente interior en condiciones adecuadas

de confort, funcionalidad, flexibilidad, durabilidad y aislamiento de los elementos agresivos del exterior, pero también que permita el aprovechamiento de los aspectos positivos del medio ambiente, como luz natural, calor o vistas al paisaje del entorno, entre otros.

Según la literatura, los centros de atención primaria pueden estructurarse diferenciando las áreas, subáreas y dependencias que se especifican en el programa funcional, dando respuesta un determinado número de usuarios. En los CESFAM, el programa de arquitectura médica involucra áreas de atención clínica (los espacios para el cuidado del paciente están compuestos por cubículos para asistencia médica especializada y atención abierta), soporte técnico (que corresponde a las unidades que brindan servicios de apoyo de salud al CESFAM, tales como la farmacia o la esterilización) administración (que incluyen unidades administrativas, como oficinas de gestión, secretarías de gestión, oficina del subgerente administrativo, almacén administrativo, cafetería, entre otros), servicios generales (que corresponden a todas las instalaciones y áreas interiores y exteriores que brindan servicios, como instalaciones de mantenimiento, almacenamiento general o instalaciones de seguridad), entre otros. Estas instalaciones son espacios públicos y privados que deben cumplir con requisitos normativos en cuanto a superficie útil de suelo, acabados, instalaciones y equipos, y especialmente, para el estudio, deben cumplir con características arquitectónicas y constructivas dependiendo el caso.

Para las pautas de diseño de arquitectura específica, los requerimientos de diseño desde el punto de vista de las necesidades programáticas y funcionales, consideradas en un proyecto en etapas tempranas, contienen por lo menos:

- I. Una imagen arquitectónica que posea estructuras que favorezcan la flexibilidad interior, complementada con muros (exteriores o perimetrales) que otorguen la resistencia al sismo e indeformabilidad. Con todo, se espera que la morfología de las edificaciones sea consecuente con el entorno amigable al medio ambiente y que se prefieran materia-

les con continuidad productiva en el tiempo, resistente a la acción del clima, con costos bajos a moderados de manutención.

- II. Criterios de flexibilidad, dado que los centros de salud son establecimientos propensos a procesos de crecimientos y cambios en su infraestructura, por cambios en la demanda (puesto que los centros de salud tienden a quedarse pequeños con el paso del tiempo) o en los procesos clínicos. Lo anterior, deberá ser considerado en el diseño de la infraestructura, a través de: mayor superficie construida, por ejemplo con áreas de reserva, que posibiliten un crecimiento horizontal; mayor producción, conforme se requiera por cambios de procesos, equipos, tecnologías, fuentes de energía, tipos de energía, etc.; cambios de destino, para lo cual se deberá diseñar y construir con criterios y materiales de máxima versatilidad, que permitan la máxima optimización de los espacios; crecimiento orgánico, estético y funcional, que procure el nivel de calidad en la materialidad, con respecto al original. En conclusión, los proyectos deben prever una estructura de distribución de instalaciones diferente al previsto originalmente.
- III. Conceptos de arquitectura sustentable, con el objetivo de lograr tanto un desempeño energético eficiente, como un adecuado comportamiento ambiental del edificio, de modo que el ciclo de vida de la obra se realice con el menor consumo de energía y el menor impacto para el medio ambiente. Respetando, sin embargo, la calidad, funcionalidad, flexibilidad, durabilidad y el confort del ambiente construido, a la vez que se contribuye al cuidado de la salud, al aumento de la productividad y a la satisfacción de sus usuarios, pero, sobre todo, aprovechamiento de los aspectos positivos del medio ambiente, como luz natural, el calor o las vistas al paisaje del entorno.
- IV. Medidas y modulaciones: se deberá proponer una modulación general para todo el proyecto como circulaciones, y alturas entre otros, que permita lograr una adecuada proporción y funcionalidad en el dimensionamiento de los espacios, recintos y elementos arquitectónicos, considerando las superficies mínimas establecidas en el Programa Médico

Arquitectónico (PMA), el equipamiento médico, mobiliario e instalaciones, incluidas en cada recinto o área y considerando además variables como ergonometría, condiciones de accesibilidad para personas con discapacidad, coordinación con el sistema estructural y especialidades, aprovechamiento de terreno de emplazamiento y eficiencia en el uso de los materiales y elementos prefabricados.

Para lo anterior, el proyecto deberá incluir en la etapa de diseño y construcción, criterios como:

- I. Consumo de recursos: la implementación de soluciones de diseño pasivo, como el aprovechamiento de la luz natural, del clima local y de las propiedades intrínsecas del diseño de materiales, entre otras. En los casos que no sea posible el empleo del diseño pasivo, deberá recurrirse a los servicios de ingeniería que provean energía activa, con el objeto de minimizar el consumo a través de la optimización del equipamiento técnico. Deberá considerarse la utilización de sistemas de monitoreo del consumo energético como sistemas de monitoreo y seguimiento a los sistemas y subsistemas empleados. Del mismo modo, será necesario monitorear los resultados del desempeño energético del edificio para posibilitar una comparación efectiva con relación a las metas que el Ministerio de Salud define en cuanto a detección de eventos atípicos y potenciales anomalías. Por último, cuando menos, tener en cuenta el programa Techos Solares Públicos (PTSP), orientado a instalar sistemas fotovoltaicos (SFV) en los techos de los edificios públicos, con el objeto de contribuir a la maduración del mercado fotovoltaico para autoconsumo (que tiene como objetivos: estimular el mercado de soluciones fotovoltaicas a través de la demanda por parte del Estado para ser instalados en edificios públicos; generar información de acceso público y gratuito sobre costos y condiciones de los proyectos FV orientados a autoconsumo en la realidad chilena y; contribuir a la disminución de costos en edificios públicos).
- II. Iluminación natural y artificial, con el uso de tecnologías avanzadas para vidrios, muros, cortinas, diseño y construcción de la envolvente

del edificio con la finalidad de mejorar el comportamiento térmico. En el mismo sentido, deben considerarse luminarias de acuerdo a su nivel de eficiencia aplicando las que reduzcan el consumo de energía, generen menos calor, en consecuencia, afectan menos el confort de un edificio ventilado naturalmente. En interiores, utilizar controles de iluminación como: interruptores localizados, sensores o temporizadores. Y en exteriores, utilizar sistemas de atenuación acordes con la luz diurna.

- III. Calefacción, ventilación y aire acondicionado (CVAA), con las siguientes recomendaciones: empleo de sistemas individuales de calefacción, ventilación y aire acondicionado, que cuenten con un rango neutro entre calefacción y refrigeración (evitando la calefacción o enfriamiento innecesario); o mecanismos de velocidad variable para ventiladores y bombas. Considerar también, controles automáticos de partida y finalización con interruptores de tiempo, conforme a la demanda. Diseñar sistemas como el uso de ciclos económicos de aire exterior, que permitan adoptar estrategias de ahorro de energía; o sistemas de HVAC para asegurar la eficiencia del edificio bajo sea cual sea la condición de operación del edificio. En este sentido, el diseño debe anticiparse a situaciones potenciales como la carga parcial y completa del edificio.
- IV. Consumo de agua: se podrá aprovechar las aguas lluvias para usos secundarios y su captación puede hacerse mediante la recolección de agua de los techos en estanques ubicados en el suelo o en estanques enterrados y lagunas abiertas. Procurar también, la implementación de auditorías de consumo de agua y programas de detección de filtraciones.

Las anteriores se definen como pautas aplicables al diseño de centros de salud familiar (CESFAM) para promover la sostenibilidad de los mismos. Estas pautas o criterios aplicados mediante estudios técnicos de consultoría a los casos de estudio e incorporadas en su gran mayoría a las simulaciones energéticas y de generación solar intervienen directamente en los cuadros de recomendaciones resultados de esta investigación, debido a que hacen parte de los parámetros ingresados en las simulaciones realizadas.

Ahora bien, en cuanto a los criterios de estructura sismo resistente, el proyecto de ingeniería estructural debe velar porque se tomen todas las medidas de precaución de manera tal que se reduzca la vulnerabilidad tanto estructural, como no estructural, y organizativa y de operaciones de los recintos bajo el prisma estructural. Para ello, se aceptan estudios en base a estructuras de hormigón armado, acero estructural o de ambos.

En relación con las simulaciones informáticas como instrumentos metodológicos reconocidos para la justificación de sus documentos básicos, se dice que son además útiles para facilitar a los arquitectos la toma de decisiones con el fin de mejorar las calificaciones energéticas para su aplicación en proyectos de arquitectura eficiente. Existen muchos programas, como *Design Builder*, *Ecotect* o *TAS*, que realizan también simulaciones energéticas de un modo exhaustivo, informan valores absolutos de demandas, de consumos y de emisiones de CO₂. El objetivo principal es conseguir, mediante soluciones constructivas determinadas, los mejores resultados de envolventes térmicas para conseguir una arquitectura eficiente, sostenible y respetuosa con el medioambiente, que garantice asimismo condiciones de habitabilidad y confort para el usuario.

Eficiencia energética y la edificación pública en salud en Chile

Hoy por hoy, disponer de una energía confiable y sostenible es esencial para mejorar los estándares de vida, el crecimiento económico y el desarrollo social. La organización de las Naciones Unidas (ONU) han establecido “la energía asequible y no contaminante”, como uno de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) alcanzables para 2030 (2016). Dado que, las instalaciones sanitarias se consideran grandes consumidores de energía, debido a su necesidad de electricidad y el suministro de energía térmica para calefacción, ventilación, iluminación, aire acondicionado y el uso de equipos médicos y no médicos; en el cuidado de la salud, la energía es un parámetro crítico, en la medida que permite brindar la atención en salud en las mejores condiciones o en carencia de ellas. Actualmente, muchos de

los centros de salud a nivel internacional, tienen capacidades de cuidado reducidas debido al acceso limitado a la energía. Pues, a pesar de la importancia de las cuestiones energéticas para las instalaciones sanitarias, se ha prestado poca atención al tema.

A continuación, se pretende hacer una revisión de las necesidades energéticas de los diferentes centros de salud en función de la demanda y los servicios prestados en estos establecimientos. También, se refieren algunas fortalezas y limitaciones de varias fuentes de energía que se han empleado hasta hoy para satisfacer estas necesidades. Por último, se refiere el caso particular de Chile, en lo que concierne a su experiencia.

Las observaciones iniciales permiten concluir que, los generadores de combustibles fósiles son, actualmente, la principal fuente de energía en hospitales y centros de salud debido a sus costos de inversión, la familiaridad de los usuarios finales con esta tecnología y la creencia infundada en su facilidad de reparación, instalación y reubicación. Sin embargo, como ya se dijo, el suministro de electricidad de un país es un indicador de su nivel de vida y, en el caso de la asistencia sanitaria, de la calidad de los servicios y de instalaciones sanitarias nacionales. Así que, esta tecnología ya no puede competir con la energía producida a partir de fuentes renovables o de tecnologías modulares; que pueden satisfacer de manera eficiente las demandas de energía, pero que también son respetuosas con el medio ambiente.

Para empezar, vale acotar que, a nivel internacional, los retos para las instalaciones sanitarias, varían en función de los ingresos del país a evaluar. En general, un país de bajos ingresos, aspira a procurar el acceso a la energía para necesidades vitales básicas; y en países de altos ingresos, se presume que actualmente se están centrando en mejorar la eficiencia y aumentar el uso de energías renovables, con el fin de asegurar el mejor servicio y reducir el impacto ambiental. Ahora bien, los desafíos y las soluciones energéticas potenciales varían de una edificación a otra; dependiendo de su tamaño y de los servicios que ofrece (ONU, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos equipos se pueden clasificar grosso modo en tres categorías: servicios básicos (iluminación, comunicación, gestión y suministro

de agua y equipo de climatización); equipos médicos (equipos, dispositivos y máquinas que se utilizan para diagnosticar, tratar, controlar o aliviar enfermedades o lesiones); y equipo de laboratorio (dispositivos para servicios de salud específicos, por ejemplo, de vacunas y enfermedades infecciosas). Y, ante todo, para determinar las necesidades energéticas diarias de cada edificación, debe tenerse en cuenta la lista de los equipos a emplear y sus necesidades de energía y tiempo de uso.

Los estudios de análisis de energía se pueden encontrar fácilmente en la literatura y sugieren, por ejemplo, que los principales consumidores de electricidad en hospitales son los sistemas de climatización (la temperatura del aire es crucial en instalaciones sanitarias, ya que los pacientes requieren aire más cálido debido a las tasas metabólicas causadas por la inactividad física), los equipos de iluminación y las bombas de agua, cuyo consumo de electricidad puede representar entre el 30 % y 65 %, el 30 % y 40 % y el 10 % y 12 %, respectivamente (Ministerio de Salud de Chile, 2011). En todo caso, una vez identificadas las necesidades energéticas de la edificación sanitaria, la siguiente tarea es seleccionar e implementar la más apropiada de las medidas de eficiencia energética, en lo que se refiere a las políticas, estrategias y tecnologías diseñadas para reducir el consumo de energía, en la medida que se aprovechan los costos. Habrá que evaluar las posibles soluciones técnicas para proporcionar servicios de energía sostenible, como fuentes de energía primaria y la energía solar (alternativa de la cual se hablará más adelante).

Cuando la edificación ya está en funcionamiento, las medidas de eficiencia energética pueden ser simples acciones como controlar la apertura y cierre de ventanas y la desconexión de dispositivos cuando no estén en uso. Medidas más costosas incluyen reemplazar equipos, añadiendo aislamiento térmico y utilizando equipos adecuados como enfriadores, bombas, lámparas, etc. Por su parte, cuando las medidas de eficiencia energética pueden ser utilizadas en el diseño y la construcción del edificio, un ejemplo de ellas es maximizar el acceso a ventilación natural y luz natural, la selección de materiales de construcción específicos, la planeación de la calefacción,

la ventilación y el aire acondicionado con sistemas para mejorar el rendimiento energético.

Los criterios para la selección de la tecnología generalmente incluyen:

- I. Eficacia: la tecnología debe ser probada, especialmente en la configuración específica donde se va a implementar.
- II. Durabilidad: el funcionamiento eficaz debe ser garantizado durante un cierto número de años.
- III. Resiliencia al clima: la tecnología debe ser resistente a las temperaturas y niveles de humedad de un contexto dado.
- IV. Resiliencia a la red eléctrica: la tecnología debe ser resistente cuando se conecta a instalaciones de baja calidad y poco fiables.
- V. Accesibilidad: la tecnología debe ser fácil de comprensión para la población local.
- VI. Adaptación a la cultura local y las normas sociales: la tecnología debe ser aceptada por el usuario final.
- VII. Comerciability: la tecnología debe convencer a los usuarios locales de su eficacia.
- VIII. Asequibilidad: la tecnología debe ser asequible en términos de costos de inversión (para comprar la tecnología), así como costes de mantenimiento.
- IX. Sostenibilidad: la tecnología debe ser compatible con los recursos de que dispone una región.
- X. Respeto con el medio ambiente: procurando su menor impacto.

La siguiente sección presenta algunas tecnologías de producción de energía para instalaciones sanitarias, valorando sus ventajas y desventajas, basados en los criterios presentados anteriormente.

Generadores

Funcionan con varios combustibles, como gas natural, diésel o gasolina. Normalmente sirven como fuentes de energía de respaldo para hospitales y clínicas. La ventaja de utilizar una tecnología centenaria es un bajo costo de capital inicial, lo cual es importante en la configuración con recursos limitados. Sin embargo, el aumento de los costos de combustible a nivel mundial hace que esta tecnología sea menos competitiva financieramente que otras opciones, especialmente aquellas basadas en renovables.

Energía solar

Son una alternativa muy prometedora para los generadores debido a la abundancia (en horas por año) de la fuente de energía. Las tecnologías basadas en la energía solar pueden dividirse más o menos en dos categorías: las que convierten la energía solar en energía térmica y aquellas que convierten la energía solar en corriente continua. La primera se utiliza para producir agua caliente a pequeña escala y para satisfacer las necesidades térmicas de los centros médicos. Y la segunda es una tecnología fotovoltaica, que se utiliza principalmente en zonas rurales. La energía fotovoltaica ha superado a otras fuentes de energía en términos de expectativas, debido a la mejora del rendimiento y la caída de los costos a largo plazo. La energía solar ofrece un potencial masivo y, hasta ahora, sin explotar. La energía solar se puede utilizar tanto para producir electricidad con módulos fotovoltaicos y agua caliente con módulos termosolares. La energía solar térmica es una tecnología muy simple de construir (en términos de disponibilidad de piezas y fabricación). Sin embargo, la tecnología fotovoltaica es más compleja y costosa, lo que explica la desconfianza de los usuarios finales. No obstante, esta desconfianza es infundada cuando se considera la constante caída de los precios de esta tecnología a lo largo de los últimos años. Y aunque los costos de inversión son aún más altos que los generadores, este hecho es opacado por las muchas ventajas que ofrece esta tecnología renovable y sostenible.

Energía eólica

Dependiendo de la localización geográfica, el viento puede ser una abundante fuente de energía. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Es otra energía renovable y sostenible con alto potencial de explotación en ciertas regiones. La energía eólica tiene muchas de las mismas ventajas e inconvenientes que la energía solar, a saber, altos costos de inversión, pero bajo mantenimiento y cero costos de operación, el hecho de que es una fuente intermitente de energía, pero igualmente, es una tecnología limpia y resistente al clima y a las condiciones. Ello, supone una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, aunque debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica.

Calor y energía combinados (cogeneración)

Combinan la producción de electricidad y una unidad de recuperación de calor para proporcionar electricidad y calefacción para infraestructuras medianas y grandes. La cogeneración es una solución prometedora para reducir simultáneamente tanto emisiones, como costes de gases de efecto invernadero. Funcionan con diferentes tipos de combustibles, pero son mucho más eficientes que los generadores convencionales. De hecho, además de la electricidad generada, explotan la producción de calor para calentar los edificios. La ventaja de la cogeneración es su mayor eficiencia energética, ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica o eléctrica de un único proceso. Y su mayor desventaja es que la tecnología es actualmente más costosa y compleja, y dado que la construcción de plantas de cogeneración suele requerir una mayor inversión inicial, usualmente solo son pagados por grandes hospitales en países de por lo menos, medianos ingresos como India, Irán y Brasil.

Hidroelectricidad

Es la generación de energía eléctrica producida a partir de la potencia hidráulica, con la cual se pueden satisfacer las demandas energéticas de las instalaciones sanitarias. Esta energía limpia y renovable no es como la solar y la eólica, aunque si es comparable en términos de inversión y costos de gestión. Una vez que se construye un complejo hidroeléctrico, el proyecto no produce residuos directos y, en muchos casos, tiene un nivel de producción de gases de efecto invernadero considerablemente más bajo que las plantas de energía que funcionan con combustibles fósiles. Sin embargo, la instalación es bastante compleja de construir y es imposible de reubicar.

En el caso de Chile, la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, como fundación sin fines de lucro y con el objetivo primordial de promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía, ha unido a los actores más relevantes dentro del proceso, para implementar iniciativas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable del país. Al final, la elección de la solución más adecuada de producción de energía dependerá de varios factores y especialmente de los requerimientos nacionales.

Normas y términos de referencia para edificaciones públicas en Chile

De cara al desafío de la globalización y el pleno desarrollo, la infraestructura física ha sido uno de los ámbitos con más intervención en Chile en los últimos años. Se ha modernizado y mejorado sustantivamente la conectividad vial, los establecimientos portuarios y aeroportuarios y la edificación pública en casi todo el territorio nacional. Con la articulación de esfuerzos públicos y privados, se ha logrado que el anhelado desarrollo se emprenda en cumplimiento a estándares de calidad y seguridad cada vez más estrictos.

En este acápite se ahondarán las normas y términos de referencia para la construcción de edificaciones públicas en Chile. De antemano, señalamos que, como política pública y como compromiso nacional, se ha establecido que

las edificaciones públicas en Chile deben ceñirse a criterios ambientales que estén a la altura de las expectativas de la sociedad, con el fin de incrementar índices de equidad y de calidad de vida de los chilenos. En lo que corresponde, la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de Chile, que funciona con el objetivo principal de exponer los amplios beneficios de la sustentabilidad energética en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, cuando es aplicada a la edificación pública, ha establecido objetivos complementarios, buscando mejoramientos cualitativos de diseño y gestión extensibles a edificaciones de uso público, en el ámbito de la construcción sustentable.

Parece importante hacer este preámbulo, dado que como se verá en adelante, la instauración de edificaciones públicas requiere de la potenciación de estrategias, máxime cuando de atención en salud se trata, para dar respuesta a las necesidades en el marco de los objetivos sanitarios con el análisis y el diseño de una red estructural apropiada.

El Instituto Nacional de Normalización define la norma NCh 1079 de 2008 (Instituto Nacional de Normalización, 2008) por medio de la cual se establece una zonificación climático habitacional para Chile y se aplica en la elaboración de proyectos de edificios de respectivas zonas; en ella se hacen recomendaciones de transmitancia térmica de la envolvente y pendiente de cubierta y sobre protecciones y calefacción. También mediante la NCh 853 de 2007, Arquitectura y construcción: acondicionamiento térmico envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencia y transmitancia térmica (Instituto Nacional de Normalización, 2007); esta norma, tiene el propósito de establecer los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancia térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envolvente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

Asimismo, la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas encarga en 2017 al Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITECUBB), la Dirección de Extensión en

Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DECON UC), la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUC S.A.) —filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile y al Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile—, el *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*, producto resultado del proyecto “Evaluación de estrategias de diseño constructivo y de estándares de calidad ambiental y uso eficiente de energía en edificaciones públicas, mediante monitorización de edificios construidos”. Este manual tuvo su origen en la preocupación por conocer el impacto real en el desempeño en materias de calidad ambiental y eficiencia energética alcanzado en un grupo de edificios públicos, a los cuales se les había incorporado de manera pionera, variables de sustentabilidad ambiental en su diseño, mediante especificaciones, soluciones constructivas y uso de equipos, y en los que se consideró optimizar el gasto en combustibles y energía para su operación. Buscó, principalmente, proponer estrategias, consideraciones y soluciones para avanzar en el camino de tener edificios de uso público cada vez más sustentables, más eficientes y que a la vez otorguen óptimas condiciones medioambientales a sus usuarios.

Los Términos de Referencia estandarizados (TDRe), con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño y obras de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipologías de edificios que, tuvo su origen en la necesidad de mejorar la calidad ambiental, la eficiencia y el ahorro en el uso de la energía en la edificación pública, y tiene el propósito de impulsar una cultura de eficiencia en el uso de la energía en Chile, básicamente interviniendo en los principales sectores de consumo energético.

Energía solar alternativa en edificación pública

Las fuentes y tecnologías de energía renovable tienen el potencial de brindar soluciones a los problemas de energía de larga data que enfrentan los países en desarrollo. La expansión de los recursos energéticos existentes y la exploración de nuevas fuentes es un ejercicio importante para considerar y sostener sus iniciativas de crecimiento. Este aparte, acentúa la importancia

y los desafíos de las tecnologías de la nueva era, de las fuentes de energía renovable, para atender la demanda de energía del presente y el futuro.

Actualmente, el cambio climático se ha asociado cada vez más a las actividades humanas. El dióxido de carbono que se emite durante la combustión de combustibles fósiles cambia la composición del ambiente y el uso incontrolado de la energía fósil conduce a un desgaste innecesario de la tierra. Se estima que en el futuro para reducir las emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera del planeta y proteger el medio ambiente, la humanidad se verá obligada a producir mucha menos energía para la calefacción que utiliza en la actualidad. Si a esto se suma que las existencias de recursos energéticos no renovables son limitadas, debe reconocerse que edificios con un consumo de energía ultra bajo, e incluso un consumo de energía cercano a cero, serán los salvavidas del futuro; pues claramente, mientras que un edificio antiguo puede gastar de 200 a 400 kWh/m² año, el gasto en una generación futura será de 20 a 50 kWh/m².

Muchos países, en la actualidad, buscan estándares de energía similares a estos últimos y los desarrollos en el campo del ahorro de energía y el aumento de la eficiencia energética, junto a los programas y documentos de orientación no se han hecho esperar a nivel internacional. La planificación del espacio y las decisiones de diseño tienen un impacto significativo en el consumo de energía del edificio. La selección de la forma óptima del edificio, su orientación, ubicación, y control de los procesos de filtración reducen los efectos negativos del calor del clima exterior en el equilibrio térmico del edificio; lo anterior, aunado a las soluciones arquitectónicas y de planificación para reducir la pérdida de calor a través de la construcción de la envolvente del edificio.

Por su parte, Chile cuenta con un gran potencial de energías renovables no convencionales. Junto a la energía hidroeléctrica, la cual ha sido históricamente una de las principales fuentes de generación de electricidad, hoy vemos como aceleradamente se incorporan a la matriz eléctrica nuevas fuentes como la eólica, la solar, la geotermia y la biomasa. El dinamismo alcanzado en el país en estos proyectos lo ha posicionado en el primer lugar del ranking de Latinoamérica y el Caribe, que mide el atractivo de inversión

en energías renovables, de acuerdo con la última versión del New Energy Finance Climascopes, elaborado por el IPCC (Edenhofer *et al.*, 2011, p. 73). Las políticas que se han implementado en el país están permitiendo incorporar cada vez más energía renovable de manera económicamente eficiente, contribuyendo a reducir el costo de la energía eléctrica, insumo fundamental para hogares y actividades económicas. Así, las energías renovables se han convertido en un instrumento fundamental para alcanzar la visión de largo plazo que se ha definido en la política energética de Chile “Energía 2050”: donde se consigna la aspiración a un sector energético nacional contable, sostenible, inclusivo y competitivo.

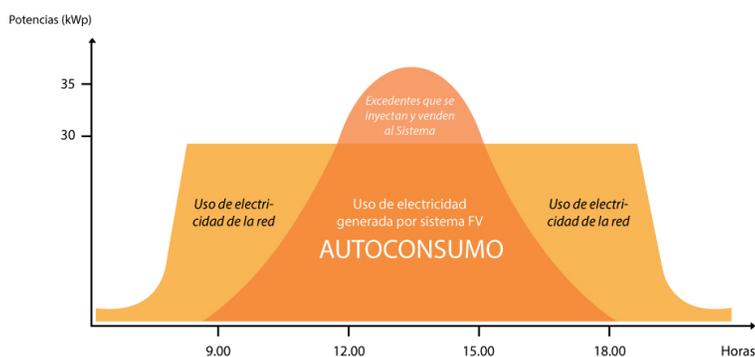
Consecuente con esa visión, la política energética estableció la meta que al año 2050 al menos el 70 % de la generación eléctrica anual sea provista con energías renovables y que dicho valor, sea como mínimo de 60 % para el año 2035. Previamente, en mayo de 2014, la “Agenda de Energía” estableció un desafío más inmediato, que al menos el 45 % del incremento —entre 2014 y 2025— de la capacidad de generación eléctrica, sea de energías renovables no convencionales. La contribución a Chile de las energías renovables en la generación de electricidad no se reduce a la construcción de grandes plantas, porque hoy, gracias a la Ley 20.571 de Generación Distribuida (Ministerio de Energía de Chile, 2014), los consumidores de energía pueden convertirse también en productores de energía.

Las energías renovables para autoconsumo permiten aportar a construir la matriz energética que se quiere, más sustentable y eficiente. Los sistemas fotovoltaicos que aprovechan la energía solar son la forma más versátil, simple y contable de implementar proyectos de autoconsumo eléctrico. Sin embargo, el mercado de estos sistemas en Chile está en sus etapas iniciales de desarrollo. Aún hay desconocimiento de los beneficios del autoconsumo y de las oportunidades que tienen los hogares y empresas de capturar esos beneficios. Como parte de una estrategia más amplia, que busca promover el desarrollo de un mercado de energías renovables no convencionales de autoconsumo, socialmente eficiente y transversal a todos los actores económicos, el Ministerio de Energía creó en 2014 el programa Techos Solares Públicos (PTSP), que, a través de la instalación de sistemas fotovoltaicos en

edificios públicos, está contribuyendo a la maduración del mercado fotovoltaico para el autoconsumo en Chile. En la figura 5, se puede apreciar el uso de energía eléctrica en un establecimiento con un sistema fotovoltaico.

Desde abril de 2015 a diciembre de 2016, el programa de Techos Solares Públicos ha contratado la instalación de sistemas fotovoltaicos para 99 edificios en nueve regiones de Chile. La capacidad eléctrica acumulada por el conjunto de estos proyectos es de casi 3 MWp. Al 2016, 51 de esos sistemas se encontraban conectados a la red pública de distribución eléctrica, aprovechando los beneficios de la Ley de Generación Distribuida, mientras que los restantes 48 se conectaron durante el primer semestre de 2017.

Figura 5. Uso de energía eléctrica en un establecimiento con un sistema fotovoltaico.



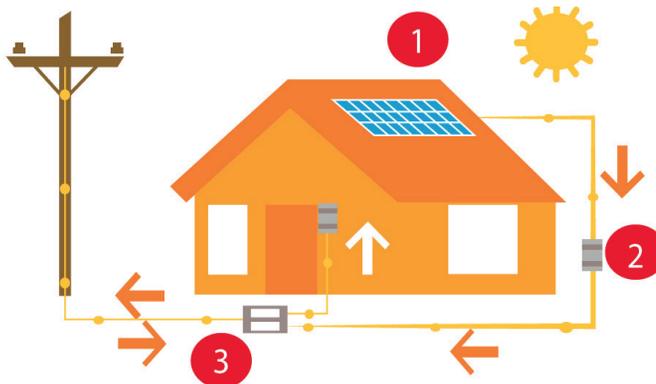
Fuente: adaptado del programa Techos Solares Públicos
(Ministerio de Energía de Chile, 2014).

El principal beneficio de la Ley de Generación Distribuida (Ley 20.571) es el derecho que se otorga a los clientes con tarifas reguladas de las empresas distribuidoras de electricidad, a producir su propia energía para autoconsumo con energías renovables no convencionales o cogeneración eficiente, a inyectar sus excedentes energéticos a la red eléctrica y a que el valor de esos excedentes se traduzca en un descuento en la boleta de electricidad. Gracias a esta Ley, es posible instalar sistemas fotovoltaicos de hasta 100 kWp, autoconsumir la electricidad generada en la edificación (p.ej. casa, edificio, supermercado, industria) e inyectar la energía no utilizada a la red de distri-

bución. La empresa distribuidora tiene la obligación de remunerar la electricidad que es inyectada a la red y descontarla en la boleta de sus clientes. La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) otorga la autorización para los equipamientos de los sistemas fotovoltaicos con el de garantizar que sean seguros para los usuarios, sus bienes y no afecten la calidad del suministro eléctrico. La correcta instalación debe ser realizada únicamente por electricistas con certificación SEC y se basa en los siguientes pasos, los cuales se muestran en la figura 6:

1. Las instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos ON-GRID (conectado a la red) en el techo de los edificios o casas, convierten la energía solar en electricidad².
2. Luego un inversor transforma la electricidad producida, de corriente continua a corriente alterna, de modo que pueda ser utilizada durante las horas de sol para los artefactos eléctricos en los hogares, escuelas, hospitales, et³.
3. Los excedentes energéticos, corresponden a la energía que no fue consumida por el establecimiento, se pueden inyectar a través de un medidor bidireccional a la red eléctrica, recibiendo un pago o un descuento en la boleta eléctrica por ello.

Figura 6. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red pública eléctrica.

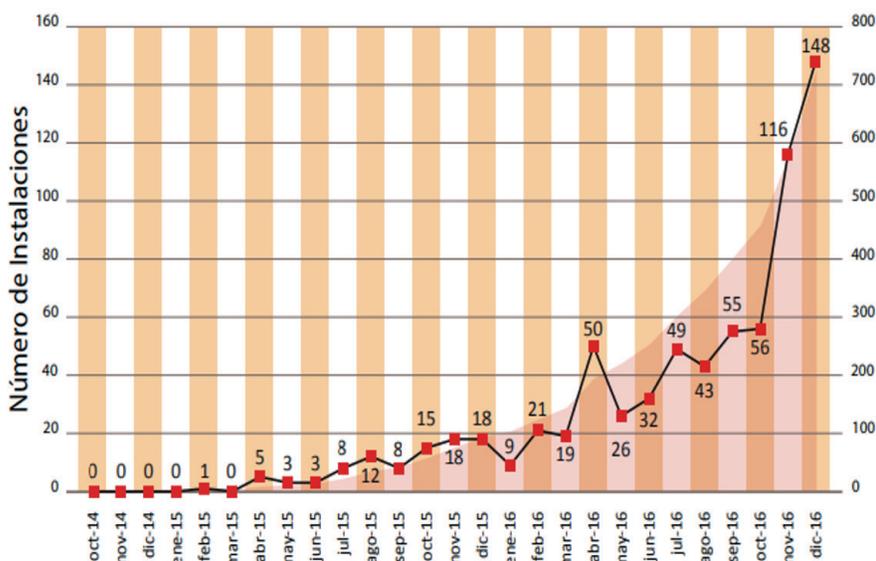


Fuente: adaptado de programa Techos Solares Públicos
(Ministerio de Energía de Chile, 2014).

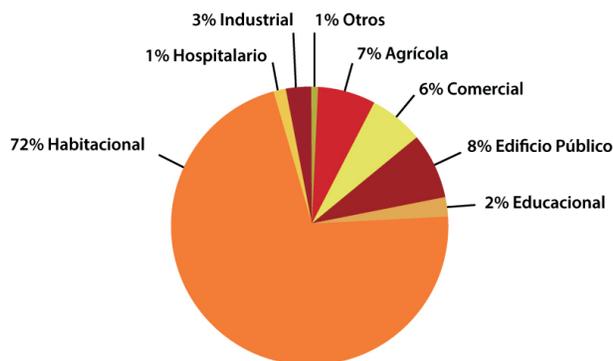
Desde la entrada en vigor de la Ley de Generación Distribuida (octubre de 2014) y hasta el 2016, se instalaron 715 proyectos al amparo de esta Ley, totalizando 5,5 MWp (figura 7). La figura 8 muestra el número de sistemas fotovoltaicos según tipo de usuario.

El programa Techos Solares Públicos (PTSP) es una iniciativa del Ministerio de Energía inserta en la Agenda de Energía, orientado a instalar sistemas fotovoltaicos en los techos de los edificios públicos. Lo ejecuta directamente la División de Energías Renovables del Ministerio de Energía y cuenta con el apoyo técnico de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) en Chile, que actúa por encargo del Ministerio de Medio Ambiente Alemán (BMUB).

Figura 7. Instalaciones registradas en SEC.



Fuente: adaptado de programa Techos Solares Públicos
(Ministerio de Energía de Chile, 2014).

Figura 8. Número de sistemas fotovoltaicos según tipo de usuario.

*Fuente: adaptado de programa Techos Solares Públicos
(Ministerio de Energía de Chile, 2014).*

El objetivo superior es contribuir a la maduración del mercado fotovoltaico para el autoconsumo en Chile y sus objetivos específicos son: i) estimular el mercado de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo a través de la demanda generada por el estado de sistemas fotovoltaicos a ser instalados en edificios públicos; ii) generar información de acceso público y gratuito sobre costos y características de los proyectos fotovoltaicos orientados a autoconsumo en el marco de la Ley de Generación Distribuida; iii) apoyar el perfeccionamiento del marco regulatorio sobre la generación distribuida mediante la evaluación práctica de las normas y procedimientos, que rigen la instalación de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo; iv) contribuir a la disminución de costos en edificios públicos; y v) apoyar la maduración de la oferta de sistemas fotovoltaicos en Chile mediante la validación y orientación técnica de los proveedores, que participan del Programa. Los beneficiarios del Programa son, principalmente, instituciones públicas de los distintos poderes del Estado y los municipios de las comunas seleccionadas por el programa.

En su etapa de implementación (2015 - 2016), el programa Techos Solares Públicos (tabla 2) apoyó un total de 26 comunas en nueve regiones de Chile, seleccionadas bajo el criterio de asegurar un retorno adecuado a la inversión que se realiza en los proyectos. Las instituciones públicas presentes en esas comunas fueron invitadas por el Ministerio de Energía a postular edificios al

programa. Para cerca de 300 edificios públicos se analizó la prefactibilidad técnica y administrativa para la instalación de sistemas fotovoltaicos en sus techos. De este universo, 190 edificios pasaron la evaluación de prefactibilidad y fueron inspeccionados en terreno, luego de lo cual, 99 cumplieron los requisitos definidos para ser beneficiarios del Programa, es decir, un tercio del total de los edificios analizados. Entre abril de 2015 y diciembre de 2016 se realizaron exitosamente 38 licitaciones competitivas y públicas, sin ningún proceso declarado desierto. El conjunto de todas las licitaciones considera sistemas fotovoltaicos para 99 edificios, incluyendo 6 de la Fundación Teletón. El tamaño de los proyectos fotovoltaicos va desde 5 kWp a 100 kWp por recinto. La capacidad instalada agregada de estos 99 sistemas fotovoltaicos es de alrededor de 3 MWp (2.987 kWp). Lo anterior para instalaciones adaptadas en cubierta principalmente.

Tabla 2. Resultados del programa Techos Solares Públicos.

Estatus de los proyectos/edificios	Cantidad	kWp	Ahorro \$/año*
Conectada a la red de distribución	51	1.712	\$ 199 785 994
En construcción	48	1.275	\$ 161 172 008
TOTAL	99	2.987	\$ 360 958 002

Nota. Cálculo en base al cargo por energía a diciembre de 2016.

Fuente: adaptado de programa Techos Solares Públicos

(Ministerio de Energía de Chile, 2014).

Zalamea León y García (2015) informan que la capacidad de un edificio para captar y generar energía solar activa depende de sus superficies con exposición solar, de acuerdo con la latitud y trayectoria solar, ya que en latitudes meridionales (entre 30° y 40°), las superficies horizontales reciben hasta cuatro veces más irradiación que las verticales y de forma más uniforme. Así mismo, resalta que la incorporación de sistemas de recolección solar en edificios puede variar según la ocupación; principalmente porque los requerimientos energéticos son diferentes según las actividades realizadas en el edificio, pero también porque existe diversidad morfológica, constructiva y de emplazamiento. Tal es el caso de los establecimientos de salud los cuales suelen comprender volúmenes horizontales extensos (de 1 a 3 pisos). En algunos casos con mayor densidad, altura y verticalidad (torres) en los centros

urbanos; en ciudades como Concepción (centro sur de Chile), los establecimientos de salud, a pesar de ser una parte menor de los servicios (cerca del 2 % en superficie), tiene un consumo particularmente alto (un 7 % del total) debido a que mantiene funciones permanentes (Nope Bernal *et al.*, 2017).

A continuación, se muestran los resultados de la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas en centros de salud familiar de Chile (figura 9 y tabla 3), basados en el programa de techos solares descrito anteriormente y la tabla 3 hace un comparativo de su aplicación:

CESFAM El Palomar

27°22'59.84" Sur, 70°20'7.74" Oeste.

Chacabuco N° 857, Copiapó.

El Centro de Salud Familiar (CESFAM) El Palomar fue construido en 2009. Funciona bajo el "Modelo de Atención Integral de Salud" (MAIS) y tiene la responsabilidad de trabajar con la comunidad en el ámbito de la promoción de la salud en toda la zona de Copiapó. Brinda su atención a más de 17 500 pacientes anualmente. Chacabuco N° 857, Copiapó.

CESFAM Joan Crawford

28°35'25.74" Sur, 70°45'29.97" Oeste.

Los Escritores N.º 1800, Vallenar.

El Centro de Salud Familiar (CESFAM) Joan Crawford fue construido entre 2009 y 2010. Se encuentra bajo el "Modelo de Atención Integral de Salud" (MAIS), que tiene la responsabilidad de trabajar con la comunidad en el ámbito de la promoción de la salud en la zona de Vallenar. Atiende cerca de 20 000 usuarios.

CESFAM Dr. Juan Carlos Baeza

35°29'9.12" Sur, 71°29'33.32" Oeste.

Huamachuco S/N, San Clemente.

El Centro de Salud Familiar (CESFAM) Dr. Juan Carlos Baeza fue construido en 2008. Su servicio se centra en el “Modelo de Atención Integral de Salud” (MAIS), que tiene la responsabilidad de trabajar con la comunidad en el ámbito de la promoción de la salud, realizando un gran beneficio para la población de San Clemente. Atiende aproximadamente a 38 000 habitantes anualmente.

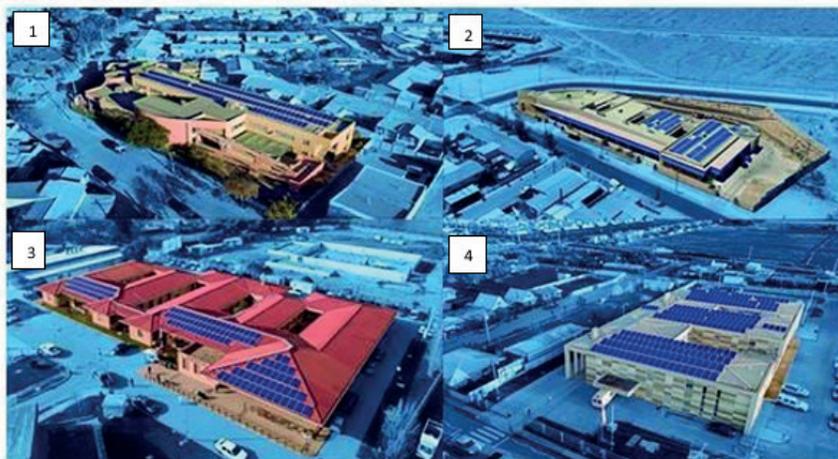
CESFAM Arraú Méndez

36° 8'49.17" Sur, 71°50'18.08" Oeste.

Población Arraú Méndez, Tres Sur N.º 0115, Parral.

El Centro de Salud Familiar (CESFAM) Arraú Méndez fue construido en 2008. Es un establecimiento de salud de atención primaria, que entrega prestaciones de consultas y controles de salud de parte de un equipo profesional multidisciplinario, junto con prestaciones de apoyo, diagnóstico, exámenes y otros, a su población infantil, adolescente, adulto y adulto mayor. Cerca de 18 818 pacientes son beneficiarios directos de sus servicios.

Figura 9. Implementación de tecnologías solares fotovoltaicas en CESFAM de Chile.



Nota. 1. CESFAM El Palomar; 2. CESFAM Joan Crawford; 3. CESFAM Dr. Juan Carlos Baeza; 4. CESFAM Arraú Méndez. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Resultados de la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas.

	1. CESFAM El Palomar	2. CESFAM Joan Crawford	3. CESFAM Dr. Juan Carlos Baeza	4. CESFAM Arraú Méndez
Ahorro anual estimado (en millones).	3,7	3,9	2,9	6,6
Equivalente al consumo (hogares).	25	25	23	40
Reducción gases efecto invernadero.	16	16	14	24,6
Capacidad fotovoltaica instalada (Kwp).	30	30	35	60
Consumo de energía.	70 524	85 896	269 004	109 272
Generación energía solar fotovoltaica.	42 193	45 803	40 728	71 100
Aporte planta fotovoltaica al consumo anual (%).	64	53	15	65

Fuente: elaboración propia.

Eficiencia energética y rentabilidad social de centros de salud primaria en Chile

La eficiencia y la conservación de la energía son factores importantes en la reducción del impacto ambiental, en particular con respecto al cambio climático. La eficiencia energética también contribuye a reducir la dependencia externa y las vulnerabilidades en el dominio de la energía. En esta sección se analizan algunos factores que influyen en la eficiencia energética y las decisiones de conservación, y las estrategias más adecuadas para su promoción, sobre todo, en lo que concierne a la llamada rentabilidad social de centros de salud. Especialmente, porque aún, hoy en día, pueden requerirse argumentos basados en instrumentos económicos para promover la conservación de la energía. Es así como se muestra que, países o comunidades pueden ahorrar considerables cantidades de energía y dinero si actualizan sus estrategias de acuerdo con los estándares de eficiencia energética. Inclusive, desde el punto de vista de los expertos, muchas de estas medidas técnicas son rentables en tiempos de recuperación relativamente cortos.

No obstante lo anterior, aún muchas autoridades públicas no comparten este raciocinio y no consideran su renovación como una inversión, así que las reformas al final, son el resultado de una decisión más amplia que está formada por una combinación de motivos y objetivos tanto económicos como no económicos; y se espera que las medidas de ahorro de energía reduzcan la carga de los costos operativos de manera perceptible y aseguren el valor de las edificaciones, pero también deben corresponder a necesidades como la comodidad, para que quienes tiene la potestad de hacerlo, se arriesguen a realizarlas. Las decisiones de inversión son una parte importante para satisfacer las nuevas demandas, porque deciden la eficiencia futura de los sistemas de energía a aplicar a nivel nacional. Así que, desde una perspectiva gerencial, la necesidad de mejorar el apoyo a la toma de decisiones, específicamente en centros de salud, puede ayudar a facilitar y mejorar las decisiones de inversión relacionadas con la eficiencia energética de toda el área (aprovechando el acceso a la información correcta, la posibilidad de actividades de seguimiento y los cálculos transparentes y comprensibles).

Servicio de evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos: licitación pública id730566-15-le14

A continuación, se señalan algunos apartes importantes que la consultoría planteó en términos de “entregar información que permitiría a formuladores y analistas, el análisis de las iniciativas de inversión de edificación pública propuestas al Sistema Nacional de Inversiones (sin)”, considerar costos de inversión en EE (especialmente, porque esta fue la metodología utilizada para calcular los costos de ciclo de vida de la investigación, que se presentará más adelante). Lo anterior, conforme la generación de antecedentes que permitan mejorar la calidad del proceso de análisis de preinversión de proyectos de edificación pública, mediante el estudio de casos de proyectos y “la obtención de información relevante en materia de impactos diferenciales que ocasiona en costos de inversión, operación y mantención la incorporación de eficiencia energética, para la determinación de la rentabilidad técnico-económica de estos los proyectos”.

Como objetivos, se plantearon los siguientes:

- I. Conocer el impacto marginal y su contribución a la mejora de la rentabilidad general de los proyectos, que tienen ciertas medidas específicas en relación a otras, de manera de priorizar su incorporación; contar con antecedentes que permitan saber qué medidas de mejoría conviene incorporar a la edificación existente, en razón de la rentabilidad y mejoras de confort que pueden provocar.
- II. Saber qué ventajas reales y su traducción en cuanto a rentabilidad social tiene el incorporar conceptos de eficiencia energética y sustentabilidad desde las primeras fases del ciclo de vida de los proyectos.
- III. Obtener algunos indicadores que permitan extrapolar conceptos de rentabilidad de estas medidas a otros proyectos de edificaciones que tienen componentes de inversión pública, que se localicen en las mismas zonas geográficas que se han seleccionado, tengan la misma materialidad o los mismos tamaños de edificación.
- IV. Obtener algunas bases de datos, herramientas, experiencia y metodologías que permitan extender este conocimiento al análisis de otras situaciones, materialidades, zonas geográficas, destinos de la edificación, alturas, tamaños, que puedan ameritar también la incorporación de estos conceptos en la formulación de proyectos o mejoras.

La metodología de trabajo consideró:

- I. La definición de un método estandarizado para el análisis ex ante de inversiones en EE y AA, y su aplicación a la evaluación de distintas estrategias incorporadas en un edificio conocido en una zona climática de Chile.
- II. La ejecución de un experimento de simulación paramétrica, donde se utilizó dicho método para evaluar la rentabilidad social de distintas estrategias energéticas y ambientales incorporadas en tres edificios tipos conocidos, que se supusieron, para los efectos del experimento, ubicados en las nueve zonas climáticas de Chile.

- III. El desarrollo de un método simplificado, basado en el uso de cuadros de información estandarizada deducidos del experimento de simulación paramétrica. Método concebido para orientar la priorización y selección de estrategias según tipo de edificio y zonas, en etapas tempranas del proceso de formulación de proyectos de edificación pública, esto es cuando no se dispone de los diseños.

El trabajo se consultó en tres etapas:

1. “Trabajo preliminar y desarrollo y aplicación de la metodología a un caso”. Este trabajo incluyó las siguientes materias y productos reportados con el informe 1 del estudio:

Un estudio de estado del arte internacional sobre la información más actualizada referida a métodos, normas y criterios aplicables a la identificación y evaluación de impactos (beneficios sociales y/o privados) generados por la incorporación de eficiencia energética (EE) a la edificación.

La elaboración del prototipo de una metodología general para evaluar la rentabilidad social y los impactos diferenciales que ocasionan distintas estrategias pasivas y activas con propósitos de EE.

La aplicación de la metodología a un primer caso sujeto de estudio; el del Edificio de la Contraloría General de la República de la Región del Biobío.

El desarrollo de esta primera etapa evidenció, en su momento, la necesidad de definir y establecer no una, sino que, a lo menos, tres metodologías diferenciadas, en función de la etapa y del tipo de información disponible y/o exigible para postulación al SNI y los tiempos, costos y niveles de exactitud requeridos; a saber:

Una metodología general más precisa, aplicable en etapas más avanzadas y cuando se dispone de los diseños y especialidades, basada en el análisis de ciclo de vida y en la estimación mediante técnicas avanzadas de simulación, de las demandas de energía y agua del edificio.

Otras dos metodologías simplificadas que utilizan los mismos principios y bases que la denominada general; una basada en el uso de los cuadros de información estandarizado y otra en el uso de una herramienta informática desarrollada al efecto, que sirven para priorizar y seleccionar estrategias en función de sus impactos energéticos y ambientales, cuando no se dispone de los diseños y especialidades y sólo se dispone de información básica de los edificios que se postula construir. La diferencia entre ambas está en sus alcances y grado de precisión en la estimación.

2. “Desarrollo y Aplicación de la metodología a un caso en todo el territorio nacional”, incluyó las siguientes materias y productos reportados con el informe 2 del estudio:

La aplicación de la metodología especificada en la etapa 1 a un edificio en las nueve zonas climáticas de Chile, a objeto de establecer estándares de rentabilidad por zonas climáticas y tipos de estrategias pasivas y activas para propósitos de EE (eficiencia energética). El edificio caso de estudio que sirvió como referencia es el Edificio de la Contraloría General de la República de la Región del Biobío.

El desarrollo de cuadros estandarizados de información sobre indicadores de rentabilidad social asociados a distintas estrategias pasivas y activas para propósitos de EE y zonas climáticas, como parte de un método específico aplicable a la evaluación de iniciativas de inversión cuando no se dispone de diseños.

Avances en el desarrollo de una herramienta informática para evaluación de desempeños energético de edificios e indicadores de rentabilidad social asociados a distintas estrategias pasivas y activas para propósitos de EE y zonas climáticas, como parte de un método específico avanzado aplicable a la evaluación de iniciativas de inversión cuando no se dispone de diseños.

3. La tercera etapa del estudio se dedica a informar respecto de las pruebas de validación y los ajustes necesarios a las metodologías desarrolladas para dejarlas en condiciones de uso.

Conclusiones

Este estado del arte estudió una porción substancial de la literatura y fuentes relevantes de información del área, para desarrollar un proceso de comprensión que converge en una visión global e integradora y en una comunicación de este resultado para el lector. Teniendo en cuenta la multiplicidad de definiciones alrededor de los conceptos que conciernen al estudio, se propuso una metodología flexible ante las posibles circunstancias de la investigación, pero que de igual forma fuera: i) útil (porque si el fin último es la descripción, la comprensión o la creación de marcos teóricos, esta metodología del estado del arte ofrece técnicas y herramientas para lograr cada una de ellas), esto la hace flexible a las necesidades de la investigación y le permite abarcar los posibles deseos y contingencias con los que se encuentren en el proceso mismo); ii) rigurosa (ya que sus técnicas y herramientas, siendo cualitativas, siguen unos parámetros de sistematización y plan de análisis previamente delimitados); y iii) práctica (sobre todo por sus herramientas, pues, en una investigación donde se leerá gran cantidad de textos, es esencial encontrar una forma de extraer de manera ordenada la información, inicialmente dispersa, para su futuro abordaje y comparación).

En sí, los métodos y herramientas de simulación energética son un instrumento de análisis que permiten una aproximación al desempeño final. Sin embargo, son abordadas en etapas avanzadas de diseño, lo cual reduce las posibilidades de proyectar edificaciones altamente sostenibles, acercándose así al concepto cero energía o casi cero energía los cuales buscan principalmente promover autonomía energética mediante la reducción del consumo y la integración de renovables, respetando condiciones de habitabilidad y confort ambiental. Por otro lado, dentro de las estrategias pasivas formuladas para lograr menores demandas, y, por tanto, menores consumos de energía, al mismo tiempo que influyen en las superficies para la generación solar, resaltan en la literatura, los conceptos de coeficiente de desempeño,

dentro de los cuales sobresalen la compacidad y el factor de forma, los cuales relacionan principalmente la superficie expuesta y el volumen que alberga la edificación. No obstante, no relacionan la superficie útil para la integración o adaptación de tecnologías solares fotovoltaicas.

También es importante recalcar que, la arquitectura de los centros de salud pública primaria y especial la de los centros de salud familiar (CESFAM), debe promover una imagen arquitectónica moderna e institucional, que posea un programa médico arquitectónico que favorezca la flexibilidad al crecimiento y que su diseño estructural otorgue la resistencia al sismo. Con todo, se espera que la morfología de las edificaciones sea energéticamente eficiente y consecuente con el entorno, amigable al medio ambiente y que se empleen materiales con continuidad productiva en el tiempo, resistente a la acción del clima, con costos bajos a moderados de manutención.

A nivel energético, se espera que el diseño de estos establecimientos presente bajas demandas y, por lo tanto, bajos consumos producto de la implementación de estrategias de diseño pasivo y activo, por ejemplo, el aprovechamiento de la luz natural, del clima local, de las propiedades intrínsecas de los materiales y la integración de energías renovables. Del mismo modo, será necesario monitorear los resultados del desempeño energético del edificio para posibilitar una comparación efectiva con relación a las metas que el Ministerio de Salud define (detectando eventos atípicos y potenciales anomalías). Y, por último, cuando menos, tener en cuenta el programa Techos Solares Públicos (PTSP), orientado a instalar sistemas fotovoltaicos (SFV) en los techos de los edificios públicos, con el objeto de contribuir a la maduración del mercado fotovoltaico para autoconsumo.

Al respecto, se tiene que los principales documentos técnicos y normas que promueven la eficiencia energética en edificaciones públicas permiten, hasta el momento, identificar según localización geográfica estrategias de diseño pasivo y eficiencia energética, y al mismo tiempo definen valores límite para garantizar confort ambiental y reducciones en los consumos de energía. Sin embargo, las acciones recomendadas son abordadas en etapas avanzadas

de diseño, con apenas un análisis de autonomía energética y costo social de inversión.

En lo que corresponde al programa Techos Solares Públicos, la iniciativa del Ministerio de Energía inserta en la Agenda de Energía 2050, ha promovido, desde 2015, la implementación de tecnologías solares fotovoltaicas en centros de salud familiar (CESFAM), con lo cual suple en promedio el 50 % del consumo. Sin embargo, esta iniciativa ha desconocido la integración de renovables con otras estrategias de diseño pasivo para reducir el costo de inversión en tecnologías solares fotovoltaicas.

Por último, se acota que las decisiones de inversión son una parte importante para identificar la viabilidad económica y social de la incorporación de la eficiencia energética. Desde este punto de vista el Servicio de Evaluación de la Rentabilidad Social de Incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos permite el análisis de la rentabilidad social de inversiones en eficiencia energética (EE) y ahorro de agua (AA) incorporada a proyectos de edificios públicos postulados al Sistema Nacional de Inversiones (SNI) como os centros de salud primaria.

Capítulo 3

Registro y caracterización de la planeación, arquitectura, eficiencia energética y generación solar de Centros de Salud Familiar (CESFAM)

Proceso de planeación y diseño de centros de salud pública primaria

La atención primaria se encuentra en el centro de los sistemas de salud a nivel mundial, teniendo como funciones clave, brindar atención médica básica y preventiva y ayudar a los pacientes a coordinar e integrar la atención desde sus casas. Cada una de estas dimensiones es fundamental para mejorar los resultados de salud, por un lado, y la eficiencia de los costos, por el otro. La atención primaria en Chile es administrada por los servicios municipales de atención a la salud bajo la supervisión del Ministerio de Salud, el cual establece las normas técnicas de funcionamiento, define prioridades para la asignación de presupuestos y realiza asignaciones extraordinarias para resolución de problemas prioritarios que exigen inversiones puntuales, por ejemplo, la instalación o remodelación de infraestructura.

Hasta el momento, la situación sanitaria de Chile muestra innegables avances, pero también grandes desafíos que requieren ser abordados con sentido de urgencia y realismo, vinculado a las capacidades y recursos disponibles. Para ello, el Programa de Salud 2018 (Zalamea León y García, 2015) sugirieron cinco ejes fundamentales para una reforma al sistema de salud, a través de:

1. Reducción de listas de espera: mejorar los modelos de gestión, para incrementar las capacidades y eficacia del personal y equipos médicos, tecnologías y pabellones quirúrgicos de hospitales.
2. Reforma a la salud primaria: consultorios y CESFAM modernos y resolutivos: fortalecer la atención primaria mediante la creación de red de consultorios y centros de salud familiar de alta calidad.
3. Modernización de la infraestructura sanitaria: impulsar 120 nuevos centros de salud primaria.
4. Rebaja del precio de los medicamentos: introducir más competencia en la industria de laboratorios y farmacéutica.
5. Bienestar y cultura de vida sana: promoviendo una cultura de vida sana a través de más ejercicio y mejor alimentación.

De los anteriores, conciernen especialmente al estudio los ejes 2 y 3, encaminados a la revisión de los CESFAM ya instalados y a la creación de nuevos centros con la mejor calidad. Aunado a esto, el calentamiento global y el cambio climático se encuentran también entre los principales desafíos de cualquier gobierno en el siglo XXI. El diseño de arquitectura ecológica es una demanda urgente para los operadores públicos y privados, no solo por las responsabilidades sociales sino también por su disposición a maximizar la construcción de la red de salud y a disminuir los costos operativos. Minimizar el consumo de energía en los edificios se ha convertido en un objetivo importante en la arquitectura y planificación urbana en los últimos años. Como se verá, los costos de despliegue y la eficiencia energética son dos aspectos que se necesita integrar. En este capítulo, se analiza y caracteriza la planeación, arquitectura, eficiencia energética y generación solar de los Centros de Salud Familiar (CESFAM). Esto demuestra una forma de planeación consolidada, pero que a nivel arquitectónico y constructivo es muy similar a lo largo y ancho del territorio con reducidas diferencias dirigidas al mejoramiento de la envolvente según condición climática, lo que genera no muy buenos ahorros energéticos y niveles de confort.

Atención primaria en Chile

Por medio de la Declaración de Alma Ata, se describe que la atención primaria de salud (APS) debe entenderse como parte integrante del “espíritu de justicia social del desarrollo” y se ha demostrado que esta estrategia puede adaptarse a una amplia variedad de contextos políticos, sociales, culturales y económicos, lo cual obliga a los gobiernos a incorporar la promoción, la prevención, el tratamiento, la rehabilitación y además a otros sectores de la vida nacional. Igualmente, privilegiar la más alta participación de las personas y de las comunidades, fomentando la responsabilidad en el cuidado de su salud, a la vez que promueve el trabajo en equipo e insta al uso más eficiente de los recursos disponibles. La figura 10 muestra como el Gobierno chileno ha organizado su Red Asistencial de Atención Primaria.

Figura 10. Red Asistencial de Chile.

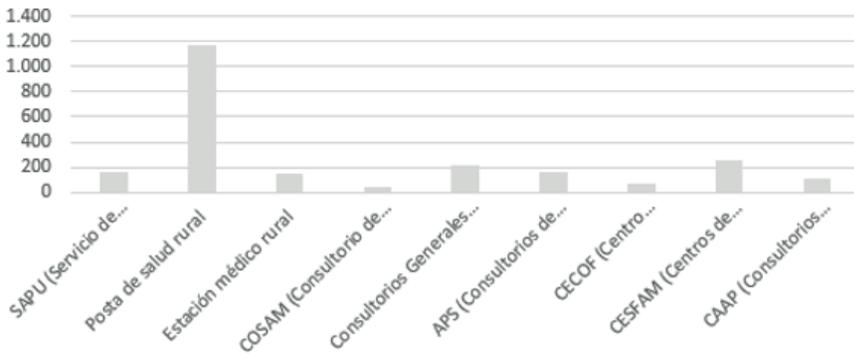
Red asistencial / Atención primaria			
Establecimientos municipales de mínima complejidad y amplia cobertura			
Funciones:			
Alcanzar un aumento porcentual creciente de las acciones con promoción y prevención.			
Favorecer la participación del usuario y la comunidad.			
Centros de urgencias	Consultorios	Centros	Consultorios adosados
SAPU: Servicio de Atención Primaria en Urgencias. Postas de Salud Rurales.	Estación Médico Rural. COSAM: Consultorio de Salud Mental. Consultorios Generales Urbanos. APS: Consultorios de Atención Primaria en Salud.	CECOF: Centros Comunitarios de Salud Familiar. CESFAM: Centros de Salud Familiar.	CAAP: Consultorios Adosados de Atención Primaria.

Fuente: elaboración propia.

La organización de los establecimientos de salud en Chile distingue tres niveles de atención: primaria, secundaria y terciaria; cada una con sus respectivas unidades en la red pública, dependientes de las municipalidades. La Atención Primaria de Salud representa el primer nivel de contacto de los

individuos, la familia y la comunidad con el sistema público de salud, brindando atención ambulatoria. La figura 11 muestra la cantidad por tipo de los establecimientos de salud primaria presentes a lo largo y ancho del territorio.

Figura 11. Cantidad de centros de salud primaria en Chile 2013.



Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile (2018).

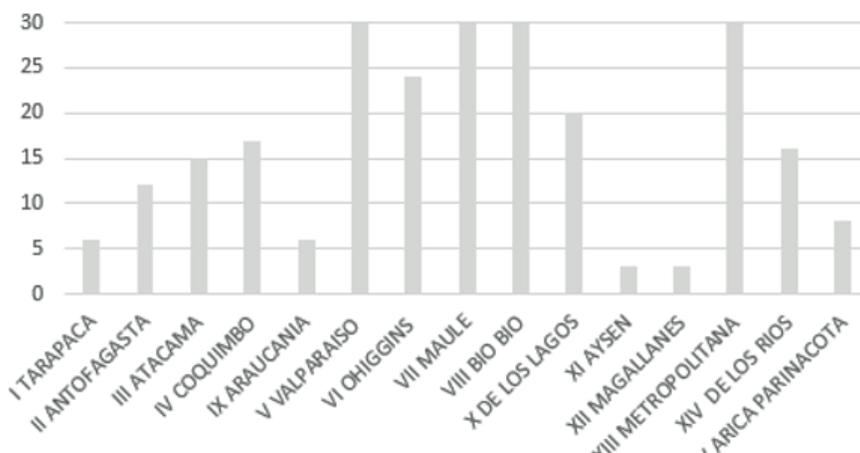
En Chile, la atención primaria en salud tiene prestigio a nivel internacional; inclusive, junto con Cuba y Costa Rica, presenta los mejores niveles de salud de América Latina (Nope Bernal *et al.*, 2017). Especialmente por la notoria intención de estructurar un sistema sanitario enfocado a un modelo de salud integral que siga las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, implementando un cambio el enfoque biomédico (centrado en curar enfermedades), por uno más integral que promueva la calidad de vida de las personas, las familias y la comunidad, y que a su vez, haga especial énfasis en la promoción de estilos de vida saludable y la prevención y detección precoz de las enfermedades y, más recientemente, en las prácticas amigables con el medio ambiente, a través de la acción intersectorial y la participación de las comunidades en el desarrollo de estrategias para el cuidado de todos.

Su objetivo es otorgar una atención integral de excelente calidad, centrada en las personas y sus familias, enfocada, como bien se dijo, en lo preventivo y promocional, brindando atención continua a lo largo de todo el ciclo vital.

Cuantificación y localización de los Centros de Salud Familiar (CESFAM)

De acuerdo con Montero Labbé *et al.* (2010), Chile, a partir de 1993, ha transformado los Centros de Salud en Centros de Salud Familiar con población a cargo, implantando innovadoras técnicas administrativas y financieras, además de infraestructura. Como consecuencia, se han construido en las últimas décadas cerca de 628 centros de salud primaria, de los cuales 170 son Servicios de Atención Primaria en Urgencia (SAPU), 142 Estación Médico Rural, 44 Consultorios de Salud Mental (COSAM), 20 Servicios de Alta Resolución (SAR) y 252 Centros de Salud Familiar (CESFAM), convirtiéndose así en el elemento central de la ejecución del modelo, resolviendo el 80 % de las necesidades de atención de la población a lo largo y ancho del territorio nacional (Benavides Salazar *et al.*, 2013). La figura 12 muestra la cantidad de centros de salud familiar (CESFAM) en operación por región a 2013.

Figura 12. Cantidad de centros de salud familiar (CESFAM) por región a 2013.

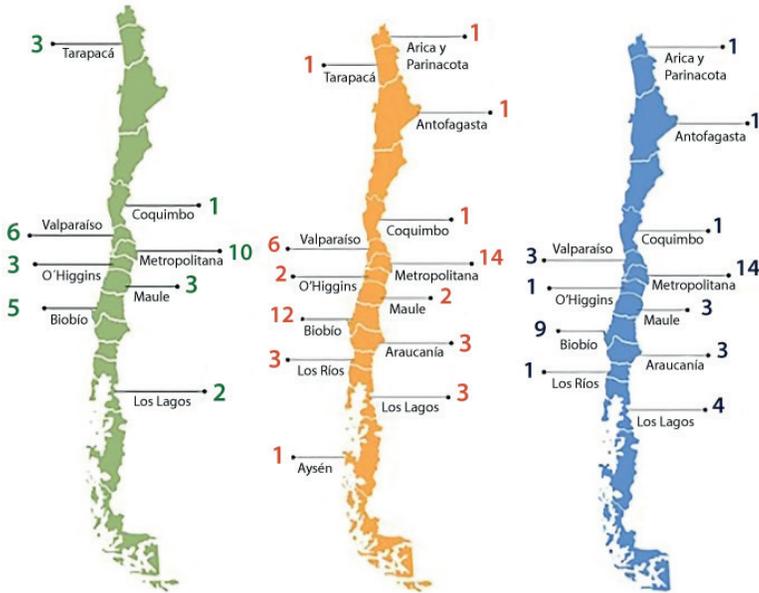


Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile (2018).

En lo que corresponde, el Plan Nacional de Inversiones de Salud 2014-2018 contemplaba la inversión en la construcción de 300 mil metros cuadrados en infraestructura de Atención Primaria, desde Arica a Punta Arenas, que se materializarían en 332 Centros de Salud, de los cuales, 100 serían Centros

de Salud Familiar (CESFAM). La figura 13 refleja la expectativa de licitaciones de Centros de Atención primaria para el 2015.

Figura 13. 33 CESFAM licitados; 50 CECOF licitados y 41 SAR licitados durante 2015.



Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile (2018).

Para dar respuesta al objetivo planteado, se revisó el catastro nacional del Ministerio de Salud, encontramos 250 CESFAM ubicados a lo largo y ancho del territorio nacional y seleccionamos según información disponible una población de 23 edificios, tomando como muestra representativa 5 casos de estudio que se encuentran en proceso de licitación para su construcción y que además obedezcan principalmente a tipologías compactas y extendidas con mayor cantidad de información técnica almacenada en portales de contratación pública, como Chile Compra proveedor (tabla 4) y población a cargo entre 5000 y 30000 habitantes y están ubicados en ciudades primarias y medias.

Tabla 4. Registro nacional de Centros de Salud Familiar CESFAM / 2016.

Establecimiento	Zona climática							Tipología						Superficie construida						
	1ND	2NL	3NV	4CL	5CI	6SL	7SI	8SE	9AND	Bloque 1 nivel	Bloque 2 niveles	Bloque 2 niveles	Peine 1 nivel	Peine 2 niveles	Claustro 1 nivel	Claustro 2 niveles	Claustro 3 niveles	Menos de 1.000 m ²	Entre 1.000 y 3.000 m ²	Más de 3.000 m ²
																				
1 Cesfam Norponiente	X														X				X	
2 Cesfam Chañaral		X													X				X	
3 Cesfam Algarrobo				X							X				X				X	
4 Cesfam Curepto				X											X				X	
5 Cesfam Santo Domingo					X				X										X	
6 Cesfam Peñmavic					X										X				X	
7 Cesfam Pudahuel					X										X				X	
8 Cesfam Pueblo seco										X							X			
9 Cesfam Pueblo recoleta					X										X					X
Cesfam huertos familiares TIL					X										X				X	
11 Cesfam IX de Maipú					X										X					X
12 Cesfam Quilaco					X										X			X		
13 Cesfam Ohiggins					X										X		X			X
14 Cesfam Dichato						X									X				X	
15 Cesfam Ioma colorada						X									X				X	
16 Cesfam Penco						X									X					X
17 Cesfam Lebu						X									X				X	
18 Cesfam Castro						X									X				X	
19 Cesfam Daicahué						X									X				X	
20 Cesfam Raico						X									X				X	
21 Cesfam Pedro aguirre cerda									X										X	
22 Cesfam Rengo urbano oriente									X				X							X
23 Cesfam Daicahué								X										X		X

Fuente: elaboración propia.

Caracterización de planeación

El Plan Nacional de Inversiones tiene por objetivo fortalecer la Red de Salud y generar un cambio oportuno y concreto a las múltiples necesidades de la población a través de la construcción, reposición, mantenimiento y mejoramiento de infraestructura sanitaria (Ministerio de Salud de Chile, 2018). Para su elaboración se estudian criterios fundamentales, tales como la demanda asistencial, el estado actual de la infraestructura, la madurez de los proyectos en curso, la capacidad de ejecución y la factibilidad presupuestaria; en pro del fortalecimiento de la infraestructura hospitalaria y la atención primaria en el sistema chileno, con compromisos como la terminación de construcción de centros de salud y el estudio, diseño, proceso de licitación e inicio de construcción de otros tantos.

En lo que corresponde al Plan 2014-2018 (sobre el cual se trabaja en este espacio), se aseguró el equivalente a 4 mil millones de dólares, una inversión pública bastante importante en relación con sus anteriores versiones. En materia de Atención Primaria se consideró la construcción de 332 establecimientos, de los cuales, 100 son Centros de Salud Familiar (CESFAM), distribuidos así (tabla 5):

Tabla 5. Atención primaria - Centros de Salud Familiar (CESFAM).

Estado	Cantidad	Total m2
Terminados o en operación	25	280 000
En ejecución	39	
En licitación, estudio o diseño	36	

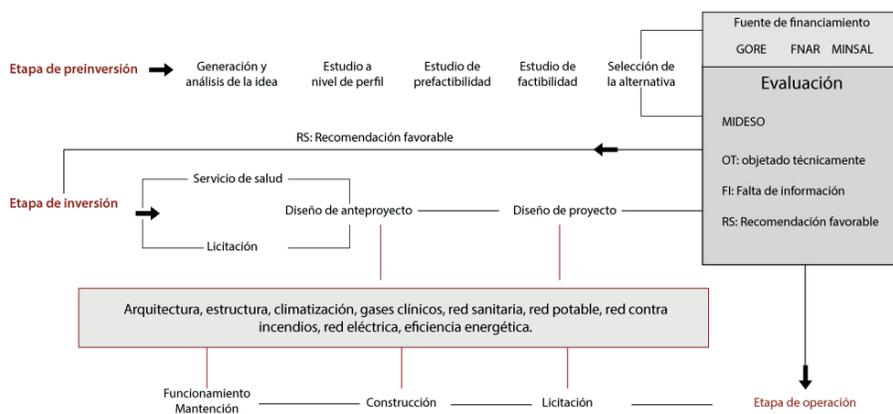
Fuente: tomado de Ministerio de Salud de Chile (2018).

En general, los Centros de Salud Familiar CESFAM actuales requieren capacidades dinámicas de planificación de procesos que sean sensibles y adaptables a los cambios rápidos de su capacidad y funcionalidad. Para cumplir con el requisito de estudio, a continuación, se describe la metodología para la planificación dinámica y distribuida de procesos. Al final del numeral, la tabla 6 muestra los costos y tiempos asociados a cada etapa del ciclo de proyecto y proceso de inversión en un CESFAM.

Ciclo de proyecto y proceso de inversión

Toda iniciativa de inversión sigue una trayectoria que se materializa en una obra física o en la implementación de una acción determinada. Cada proyecto tiene un inicio, un período intermedio, durante el cual las actividades mueven el proyecto hacia su finalización, y un final, ya sea exitoso o no exitoso. Un proyecto estándar generalmente tiene las siguientes cuatro fases principales (cada una con su propia agenda de tareas y problemas): iniciación, planificación, implementación y cierre. En conjunto, estas fases representan el camino que toma un proyecto desde el principio hasta su final y generalmente se lo denomina “ciclo de vida” del proyecto (Ministerio de Desarrollo Social de Chile, 2013). La figura 14 involucra tiempos y costos permitiendo ejecutar cada una de las etapas de desarrollo. En el caso del sector de la salud primaria y en especial en los Centros de Salud Familiar (CES-FAM), cuando el objetivo se centra en la producción de bienes, se tendrán proyectos relacionados con la infraestructura generalmente asociados a la cobertura del sistema.

Figura 14. Esquema ciclo de proyecto y procesos de inversión.



Fuente: elaboración propia.

Etapa de preinversión

Se debe dar una importancia adecuada a la fase de preinversión, ya que el éxito o el fracaso de un proyecto depende en última instancia de los hallazgos del estudio de viabilidad comercial, técnica, financiera y económica y de su interpretación. Para reducir el desperdicio de recursos escasos, se requiere una comprensión clara de la secuencia de eventos cuando se desarrolla una propuesta de inversión desde la etapa conceptual mediante esfuerzos de promoción activos hasta la etapa operativa. Esto ayuda a un posible inversionista en el proceso de toma de decisiones y proporcionan la base para la decisión y la implementación del proyecto. La selección de la alternativa que se transformará en un proyecto y la decisión sobre la conveniencia de ejecutarlo requiere seguir una serie de pasos. Por su parte, el grado de complejidad que alcanzan los estudios dentro de la denominada preinversión estará asociado al grado de avance en que se encuentre.

Generación y análisis de la idea de proyecto

En esta etapa, producto de un diagnóstico preliminar, o en algunos casos, a petición de la comunidad, se detecta una necesidad insatisfecha o problema a resolver, el conjunto de posibles beneficiarios-usuarios, la localización geográfica y los objetivos que se esperan alcanzar con el proyecto. Por último, se generan algunas posibles alternativas de solución.

Estudio a nivel de perfil

Aquí, se incorpora información adicional y se precisa la proveniente de la etapa anterior. La elaboración del perfil debe incluir un análisis preliminar de los aspectos técnicos, del mercado, de beneficios y costos, además de la evaluación a ese nivel. Cabe destacar que en esta etapa de perfil se logra una gran disminución de la incertidumbre a un costo bastante bajo. Por ello, la preparación de buenos perfiles de proyecto es de suma importancia, ya que puede evitar incurrir en costosos estudios para proyectos no viables.

Estudio de prefactibilidad y factibilidad

Este estudio precisa con mayor detalle la información proveniente del perfil y se incorporan datos adicionales que permitan descartar alternativas y perfeccionar las restantes. Con el conjunto de alternativas preseleccionadas se hace la evaluación técnica y económica, seleccionando una alternativa y realizando estudios de prefactibilidad y factibilidad.

Fuente de financiamiento

Este tipo de proyectos se puede financiar mediante el GORE (Gobierno Regional) o MINSAL (Ministerio de Salud) con fondos sectoriales, para contratar asesorías técnicas, gastos administrativos o compra de terreno.

Evaluación preinversión

Una vez concluida la etapa de preinversión, el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO) realiza una evaluación con el objetivo de dictaminar si la propuesta está en un estado de:

OT: Objetada técnicamente.

FI: Falta información.

RS: Recomendación favorable.

De cumplir con una recomendación favorable, la alternativa pasará a la etapa de inversión, desarrollo del anteproyecto y proyecto arquitectónico.

Etapas de inversión

La fase de inversión o implementación de un proyecto ofrece un amplio alcance para el trabajo de consultoría e ingeniería, en primer lugar, en el campo de la gestión de proyectos. La fase de inversión se puede dividir en las siguientes etapas:

- Adquisición y transferencia de tecnología.
- Diseño detallado de ingeniería y contrato, incluyendo licitaciones, evaluación de ofertas y negociaciones.
- Adquisición de terrenos, obras e instalaciones.
- Comercialización de preproducción, incluida la obtención de proveedores y la creación de la administración de la entidad.
- Reclutamiento y capacitación de personal y puesta en marcha de la planta.

El diseño detallado de ingeniería comprende el trabajo preparatorio para la preparación del sitio, la selección final de la planificación de la construcción y el cronograma de la construcción de la edificación, así como la preparación de diagramas de flujo, dibujo a escala y una amplia variedad de diseños. Durante la etapa de licitación y evaluación de ofertas, es especialmente importante recibir ofertas completas de bienes y servicios para el proyecto de un número suficientemente grande de suministros nacionales e internacionales de eficacia probada y con buena capacidad de entrega.

Esta etapa abarca la firma de contratos entre el inversionista, por un lado, y las instituciones financieras, consultores, arquitectos y suministros de materias primas e insumos requeridos, por el otro. La etapa de construcción implica la preparación del sitio, la construcción de edificios y otras obras civiles, junto con la construcción e instalación de equipos de acuerdo con la programación y programación adecuadas. La etapa de reclutamiento y capacitación del personal, que debe proceder simultáneamente con la etapa de construcción, puede resultar muy crucial para el crecimiento esperado de productividad y eficiencia en las operaciones de la planta. La puesta en marcha suele ser un período breve, pero técnicamente crítico en la implementación del proyecto. Este es el punto de partida de las acciones tendientes a la ejecución física de los proyectos, de acuerdo a las estimaciones realizadas en la etapa de preinversión. La ejecución del anteproyecto y proyecto pueden enviarse a licitación o ejecutarse directamente con el servicio de salud.

Elaboración de diseño (anteproyecto y proyecto)

La propuesta definitiva debe incorporar el Programa Médico Arquitectónico, elaborado de acuerdo con los resultados obtenidos; la proyección de demanda de recintos variables y en la determinación de recintos fijos requeridos por el proyecto, se deberá transformar en un anteproyecto y posteriormente en un proyecto detallado de Arquitectura, que debe indicar claramente cuál es la nueva superficie a construir, sea ésta la requerida para construir un nuevo recinto, o para ampliar, reponer o normalizar un recinto existente. En esta etapa se desarrolla el anteproyecto y proyecto a nivel de plantas arquitectónicas, estudios de ingeniería y especialidades como:

- I. Arquitectura.
- II. Estructura.
- III. Climatización.
- IV. Gases clínicos.
- V. Red potable y sanitaria.
- VI. Red contra incendios.
- VII. Electricidad.
- VIII. Eficiencia energética.

Esta etapa puede ser ejecutada por el Estado, mediante los servicios de salud de cada región o a través de licitación pública supervisada por cada una de las municipalidades.

Evaluación inversión

Una vez concluida la etapa de inversión, el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO) realiza una evaluación similar a la preinversión. De cumplir con una recomendación favorable, el proyecto pasará a la etapa de operación desarrollando el proyecto. La ejecución de este puede ser llevada a cabo por un tercero mediante licitación pública, supervisado por la munici-

alidad o por el servicio de salud. Finalmente, mediante un informe la contraloría aprueba el proyecto y los fondos de inversión para la construcción del establecimiento.

Etapa de operación

La fase operativa debe considerarse desde los puntos de vista a corto y largo plazo. La visión a corto plazo se refiere al inicio de la producción cuando pueden surgir varios problemas relacionados con cuestiones tales como la aplicación de técnicas, la operación de equipos o la productividad laboral inadecuada debido a la falta de personal y mano de obra calificados. La mayoría de los problemas tienen su origen en la fase de implementación. La visión a largo plazo se relaciona con las estrategias elegidas y los costos asociados de producción. Estos tienen una relación directa con los datos arrojados en la fase de preinversión. Si tales estrategias y proyecciones demuestran ser defectuosas las medidas correctivas no solo serán difíciles, sino que pueden resultar muy costosas.

En esta etapa, se comienzan a concretar los beneficios estimados en la preinversión. En algunos casos se distingue dentro del estado de operación una fase de puesta en marcha, diferenciada de la fase de operación plena del proyecto.

Proceso de licitación para construcción - Bases para la licitación

Con los documentos aprobados por la autoridad competente e incluyendo Bases Administrativas y Bases Técnicas se realiza un llamado público, convocando a los interesados para que, sujetándose a las bases fijadas, formulen propuestas, de entre las cuales se seleccionará y aceptará la más conveniente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2004).

Adjudicación de la licitación

Mediante acto administrativo fundado, por medio del cual la autoridad competente selecciona a uno o más oferentes para la suscripción de un contrato de suministro o servicios, regido por la ley No 19.866 "Ley de compras

públicas”, con la cual se creó la institucionalidad necesaria para velar por la transparencia y la eficiencia de las compras, preservar la igualdad de competencia y garantizar los derechos de los participantes.

Construcción

En esta etapa se pone en marcha la construcción del establecimiento, basado en los antecedentes técnicos elaborados en la etapa de anteproyecto y proyecto.

Operación, funcionamiento y mantenimiento

Es la etapa de prestación de servicios gestionado por el Servicio de Salud o Municipio. Tiempo: 30 años de vida útil. Costo anual funcionamiento: U\$S 3 000 000 a U\$S 4 000 000. Costo anual mantenimiento: U\$S 400 000 a U\$S 600 000.

Tabla 6. Costos y tiempos asociados a cada etapa del ciclo de proyecto y proceso de inversión en un CESFAM.

Pre Inversión	Costo	Tiempo
Generación y análisis de la idea de proyecto		
Estudio de perfil		
Estudio de pre factibilidad		
Estudio de factibilidad	U\$S 130 000 a U\$S 350 000.	8 a 15 meses
Evaluación (MIDESO)		
Diseño de anteproyecto		3 a 5 meses
Diseño de proyecto	U\$S 70 000 a U\$S 130 000	7 a 24 meses

Continúa...

...*Sigue*

Inversión	Costo	Tiempo
Evaluación (MIDESO)		
Proceso de licitación		3 a 5 meses 6 a 8 meses
Operación		
Construcción del proyecto	U\$S 3 000 000 a U\$S 6 000 000	36 a 48 meses
Total costo y tiempo de proyecto	U\$S 3 200 000 a U\$S 6 480 000	63 a 105 meses / 5,25 a 8,75 años

Fuente: elaboración propia.

Caracterización arquitectónica y constructiva

A lo largo del país la arquitectura de los Centros de Salud Familiar es variable y compleja (figura 15). Muchos de estos establecimientos presentan infraestructura antigua que ha debido adaptarse a los requerimientos del modelo de salud familiar, mientras que otros cuentan con edificaciones recientes, proyectadas bajo sistemas modulares, los cuales buscan configurar la morfología mediante módulos prediseñados, que con pequeños ajustes varían según la funcionalidad requerida y que en ocasiones no logran adaptarse a nuevos requerimientos. No obstante, este tipo de conceptos en el diseño tiene ventajas como la reducción significativa en el tiempo de los proyectos, la introducción de mejoras de calidad, la reducción de costos y mayor facilidad de adaptación del edificio. Además, estos centros deben buscar generar vínculos de pertenencia con su población atendida, siendo altamente deseable que la arquitectura de ellos interprete adecuadamente las características medioambientales de la localidad en la cual se ubiquen. Desde este punto de vista, este trabajo busca caracterizar la arquitectura de estos establecimientos para identificar su funcionamiento y contextualización.

Figura 15. Centros de Salud Familiar CESFAM construidos en los últimos 10 años.

Nota. A. Centro de Salud Familiar Pozo Almonte, Región de Tarapacá; B. Centro de Salud Familiar de Chiorrini, Región de O´higgins; C. Centro de Salud Familiar de Ralco, Región de Biobío; D. Centro de Salud Familiar Entre Ríos, Región de Biobío; E. Centro de Salud Familiar de La Ligua, Región de Valparaíso; F. Centro de Salud Familiar Pudahuel Oriente, Región Metropolitana; G. Centro de Salud Familiar Tierras Blancas, Región de Coquimbo; H Centro de Salud Familiar de Chonchi, Región de Los Lagos. Fuente: adaptado de Ministerio de Salud, Plan de inversión en Salud 2018.

La diversidad arquitectónica en fachada, a diferencia de la regularidad arquitectónica, programática y de distribución de espacios en planta, resulta ser producto de la búsqueda por una imagen contemporánea “adaptada culturalmente” y tal vez institucional, con la aplicación de algunas estrategias de diseño pasivo como protecciones solares mediante voladizos y cortasoles.

A nivel general, la proyección de este tipo de establecimientos se basa en el análisis de aspectos como el tamaño de la población, condición socioeconómica, accesibilidad, límites geográficos naturales, políticos o administrativos, que permitan dar cobertura a una población de 30 000 habitantes inscritos como máximo. Por tanto, la propuesta arquitectónica parte del reconocimiento del programa médico arquitectónico P.M.A. (aquel que se basa en un plan de necesidades de servicios asistenciales, administrativos y de soporte industrial) calculando la cantidad de recintos y el área estándar teórica necesaria a preverse, esto constituye el marco de referencia o “instrumento-guía” para la generación del dimensionamiento de la planta física o bien sea para la intervención de la misma, documento indispensable para la realización del proyecto arquitectónico, flujos, relaciones, topografía del lugar, ubicación, tipo de zona urbana, coeficiente de contractibilidad, tipo de red vial aledaña, medios de transporte que confluyen, red de equipamiento público cercano y demás principios de diseño que permitan una propuesta urbana y arquitectónica funcional y contextualizada.

En lo que interesa, la relación funcional-espacial de este tipo de establecimientos se basa, primero, en la zonificación del P.M.A. (recintos fijos y variables) y segundo, en la relación gradual de lo público a lo privado; definiendo zonas según roles y funciones tales como: área de atención clínica-recintos privados de atención, área de atención clínica-recintos comunes de atención, área de apoyo técnico, área administrativa, área de servicios generales y circulaciones.

Las tablas de la 7 a la 11 muestran los principales recintos inscritos en centros de salud familiar CESFAM y su respectiva área.

Área atención clínica: (recintos privados de atención y recintos comunes de atención): destinada a la atención del usuario, compuesta por “módulos por sector” y “recintos comunes de atención”. Los recintos que la constituyen son: box clínico multipropósito, box ginecológico, box dental, servicio de orientación médico estadístico (SOME), sala de espera, sala de trabajo clínico grupal, box psicólogo, box de infecciones respiratorias Agudas (IRA), box de enfermedades respiratorias agudas (ERA), sala toma de muestras, sala de podología, box vacunatorio, box curación y tratamiento, box ecografías, sala de acogida, RX dental digital, sala de comando, sala de procedimientos y cirugía menor.

Tabla 7. Área atención clínica – CESFAM.

Recinto	Superficie promedio (m ²) CESFAM de 5000 a 30 000 usuarios
Box clínico multipropósito tipo 1	12
Box Ginecológico con baño (18+4)	22
Box dental	15
Box multipropósito tipo 2	12
Unidad Satélite SOME con archivo fichas (full space y tarjetero)	16
Sala espera	20
Sala trabajo clínico grupal (incluido psicólogo)	15
Box psicólogo (atención individual)	12
Baños acceso universal con mudador abatible	4
Baños personal	1,5
Box IRA	15 – 24
Box ERA	15 – 24
Sala toma muestra (baño cercano)	15 – 24
Box vacunatorio	15

Continúa...

...*Sigue*

Recinto	Superficie promedio (m²) CESFAM de 5000 a 30 000 usuarios
Sala multiuso (educación grupal, trabajo comunitario y auditorio)	30 – 42
Sala podología (1 puesto)	15
Box curación y tratamiento	20-24
Box At. Urgencia (reanimación)	20
Sala de procedimientos y cirugía menor (con vestuario paciente)	20
Box ecografías	12
Sala de acogida (ex atención de víctimas)	12
Sala de estimulación temprana con bodega.	24 a 30
RX dental digital y sala de comando	8
Sala de Rehabilitación c/baño	100
Baño universal dentro del área de procedimientos	4
SOME área procedimientos	12 a 16
Sala espera general	16 a 20
Baños acceso universal	4
Baños personal	1,5

Fuente: adaptado del Ministerio de Salud de Chile.

Área de apoyo técnico: corresponde a las unidades que proveen de servicios de apoyo a la atención clínica del CESFAM, compuesta por las unidades de farmacia, esterilización y programa nacional de alimentación complementaria (PNAC). Los recintos que comprende son: despacho farmacia, box químico farmacéutico, bodega farmacia, despacho y bodega PNAC, salas de espera, área sucia y área limpia.

Tabla 8. Área de apoyo técnico – CESFAM.

Área de apoyo técnico	Superficie promedio (m ²) CESFAM de 5000 a 30 000 usuarios
Unidad de farmacia	
Sala espera	9 a 16
Despacho farmacia	12 a 18
Box químico farmacéutico / fraccionamiento	12
Bodega farmacia	9 a 56
Unidad de programas de alimentación	
Sala espera	9 a 16
Despacho P.N.A.C	6 a 12
Bodega P.N.A.C	9 a 30
Unidad de esterilización	
Área sucia y área limpia y estéril	24

Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

Área administrativa: incluye las unidades de dirección y gestión administrativa del CESFAM; la unidad del personal y la unidad de SOME. Los recintos involucrados son: oficina dirección, secretaria dirección, oficina subdirector administrativo, bodega administrativa, cafetería, vestuarios, oficina jefa SOME, oficina línea 800 y agenda horas, oficina técnica, oficina de Información Reclamos y Sugerencias (OIRS), sala de equipos, tecnologías de información y comunicación y sala de informes para profesionales.

Tabla 9. Área administrativa – CESFAM.

Área administrativa	Superficie promedio (m ²) CESFAM de 5.000 a 30 000 usuarios
Unidad de dirección y gestión	
Oficina dirección c/ baño	14
Secretaría dirección	9
Oficina subdirector administrativo, con mesa de reuniones y/o eventual profesional de apoyo.	12
Bodega administrativa	3
Cafetería (sin cocina)	16 a 50
Vestuarios con baño	20 a 44
Baños personales	1,5
Unidad de SOME	
Oficina jefe SOME	9
Oficinas Línea 800 y agenda horas	12
Oficina técnica (informes) SIGGES y REM	12 a 20
O.I.R.S.	8
Sala equipos Tecnologías de Información y Comunicación	12
Sala de informes para profesionales y técnicos.	12 a 24

Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

Área servicios generales: corresponde a todos los recintos y zonas tanto interiores como exteriores que proveen de servicios al establecimiento. Las áreas involucradas son: recintos de aseo, bodega general, depósito de residuos sólidos, sala de tableros eléctricos, sala de guardias, choferes y encargados de mantención, sala de calderas y equipos térmicos, espacio de gases clínicos, y estacionamiento de ambulancias.

Tabla 10. Área servicios generales – CESFAM.

Área servicios generales	Superficie promedio (m ²) CESFAM de 5.000 a 30 000 usuarios
Recintos de aseo (interior del CES)	4
Bodega general	12 a 16
Depósito de residuos sólidos (al exterior del CES)	16
Tableros eléctricos secundarios	2
Sala de tableros eléctricos y grupo electrógeno	16
Sala guardias, choferes y encargado de mantención del edificio	12
Baños personales	1,5
Sala caldera y equipos térmicos	24
Sala servicios externos	12
Espacio de gases clínicos	18
Gabinete incendios	0,8
Estacionamiento ambulancia (cobertizo medio sup.)	12

Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

Circulaciones (pública y privada): corresponde al 50 % del área total ocupada por recintos y muros. Tiene por objetivo comunicar de forma horizontal y vertical los diferentes recintos por medio de crujiás, rampas y elevadores.

Tabla 11. Circulaciones – CESFAM.

Circulaciones (pública y privada)	Superficie
Circulaciones	(50 %)

Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

La tabla 12 relaciona las principales áreas adscritas a centros de salud familiar CESFAM y el número y área de los principales recintos según la cantidad de habitantes inscritos.

Tabla 12. Áreas adscritas a CESFAM.

	Número de Inscritos	Número de recintos	m ²
Área atención clínica	5000	29	343
(Recintos comunes de atención)	10000	41	573
	20000	60	880
	30000	79	1.102
Área de apoyo técnico	5000	10	132
(Unidad de farmacia, unidad de programas de alimentación, unidad de esterilización)	10000	10	170
	20000	12	242
	30000	12	286
Área administrativa	5000	12	118
(Unidad de Dirección y Gestión, Unidad de SOME)	10000	14	165
	20000	14	200
	30000	15	220
Área servicios generales	5000	14.5	123
	10000	18.5	139
	20000	20.5	144
	30000	23.5	148
Circulaciones	5000		741
	10000		1.091
	20000		1.520
	30000		1.820

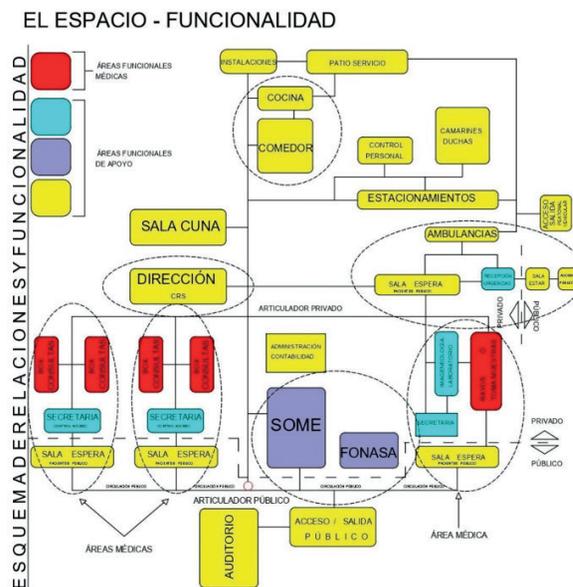
Fuente: adaptado de Ministerio de Salud de Chile.

La funcionalidad de este tipo de establecimientos está dada por dos articuladores principales, el público y el privado. El público articula todas las salas de espera de las distintas áreas médicas, en este caso las salas de espera son la misma circulación pública. El privado articula todas las áreas, resultando

un corredor para abastecimiento y para tránsito de médicos y personal. Existe un articulador intermedio que es el que articula el interior de un área y por él transitan los médicos que trabajan en esa área y los pacientes que son invitados a pasar a atenderse, esto se ve reflejado en los flujogramas (figuras 16 y 17) de recorrido y permanencias diseñados en etapas de planeación que describen la secuencia lógica de circulación y acciones a realizar por parte de pacientes y funcionarios, lo que condiciona desde el principio la forma de las edificaciones.

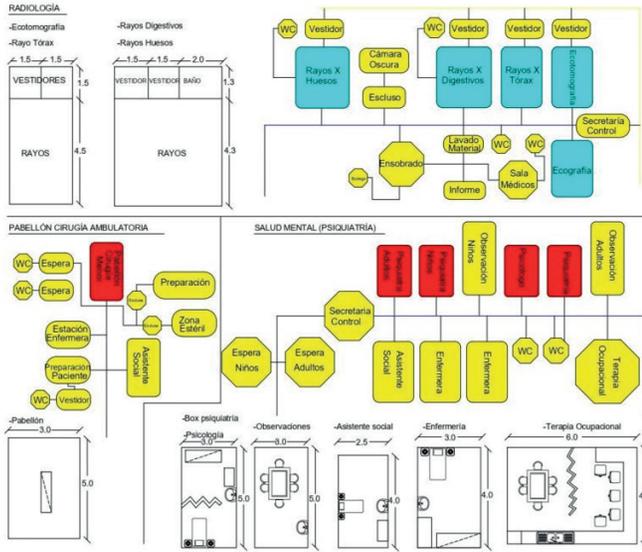
Cada área tiene una forma de distribución interior distinta que las otras áreas, por cierto, hay algunas áreas muy similares, como las de las especialidades, cuya distribución interior son boxes en línea mirando hacia el exterior, con un box de apoyo llamado estación de enfermería a una distancia equitativa de todos los boxes. Lo que cambia en ellos son los usos y la cantidad. La figura 18 muestra la relación funcional-espacial de un centro de salud familiar CESFAM.

Figura 16. Flujograma de recorrido.



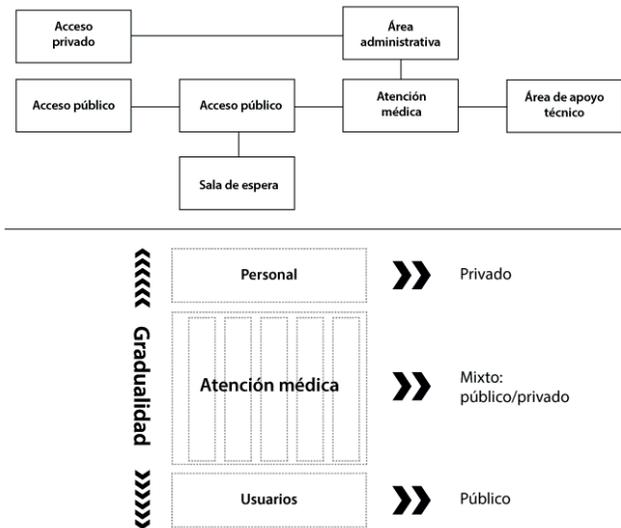
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Flujoograma de permanencia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Relación funcional espacial de un CESFAM.



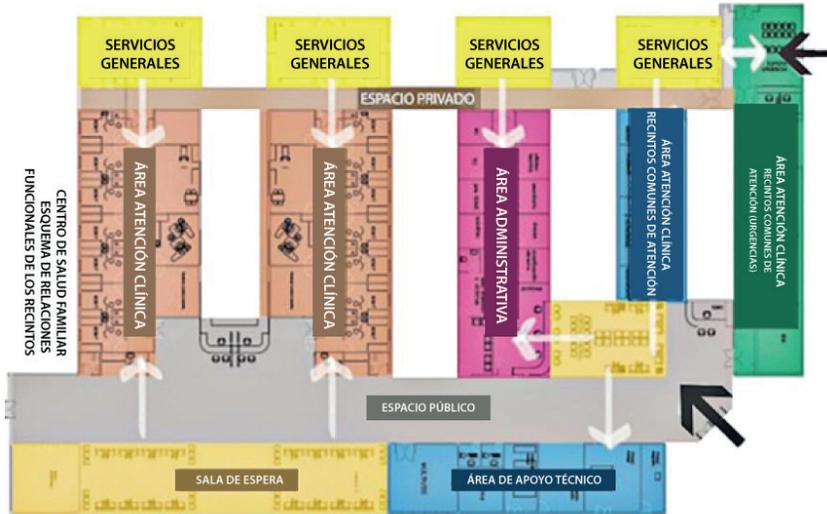
Fuente: elaboración propia.

Organización de los espacios servidos y servidores

Todos los elementos servidores del edificio, como crujías, están dispuestos sobre el eje longitudinal y transversal, comprenden módulos alargados con anchos mínimos de 2,50 m para circulaciones privadas y hasta 4,00 m para circulaciones públicas, lo cual abarca cerca del 50 % del área total construida. En segundo lugar, se encuentra una parte denominada espacio servido/servidor, designada principalmente a las salas de espera, ya que su función es, por una parte, conectar todos estos espacios servidores con los espacios servidos y al mismo tiempo, albergar usos propios del establecimiento. Por último, están los espacios servidos como los boxes, oficinas administrativas y servicios generales, todos ellos en contacto con los espacios servidores y a su vez con los espacios exteriores.

Organización desde el recorrido

En la mayoría de los casos, este tipo de establecimientos en Chile se organiza en un solo bloque compacto, que varía su altura hasta máximo tres niveles. Tiene, por lo general, un punto de acceso equidistante y/o lateral que vincula el exterior con el interior mediante una plaza o plazuela, desde el cual organiza entorno a crujías centrales todas las funciones del edificio, lo cual permite un flujo dinámico, claro y eficiente tanto para pacientes como para funcionarios. De este modo, como se observa en la figura 19, en un lado hay salas de apoyo técnico, salas de espera y área de consulta. En una zona intermedia hay áreas de atención clínica y áreas administrativas, y al otro lado todas las áreas de servicio general. Así, existe un sistema de organización claro en cuanto a recorridos.

Figura 19. Esquema de relaciones funcionales de los recintos – CESFAM.

Fuente: elaboración propia.

Por último, comprenden volumetrías variadas compactas y extendidas de máximo tres niveles, que en la mayoría de los casos incorporan patios internos para promover ventilación e iluminación. A continuación, se describen y analizan las tipologías representativas objeto de estudio.

Tipologías representativas – exposición de la muestra

Caso 1

El proyecto de 1800 m², se asienta sobre una retícula de 4 m x 4 m, la cual organiza la estructura (tabla 13) y el programa funcional. Volumétricamente el edificio orientado al norte, se entiende como un bloque compacto y alargado de dos niveles con un quiebre sobre la fachada oeste en la plata inferior que sirve de articulador y acceso al establecimiento. El nivel inferior comprende recintos comunes de atención, áreas de apoyo técnico y servicios generales, mientras el nivel superior dispone de área de atención clínica, área administrativa y servicios generales.

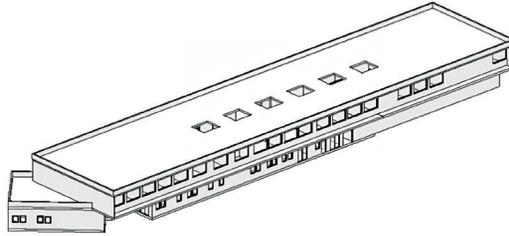
Tabla 13. Caracterización arquitectónica caso 1.

Centro de Salud Familiar Algarrobo	
Arquitecto	Iglesisprat Arquitectos
Ubicación	Algarrobo - Región de Valparaíso - Chile
Superficie primer nivel	876 m ²
Superficie segundo nivel	1094 m ²
Superficie total	1970 m ²
Superficie ocupación del suelo	1275 m ² (porcentaje=6 %)
Materialidad	Hormigón y vidrio.
Usuarios a atender	10 000

Fuente: elaboración propia.

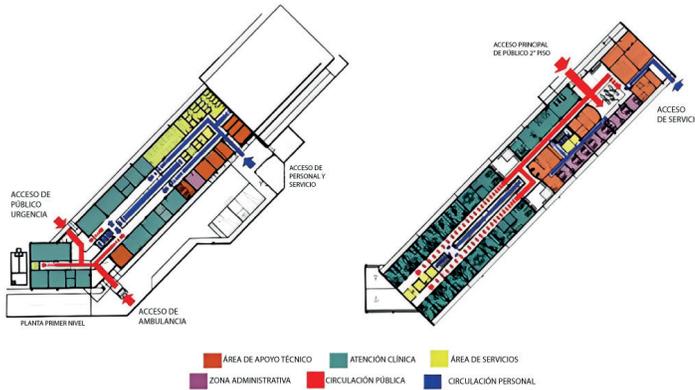
- I. El edificio proyectado para el Centro de Salud Familiar Algarrobo, se ubica en una parcela de 22 000 m², situada en una zona de mediana pendiente en un entorno totalmente natural. Circunda al norte con las calles carabineros de Chile y Pinar y al sur con la quebrada las Casas.
- II. Su programa médico arquitectónico se dispone sobre una rejilla de 4 m de largo x 4 m de ancho x 2,60 m de alto, distribuidos en dos niveles. El nivel inferior comprende acceso y recintos de urgencia, atención clínica y servicios generales. En el segundo nivel, se encuentra el acceso público principal, la recepción, los servicios administrativos y de apoyo técnico y la atención clínica (figuras 20 y 21).
- III. La relación funcional se da mediante circulaciones públicas y privadas de anchos variables no superiores a los 2,5 m, que relacionan los recintos servidores con recintos servidos, facilitando la operación del personal y usuarios. Así mismo, cuenta con una rampa interior y ducto de elevadores que comunican el nivel inferior con el superior. Volumétricamente, el establecimiento orientado al norte se entiende como un bloque compacto y lineal de 78 m de largo, 15 m de ancho y 8 m de alto.

Figura 20. Caso 1. Volumetría CESFAM Algarrobo/ Valparaíso.



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Caso 1. Disposición PMA y relación funcional nivel 1 y 2 CESFAM Algarrobo/Valparaíso.



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Caso 1. Sección transversal CESFAM Algarrobo/Valparaíso.



Fuente: elaboración propia.

Caso 2

Con 1200 m² construidos dispuestos en un solo nivel (tabla 14), este establecimiento dispone su programa funcional en torno a crujías de uso público y privados, con la adición de patios internos que promueven ventilación e iluminación natural, lo cual conforma una volumetría extendida con alto grado de porosidad. Sobre el costado sur, dispone área de atención clínica y algunos servicios generales, los cuales se complementan en fachadas este y oeste, esto estructura zonas como sala de espera y acceso principal sobre la fachada norte.

Tabla 14. Caracterización arquitectónica caso 2.

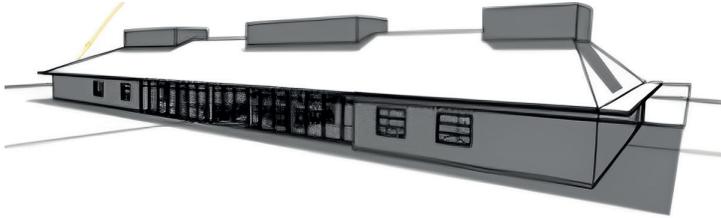
Centro de Salud Familiar Curepto	
Ubicación	Curepto - Región del Maule - Chile
Superficie primer nivel	1229 m ²
Superficie total construida	1146 m ²
Superficie ocupación del suelo	1229 m ² (porcentaje=2,3 %)
Materialidad	Hormigón y vidrio.
Usuarios a atender	5000

Fuente: elaboración propia.

- I. El edificio proyectado para el nuevo centro de salud familiar Curepto se ubica en una parcela de 53 168 m², situada en una zona de mediana pendiente. Este establecimiento (complemento) se edifica al costado noroeste del hospital de Curepto y Circunda al sur con la calle Pedro Antonio González y al oeste con la calle Abate Molina.
- II. Su programa médico arquitectónico se distribuye en un nivel que alberga áreas de apoyo técnico, atención clínica, servicios generales y áreas administrativas (figuras 23 a 25), donde se encuentran tres patios internos a nivel longitudinal que promueven ventilación e iluminación natural.
- III. La relación funcional se da mediante circulaciones públicas y privadas de anchos variables no superiores a los 2,5 m que relacionan los recintos servidores con recintos servidos, facilitando la operación del personal y usuarios. Así mismo, cuenta con una crujía de uso privado que comunica el nuevo establecimiento con el hospital existente. Y volumétricamente,

este establecimiento orientado al noroeste se entiende como un bloque rectangular compacto de 52 m de largo, 21 m de ancho y 5m de alto.

Figura 23. Caso 2. Volumetría CESFAM Curepto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Caso 2. CESFAM Curepto / Distribución funcional.



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Caso 2. CESFAM Curepto / Sección longitudinal.



Fuente: elaboración propia.

Caso 3

Este establecimiento se caracteriza por abarcar una superficie construida cercana a los 300 m², distribuidos en dos niveles (tabla 15). Dispone su programa funcional en torno a crujías públicas y privadas. De este modo, en el primer nivel, se disponen áreas administrativas, áreas de servicios generales y áreas de apoyo técnico, que destinan al segundo nivel áreas de atención clínica. Volumétricamente, el edificio se entiende como un mono bloque extendido con un alto grado de porosidad debido a la presencia de patios internos que garantizan ventilación e iluminación natural.

Tabla 15. Caracterización arquitectónica caso 3.

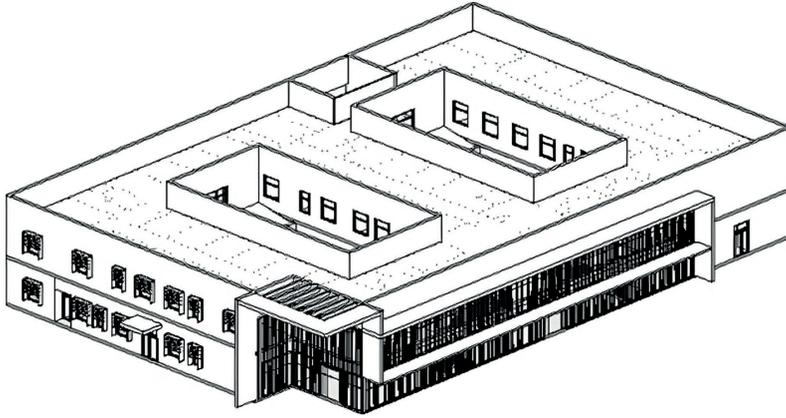
Centro de Salud Familiar Juan Petrinovic	
Ubicación	Santiago - Región Metropolitana -Chile
Superficie primer nivel	1343 m ²
Superficie segundo nivel	1324 m ²
Superficie total	2687 m ²
Superficie ocupación del suelo	1343 m ² (porcentaje=6 %)
Materialidad	Hormigón y vidrio
Usuarios a atender	30 000

Fuente: elaboración propia.

- I. El edificio proyectado para el nuevo centro de salud familiar Juan Petrinovic se ubica en una parcela de 22 000 m², situada en una zona urbana del norte de Santiago. Circunda al norte con la calle carabineros de teniente Juan Colipi y al este con la calle Arco Iris.
- II. Su programa médico arquitectónico se dispone en dos niveles. El nivel inferior comprende el área administrativa, servicios generales y apoyo técnico. En el segundo nivel encontramos el área de atención clínica y servicios generales (figuras 26 a 29).
- III. La relación funcional se da mediante circulaciones públicas y privadas de anchos variables no superiores a los 2,5 m que relacionan los recintos servidores con recintos servidos, facilitando la operación del personal y usuarios. Así mismo cuenta con escaleras y elevadores que comunican

el nivel inferior con el superior. Volumétricamente este establecimiento orientado al este se entiende como un bloque compacto de 52 m de largo, 35 m de ancho y 9 m de alto.

Figura 26. Caso 3. Volumetría CESFAM Juan Petrinovic.

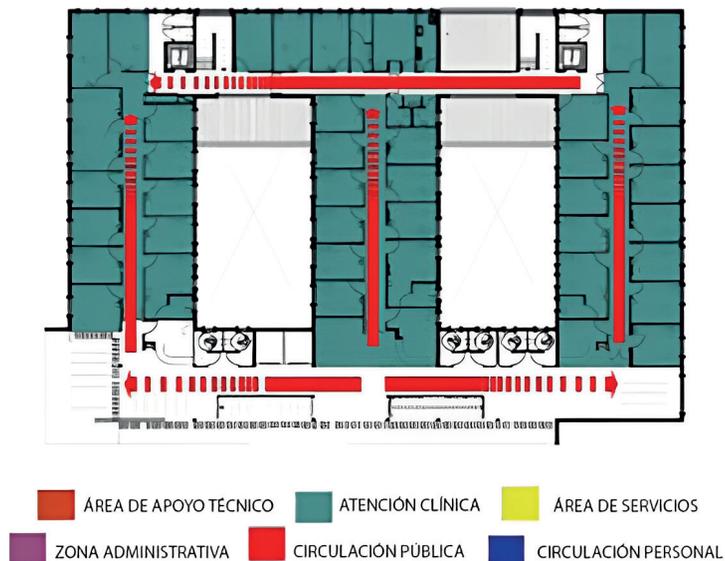


Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Caso 3. CESFAM Juan Petrinovic / Distribución funcional primer nivel.



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Caso 3 CESFAM Juan Petrinovic / Distribución funcional segundo nivel.

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Caso 3. CESFAM Juan Petrinovic / Sección longitudinal.

Fuente: elaboración propia.

Caso 4

Proyectado en tres niveles, este establecimiento de 2500 m² (tabla 16), se caracteriza principalmente por comprender un patio central de gran dimensión en torno al cual se disponen recintos servidos y servidores. Como es característico de esta tipología, su programa funcional se organiza en torno a crujías centrales de uso público y privados combinando en el primer y segundo nivel áreas de atención clínica, servicios generales y áreas de apoyo técni-

co, esto reserva el tercer nivel para áreas principalmente administrativas. De este modo, la volumetría de esta tipología se identifica como compacta.

Tabla 16. Caracterización arquitectónica caso 4.

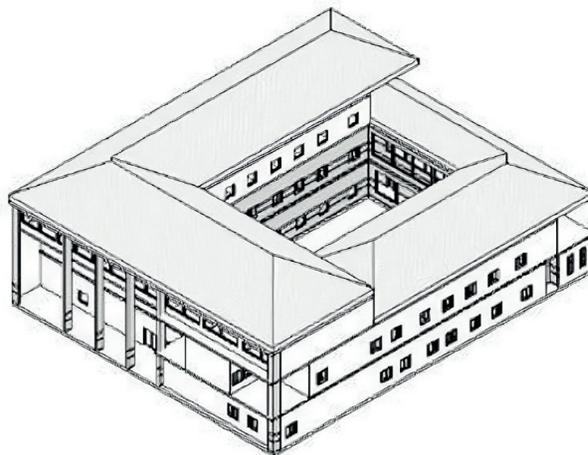
Centro de Salud Familiar O'higgins	
Ubicación	Concepción - Región del Bío Bío - Chile
Superficie primer nivel	876 m ²
Superficie segundo nivel	1094 m ²
Superficie total	1970 m ²
Superficie ocupación del suelo	1275 m ² (porcentaje=6 %)
Materialidad	Hormigón y vidrio
Usuarios a atender	10 000

Fuente: elaboración propia.

- I. El edificio proyectado para el nuevo centro de salud familiar Algarrobo se ubica en una parcela de 22 000 m², situada en una zona de mediana pendiente en un entorno totalmente natural. Circunda al norte con las calles carabineros de Chile y Pinar y al sur con la quebrada las Casas.
- II. Su programa médico arquitectónico se dispone sobre una rejilla de 4 m de largo x 4 m de ancho x 2,60 m de alto, distribuidos en dos niveles. El nivel inferior comprende acceso y recintos de urgencia, atención clínica y servicios generales. En el segundo nivel se encuentra el acceso público principal, la recepción, los servicios administrativos y de apoyo técnico y la atención clínica (figuras 30 y 31).

La relación funcional se da mediante circulaciones públicas y privadas de anchos variables no superiores a los 2,5 m que relacionan los recintos servidores con recintos servidos, lo cual facilita la operación del personal y usuarios. Así mismo, cuenta con una rampa interior y ducto de elevadores que comunican el nivel inferior con el superior. Volumétricamente este establecimiento orientado al Norte, se entiende como un bloque compacto y lineal de 78 m de largo, 15 m de ancho y 8 m de alto.

Figura 30. Caso 4. Volumetría CESFAM O'higgins.



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Caso 4. CESFAM O'higgins / Distribución funcional.



Fuente: elaboración propia.

Caso 5

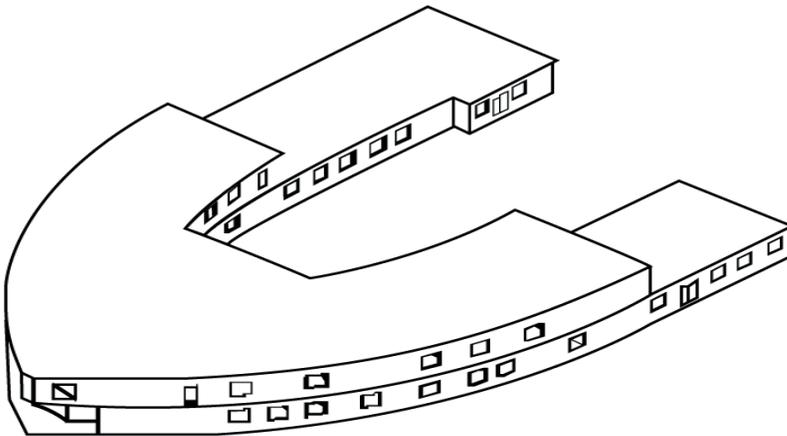
Este edificio presenta una volumetría irregular compacta de dos niveles, con una superficie construida aproximada de 2300 m² (tabla 17). Dispone de recintos entorno a una crujía central e incorpora un patio interno que garantizan ventilación e iluminación natural.

Tabla 17. Caracterización arquitectónica caso 5.

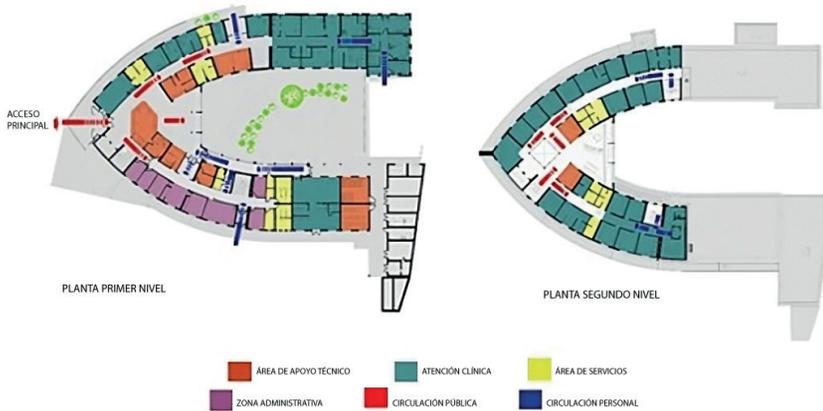
Centro de Salud Familiar Dalcahue	
Ubicación	Dalcahue - Región de los Lagos - Chile
Superficie primer nivel	876 m ²
Superficie segundo nivel	1094 m ²
Superficie total	1970 m ²
Superficie ocupación del suelo	1275 m ²
Materialidad	Hormigón y vidrio
Usuarios a atender	10 000

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Caso 5. CESFAM Dalcahue.



Fuente: elaboración propia.

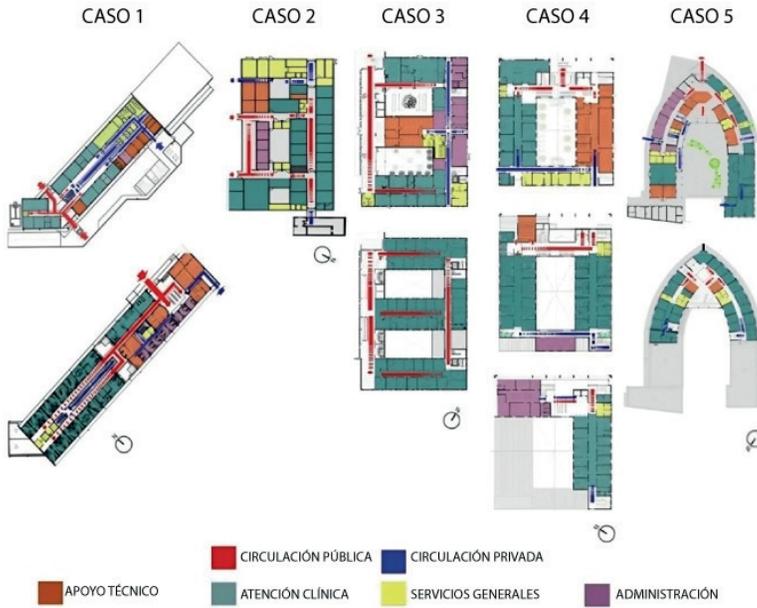
Figura 33. Caso 5. CESFAM Dalcahue / Distribución funcional.

Fuente: elaboración propia.

Tipologías representativas – Comparativo de casos

Como se mencionó anteriormente, la rigurosidad funcional condiciona la tipología arquitectónica de este tipo de establecimiento, esto arroja configuraciones regulares de límites estrechos y sin criterio volumétrico de emplazamiento claro a lo largo del territorio nacional; lo cual relega, a su vez, adaptaciones naturales que promuevan mejores desempeños energéticos y ambientales. La figura 34 muestra los cinco casos de estudio seleccionados, ubicados en distintas latitudes del territorio nacional, demostrando su alta similitud programática con leve diversidad volumétrica. Y la tabla 18 exhibe la caracterización arquitectónica y constructiva de casos estudio.

Figura 34. Zonificación espacial del programa médico arquitectónico PMA en casos de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Caracterización arquitectónica y constructiva de casos estudio.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Localización	Algarrobo, Región de Valparaíso	Curepto, Región del Maule	Santiago, Región Metropolitana	Concepción, Región del Bío Bío	Dalcahue, Región de los Lagos
	-33,36 / -	-35,09 / -	-33,46 / -70,64	-36,82 / 73,04	-42,37 / -
	71,67	72,02			73,65
Zona climática	4CL Centro litoral	5Ci; Central interior	5ci; central interior	6SL Sur litoral	8SE Sur extremo
Área de parcela	22 000 m ²	53 162 m ²	2500 m ²	4500 m ²	4333 m ²
Usuarios a atender	10 000 / año	5000 / año	30 000 / año	30 000 / año	20 000 / año
Número de pisos	2	1	2	3	2
Altura libre	2,6	2,90	2,75	3,15	2,70

Continúa...

...Sigue

Número de patios	0	3	2	1	1
Superficie construida	1970 m ²	1146 m ²	2687 m ²	3789 m ²	2346 m ²
Superficie de cubierta	1163 m ²	1125 m ²	1552 m ²	1193 m ²	1338 m ²
Superficie de envolvente	2500 m ²	1687 m ²	2834 m ²	3442 m ²	2336 m ²
Volumen	5300 m ³	3307 m ³	7262 m ³	9469 m ³	5256 m ³
Materialidad / Muros	Hormigón armado con acabado exterior en piedra y litrofen (acabado exterior a base de cemento, cal, espejuelo y pigmento).	Hormigón armado con acabado exterior en EIFS (Exterior Insulation Finish Systems) Espesores comerciales (3 A 16 cm).			Hormigón armado con acabado exterior en placa fundermax (paneles de madera laminados de alta presión).
Ventanas				Termo panel con perfilera de PVC.	
Pisos en contacto con el terreno				Hormigón con aislación en poliestireno expandido.	
Cubierta				Lamina de fierro galvanizado, con aislación en poliestireno expandido.	
Pendiente de cubierta	5 %	35 %	10 %	15 %	5 %

Fuente: elaboración propia.

Caracterización bioclimática y energética

Los elementos construidos dentro de las regiones modifican fuertemente los parámetros microclimáticos a escala local al alterar la distribución del flujo del viento y amplificar la transferencia de calor entre las superficies. En el Servicio de Evaluación de la Rentabilidad Social de la Incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos - Licitación Pública ID730566-15-LE14, a propósito, se entregó una guía para la preparación y evaluación social de proyectos de inversiones en lo relacionado a eficiencia energética (capacidad del edificio y de sus equipos e instalaciones para realizar su función con el menor consumo energético posible) en edificios públicos. Concretamente, de inversiones que se consultan para nuevos edificios que se postulan. En términos generales, deben tenerse en cuenta todas las medidas e intervenciones pasivas y activas para mejorar el diseño pasivo del edificio con propósitos de EE y reducción de impactos ambientales, como:

- I. Servicios de calefacción: captar, almacenar, distribuir y conservar el calor e incrementar el rendimiento de las instalaciones de calefacción.
- II. Servicios de refrigeración: proteger, evitar, amortiguar el impacto de la radiación solar, minimizar las cargas internas e incrementar el rendimiento de las instalaciones de frío, cuando ellas sean necesarias.
- III. Servicios de ventilación: captar y distribuir aire nuevo, reducir la emisión de contaminantes e incrementar el rendimiento de las instalaciones de ventilación.
- IV. Servicios de provisión de iluminación: captar, distribuir y focalizar la luz natural e incrementar el rendimiento y control de los aparatos e instalaciones de iluminación.
- V. Servicios de provisión de agua: recuperar, aprovechar, reutilizar y reducir el consumo de agua en los edificios e incrementar el rendimiento y control de los dispositivos e instalaciones de agua.

Así mismo, el Ministerio de Salud de Chile (2013) indica que los edificios destinados a establecimientos de salud están entre los que requieren mayor uso de energía para funcionar, por lo que políticas, normativa y guías de diseño específicas se hacen necesarias. La introducción de medidas de eficiencia energética puede generar importantes ahorros operativos que permitirían reorientar esos recursos a la atención clínica, y los mayores costos de inversión, si los hay, son amortizables en el corto y mediano plazo.

Para este aparte, se definieron los valores límite de eficiencia energética y confort ambiental basado en políticas y normas como los Términos de Referencia Estandarizados (TDR) (CITECTUBB y Decon UC, 2004) y valores para escenarios mejorados y optimizados, así como la norma NCh1079-2008 (Instituto Nacional de Normalización, 2008), titulada *Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile*, que define nueve zonas climáticas. Por conveniencia académica y por ser las más representativas para el norte, centro y sur del país, para este estudio se seleccionaron las siguientes seis:

2ND: Norte Desértico – corresponde a las ciudades de Calama, Baquedano y Catalina: zona desértica, sin lluvia, calurosa, atmósfera limpia con fuerte radiación solar, noches frías, fuerte oscilación diaria de temperaturas, ambiente seco, vegetación casi nula y vientos fuertes.

4CL: Centro Litoral - Viña del Mar, Valparaíso, San Antonio y Constitución: zona con clima marítimo, inviernos cortos de cuatro a seis meses, temperatura templada, vientos de componente oeste, suelos y ambiente salino.

5CI: Central Interior - Santiago, Rancagua, Talca y Chillán: clima mediterráneo, temperaturas templadas, inviernos de cuatro a cinco meses, lluvias y heladas en aumento hacia el sur, insolación intensa en verano especialmente hacia el norte y vientos del suroeste.

6SL: Sur Litoral - Concepción, Arauco, Valdivia y Puerto Montt: zona de clima marítimo, lluvioso, inviernos largos, vientos fuertes de componente oeste, vegetación robusta.

7SI: Sur Interior - Los Ángeles, Temuco y Osorno: clima lluvioso y frío con precipitaciones frecuentes, veranos cortos de cuatro a cinco meses con insolación moderada, ambiente y suelo húmedo, vientos sur y sureste.

8SE: Sur Extremo - Castro, Aysén y Punta Arenas: zona fría y muy lluviosa, clima especialmente marítimo, fuertes vientos, nubosidad casi permanente, veranos muy cortos, suelo y ambiente muy húmedo, heladas y nieve en zonas altas como, asimismo, radiación solar en verano.

Las definiciones de Sin TDRé, TDRé Mejorado y TDRé Optimizado parten por la definición establecida por el informe final “Servicio de evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos” desarrollada por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción (CITEC) para la subsecretaría de evaluación social del ministerio de desarrollo social. De tal modo, se entiende lo siguiente:

Sin TDRé: edificación que cumple sólo con los estándares que especifica la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, de la cual se conoce su desempeño energético y ambiental y sirve de línea

de base para apreciar costos y desempeños energéticos de inversiones para propósitos de EE incorporadas en proyectos de nuevos edificios.

TDRé Mejorado: edificación que tiene la misma situación de emplazamiento, orientación y tamaño que la edificación base, pero que incorpora las medidas de mejoras de EE de diseño pasivo que el postulante ha encontrado oportuno incorporar en su postulado, de modo que cumple con algunos de los estándares energéticos de los TDRé de la DA-MOP según zona geográfica del país y tipología del edificio. En función de sus características energéticas se cuantifican los costos y los desempeños energéticos de sus medidas de mejora respecto al edificio base. Si el edificio mejorado incorporara todos los estándares energéticos de EE de diseño pasivo y activo de los TDRé de la DA-MOP, obtendría los mismos resultados que el Edificio Optimizado.

TDRé Optimizado: edificación que tiene la misma situación de emplazamiento, orientación y tamaño que la edificación base, pero que incorpora los estándares energéticos de EE de diseño pasivo y activo de los TDRé de la DA-MOP, según zona geográfica del país y tipología del edificio.

Con lo anterior, se realizaron simulaciones energéticas en EnergyPlus, vinculando variables como volumetría, orientación, ubicación geográfica, control solar, horarios de operación, cargas latentes sensibles, rangos de temperatura, hermeticidad y calidad constructiva con variaciones para escenarios base (sin mejoramiento térmico), mejorado y optimizado (aumento de aislación en un 30 % y 60 %, respecto al escenario base y considerando espesores comerciales de aislación en muros EIFS entre 3 cm a 16 cm variando espesor según zona climática. Esto se acoge a lo sugerido en la herramienta ECSE. Los valores de hermeticidad se basaron en el estándar aceptable en cada zona, son los que definen los TDRé (para escenario mejorado de esta investigación). Su recorrido de exigencia va desde n50: 2,0 (1/h) en la zona 9 (Andina) hasta 6,0 (1/h) en la zona 2 (Norte desértico), con una proyección a 8,0 (1/h) para escenarios sin TDRé.

Los casos evaluados comprenden valores límite de confort ambiental y eficiencia energética indicados en la tabla 19. A nivel general, las estrategias pasivas aplicadas a estos establecimientos resultan ser acotadas y repetitivas a lo largo y ancho del territorio; dentro de las principales estrategias se encuentran la ventilación cruzada, ventilación unidireccional, iluminación natural lateral y cenital, resistividad térmica y hermeticidad en envolvente, control solar mediante lamas, celosías, voladizos o filtros en vidriado. Es pertinente acotar que el porcentaje de vano sobre fachada es en la mayoría de los casos una resultante de arquitectura más no un criterio de eficiencia energética y confort ambiental.

A nivel de sistemas activos, las estrategias de climatización, iluminación, ventilación, electricidad y agua caliente sanitaria ACS, responden a necesidades de demanda, eficiencia de tecnologías, disponibilidad comercial y costo de adquisición. Entre las principales estrategias se encuentran centrales térmicas y Unidades Split, bombas de calor enfriados por aire de tipo cassette o de presentación, con bombas de condensado integradas de fábrica, bombas de calor de alta temperatura con apoyo de paneles solares térmicos para climatización y ACS, *free cooling* con filtro más recuperador de aire e inyección y extracción mediante difusores y rejillas para ventilación, Lámparas fluorescentes compactas y Led con apoyo de paneles fotovoltaicos para iluminación interior y exterior.

Así mismo, la tabla 19, muestra los valores y rangos aceptables de confort ambiental para Centros de Salud, establecidos por los Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para licitaciones de diseño y obra de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipologías de edificación. Por su parte, la tabla 20 indica los valores límite de transmitancia térmica y hermeticidad para escenario base, mejorado y optimizado, empleados para simulaciones de consumo energético.

Tabla 19. Valores de confort ambiental, ocupación y eficiencia energética para recintos representativos en CESFAM.

Recinto	Consigna de temperatura para calefacción °C	Consigna de temperatura para refrigeración °C	Nivel de iluminación Lux	Ocupación Horaria	Equipos de oficinas / Gancias (W/m2)	iluminación / Densidad normalizada de potencia (W/m2-100lux)
Sala de espera	20	25	200		20	11
Box urgencia	20	25	500		20	16,3
Box vacunatorio	20	25	500	L-V 8:00	20	16,3
Box IRA	20	25	500	- 17:00 -	30	13
Box ERA	20	25	500	S - 8:00 - 12:00	30	13
Box químico farmacéutico	20	25	500		30	13
Box ginecológico	20	25	400		20	16,3
Box dental 2	20	25	400		20	16,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Valores límite de transmitancia térmica y hermeticidad para escenario base, mejorado y optimizado.

	Valor U / muro	Valor U / en muro contacto con terreno	Valor U/ suelo contacto con terreno	Valor U / cubierta inclinada	n50: (1/h)	Valor U / acristalamiento	
Sin TDR e	Calama / ZC						
	2ND	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8
	Santiago /						
	ZC 5CI	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8
	Valparaíso /						
	ZC 4CL	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8
	Concepción						
	/ ZN 6SL	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8
Temuco /							
ZC - 7SI	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8	

		Valor U / muro	Valor U / en muro contacto con terreno	Valor U/ suelo contacto con terreno	Valor U / cubierta inclinada	n50: (1/h)	Valor U / acristalamiento
Con TDRe MEJORADO	Punta arenas / ZC 8SE	4,1	4,1	2,3	2,7	8,0	5,8
	Calama / ZC 2ND	0,5	0,5	0,5	0,4	6,0	2,9
	Santiago / ZC 5CI	0,6	0,6	0,6	0,4	3,0	2,9
	Valparaíso / ZC 4CL	0,8	0,8	0,8	0,6	3,5	2,9
	Concepción / ZN 6SL	0,6	0,6	0,6	0,4	3,0	2,9
	Temuco / ZC - 7SI	0,5	0,5	0,5	0,3	2,5	2,9
	Punta arenas / ZC 8SE	0,4	0,4	0,4	0,3	2,5	2,9
	Calama / ZC 2ND	0,3	0,3	0,3	0,2	4,0	1,7
	Santiago / ZC 5CI	0,3	0,3	0,3	0,2	1,5	1,7
	Valparaíso / ZC 4CL	0,4	0,4	0,4	0,4	2	1,7
	Concepción / ZN 6SL	0,3	0,3	0,3	0,2	1,5	1,7
	Temuco / ZC - 7SI	0,3	0,3	0,3	0,1	1,3	1,7
Con TDRe Mejorado OPTIMIZADO	Punta arenas / ZC 8SE	0,2	0,2	0,2	0,1	1,3	1,7

Fuente: elaboración propia.

Análisis de casos

La información técnica, incluida la demanda energética de cada caso, se obtuvo de estudios técnicos de bioclimática realizados por distintos consultores por encargo de los diseñadores de cada proyecto como requisito de licitación para el diseño de cada edificación. Los métodos utilizados para la evaluación y comprobación de las estrategias pasivas y activas incorporadas se basaron en simulaciones dinámicas, utilizando software como Ecotec y Design Builder. Los supuestos iniciales se construyeron a partir de escenarios base y mejorado, adecuando condiciones de envolvente, protecciones solares, porcentaje de apertura de ventana, recolección de agua lluvia, sistemas mecánicos de ventilación y de climatización, abordados en etapas avanzadas (anteproyecto). Las tablas 21, 22 y 23 muestran la caracterización realizada para el Centro de Salud Familiar Algarrobo.

Caso 1

Tabla 21. Caracterización energética - Caso 1.

Ubicación	Algarrobo, Región de Valparaíso, Chile.
Zona climática según NCh2008	4CI
Promedio verano	18,7°C, máxima 25°C en febrero.
Promedio invierno	7,3°C, mínima 3°C en agosto.
Demanda energética	(46,50 KWh/m2a) en climatización, agua caliente sanitaria ACS, iluminación y electricidad según estudio de optimización envolvente (TDRé).

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño pasivo del edificio

Tabla 22. Valores U para elementos de envolvente - Caso 1.

Superficie	U (W/m2K)
Techumbre	0,60
Muro	0,80
Vidrio	2,90
Piso c/terreno	0,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 1.

Forma compacta	FF de 0,47, EGR de 3,11 y FAEP de 1,28.
Orientación	Norte
Ventilación natural	Cruzada y unidireccional, por medio de apertura de ventanas ubicadas en la parte superior e inferior de muros (solo para verano y recintos no adyacente a zonas contaminadas).
Iluminación natural	Lateral y cenital, por medio de ventanas en fachadas norte, sur y un sistema traslúcido fijo ubicado en la cubierta que da al corredor central.
Porcentaje de vanos	30 %
Control solar	Aleros en ambos pisos, que permiten sombrear la fachada norte. Para mayor control solar se instalan cortinas de rollo interior en tonos claros.
Control de aguas lluvia	Logrado a través de cubiertas simples y con buena pendiente, canales y drenajes en terreno para encausar y absorber aguas de lluvias

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño activo

Ventilación: *Free-Cooling.*

Climatización y agua caliente sanitaria ACS: central térmica. Sistema de unidades calentadoras de agua de altas temperaturas de tipo modular enfriado por aire. Unidades Split bombas de calor enfriados por aire del tipo cassette o de presentación, con bombas de condensado integradas de fabrica.

Iluminación: lámparas fluorescentes compactas.

Caso 2

Las tablas 24, 25 y 26 muestran la caracterización realizada para el Centro de Salud Familiar Curepto.

Tabla 24. Caracterización energética - Caso 2.

Ubicación	Curepto, Región del Maule, Chile.
Zona climática según NCh2008	4CL
Promedio verano	19,9°C, máxima 27,8°C en enero.
Promedio invierno	8,9°C, mínima 4,5°C en agosto.
Demanda energética	(76,80 KWh/m2a) en climatización, agua caliente sanitaria ACS, iluminación y electricidad según estudio de optimización envolvente (TDRe).

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño pasivo del edificio

Tabla 25. Valores U para elementos de envolvente - Caso 2.

Superficie	U (W/m2K)
Techumbre	0,60
Muro	0,80
Vidrio	2,90
Piso c/terreno	0,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla 26. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 2.

Forma compacta	FF de 0,51, EGR de 1,37 y FAEP de 1.47.
Orientación	Nordeste.
Ventilación natural	Cruzada y unidireccional, por medio de patios centrales y apertura de ventanas en la parte superior e inferior de muros (solo para verano y recintos no adyacente a zonas contaminadas).
Iluminación natural	Lateral y cenital, por medio de ventanas en fachadas norte, sur, muros medianeros y dispositivos solartube en crujías centrales.
Porcentaje de vanos	13 %
Control solar	Aleros que permiten sombrear hacia orientación norte.
Control de aguas lluvia	Logrado a través de cubiertas simples y con buena pendiente, canales y drenajes en terreno para encausar y absorber aguas de lluvias.
Cubierta ventilada	Actúa como elemento de sombra sobre el material aislante, disponiendo a su vez una entrada de aire exterior en la parte baja de la cubierta y una salida de aire caliente en la parte alta.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño activo**Ventilación:** *Free-Cooling*.**Climatización y agua caliente sanitaria ACS:** central térmica. Sistema de unidades calentadoras de agua de altas temperaturas de tipo modular enfriado por aire.**Iluminación:** lámparas LED.**Caso 3**

Las tablas 27, 28 y 29 muestran la caracterización realizada para el Centro de Salud Familiar Juan Petrinovic.

Tabla 27. Caracterización energética - Caso 3.

Ubicación	Santiago, Región Metropolitana, Chile.
Zona climática según NCh2008	5CI
Temperatura promedio anual	14,6°C
Promedio verano	20,8°C, máxima 25°C en enero.
Promedio invierno	8,6°C, mínima 3°C en julio.
Demanda energética	(94,58 KWh/m2a) en climatización, agua caliente sanitaria ACS, iluminación y electricidad según estudio de optimización envolvente (TDRe).

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño pasivo del edificio**Tabla 28.** Valores U para elementos de envolvente - Caso 3.

Superficie	U (W/m2K)
Techumbre	0,40
Muro	0,60
Vidrio	2,90
Piso c/terreno	0,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla 29. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 3.

Forma compacta	FF de 0,39, EGR de 1,62 y FAEP de 1,05.
Orientación	Nordeste
Ventilación natural	Cruzada y unidireccional, por medio de patios internos y apertura de ventanas en la parte superior e inferior de muros (solo para verano y recintos no adyacentes a zonas contaminadas).
Iluminación natural	Lateral y cenital, por medio de ventanas en fachadas, muros medianeros y un sistema solartube en crujías centrales del nivel superior.
Porcentaje de vanos	35 %
Control solar	Lamas verticales sobre fachada norte. En ventanas este dispone protecciones horizontales al tercio de la ventana.
Control de aguas lluvia	Logrado a través de cubiertas simples y con buena pendiente, canales y drenajes en terreno para encausar y absorber aguas de lluvias.
Cubierta ventilada	Actúa como elemento de sombra sobre el material aislante, disponiendo a su vez una entrada de aire exterior en la parte baja de la cubierta y una salida de aire caliente en la parte alta.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño activo

Ventilación: *Free-Cooling* con filtro + *heat recovery*.

Climatización y agua caliente sanitaria ACS: bomba de calor polivalente para climatización y bomba de calor de alta temperatura con apoyo de paneles solares térmicos para ACS.

Iluminación: lámparas LED.

Caso 4

Las tablas 30, 31 y 32 muestran la caracterización realizada para el Centro de Salud Familiar O'higgins.

Tabla 30. Caracterización energética - Caso 4.

Ubicación	Concepción, Región del Bío Bío, Chile.
Zona climática según NCh2008	6SL
Temperatura promedio anual	14,6°C
Promedio verano	20,8°C, máxima 25°C en enero.
Promedio invierno	8,6°C, mínima 3°C en julio.
Demanda energética	(32,81 KWh/m2a) en climatización, agua caliente sanitaria ACS, iluminación y electricidad según estudio de optimización envolvente (TDRé).

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño pasivo del edificio

Tabla 31. Valores U para elementos de envolvente - Caso 4.

Superficie	U (W/m2K)
Techumbre	0,40
Muro	0,60
Vidrio	2,90
Piso c/terreno	0,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 4.

Forma compacta	FF de 0,36, EGR de 2,39 y FAEP de 1,47.
Orientación	Nordeste
Ventilación natural	Cruzada y unidireccional, por medio de patios internos y apertura de ventanas en la parte superior e inferior de muros (solo para verano y recintos no adyacente a zonas contaminadas)
Iluminación natural	Lateral y cenital. por medio de ventanas en fachadas, muros medianeros y un sistema solartube en crujías centrales del nivel superior.
Porcentaje de vanos	35 %
Control solar	Lamas verticales sobre fachada norte. En ventanas de fachada este se disponen protecciones horizontales al tercio de la ventana.

Continúa...

...Sigue

Forma compacta	FF de 0,36, EGR de 2,39 y FAEP de 1,47.
Control de aguas lluvia	Logrado a través de Cubiertas simples y con buena pendiente, canales y drenajes en terreno para encausar y absorber aguas de lluvias
Cubierta ventilada	Actúa como elemento de sombra sobre el material aislante, disponiendo a su vez una entrada de aire exterior en la parte baja de la cubierta y una salida de aire caliente en la parte alta.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño activo

Ventilación: *Free-Cooling* con filtro. + *heat recovery*.

Climatización y agua caliente sanitaria ACS: bomba de calor polivalente para climatización y bomba de calor de alta temperatura con apoyo de paneles solares térmicos para ACS.

Iluminación: lámparas LED.

Caso 5

Las tablas 33, 34 y 35 muestran la caracterización realizada para el Centro de Salud Familiar Dalcahue.

Tabla 33. Caracterización energética - Caso 5.

Ubicación	Dalcahue, Región de los lagos, Chile
Zona climática según NCh2008	8 SE
Temperatura promedio anual	14,6°C
Promedio verano	20,8°C, máxima 25°C en enero.
Promedio invierno	8,6°C, mínima 3°C en julio.
Demanda energética	(47,51 KWh/m2a) en climatización, agua caliente sanitaria ACS, iluminación y electricidad según estudio de optimización envolvente (TDRe).

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño pasivo del edificio

Tabla 34. Valores U para elementos de envolvente - Caso 5.

Superficie	U (W/m ² K)
Techumbre	0,25
Muro	0,40
Vidrio	2,90
Piso c/terreno	0,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla 35. Estrategias bioclimáticas implementadas - Caso 5.

Forma compacta	FF de 0,44, EGR de 1,73 y FAEP de 1,04.
Orientación	Nordeste
Ventilación natural	Cruzada y unidireccional, por medio de patios internos y apertura de ventanas en la parte superior e inferior de muros (solo para verano y recintos no adyacente a zonas contaminadas).
Iluminación natural y ganancias solares	Lateral, por medio de lucernario en vestíbulo y ventanas simple y doble altura en fachadas.
Porcentaje de vanos	16 %
Control de aguas lluvia	Logrado a través de Cubiertas simples y con buena pendiente, canales y drenajes en terreno para encausar y absorber aguas de lluvias
Cubierta ventilada	Actúa como elemento de sombra sobre el material aislante, disponiendo a su vez una entrada de aire exterior en la parte baja de la cubierta y una salida de aire caliente en la parte alta.

Fuente: elaboración propia.

Medidas de diseño activo

Ventilación: inyección mediante difusores y extracción mediante rejilla ubicadas en puertas (excepto baños). Para aprovechar el aire tratado, se consideran recuperadores de calor.

Climatización y agua caliente sanitaria ACS: central térmica. Sistema de unidades calentadoras de agua de altas temperaturas de tipo modular enfriado por aire.

Iluminación: lámparas LED.

La tabla 36 describe las estrategias de diseño pasivo aplicada a cada caso de estudio, esto evidencia la repetición de estrategias como calefacción solar pasiva, iluminación lateral, iluminación natural cenital, aislación de envolvente según TDRe y protecciones solares mediante lamas, corta soles, voladizos y/o filtros. Así mismo, la tabla 37 muestra distintos valores asociados al coeficiente de forma calculados para cada caso demostrando las distintas posibilidades expuestas en la revisión del estado del arte para relacionar la forma proyectada y el desempeño energético mediante relaciones dimensionales y adimensionales. Por otro lado, la tabla 38 muestra las estrategias de diseño activo reconocidas en los informes técnicos de consultoría de cada uno de los casos estudiados, mostrando el tipo de sistema formulado para satisfacer necesidades ambientales como la temperatura e iluminación principalmente.

Consolidado estrategias pasivas

Tabla 36. Consolidado estrategias pasivas.

					
Localización	Santiago, Región Metropolitana	Algarrobo, región de Valparaíso	Curepto, región del Maule -35,09 / -72,02	Concepción, región del Biobío	Dalcáhue, región de Los Lagos
Zona climática	5CI, Central	4CL, Centro Litoral	5CI, Central	6SL, Sur Litoral	8SE, Sur Extremo
Orientación		X			
Forma	Resultante de arquitectura				
Calefacción solar pasiva	X	X	X	X	X
Inercia térmica					
Iluminación natural lateral	X	X	X	X	X
Iluminación natural cenital por <u>lucarna</u>		X			
Iluminación natural cenital por <u>Solar tube</u>	X		X	X	
Ventilación natural (solo para verano en recintos no adyacentes a zonas contaminadas)	X	X	X	X	X
Aislación en envolvente (según TDRe) + Control de ventilación e infiltración	X	X	X	X	X
Control de puentes térmicos	X		X	X	
Protección solar mediante lamas, celosías, aleros, cortinas y/o filtros	X	X	X	X	X
% de vidriado sobre fachada	Resultante de arquitectura				
Cubierta ventilada	X		X	X	
Cubierta sombreada		X			X
Cubierta verde					
Control de aguas lluvias			X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37. Coeficientes de forma asociados a cada uno de los casos de estudio.

	Caso 3 	Caso 1 	Caso 2 	Caso 4 	Caso 5 
Factor Forma – FF (superficie de envolvente / volumen)	0,39	0,47	0,51	0,36	0,44
Eficiencia geométrica relativa - EGR (superficie de envolvente / superficie construida)	1,62	1,05	1,37	2,39	1,73
Factor Área Envolvente Piso – FAEP (superficie de envolvente / superficie de ocupación)	1,05	1,28	1,47	1,47	1,04
Factor de cubierta / superficie construida	0,57	0,59	0,98	0,31	0,57

Fuente: elaboración propia.

Consolidado estrategias activas

Tabla 38. Consolidado estrategias activas.

	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 4	Caso 5
Localización	Santiago, Región Metropolitana	Algarrobo, región de Valparaíso	Curepto, región del Maule	Concepción, región del Biobío	Dalcahue, región de Los Lagos
Zona climática	5Cl, Central	4Cl, Centro Litoral	5Cl, Central	6Sl, Sur Litoral	8SE, Sur Extremo
Calefacción					
Central térmica: sistema de unidades calentadoras de agua de altas temperaturas de tipo modular, enfriado por aire.		X	X		X
Bomba de calor polivalente.	X			X	
Refrigeración					
Unidades Split bombas de calor enfriados por aire del tipo cassette o de presentación, con bombas de condensado integradas de fábrica.		X			
Ventilación					
Free-cooling con filtro + heat recovery.	X	X	X	X	
Inyección mediante difusores y extracción mediante rejilla ubicadas en puertas (excepto baños).	X			X	X
ACS					
Bomba de calor de alta temperatura con apoyo de paneles solares térmicos para ACS.		X	X		
Iluminación					
Led	X		X	X	
T8		X			

Fuente: elaboración propia.

Caracterización climática - macro zonas climáticas

La arquitectura ha buscado, a lo largo de la historia, desarrollar medios de control ambiental que puedan proporcionar refugio y comodidad para el hombre, y la definición de zonas climáticas ha sido el factor determinante en la toma de decisiones en lo que corresponde a conceptos arquitectónicos, materiales y técnicas constructivas. El estudio del clima y su relación con la práctica del diseño constructivo se está convirtiendo cada vez más en un diferencial de la buena arquitectura. Un proyecto bioclimático cubre las necesidades del ser humano en cuanto a aspectos térmicos, de iluminación y de acústica, preocupándose por las condiciones climáticas y el uso de técnicas que incluyen el estudio de la luz solar, la calefacción y el movimiento del aire a través de la envolvente del edificio, empleando materiales disponibles para determinadas regiones e intentando integrar la edificación con el espacio que la rodea. Se cree que la incorporación de conceptos de construcción bioclimática es una de las prácticas más económicas y eficientes para el ahorro de energía.

A propósito de ello, es importante mencionar que hay dos factores principales a tener en cuenta en el contexto de la arquitectura bioclimática: el enfoque multidisciplinar (requerido para desarrollar un proyecto eficiente) y su inserción en la sostenibilidad sujeta a la búsqueda de un diseño pasivo eficiente (necesaria para comprender que no hay una solución perfecta aplicable a todas las situaciones, pero si numerosos mecanismos para encontrar una solución adecuada para un caso determinado).

Teniendo en cuenta estos aspectos, el tema de la arquitectura bioclimática es extremadamente importante para el contexto actual de la arquitectura y para el tema que ocupa el estudio, tanto en relación con los edificios como con el entorno urbano. Esto justifica la importancia del desarrollo de la caracterización bioclimática en la investigación. Para ello, a continuación, se hace uso de las recomendaciones de diseño por zona climática, teniendo en cuenta nuevamente, la clasificación definida en la norma NCh 1079 – 2008 *Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones de diseño arquitectónico* (Instituto Nacional de Norma-

lización, 2008). En las tablas 39 y 40 y figura 35 se aprecian algunos datos acerca de la caracterización climática Chile.

Como se ha indicado desde el comienzo del texto, si bien es posible establecer un conjunto de recomendaciones de diseño, con criterios de confort y uso eficiente de energía, cada proyecto debe ser analizado en forma particular, considerando aspectos locales del clima o microclima, la geografía del lugar y el contexto urbano en los casos que corresponda, considerándose desde etapas tempranas del mismo. Aprovechando ello, se establecen macrozonas climáticas que relacionan las zonas dispuestas por la NCh 1079 – 2008 y el mapa del registro solarimétrico de Chile. Para cada una de estas macrozonas, se establecerán recomendaciones de diseño según forma construida.

Tabla 39. Caracterización climática Chile.

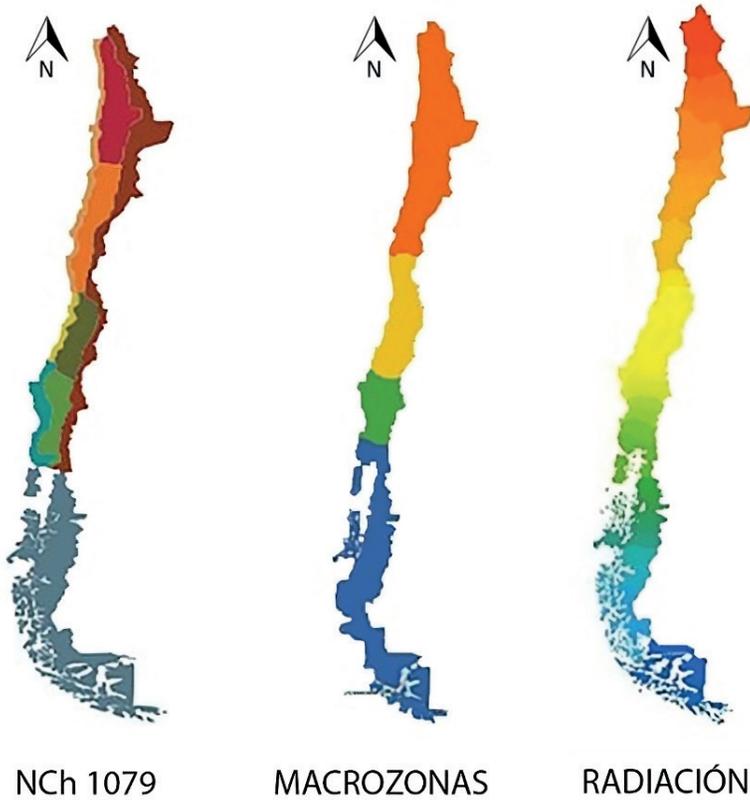
	Latitud	Longitud	Temperatura media		Insolación (Wh/m ² x día)		Soleamiento Horas de sol/día		Humedad relativa %	Nubosidad	Precipitación anual mm	Irradiación global mensual anual, en plano horizontal (KWh/m ²)			
			Julio	Enero	Julio	Enero	Julio	Enero					Julio	Enero	
NCh1079 - 2008	1 INL; Norte Litoral	70,14 / 71,33	20,4	14,1	7,0	3,5	13,3	10,9	72,33	78,00	0,93	203,73	180,13		
			16,7	10,0	7,2	3,3	13,5	10,5	42,00	33,00	8,95	33,5	209,28	113,845	
			17,9	8,1	7,3	3,3	13,8	10,3	68,67	71,33	45,20	69,37	208,81	343,50	
Arquitectura y Construcción: Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico	4CL; Centro Litoral	71,550 / 72,416	17,4	8,8	7,0	1,9	14,45	9,7	61,00	85,25	1,75	202,53	47,91		
			15,8	3,9	6,6	1,5	14,7	9,35	76,67	89,00	1594,60	156,93	211,61	51,80	
			15,9	7,4	6,9	1,6	15	9,1	74,50	89,00	1187,07	134,83	186,74	36,61	
9 Anel; Andina	42,480 / 53,163	70,914 / 73,762	12,9	3,8	5,6	0,7	16,15	7,95	76,00	87,50	7,23	163,37	126,47	155,42	22,96
			15,9	5,9	71,369 / 72,965	15,9	5,9	53,00	68,00	785,1	148,3	222,11	53,33		

Fuente: adaptado del Instituto Nacional de Normalización (2008).

Tabla 40. Macro zonas climáticas.

	Latitud	Longitud	Temperatura media	Insolación Wh (m ² x día)	Soleamiento Horas de sol/día	Humedad relativa %	Nubosidad	Precipitación anualmm	Irradiación global mensual y anual, en plano horizontal (KWh/m ²)
			Enero Julio	Ene- Julio	Enero Julio	Enero Julio	Enero Julio	Enero Julio	Enero Julio
	18,44 / 29,95	70,14 / 71,33	20,4 14,1	7,0 3,5	13,3 10,9	72,33 78,00	3,87 6,93	0,93 20,93	203,73 180,13
Norte	22,453 / 26,194	68,925 / 70,365	16,7 10,0	7,2 3,3	13,5 10,5	42,00 33,00	3,5 3,05	8,95 33,5	209,28 113,845
	27,336 / 30,031	70,332 / 70,708	17,9 8,1	7,3 3,3	13,8 10,3	68,67 71,33	2,00 3,53	45,20 69,37	208,81 343,50
Cen -	33,015 / 35,333	71,550 / 72,416	17,4 8,8	0,0 0,0	14,2 9,9	76,00 87,00	3,05 6,1	440,45 197,8	189,14 55,41
tro	33,469 / 36,606	70,642 / 72,102	20,1 8,5	7,0 1,9	14,45 9,7	61,00 85,25	1,75 6,625	644,225 124,85	202,53 47,91
MACROZONAS	36,820 / 41,471	73,044 / 72,936	15,8 3,9	6,6 1,5	14,7 9,35	76,67 89,00	4,33 7,17	1187,07 1594,60	211,61 51,80
Sur	37,462 / 40,574	72,361 / 73,131	15,9 7,4	6,9 1,6	15 9,1	74,50 89,00	4,00 6,90	1187,07 134,83	186,74 36,61
Aus -	38,455 / 42,457	71,369 / 72,965	15,9 5,9	0,0 0,0	0,0 0,0	53,0 68,0	0,0 0,0	785,1 148,3	222,1 53,3
tral	42,480 / 53,163	70,914 / 73,762	12,9 3,8	5,6 0,7	16,2 8,0	76,0 87,5	7,1 7,2	1631,4 126,5	155,4 23,0

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Caracterización climática – macro zonas climáticas.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Las estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética implementadas en los casos de estudio, inicialmente responden a los sugerido por documentos técnicos como los TDRé, sin embargo, para todos los casos y situaciones de emplazamiento las estrategias resultan ser repetitivas con leve distinción según la zona climática. En todos los informes técnicos de consultoría el Factor de Forma o algún otro coeficiente no es abordado de forma amplia ni tampoco existe un registro de estrategias formuladas en etapas tempranas de diseño.

Esta investigación abordó seis de las nueve zonas climáticas establecidas por la NCh 1079 de 2018 para realizar simulaciones dinámicas en seis distintas ciudades y de esta forma constituir 4 macro zonas (Norte, Centro, Sur y Austral) para ser incorporadas en los cuadros de recomendaciones resultado de esta investigación.

Capítulo 4

Evaluación del desempeño energético, generación solar y costos sociales de Centros de Salud Familiar (CESFAM)

Análisis de la factibilidad técnica y económica

Las reservas mundiales de combustibles fósiles como el petróleo o el gas vienen disminuyendo rápidamente desde hace un tiempo. Aquello implica, inevitablemente, el aumento de los precios de la energía, lo cual ocasiona gran preocupación en términos de competitividad económica para las industrias aun dependientes de las mismas. Por ello, económicamente hablando, es imprescindible que el crecimiento económico se disocie de la dependencia existente con los combustibles fósiles. Además de que, ambientalmente, sería un fuerte espaldarazo en la mitigación del calentamiento global, a través de la implementación de políticas que viabilicen el suministro de energías renovables y políticas eficientes sostenibles a largo plazo. La generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos es importante, confiable y puede también contribuir de manera significativa la reducción de emisiones de CO₂ (Becerril-Montekio et al., 2011).

La eficiencia energética y la energía renovable pueden beneficiar a la salud pública, el ambiente, y costos de operación, al desplazar las emisiones de las unidades de generación eléctrica que generalmente, funcionan con combustibles fósiles. Como se verá, los beneficios referidos a la reducción de la demanda, consumos y potencia instalada de generación solar pueden variar sustancialmente según la ubicación, características constructivas y orientación de la edificación, a partir de la consideración de las dimensio-

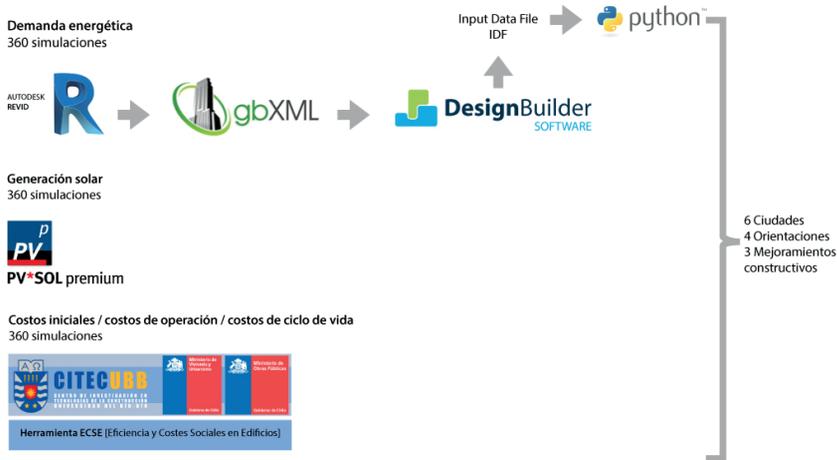
nes que contribuyen de manera individual y conjunta a la variabilidad de los beneficios en los CESFAM. Aquí, se desarrollarán modelos con contextos reales para simular y comparar los beneficios energéticos y monetarios para distintos escenarios, esto contribuye al desarrollo sostenible de la infraestructura con una evaluación general del impacto ambiental (que incluye las fases de construcción e instalación). La figura 36 muestra la estrategia diseñada para evaluar de forma multivariada el consumo de energía, generación solar y costo de ciclo de vida.

Entendiendo la funcionalidad como una variable inamovible, para el análisis energético se consideraron variables como la calidad constructiva de la envolvente referida al nivel de transmitancia térmica y hermeticidad, asumiendo en escenarios mejorados lo sugerido por los Términos de Referencia estandarizados TDR para cada una de las zonas climáticas. Para variables como el porcentaje de vidriado, se decidió, para este caso, que fuese fija e inamovible ya que, así como la disposición de espacios y forma proyectada resulta ser consecuencia de requerimientos funcionales y no una estrategia de sostenibilidad recomendada en los casos 1 y 5 estudiados, para los otros casos (2, 3 y 4) la forma y dimensiones de las ventanas respondían a cálculos lumínicos. En caso de la orientación las simulaciones demostraron una influencia inferior al 5 %, por lo tanto, los resultados y recomendaciones se muestran para edificaciones norte.

A nivel de generación solar las variables de análisis se asociaron principalmente a la superficie útil en cubierta para la implementación adaptada de tecnologías solares fotovoltaicas, ya que otras como la eficiencia de las tecnologías fueron constantes para cada uno de los caso y ciudades. Por otro lado, la evaluación económica consideró variables como el lugar de emplazamiento, zona climática, superficie de la edificación, superficie útil a climatiza, tipo de equipo y fuente de energía para climatizar e iluminar, así como la superficie de muros y ventanas para establecer los costos asociados a la inversión inicial, costos de reemplazo, costos de operación y, por lo tanto, costo de ciclo de vida.

Evaluación energética mediante *Building Performance Simulation (BPS)*

Figura 36. Esquema general, estrategia para la evaluación energética, generación solar y costos sociales de inversión para centros de salud familiar (CESFAM).



Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, existen herramientas para medir y comprobar el desempeño energético de las edificaciones tanto para lograr un buen balance entre la eficiencia energética y la factibilidad económica como para cumplir con las distintas normas y certificaciones, que rigen el proyecto. Las metodologías de Simulación del Performance del Edificio (BPS, por sus siglas en inglés) han avanzado con éxito debido a la exactitud de los cálculos, las mejoras la interfaz, el uso de amplias bases de datos de materiales, de clima, etc. (Ministerio de Desarrollo Social, 2013). Según Hopfe y Hensen (2011), la simulación del rendimiento del edificio (BPS) tiene el potencial de proporcionar información de diseño relevante al indicar las instrucciones para las soluciones de diseño. Según R. E. Shannon, profesor en el Departamento de Ingeniería Industrial en la Universidad A&M de Texas (EE. UU.): “La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias —dentro de los límites impuestos

por un cierto criterio o un conjunto de ellos— para el funcionamiento del sistema” (p. 15).

A su vez, los programas BIM (*Building Information Modeling*) son cada vez más comunes en oficinas de arquitectura construcción e ingeniería. Ya que permiten centralizar la mayor cantidad de información de forma interdisciplinaria en un modelo digital, lo cual permite realizar con mayor certidumbre la coordinación de especialidades, cuantificación de materiales, documentación y análisis de desempeño energético (Vargas 2014). Y dentro del software BPS, los formatos más usados para el intercambio con BIM son el DXF, el gbXML y el ifcXML. El gbXML, por ejemplo, exporta información sobre áreas y recintos (generalmente llamados Zonas) para cálculos de desempeño térmico, transmisión de radiación solar, demanda de energía, índices sustentables (Lobos *et al.*, 2015).

Estos programas permiten, una vez hechos los muros, suelos y techos de un recinto, insertar un volumen virtual contenido en dichos muros, lo que normalmente se usa en la computación de superficies para conteos de área proyectada. Sin embargo, como se demostrará en esta investigación, tiene el potencial de transformarse en ZONAS útiles para el cálculo en el software BPS, promoviendo la interoperabilidad y ahorrando al consultor la tarea redundante de modelar todo el edificio de nuevo.

Según Osello *et al.* (2011), la estandarización e interoperabilidad de los modelos arquitectónicos en 3D de los edificios con programas especializados permiten simulaciones de eficiencia energética más rápida y fiable durante el ciclo de vida de un edificio. Asimismo, Ali (2010), resalta la importancia de trabajar los procedimientos y flujos de trabajo entre Revit y gbXML, ya que este tipo de interoperabilidad permite un traspaso más completo para equipos HVAC. La tabla 41 muestra los parámetros explotados por Revit a Design Builder mediante formato gbXML. Aun cuando, Lobos *et al.* (2015) ponen en discusión que BIM permita evaluar el desempeño energético en etapas tempranas del diseño, donde la normativa urbana de los edificios determina la forma de éste.

Tabla 41. Parámetros explotados por Revit a Design Builder mediante formato gbXML.

Elementos y propiedades que contiene el archivo de exportación.	Revit a gbXML a Design Builder
Localización	X
Geometría	
Dimensiones	X
Volumetría	X
Zona	X
Uso de la zona	*-
Tipo de elemento	
Techo	X
Cielo	X
Muro exterior	X
Muro interior	X3
Piso	X
Puerta	X
Ventana	X
Materialidad	
Nombre	*-
Capa	*-
Propiedades físicas	*-

Nota. *-: Información entregada por defecto; X: Información entregada en un 100 %.

Fuente: Lobos et al. (2015).

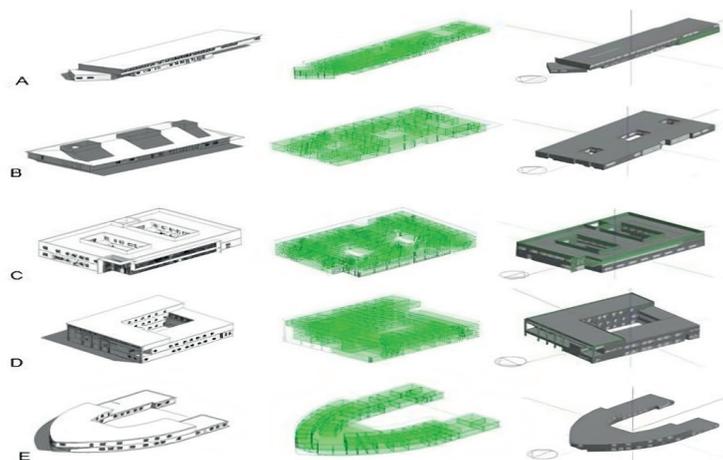
Partiendo de las premisas expuestas anteriormente, esta investigación desarrolló una metodología de análisis energético a partir del modelado conceptual de cada uno de los casos de estudio en Revit (software BIM), para

luego, mediante el formato de intercambio gbXML, llevarlos a Design Builder, software especializado para la simulación energética y ambiental. Una vez exportadas las volumetrías se configuraron plantillas de construcción, actividad, ocupación y sistemas de iluminación y climatización para escenarios base, mejorado y optimizado. Posteriormente mediante el formato Input Data File (IDF) y Python (Lenguaje de programación multiparadigma) se realizaron simulaciones energéticas para distintas orientaciones, tipo de construcción y localizaciones geográficas.

Modelado energético BIM/BPS

La primera parte del desarrollo metodológico de esta investigación se basó en la elaboración de modelos BIM que respetaran la forma, distribución arquitectónica y orientación de cada uno de los casos de estudio. Para luego, como muestra la figura 37, realizar modelos energéticos mediante zonas térmicas y mediante el formato gbXML la exportación a Design Builder versión 5.5.2 007, software desarrollado por el Departamento de Energía de los EE. UU. el cual utiliza como motor de cálculo Energy Plus.

Figura 37. Modelado de casos de estudio en Revit, configuración de zonas térmicas y exportación a Design Builder Mediante el formato gbXML.



Fuente: elaboración propia.

Así, teniendo las correcciones de la volumetría, el siguiente paso fue crear bibliotecas de plantillas. Estas últimas, agilizan enormemente la definición de los modelos, al contar con numerosos elementos predefinidos que podemos cargar de inmediato en el programa como plantillas de cerramientos, horarios de ocupación, curvas de rendimiento, etc.

Para este caso, se construyeron plantillas según definiciones descritas en el informe “Servicio de evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos licitación pública” y zona climática designada por la NCh 1079-2008; con el objetivo de compatibilizar la evaluación energética con la evaluación de costos sociales de inversión. La tabla 42 muestra las distintas planillas creadas mediante macros en Excel por zona climática y calidad constructiva para las simulaciones energéticas, y la tabla 43 los parámetros de simulación energética para distinta solución constructiva.

Tabla 42. Plantillas de construcción.

Plantilla Sin TDRé 1NL	Plantilla Con TDRé MEJORADO 1NL	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 1NL
Plantilla Sin TDRé 2ND	Plantilla Con TDRé MEJORADO 2ND	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 2ND
Plantilla Sin TDRé 3NTV	Plantilla Con TDRé MEJORADO 3NTV	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 3NTV
Plantilla Sin TDRé 4CL	Plantilla Con TDRé MEJORADO 4CL	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 4CL
Plantilla Sin TDRé 5CI	Plantilla Con TDRé MEJORADO 5CI	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 5CI
Plantilla Sin TDRé 6SL	Plantilla Con TDRé MEJORADO SL	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 6SL
Plantilla Sin TDRé 7SI	Plantilla Con TDRé MEJORADO 7SI	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 7SI
Plantilla Sin TDRé 8SE	Plantilla Con TDRé MEJORADO 8SE	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 8SE
Plantilla Sin TDRé 9AN	Plantilla Con TDRé MEJORADO 9AN	Plantilla Con TDRé OPTIMIZADO 9AN

Fuente: elaboración propia.

Tabla 43. Parámetros de simulación energética para distinta solución constructiva.

Sin TDRé	TDRé Mejorado	TDRé Optimizado	TDRé Optimizado
Cerramiento			
Fachadas	Hormigón	Hormigón + EIFS 3CmsXPS	Hormigón + EIFS 5CmsXPS
Cubierta	Metálica	Hormigón + EIFS 5CmsXPS	Hormigón + EIFS 5CmsXPS
Piso en contacto con el terreno	Hormigón	Hormigón	Hormigón + EIFS 2 CmsXPS
Vanos	PVC y vidrio de 5 mm	PCV y DVH 6/12/6	PCV y DVH 6/12/6
Protecciones solares	-	Celosías – fachada norte	Celosías – fachada norte
Hermeticidad	-		
Instalaciones			
Calefacción	Bomba de calor agua-Agua	VRV	VRV
Refrigeración	Bomba de calor agua-Agua	VRV	VRV
Iluminación	T8	LED	LED

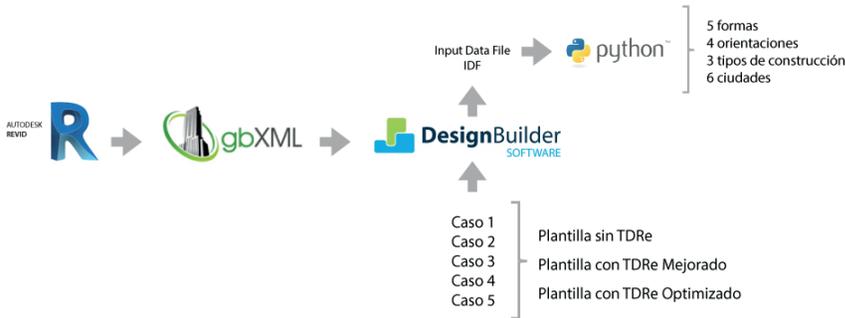
Fuente: elaboración propia.

Simulación base y multivariada

En primera instancia, se realizaron combinaciones multivariadas mediante una macro en Excel esto arrojó un número de 360 simulaciones de consumo, generación solar fotovoltaica y costo de ciclo de vida. Posteriormente, se elaboraron las plantillas base en Design Builder, para exportar cada uno de los archivos en formato IDF (Imput Data File). Luego, se realizaron simulaciones multivariadas (figura 38), donde se combinaron los modelos volumétricos con las cuatro orientaciones (Norte, Sur, Este y Oeste), calidad constructiva (sin TDRé, con TDRé Mejorado y TDRé Optimizado) y ciudades

representativas (Calama, Santiago, Valparaíso, Concepción, Temuco y Punta Arenas). Este análisis introduce la simplificación de los procedimientos de simulación, a través de evaluaciones multivariadas, mediante la combinación de variables por código en Python Eppy.

Figura 38. Secuencia de trabajo BIM BPS para análisis energético multivariado.



Fuente: elaboración propia.

Archivo IDF / Archivo de datos de entrada (Input Data File)

Este es un archivo de texto plano no estandarizado, codificado con el sistema ASCII, el cual contiene y describe el modelado de una construcción y el sistema HVAC (sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado) de cada caso de estudio, utilizado como entrada de datos por herramientas de simulación energética. El archivo proviene principalmente de herramientas y motores de análisis energético², como Desing Builder y Energy Plus, las cuales generan y exportan un modelo de información que comprende la geometría de la edificación, las relaciones espaciales, información geográfica, así como también las cantidades y las propiedades de sus componentes (materiales). La estructura del contenido se compone por una colección no-ordenada de clases, donde cada una ofrece la instancia para generar objetos con distintos estados o atributos y los tipos de datos permitidos por el IDF (tabla 44), se encuentran establecidos por convención del diccionario de datos, que establece:

2 https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.8.0/GettingStarted.pdf

Tabla 44. Sintaxis - Tipo de datos permitidos por IDF.

Tipo de dato	Ejemplo
Entero (Integer):.	'-4', '0', '1000'
Decimales (Float).	'15,5', '-2,9', '-4,0'
Alfanumérico (Varchar).	'718_GroundFloor_0_0_1', 'Outdoors', 'Roof'
Lista de objetos (enlace a una lista de objetos definidos en otro lugar del mismo archivo).	Objeto de construcción, enlazan al nombre de todos los objetos materiales disponibles.
Lista externa (enlace a una fuente externa, por ejemplo, archivo de clima).	'/usr/local/climas/Talcahuano.epw'

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra un archivo con extensión .idf. El ejemplo contiene tres objetos: *Site: Location*, *Material*, *Construction*, los cuales están definidos por la caracterización de sus atributos. La tabla 45 contiene la descripción de objeto ejemplo 'Site:Location'

Site:Location,

Concepción, !- Name
 -36.46, !- Latitude {deg}
 -73.03, !- Longitude {deg}
 -4, !- Time Zone {hr}
 12; !- Elevation {m}

Material,

1_1_37, !- Name
 Rough, !- Roughness
 .1327, !- Thickness {m}
 0.04, !- Conductivity {W/m-K}
 10, !- Density {kg/m³}
 1400, !- Specific Heat {J/kg-K}

0.9, !- Thermal Absorptance
 0.6, !- Solar Absorptance
 0.6; !- VisibleAbsorptance

Construction,

1, !- Name
 1_1_37, !- OutsideLayer
 1_2_9, !- Layer2
 1_3_29, !- Layer3
 1_4_34; !- Layer4

A continuación, se describe detalladamente el objeto: Site:Location, a modo de ejemplo.

Site:Location,
 Concepción, !- Name
 -36.46, !- Latitude {deg}
 -73.03, !- Longitude {deg}
 -4, !- Time Zone{hr}
 16; !- Elevation {m}

Nombre del objeto: Site:Location, este contiene 5 atributos de la forma <clave>:<valor>.

Tabla 45. Descripción de objeto ejemplo 'Site:Location'

N° Atributo	Unidad	Clave	Valor
Atributo 0		Name	Concepción
Atributo 1	deg (grados)	Latitude	- 36.46
Atributo 2	deg (grados)	Longitude	- 73.03
Atributo 3	hr (UTC)	Time Zone	- 4
Atributo 4	m (metros)	Elevation	16

Fuente: elaboración propia.

Combinaciones de simulación

Una vez elaborados los archivos base y abstraída la información en IDF, se desarrolló en Excel una Macro que permitió realizar combinaciones de variables como la forma proyectada, envolvente, orientación y localización de forma aleatoria bajo la condición de no repetición, para luego, mediante Python Eppy, realizar las simulaciones de forma multivariada. La tabla 46 muestra algunas de las combinaciones formuladas.

Tabla 46. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación y ciudad.

C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción

Continúa...

...Sigue

C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se definieron las permutaciones para todos los casos, con la combinación de TDRé Mejorado, TDRé Optimizado y orientación norte este, sur, oeste y ciudades representativas (anexos).

Python

Con las combinaciones definidas, y mediante Python Eppy, librería que permite gestionar archivos de entrada EnergyPlus con extensión .idf y lectura para archivos EnergyPlus de salida; Eppy, está escrito en el lenguaje de programación Python. La librería aprovecha todas las virtudes de Python en cuanto a elementos del lenguaje y estructuras, lo que permite:

- I. Realizar un gran número de cambios en un archivo idf con unas pocas líneas de código en un script.
- II. Utilizar condiciones y bucles para generar cambios en un archivo idf.
- III. Realizar cambios a múltiples archivos idf en un script.
- IV. Leer datos de los archivos de salida de una ejecución de simulación en EnergyPlus.
- V. Generar nuevos archivos idf, basados en los resultados de una ejecución de simulación en EnergyPlus.

Para empezar a trabajar con la librería se declaró al inicio de cada script lo siguiente:

- I. `from eppy import modeleditor`: importa desde la librería eppy la clase “modeleditor”, que implementa funciones para modificar el modelo de datos proveniente del archivo IDD de EnergyPlus.
- II. `from eppy.modeleditor import IDF`: importa desde clase “modeleditor” la clase IDF.
- III. `path_eppy = '/usr/lib/python3.5/site-packages/eppy/'`: se asigna a una variable la ruta de la librería instalada en el servidor.
- IV. `iddfile = '/usr/local/EnergyPlus-8-6-0/Energy+.idd'`: se asigna a una variable la ruta del diccionario de datos de EnergyPlus instalada en el servidor.
- V. `pathfileidf = '/usr/filesIDF/caso_base.idf'`: se asigna a una variable la ruta de un archivo idf, para posteriormente pasar como argumento e instanciar la clase IDF.

Como ejemplo simple, se presenta un pequeño script que aumenta el espesor de todos los materiales del archivo idf en 10 milímetros (0,01 metros).

```
archivo_idf = IDF (pathfileidf)
```

```
all_material = archivo_idf.idfobjects['MATERIAL']
```

```
AUMENTO = 0,01
```

```
for material in all_material:
```

```
    espesor_material = float(material.Thickness)
    material.Thickness = AUMENTO + espesor_material
    archivo_idf.saveas(nuevoNombreDelArchivo)
```

Explicación del ejemplo por líneas:

Primera: asigna un modelo de entrada EnergyPlus (archivo idf) a una variable. Segunda: extrae una lista de todos los objetos de la clase ‘MATERIAL’ pertenecientes al modelo asignado anteriormente.

Tercera: asigna una constante (0,01) que se adicionará al espesor de los materiales.

Cuarta: se empieza con un ciclo por que extrae cada objeto de la lista asignada en la línea dos.

Quinta: para cada material extraído se accede al atributo espesor (*Thickness*) del objeto, el cual es asignado a una variable.

Sexta: se aplica el aumento por la constante (0,01) al espesor que ya tiene definición.

Séptima: muestra que el archivo se guarda con un nuevo nombre.

En el ejemplo anterior, se puede comprobar la capacidad de manipular un archivo idf, para acceder a objetos del modelo y a la modificación de sus atributos. La librería, al estar escrita en el lenguaje de programación Python, se enmarca en la Filosofía de Python, que sigue los principios de legibilidad y transparencia en el código, lo que convierte a Eppy en una herramienta eficaz y eficiente en la gestión de archivos de simulación (Gárate Santiago, 2017).

Simulación PV

Un modelo preciso es esencial al diseñar sistemas fotovoltaicos. Los modelos fotovoltaicos se basan en un conjunto de ecuaciones no lineales que se agregan a la complejidad de determinado modelo. Este aparte propone un enfoque simple y fácil de modelar para la implementación en simulaciones de sistemas fotovoltaicos, aplicados a centros de salud. Aprovecha la simplicidad de los modelos ideales y mejora la precisión al derivar una representación capaz de extraer estimaciones precisas de los parámetros del modelo.

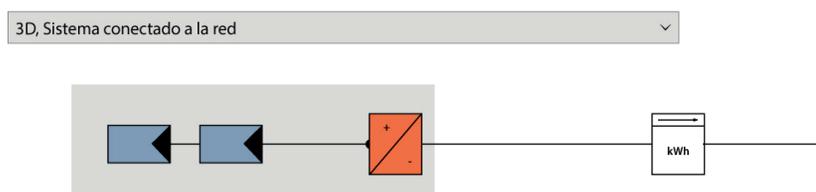
Para calcular con precisión los rendimientos es importante hacer una representación real del sombreado de los objetos circundantes. Esto facilita la visualización de todos los sistemas integrados o montados en el techo y calcular el sombreado sobre la base de objetos 3D. En este estudio se utilizó el PV * SOL® Premium (Valentin Software, 2013), que proporciona informa-

ción detallada sobre las sombras proyectadas en diferentes momentos del día y año, y, en consecuencia, las posibles reducciones en el rendimiento, lo que permite, con base en los resultados, tomar las medidas pertinentes. Antes de simular el sistema es necesario ingresar los datos climatológicos del emplazamiento, perfil de cargas, seleccionar la topología del sistema e introducir los equipos que se deben usar.

A continuación, se presentan los principales pasos abordados para el cálculo de aporte solar fotovoltaico.

- I. Tipo de instalación: 3D Sistema FV conectado a la red, es decir, sin consumo propio - Inyección del excedente en la red. La figura 39 muestra el esquema de conexión del sistema.

Figura 39. Esquema de conexión sistema fotovoltaico conectado a red.



Fuente: elaboración propia.

- II. Datos climáticos: Con los datos climáticos se establecen los valores necesarios para calcular el rendimiento energético anual de la instalación fotovoltaica en la simulación (figura 40). Para este caso se utilizaron las datas de Calama, Santiago, Valparaíso, Concepción, Temuco y Punta Arenas.

Figura 40. Configuración de localización para asignación de datos climáticos en PV-SOL Premium.

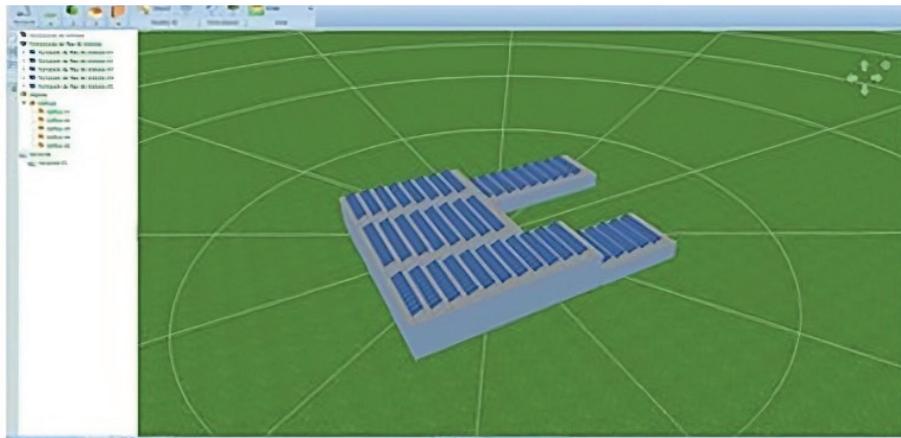
Datos climáticos

País		Ubicación	
Chile		Calama/El Loa	
Latitud	-22° 30' 0"	Suma anual de irradiación global	2427 kWh/m ²
Longitud	-68° 54' 0"	Media anual de temperatura	16,3 °C
Huso horario	UTC-4		
Periodo de tiempo	1991 - 2010		
Resolución	Por hora	Parámetros de simulación	

Fuente: elaboración propia.

- III. Módulos fotovoltaicos: con base en la caracterización geométrica de los casos de estudio, se realizaron modelos volumétricos para determinar la capacidad de tecnologías integradas en cubierta, considerando porcentajes de área para circulación y otras instalaciones de cerca del 70 % del área útil en cubierta (figura 41).
- I. Inversor: fue necesario seleccionar hasta un máximo de 50 inversores con los que se calculan y evalúan las combinaciones de interconexión.
- II. Instalación de baterías: no se consideraron para este caso.
- III. Cables: se definieron los conductores de línea, de corriente continua y de corriente alterna.
- IV. Rentabilidad: se introdujeron los costes de la instalación y de su explotación.
- V. Simulación: se realizó la simulación de la instalación fotovoltaica.
- VI. Resultados: se obtuvieron resultados de energía generada, costos y cantidad de tecnologías.

Figura 41. Interfaz 3D para la adaptación de paneles solares fotovoltaicos en cubierta.



PANEL SOLAR HAREON – POLICRISTALINO 320WP

320 Wp Policristalino, Hareon Solar 320Wp Poly 4BB HR-320-24/Ba(1966x991x35)

- **Peso:** 21,9 kg
- **Potencia:** 330
- **Voltaje:** 37,25
- **Dimensiones:** 1,966 x 991 x 0,035 m
- **Fabricante:** Hareon Solar
- **Origen:** China



Fuente: elaboración propia.

Respecto a la tecnología solar fotovoltaica seleccionada, se buscó que esta estuviese disponible en el mercado nacional, ya que de no estarlo podría aumentar los costos asociados a la adquisición y manteniendo. Así mismo, debido a la extensión del territorio, se pensó en un factor multiplicador (tabla 47) equivalente a la latitud, esto debido a que se debió contemplar costos de transporte y mano de obra para cada una de las ciudades analizadas. Esto es importante a la hora de pensar en una implementación, ya que generalmente los costos se asocian a los establecidos para Santiago.

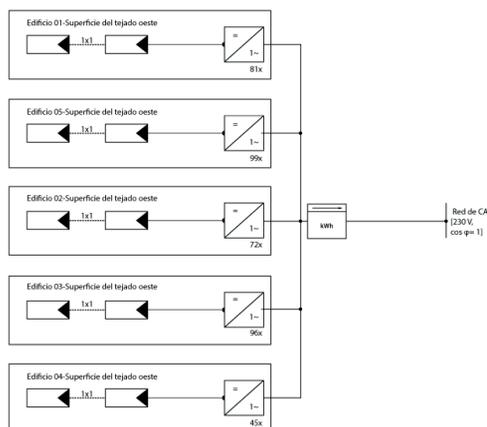
Tabla 47. Factor multiplicador.

Ciudad	Factor multiplicador
Calama	0.5
Santiago	0.1
Valparaíso	0.2
Concepción	0.3
Temuco	0.4
Punta Arenas	0.6

Fuente: elaboración propia.

La figura 42 muestra el esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica tipo adaptada en la cubierta de cada uno de los casos. En esta se observa que la totalidad de la instalación fotovoltaica está conectada a un inversor, que se llama el inversor centralizado. Esta configuración es la menos costosa, debido a que todos los módulos deben tener la misma posición angular y la dirección, por la sencilla razón de que la corriente y el voltaje producido por cada cadena de módulos deben ser del mismo valor. Si no es así, hay una pérdida de producción. Cada cadena debe tener el mismo número de módulos. La influencia de un tono en uno o más módulos fotovoltaicos puede ser bastante importante en la producción eléctrica, ya que los módulos de cada cadena están conectados en serie y va a implicar el cambio de corriente o tensión en una cadena de módulos en paralelo con las otras cadenas. Otras desventajas incluyen que una avería del inversor provoca la interrupción completa del campo PV.

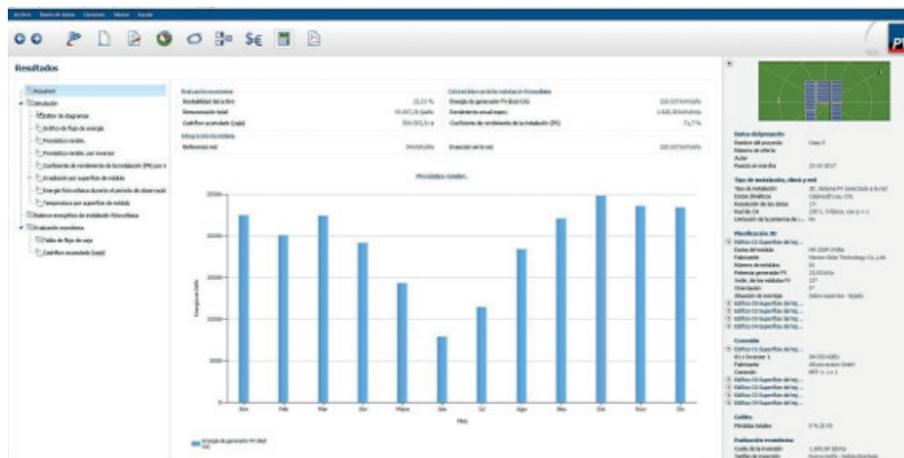
Figura 42. Esquema eléctrico instalación fotovoltaica.



Fuente: elaboración propia.

Para crear un perfil de cargas (figura 43) el programa PVsol permite la creación directa de un único perfil donde se definen los parámetros de variación en los consumos, o ir más allá e ingresar cada carga individualmente y definir en cada una el funcionamiento, la potencia, y los periodos en que se activará.

Figura 43. Perfil anual de generación eléctrica mediante instalación fotovoltaica.



Fuente: elaboración propia.

Para el sistema de los casos evaluados se han ingresado, asociadas a las dispuestas en la simulación de consumo, con las cuales el programa puede definir un perfil de carga y calcular tanto la potencia pico consumida puntualmente, como el total de la energía consumida después de todo el año.

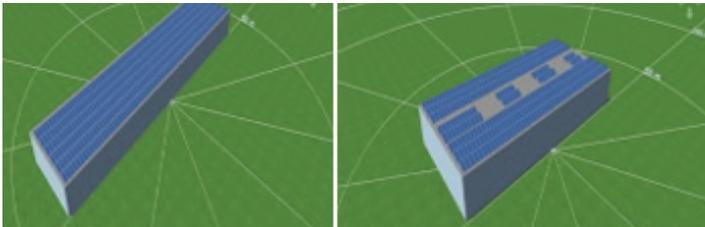
Respecto a los módulos instalados, estos se calcularon en función de la superficie de cubierta para su adaptación, ya que el objetivo de esta investigación se centró en suplir el consumo de energía total con posibilidades de excedentes según combinación de forma y tipo de envoltente. La tabla 48 y figura 44, muestran la cantidad máxima a instalar en la cubierta de cada uno de los casos de estudio. La instalación contempló áreas de circulación y otros equipos instalados en cubierta.

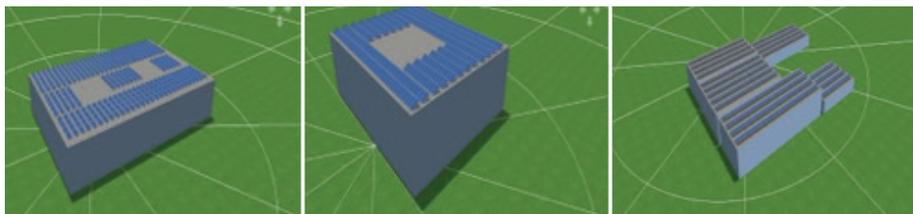
Tabla 48. Cantidad de módulos fotovoltaicos adaptados sobre cubierta según localización geográfica.

	C1		C2		C3		C4		C5	
	Norte / Sur	Este / Oeste								
Calama										
Santiago										
Valparaíso										
Concepción										
Temuco	462	315	362	250	486	363	390	275	470	393
Punta Arenas										

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Adaptación de paneles fotovoltaicos sobre cubierta de casos de estudio.





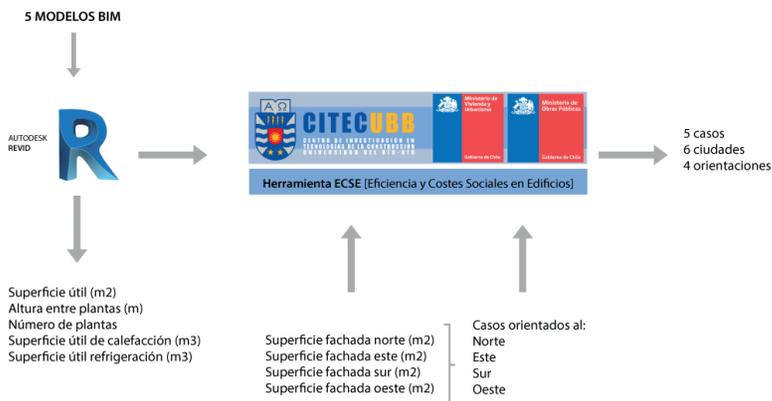
Fuente: elaboración propia.

Simulación de costos de ciclo de vida

En este estudio, la cuantificación del costo del ciclo de vida para Centros de Salud Familiar (CESFAM) se logra mediante la simulación y optimización combinada. La idea es encontrar valores optimizados de x variables de diseño seleccionadas en la construcción del edificio y el sistema de climatización. Para esto, se utilizó la planilla ECSE (Eficiencia y Costes Sociales de Edificios) herramienta producto de servicio de evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos desarrollada por el CITEC UBB para la Subsecretaría de Evaluación Social del Ministerio de Desarrollo Social bajo la metodología simplificada, la cual se basa en el uso y análisis de cuadros de información deducidos de la aplicación de la metodología general a distintos casos de estudio en Chile. La planilla ECSE es aplicable a los casos en que no se dispone de los diseños ni las especialidades. Sirve para orientar y seleccionar inversiones en EE y AA en la fase de concepción del edificio, en función de sus potenciales beneficios económicos y ambientales, según tipo de edificio y zona climática. El objetivo de la metodología es entregar una guía para la preparación y evaluación social de proyectos de inversiones en EE y AA en edificios públicos mediante la inclusión de datos como ubicación geográfica, superficie construida, volumen a climatizar, superficie de envolvente y porcentaje de vano, entre otros, permitió establecer los costos iniciales, mantenimiento y reemplazo escenarios base, mejorado y optimizado. La figura 45 muestra el procedimiento de análisis partiendo por la cubicación de áreas en Revit y traspasándolas a la plantilla mencionada.

La herramienta “ECSE” (Eficiencia y Costes Sociales en Edificios), encargado por el Ministerio de Desarrollo Social al Centro de Investigación en Tecnología de la Construcción de La Universidad del Bío-Bío (CITEC), es una innovadora metodología que evalúa la rentabilidad social en el uso de la eficiencia energética en la construcción de edificios públicos, postulados al Sistema Nacional de Inversión (sin). Esto con el fin de velar por la búsqueda de alternativas de inversión más adecuadas y rentables para la administración pública, mejorando la calidad de la inversión pública, asignando recursos a iniciativas de mayor rentabilidad social, permitiendo a las autoridades concretar las opciones de inversión más conveniente para la sociedad, consistentes con las políticas de gobierno.

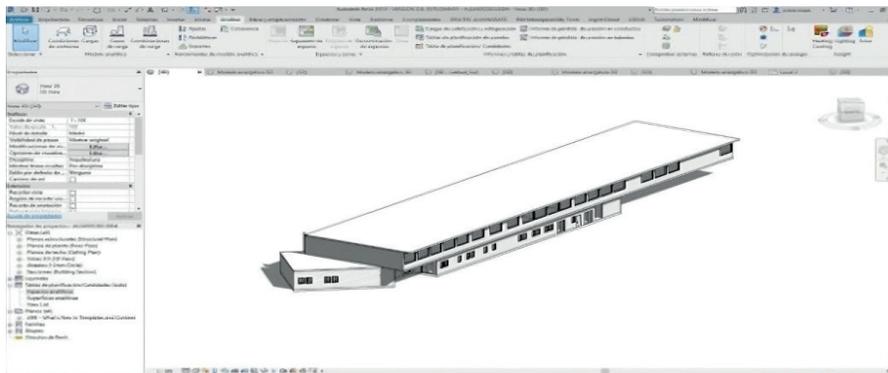
Figura 45. Esquema metodológico para la abstracción de superficies desde Revit a ECSE (Eficiencias y Costos Sociales en Edificios).



Fuente: elaboración propia.

Para identificar las superficies, se utilizaron los modelos BIM de cada uno de los casos de estudio (figura 46), realizado en Revit 2018. Esto permitió mediante tablas de planificación y cuantificación de materiales (figura 47) abstraer de forma precisa los m² de muro, losa, cubierta, ventana y también conocer los m³ de aire contenido.

Figura 46. Volumetría en Revit para la abstracción de superficies y zonas térmicas (caso de estudio 1).



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Tablas de cantidades elaboradas en Revit.

<Espacios analíticos>			<Window Schedule>				
A	B	C	A	B	C	D	E
Nombre de habitación	Area	Volumen	Type Mark	Mark	Height	Width	Area
SALA MULTUSO 8	11 m²	22.56 m³	24	V14-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
WC2 21	5 m²	11.57 m³	24	V13-M4-PAT-N	1600	1600	2 m²
VACUNATORIO 6	5 m²	9.08 m³	24	V12-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
VACUNATORIO 6	9 m²	30.66 m³	24	V6-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
SOME URGENCIA 4	11 m²	30.66 m³	24	V7-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
SOME URGENCIA 4	3 m²	5.91 m³	24	V5-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
WC1 5	10 m²	23.06 m³	24	V4-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
TOJA DE MUESTRAS 7	17 m²	48.89 m³	24	V3-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
HALL CENTRAL 17	15 m²	25.66 m³	24	V2-M4-PAT-N	1500	1600	2 m²
HALL CENTRAL 17	27 m²	71.15 m³	24	V37-M2A-PAT-SU	1500	1600	2 m²
HALL CENTRAL 17	417 m²	1380.31 m³	24	V26-M1A-PAT-EST	1500	1600	2 m²
HALL CENTRAL 17	5 m²	8.93 m³	24	V01-M1A-PAT-NOR	1500	2400	1 m²
ERA 15	13 m²	28.33 m³	24	V24-M12-EXT-S	1500	1600	2 m²
ERA 15	15 m²	31.31 m³	24	V05-M12-EXT-S	1500	1600	2 m²
HALL CENTRAL 17	3 m²	8.27 m³	26	V27-M1A-PAT-NOR	1500	4500	7 m²
HALL CENTRAL 17	3 m²	3.88 m³	26	V26-M1A-PAT-NOR	1500	4500	7 m²
HALL CENTRAL 17	13 m²	38.86 m³	24	V33-M3A-PAT-OES	1500	1200	2 m²
VESTUARIO 1 19	8 m²	15.95 m³	24	V37-M3A-PAT-SU	1500	1600	2 m²
VESTUARIO 2 9	15 m²	32.47 m³	24	V36-M4A-PAT-SU	1500	1600	2 m²
SERVICIOS EXTERIORES 10	9 m²	16.76 m³	27	V33-M3A-PAT-OES	1500	1200	2 m²
CAFEETERIA 11	33 m²	79.17 m³	27	V04-M2A-PAT-OES	1500	1200	2 m²
AREA SUCIA 12	11 m²	20.09 m³	28	V29-M1A-PAT-NOR	1500	1400	2 m²
AREA LIMPIA 13	10 m²	20.37 m³	28	V41-M3A-PAT-EST	1500	1600	2 m²
RX DENTAL 14	10 m²	18.65 m³	28	V16-M12-EXT-S	1500	1400	2 m²
ERA 16	20 m²	45.56 m³	30	V16-M12-EXT-S	1500	1400	2 m²
ERA 15	10 m²	22.45 m³	30	V4	1500	1400	2 m²
SALA DE CALDERAS Y GASES 18	19 m²	43.26 m³	31	V40-M2A-PAT-EST	1500	788	1 m²
HALL CENTRAL 17	23 m²	45.20 m³	31	V04-M2A-PAT-OES	1500	788	1 m²
VESTUARIO 1 19	13 m²	23.63 m³	31	V31-M2A-PAT-OES	1500	788	1 m²
SALA DE CALDERAS Y GASES 18	7 m²	14.77 m³	31	V28-M1A-PAT-E	1500	788	1 m²
ATENCION DE URGENCIA 23	7 m²	11.50 m³	31	V31A-M3A-PAT-SU	1500	788	1 m²
ATENCION DE URGENCIA 23	9 m²	24.29 m³	31	V11-M4-PAT-N	1500	788	1 m²
			31	V10-M4-PAT-N	1500	788	1 m²

Fuente: elaboración propia.

Posterior a la cuantificación de superficies, se ingresaron los datos asociados a los m2 de muro, vano, superficie útil, altura entre plantas, número de plantas, volumen de aire a climatizar y otros como localización, tipo de edificación intensidad de uso y días de operación (tabla 49). Con esa información, se obtienen finalmente los siguientes indicadores: de rentabilidad, en Ahorro (Uf/m2) y Periodo de Recuperación de la Inversión; y de impacto ambiental, en Reducción tCo2e por cada 1000 m2. Indicadores estimados

potenciales para cada una de las estrategias factibles de incorporar. Información útil para apoyar la toma de decisiones en la concepción y evaluación temprana de estrategias de EE y AA a incorporar en las ideas y perfiles de proyectos de edificios públicos.

Para el caso de esta investigación se acudió a la herramienta ECSE (Eficiencia y Costos Sociales de Edificios) la cual hace parte del informe para la evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos. Esta herramienta sirve para realizar el análisis ex ante de rentabilidad social de inversión en eficiencia energética (EE) incorporadas en proyectos de edificios públicos, lo cual permite evaluar, a partir de información básica del proyecto y de su ubicación, la incorporación de estrategias para mejorar el desempeño energético y ambiental durante el ciclo de vida.

Además, se consideraron los resultados asociados, los costos y beneficios económicos y ambientales asociados a los consumos de calefacción y refrigeración calculados por la herramienta, producto del impacto de ciertas estrategias en relación con otras en distintas zonas climáticas. Es importante precisar que el desarrollo de esta herramienta se ha realizado en base al método completo en base mensual de tipo casi estacionario; para ello, utiliza información mensual de bases de datos meteorológicas de las principales localidades de Chile; información arquitectónica mínima de los edificios junto con programas estandarizados de uso y cargas; base de datos de costos de inversión y operación deducidas de estudios de presupuestos y de gastos de operación de edificios públicos de Chile y métodos y bases de cálculo definidos por la norma ISO 13790:2008 Energy Performance of Buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling y; ASTM E917 2013 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems.

En el procedimiento de cálculo que desarrolla la herramienta, hace posible la comparación energética de tres escenarios alternativos de un mismo modelo (tabla 50), lo que ayuda a estandarizar el procedimiento y la evaluación; mientras que posibilita la valoración del cumplimiento de un estándar mínimo en caso de establecerse.

Tabla 49. Evaluación de costos sociales de inversión caso 1 - orientación norte.

Región		Maule		Superficie Útil (m²)		1200,00 Uso		Edificio de salud		Limpiar	
Comuna		Curepto		Número de plantas		3,00 Inercia térmica		Altura entre plantas (m)		Calcular	
Provincia		Talca		Superficie Útil Calefac. (m²)		900,00 Calendario de uso		Superficie Útil Calefac. (m²)		LCCA	
Dirección		35°05'00"		Superficie Útil Refrig. (m²)		900,00		Superficie Útil Refrig. (m²)		Guardar PDF	
Longitud (W)		72°01'00"		Equipo de calefacción		Bomba de calor agua-agua o agua-aire		Equipo de refrigeración		Electricidad	
Zona climática		4CL		Equipo de calefacción		Bomba de calor agua-agua o agua-aire		Equipo de refrigeración		Electricidad	
Superficie (m²)	155,00	1,00	74,00	154,00	471,00	1,00	1,00	629,00	1,00	3986,00	
% Vanos	21,00	1,00	5,00	49,00	1,00	1,00	8,00	1254,00	1,00	100,00	
Envoltorio Base	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	2,60	3,43	3,43	
Ultravios (Base) W/m²·K	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	2,60	5,80	5,80	
Ultravios (Base) W/m²·K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	2,60	0,85	0,85	
Factor Solar (Base)	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	
Mejora poca ventana opaco	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	
Mejora poca ventana varcos	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	TDRe	
Protección solar varcos	Celosías	Celosías	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base	Base	
Ultravios (Mejorado) W/m²·K	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,80	3,43	
Ultravios (Mejorado) W/m²·K	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,29	0,96	0,96	
Ultravios (Mejorado) W/m²·K	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	
F. solar (Mejorado) (BC)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
F. solar (Mejorado) (AC)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
Infiltraciones - Envoltorio	Sistema mecánico de ventilación										
PERMEABILIDAD AL AIRE - VENTANAS	Mínimo	-	Normal	3Ba	3Ba	3Ba	3Ba	3Ba	3Ba	3Ba	3Ba
Imbaldiones Edificio Mejorado	Implementar TDRe										
Renovaciones/hora (Base)	7a										
Renovaciones/hora (IM)	0,05										

Equipos de calefacción		Equipos de refrigeración		VRV		VRV		Energía		Electricidad	
Demanda Calefacción Estimada (kWh/año)/m²		Demanda Refrigeración Estimada (kWh/año)/m²		Consumo Calefacción Estimado (kWh/año)/m²		Consumo Refrigeración Estimado (kWh/año)/m²		Costos Totales Estimados (UF/m²)		Emisiones de CO2 (T CO2e)/m²	
Base	80,91	4,36	85,27	28,90	1,56	30,65	0,08	4,44	3,38	9,24	11,03
Mejorado	21,45	8,47	29,92	6,13	2,42	8,56	0,02	4,44	5,21	10,04	3,08
Optimizado	19,84	8,79	28,63	5,67	2,51	8,19	0,02	4,39	5,21	9,88	2,95
Dif. ahorro o reducciones Mejorada (%)	73,48	-94,22	64,91	78,79	-55,38	72,06	-0,03	-54,09	0,09	72,06	-
Dif. ahorro o reducciones Optimizado (%)	75,48	-101,56	66,43	80,38	-61,25	73,27	0,98	-54,09	0,08	73,27	0,00

Fuente: adaptado de CITECUBB (2015).

Herramienta diseñada por Aieus Píez Fagallo y el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad de Bío-Bío en el marco de contrato con el Subsecretaría de Evaluación Social de Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile titulado "Evaluación de la Remediación Social de la Incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos"

Conclusiones

Hoy en día existen herramientas para medir y comprobar el desempeño energético de las edificaciones, tanto para lograr un buen balance entre la eficiencia energética y la factibilidad económica como para cumplir con las distintas normas y certificaciones, que rigen el proyecto. En este capítulo, se evidencian los beneficios referidos a la reducción de la demanda, consumos y potencia instalada de generación solar, conforme se desarrollaron modelos reales para simular y comparar los beneficios energéticos y monetarios para distintos escenarios, lo cual contribuyó al desarrollo sostenible de la infraestructura; la evaluación energética demostró diferencias consistentes según atributos morfológicos, constructivos y latitud geográfica.

Herramientas de simulación estática como ECSE (Eficiencia y Costos Sociales de Edificios) desarrollada por el CITEC como parte del informe para la evaluación de la rentabilidad social de la incorporación de eficiencia energética en edificios públicos, permiten, en etapas tempranas de diseño, identificar los consumos energéticos asociados a una serie de estrategias incorporadas en distintos escenarios y localizaciones, para establecer los costos sociales asociados a la inversión inicial, mantenimiento y operación. Sin embargo, no hace ninguna aproximación a la implementación de tecnologías renovables para suplir los consumos asociados.

Lo anterior, permite indicar que los programas de edificación pública, especialmente en países como Chile, con objetivos claros respecto a la reducción de consumos energéticos e implementación de tecnologías alternativas, deben considerar herramientas que permitan en etapas tempranas de evaluación y diseño identificar solicitudes energéticas y potencial de generación.

Capítulo 5

Resultados evaluación del desempeño energético, generación solar y costos sociales de Centros de Salud Familiar (CESFAM)

Factibilidad técnica y económica

El sector de la construcción está considerado como el mayor contribuyente al consumo mundial de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, una buena comprensión de la naturaleza y la estructura del uso de la energía en los edificios es crucial para establecer las políticas futuras adecuadas de energía y cambio climático. La disponibilidad de los datos actualizados es cada vez más importante para permitir un análisis riguroso. En este capítulo se presentan datos recientes sobre el consumo nacional de energía en CESFAM. Su situación, estado y tendencias se discuten y analizan para los casos seleccionados.

En este apartado se realiza un desglose del consumo de energía de los edificios para ofrecer una visión general de las medidas adoptadas en diferentes regiones, lo que permite el monitoreo, la gestión y la reducción del consumo de energía en los edificios. Así, se exploran y cuantifican los costos y beneficios sociales de los proyectos con generación solar en los CESFAM en Chile. Es un estudio de casos para analizar tanto los beneficios de ubicación como los de todo el sistema, determina la combinación realista de esos beneficios sociales y los yuxtapone a los costos a lo largo del ciclo de vida útil para determinar su rendimiento técnico-económico. Al usar este marco, la administración pública puede guiarse para invertir de manera rentable en un sistema de energía confiable.

Consumo energético

Los edificios y los sectores de construcción de edificios son responsables de gran parte del consumo mundial de energía final y de casi la mitad del total de las emisiones directas e indirectas de CO₂. La demanda, y, por lo tanto, el consumo de energía de los edificios y la construcción de edificios continúa aumentando, impulsada por un mejor acceso a la energía en los países en desarrollo, una mayor propiedad y uso de dispositivos que consumen energía y un rápido crecimiento en la superficie global de los edificios.

El consumo de energía de los Centros de Salud Familiar (CESFAM) se examina en el contexto específico de los casos de estudio. Con la información obtenida de la caracterización arquitectónica y energética, se realizaron simulaciones dinámicas de desempeño energético en EnergyPlus para distintos casos, orientaciones, construcciones y ubicación geográfica, se obtuvieron los resultados descritos en las tablas 51 a la 56, así como en las figuras 48 a 53.

Caso 1

Ubicación: Algarrobo, Región de Valparaíso, Chile.

Zona climática: 4 CI – Centro Interior.

Forma compacta: Factor Forma de 0,47.

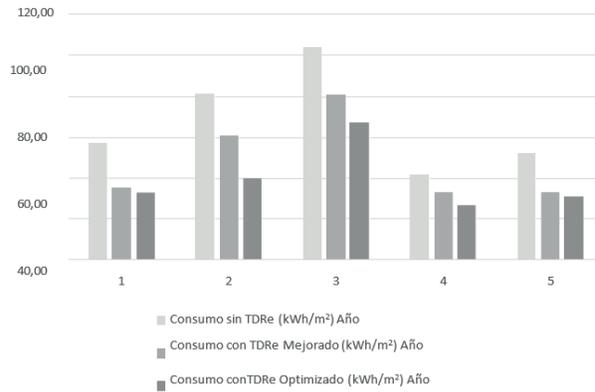
Porcentaje de vanos: 30 %.

Tabla 51. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Calama).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Calama	Norte	57,08	34,16	26,76
		Sur	57,17	36,90	34,24
		Este	56,50	34,60	34,8
		Oeste	56,09	34,56	34,84
		Promedio	56,71	35,06	32,66
2	Calama	Norte	83,22	64,24	41,91
		Sur	81,49	61,20	39,74
		Este	81,10	58,28	37,98
		Oeste	80,00	58,44	38,99
		Promedio	81,45	60,54	39,655
3	Calama	Norte	104,14	80,85	67,10
		Sur	104,15	81,22	67,68
		Este	101,81	78,81	66,18
		Oeste	104,20	80,77	67,26
		Promedio	103,58	80,41	67,06
4	Calama	Norte	41,08	32,88	26,72
		Sur	40,78	32,65	26,72
		Este	42,16	33,21	26,79
		Oeste	41,94	33,03	26,82
		Promedio	41,49	32,94	26,7625
5	Calama	Norte	52,42	33,57	30,35
		Sur	52,46	33,47	30,27
		Este	52,00	32,61	30,43
		Oeste	51,86	32,25	30,4
		Promedio	52,19	32,98	30,3625

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Calama).



Fuente: elaboración propia.

Caso 2

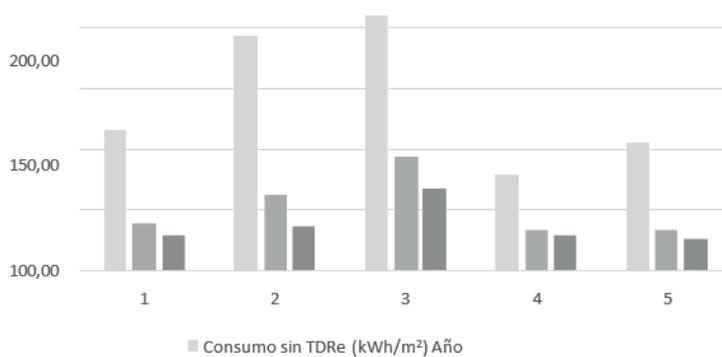
Ubicación: Curepto, Región del Maule, Chile.

Zona climática: 4 CL - Centro Litoral.

Forma compacta: Factor Forma de 0,51.

Porcentaje de vanos: 13 %.

Figura 49. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Santiago).



Fuente: elaboración propia.

Tabla 52. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Santiago).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m ²) Año	Consumo Escenario Base (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Santiago	Norte	118,52	40,47	22,2
		Sur	118,56	40,72	30,27
		Este	111,80	36,79	31,37
		Oeste	112,13	37,09	31,37
		Promedio	115,25	38,77	28,8025
2	Santiago	Norte	187,13	67,92	37,66
		Sur	196,40	65,09	35,87
		Este	193,55	59,86	34,03
		Oeste	192,01	60,05	34,1
		Promedio	192,27	63,23	35,415
3	Santiago	Norte	212,27	94,58	67,82
		Sur	210,07	93,18	65,73
		Este	209,44	92,36	66,19
		Oeste	211,01	93,68	66,08
		Promedio	210,70	93,45	66,455
4	Santiago	Norte	78,68	32,00	27,81
		Sur	78,57	33,91	27,81
		Este	78,70	33,53	28,28
		Oeste	79,87	33,66	28,29
		Promedio	78,96	33,28	28,0475
5	Santiago	Norte	105,15	33,62	26,12
		Sur	107,46	34,13	26,1
		Este	103,63	33,15	25,61
		Oeste	103,91	32,95	25,69
		Promedio	105,04	33,46	25,88

Fuente: elaboración propia.

Caso 3

Ubicación: Santiago, Región Metropolitana, Chile.

Zona climática: 5 CI - Centro Interior.

Forma compacta: Factor Forma de 0,39.

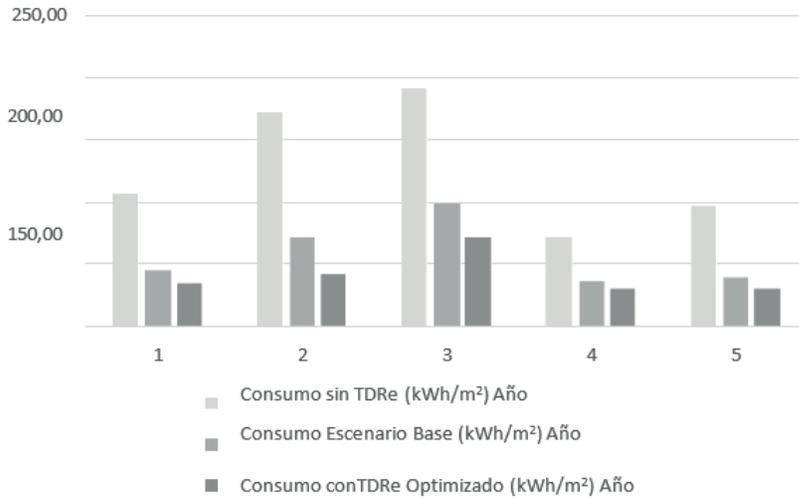
Porcentaje de vanos: 35 %.

Tabla 53. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Valparaíso).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m ²) Año	Consumo Escenario Base (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Valparaíso	Norte	108,47	46,50	33,9
		Sur	108,52	46,58	33,9
		Este	102,91	43,02	33,49
		Oeste	103,16	42,67	33,51
		Promedio	105,77	44,69	33,7
2	Valparaíso	Norte	167,62	74,75	43,79
		Sur	174,39	72,74	42,32
		Este	173,24	67,84	38,42
		Oeste	171,60	68,37	39,75
		Promedio	171,71	70,93	41,07
3	Valparaíso	Norte	192,84	100,23	73,01
		Sur	190,32	98,36	71,4
		Este	190,16	97,70	71,12
		Oeste	190,79	98,53	71,23
		Promedio	191,03	98,71	71,69
4	Valparaíso	Norte	71,55	36,30	29,84
		Sur	71,56	36,39	29,84
		Este	71,38	36,48	30,47
		Oeste	72,58	36,73	30,38
		Promedio	71,77	36,48	30,1325
5	Valparaíso	Norte	97,07	39,70	29,56
		Sur	98,94	39,85	29,42
		Este	95,75	38,56	28,96
		Oeste	95,97	38,44	28,88
		Promedio	96,93	39,14	29,205

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Valparaíso).



Fuente: elaboración propia.

Caso 4

Ubicación: Concepción, Región del Bío Bío, Chile.

Zona climática: 6SL – Sur Litoral.

Forma compacta: Factor Forma de 0,36.

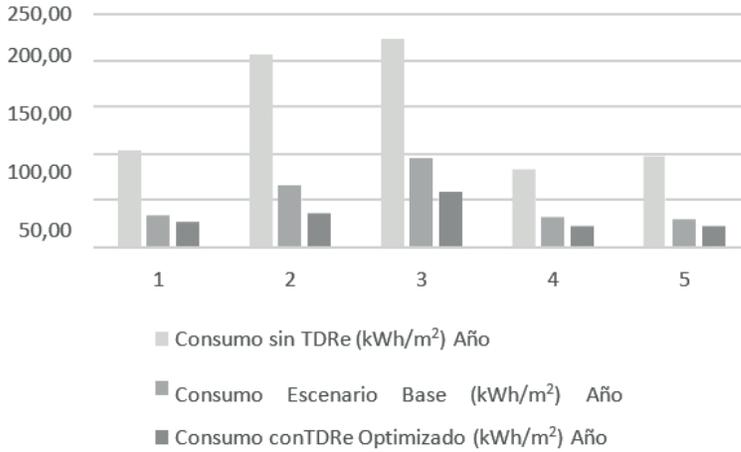
Porcentaje de vanos: 12 %.

Tabla 54. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Concepción).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m ²) Año	Consumo Escenario Base (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Concepción	Norte	100,35	37,17	26,92
		Sur	110,58	37,58	26,96
		Este	100,87	31,45	36,06
		Oeste	101,39	31,70	25,39
		Promedio	103,30	34,48	28,8325
2	Concepción	Norte	201,51	71,31	39,84
		Sur	208,98	68,26	37,74
		Este	208,54	63,04	36,06
		Oeste	206,63	63,30	36,09
		Promedio	206,42	66,48	37,4325
3	Concepción	Norte	223,57	94,60	60,22
		Sur	222,78	94,09	60,18
		Este	221,90	93,35	59,96
		Oeste	224,75	95,25	60,65
		Promedio	223,25	94,32	60,2525
4	Concepción	Norte	84,64	32,81	23,74
		Sur	82,25	32,62	23,74
		Este	83,12	32,57	24,16
		Oeste	84,27	32,15	24,11
		Promedio	83,57	32,54	23,9375
5	Concepción	Norte	97,98	30,90	23,24
		Sur	100,52	31,59	23,05
		Este	95,48	29,97	22,32
		Oeste	95,67	29,76	22,14
		Promedio	97,41	30,56	22,6875

Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Concepción).



Fuente: elaboración propia.

Caso 5

Ubicación: Dalcahue, Región de los Lagos, Chile.

Zona climática: 8 SE – Sur Extremo.

Forma compacta: Factor Forma de 0,44.

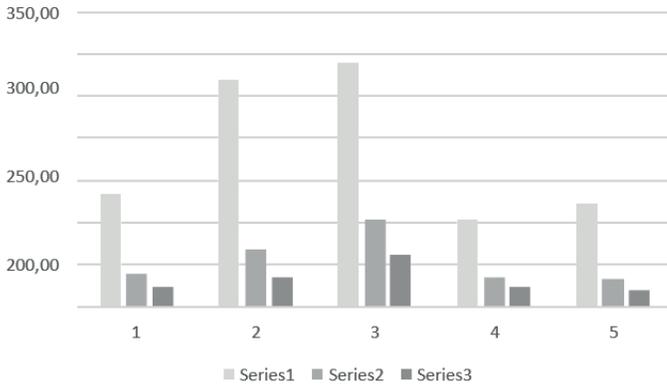
Porcentaje de vanos: 16 %.

Tabla 55. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Temuco).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo	Consumo	Consumo
			sin TDRé (kWh/m ²) Año	Escenario Base (kWh/m ²) Año	con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Temuco	Norte	139,96	41,03	23,41
		Sur	140,43	41,54	23,59
		Este	125,97	36,92	23,81
		Oeste	128,59	36,46	23,81
		Promedio	133,74	38,99	23,655
2	Temuco	Norte	260,24	71,00	34,2
		Sur	275,99	73,23	36,2
		Este	270,41	63,99	35,11
		Oeste	268,34	64,89	35,06
		Promedio	268,75	68,28	35,1425
3	Temuco	Norte	291,10	102,87	61,9
		Sur	289,71	103,20	61,21
		Este	288,93	101,57	60,85
		Oeste	291,86	104,09	61,65
		Promedio	290,40	102,93	61,4025
4	Temuco	Norte	103,22	34,26	23,96
		Sur	102,48	34,34	23,96
		Este	104,12	33,53	23,98
		Oeste	105,01	34,58	23,89
		Promedio	103,71	34,18	23,97
5	Temuco	Norte	125,85	34,53	20,31
		Sur	125,81	34,42	20,21
		Este	118,23	32,60	19,93
		Oeste	118,66	32,38	19,94
		Promedio	122,14	33,48	20,10

Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Temuco).



Fuente: elaboración propia.

Tabla 56. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Punta Arenas).

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m2) Año	Consumo Escenario Base (kWh/m2) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m2) Año
1	Punta Arenas	Norte	201,40	51,35	30,06
		Sur	201,10	52,33	30,27
		Este	178,54	40,98	25,59
		Oeste	174,42	41,13	25,3
		Promedio	188,87	46,45	27,805
	Punta Arenas	Norte	451,52	105,79	63,75
		Sur	445,59	97,24	57,3
		Este	430,23	90,37	52,09
		Oeste	428,66	93,76	54,51
		Promedio	439,00	96,79	56,9125
	Punta Arenas	Norte	494,04	170,60	92,2
		Sur	492,58	170,57	93,91
		Este	494,75	171,98	95,12
		Oeste	497,61	173,66	96,66
		Promedio	494,75	171,70	94,4725

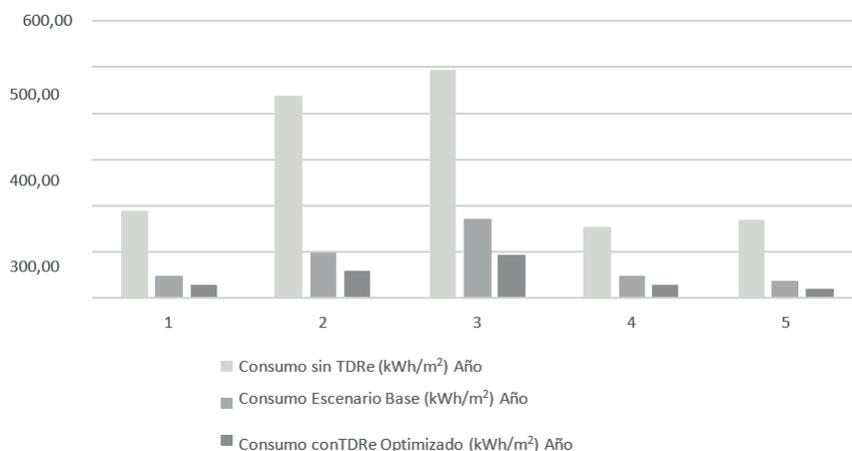
Continúa...

...Sigue

Caso	Ciudad	Orientación	Consumo sin TDRé (kWh/m ²) Año	Consumo Escenario Base (kWh/m ²) Año	Consumo con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
4	Punta Arenas	Norte	153,17	45,26	29,31
		Sur	150,40	44,99	29,31
		Este	154,34	45,06	29,95
		Oeste	153,60	44,93	29,47
		Promedio	152,88	45,06	29,51
	Punta Arenas	Norte	168,90	38,60	24,03
		Sur	178,69	38,34	24,1
		Este	162,41	35,02	20,9
		Oeste	163,59	34,34	20,84
		Promedio	168,40	36,58	22,4675

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Consumo energético caso 1, 2, 3, 4 y 5 según localización geográfica, orientación y calidad constructiva (Punta Arenas).



Fuente: elaboración propia.

Tabla 57. Coeficientes de forma, consumo energético y porcentajes de reducción según localización geográfica y mejoramiento constructivo.

Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	
Superficie construida	1970 m2	1146 m2	2687 m2.	3789 m2	2346 m2
Factor Forma – FF (superficie de envolvente / volumen)	0.47	0.51	0.39	0.36	0.44
Eficiencia geométrica relativa EGR (superficie de envolvente / superficie construida)	1.05	1.37	1.62	2.39	1.73
Factor de Área Envolvente Piso FAEP (superficie de envolvente / superficie de ocupación)	1.28	1.47	1.05	1.47	1.04
% de ventana (Frenestración)	30	13	35	12	16
Consumo sin TDRé [kWh/m2]/ Calama	57,08	83,22	104,14	41,08	52,42
/Orientación Norte					
% de reducción TDRé MEJORADO	40 %	24 %	23 %	23 %	36 %
% de reducción TDRé OPTIMIZADO	53 %	50 %	35 %	35 %	40 %
Consumo sin TDRé [kWh/m2]/ Santiago/Orientación Norte	118,52	187,13	212,27	78,68	105,15
% de reducción TDRé MEJORADO	64 %	65 %	55 %	57 %	68 %
% de reducción TDRé OPTIMIZADO	80 %	80 %	68 %	65 %	74 %
Consumo sin TDRé [kWh/m2]/ Concepción /Orientación Norte	110,35	201,51	223,57	82,64	97,98
% de reducción TDRé MEJORADO	63 %	65 %	57 %	61 %	68 %
% de reducción TDRé OPTIMIZADO	74 %	81 %	72 %	72 %	76 %
Consumo sin TDRé [kWh/m2]/ Punta Arenas /Orientación Norte	201,4	451,52	494,04	153,17	168,9
% de reducción TDRé MEJORADO	71 %	75 %	65 %	70 %	76 %
% de reducción TDRé OPTIMIZADO	83 %	85 %	82 %	81 %	85 %
% de reducción en distintos climas considerando TDRé OPTIMIZADO y Punta Arenas como localización base					
% reducción respecto a Concepción	8 %	9 %	15 %	0 %	0 %
% reducción respecto a Santiago	15 %	5 %	15 %	0 %	0 %
% reducción respecto a Calama	33 %	39 %	53 %	28 %	14 %

Fuente: elaboración propia.

El análisis realizado a través de simulaciones de desempeño energético para centros de salud primaria en Chile, basado en casos seleccionados, permite establecer mejoramientos específicos y criterios generales. Esta tipología determina que la adopción de envolventes más aisladas y selladas presenta una reducción progresiva de los requerimientos ambientales en todos los ejemplos y situaciones climáticas, lo cual expresa una relevante contribución a la calidad ambiental de los establecimientos. Se advierte también un considerable aumento de los consumos en los climas más australes en los distintos casos, reducidos proporcionalmente con los tratamientos constructivos.

Generación solar

La energía solar es una opción fundamental para el sector de la salud, no solo porque la energía solar ayuda a reducir la contaminación del aire y hace del mundo un lugar más limpio, más saludable y mejor; hospitales, clínicas, centros de salud y laboratorios clínicos emplean una gran cantidad de electricidad; el uso de equipos médicos significa el consumo de una gran cantidad de electricidad y algunas de estas instalaciones funcionan las 24 horas, los 7 días de la semana. Por tal razón, la instalación de un sistema de energía solar es una excelente manera de reducir las facturas de electricidad y mejorar su eficiencia en general.

Además de ello, los centros de salud usualmente tienen grandes espacios, como techos, toldos de estacionamiento, etc., ideales para instalar paneles solares que les permita a los establecimientos seguir creciendo, satisfaciendo las necesidades de la población, mientras se protege las instalaciones de las fluctuaciones de precios de servicios públicos. Dependiendo de su ubicación y del proyecto solar, se puede aprovechar las bajas tarifas eléctricas durante varias décadas y los ahorros de energía solar, a cambio, se pueden utilizar para realizar mejoras operativas, comprar nuevos equipos o simplemente operar de manera más eficiente. Los edificios que utilizan energía renovable se destacan, entre otros, por su compromiso con la administración ambiental. La elección de energía alternativa puede reducir las emisiones de carbono de un centro y tener un efecto positivo en la

salud ambiental, esto certifica aun a construcción como ecológica y le da una buena reputación, lo cual se traduce en costos asequibles y enormes beneficios.

Las tablas 58 a 63 y las figuras 54 a 59 muestran la generación solar fotovoltaica en cada uno de los casos de estudio, según orientación y calidad constructiva.

Tabla 58. Caso 1 - Generación solar fotovoltaica en Calama, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m2) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m2) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m2) Año
1	Calama	Norte	140,63	140,63	140,63
		Sur	140,63	140,63	140,63
		Este	114,64	114,64	114,64
		Oeste	114,64	114,64	114,64
		Promedio	127,64	127,64	127,64
2	Calama	Norte	194,34	194,34	194,34
		Sur	194,34	194,34	194,34
		Este	143,83	143,83	143,83
		Oeste	143,83	143,83	143,83
		Promedio	169,08	169,08	169,08
3	Calama	Norte	110,55	110,55	110,55
		Sur	110,55	110,55	110,55
		Este	89,32	89,32	89,32
		Oeste	89,32	89,32	89,32
		Promedio	99,94	99,94	99,94

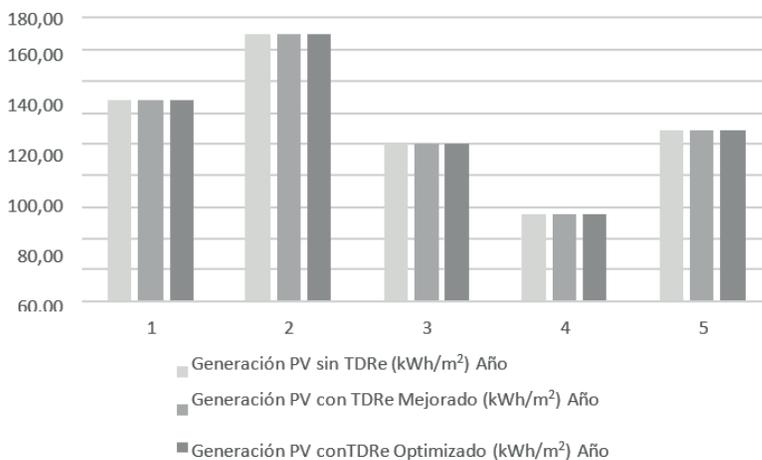
Continúa...

...Sigue

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
4	Calama	Norte	62,53	62,53	62,53
		Sur	62,53	62,53	62,53
		Este	47,82	47,82	47,82
		Oeste	47,82	47,82	47,82
		Promedio	55,17	55,17	55,17
5	Calama	Norte	119,57	119,57	119,57
		Sur	119,57	119,57	119,57
		Este	98,53	98,53	98,53
		Oeste	98,53	98,53	98,53
		Promedio	109,05	109,05	109,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Caso 1. Generación solar fotovoltaica en Calama, según orientación y calidad constructiva.

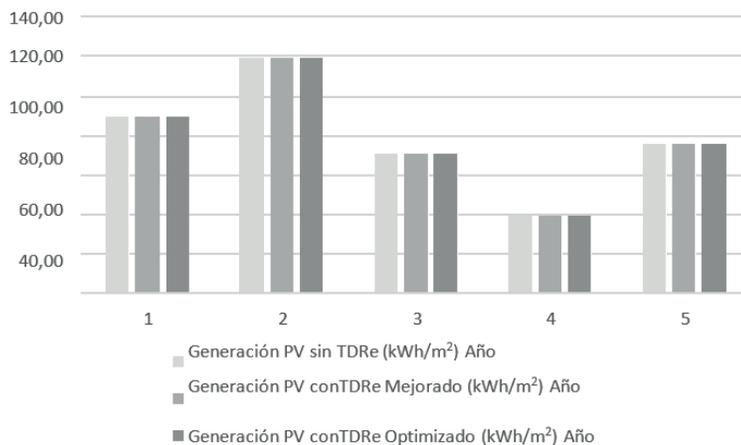


Fuente: elaboración propia.

Tabla 59. Caso 2 - Generación solar fotovoltaica en Santiago, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Santiago	Norte	97,91	97,91	97,91
		Sur	97,91	97,91	97,91
		Este	81,90	81,90	81,90
		Oeste	81,90	81,90	81,90
		Promedio	89,91	89,91	89,91
2	Santiago	Norte	136,07	136,07	136,07
		Sur	136,07	136,07	136,07
		Este	102,44	102,44	102,44
		Oeste	102,44	102,44	102,44
		Promedio	119,26	119,26	119,26
3	Santiago	Norte	77,18	77,18	77,18
		Sur	77,18	77,18	77,18
4		Este	63,63	63,63	63,63
		Oeste	63,63	63,63	63,63
		Promedio	70,41	70,41	70,41
5	Santiago	Norte	43,53	43,53	43,53
		Sur	43,53	43,53	43,53
		Este	34,07	34,07	34,07
		Oeste	34,07	34,07	34,07
		Promedio	38,80	38,80	38,80
6	Santiago	Norte	83,30	83,30	83,30
		Sur	83,30	83,30	83,30
		Este	68,32	68,32	68,32
		Oeste	68,32	68,32	68,32
		Promedio	75,81	75,81	75,81

Fuente: elaboración propia.

Figura 55. Caso 2 - Generación solar fotovoltaica en Santiago, según orientación y calidad constructiva.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 60. Caso 3 - Generación solar fotovoltaica en Valparaíso, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m²) Año
1	Valparaiso	Norte	78,03	78,03	78,03
		Sur	78,03	78,03	78,03
		Este	64,97	64,97	64,97
		Oeste	64,97	64,97	64,97
		Promedio	71,50	71,50	71,50
2	Valparaiso	Norte	108,18	108,18	108,18
		Sur	108,18	108,18	108,18
		Este	80,85	80,85	80,85
		Oeste	80,85	80,85	80,85
		Promedio	94,51	94,51	94,51
3	Valparaiso	Norte	61,45	61,45	61,45
		Sur	61,45	61,45	61,45
		Este	50,22	50,22	50,22

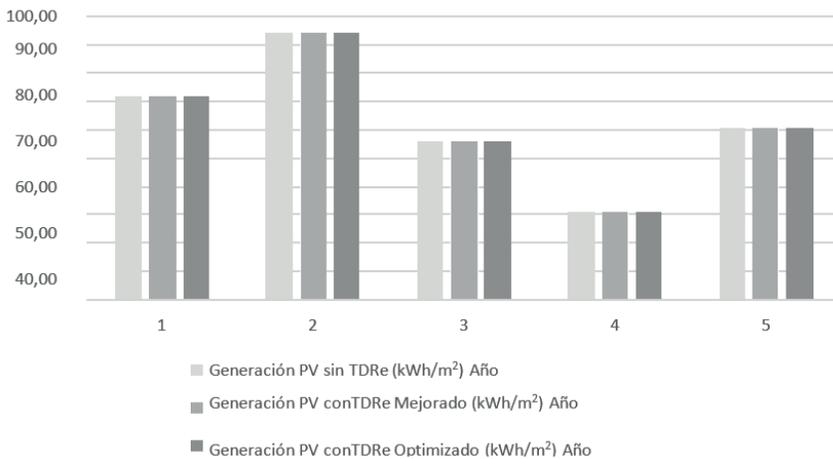
Continúa...

...Sigue

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
4	Valparaíso	Oeste	50,22	50,22	50,22
		Promedio	55,83	55,83	55,83
		Norte	34,66	34,66	34,66
		Sur	34,66	34,66	34,66
		Este	26,89	26,89	26,89
		Oeste	26,89	26,89	26,89
		Promedio	30,77	30,77	30,77
5	Valparaíso	Norte	66,41	66,41	66,41
		Sur	66,41	66,41	66,41
		Este	54,51	54,51	54,51
		Oeste	54,51	54,51	54,51
		Promedio	60,46	60,46	60,46

Fuente: elaboración propia.

Figura 56. Caso 3 - Generación solar fotovoltaica en Valparaíso, según orientación y calidad constructiva.



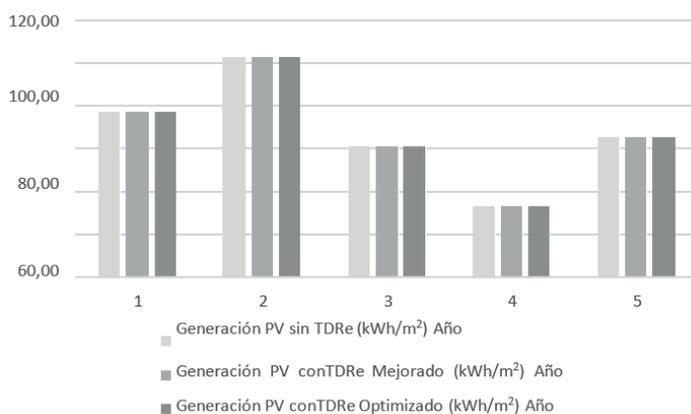
Fuente: elaboración propia.

Tabla 61. Caso 4 - Generación solar fotovoltaica en Concepción, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
	Concepción	Norte	84,26	84,26	84,26
		Sur	84,26	84,26	84,26
		Este	71,03	71,03	71,03
		Oeste	71,03	71,03	71,03
		Promedio	77,65	77,65	77,65
	Concepción	Norte	117,23	117,23	117,23
		Sur	117,23	117,23	117,23
		Este	88,48	88,48	88,48
		Oeste	88,48	88,48	88,48
		Promedio	102,85	102,85	102,85
	Concepción	Norte	66,54	66,54	66,54
		Sur	66,54	66,54	66,54
		Este	54,96	54,96	54,96
		Oeste	54,96	54,96	54,96
		Promedio	60,75	60,75	60,75
	Concepción	Norte	37,36	37,36	37,36
		Sur	37,36	37,36	37,36
		Este	29,42	29,42	29,42
		Oeste	29,42	29,42	29,42
		Promedio	33,39	33,39	33,39
	Concepción	Norte	71,63	71,63	71,63
		Sur	71,63	71,63	71,63
		Este	58,70	58,70	58,70
		Oeste	58,70	58,70	58,70
		Promedio	65,17	65,17	65,17

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Caso 4 - Generación solar fotovoltaica en Concepción, según orientación y calidad constructiva.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 62. Caso 5 - Generación solar fotovoltaica en Temuco, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m²) Año
1	Temuco	Norte	73,65	73,65	73,65
		Sur	73,65	73,65	73,65
		Este	62,41	62,41	62,41
		Oeste	62,41	62,41	62,41
		Promedio	68,03	68,03	68,03
2	Temuco	Norte	102,43	102,43	102,43
		Sur	102,43	102,43	102,43
		Este	77,43	77,43	77,43
		Oeste	77,43	77,43	77,43
		Promedio	89,93	89,93	89,93

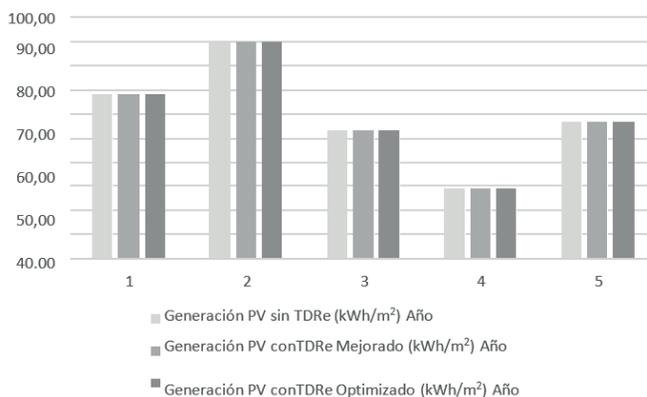
Continúa...

...Sigue

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
3	Temuco	Norte	58,13	58,13	58,13
		Sur	58,13	58,13	58,13
		Este	48,08	48,08	48,08
		Oeste	48,08	48,08	48,08
		Promedio	53,11	53,11	53,11
4	Temuco	Norte	32,62	32,62	32,62
		Sur	32,62	32,62	32,62
		Este	25,75	25,75	25,75
		Oeste	25,75	25,75	25,75
		Promedio	29,18	29,18	29,18
5	Temuco	Norte	62,64	62,64	62,64
		Sur	62,64	62,64	62,64
		Este	51,20	51,20	51,20
		Oeste	51,20	51,20	51,20
		Promedio	56,92	56,92	56,92

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Caso 5 - Generación solar fotovoltaica en Temuco, según orientación y calidad constructiva.



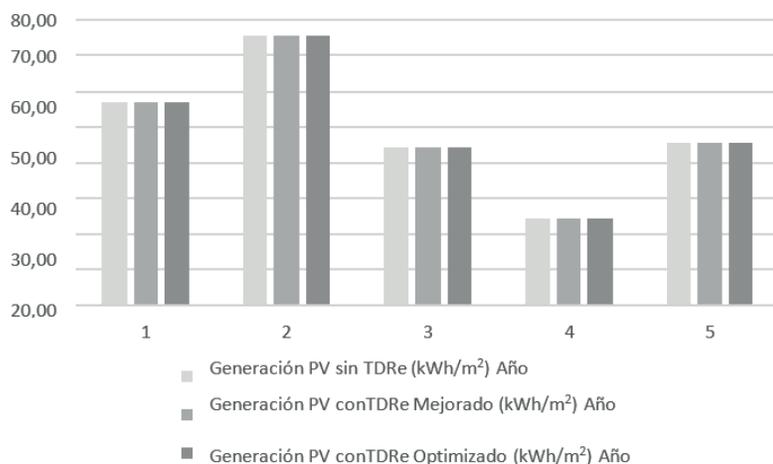
Fuente: elaboración propia.

Tabla 63. Caso 6 - Generación solar fotovoltaica en Punta Arenas, según orientación y calidad constructiva.

Caso	Ciudad	Orientación	Generación PV sin TDRé (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Mejorado (kWh/m ²) Año	Generación PV con TDRé Optimizado (kWh/m ²) Año
1	Punta Arenas	Norte	59,61	59,61	59,61
		Sur	59,61	59,61	59,61
		Este	53,99	53,99	53,99
		Oeste	53,99	53,99	53,99
		Promedio	56,80	56,80	56,80
2	Punta Arenas	Norte	84,49	84,49	84,49
		Sur	84,49	84,49	84,49
		Este	66,50	66,50	66,50
		Oeste	66,50	66,50	66,50
		Promedio	75,49	75,49	75,49
3	Punta Arenas	Norte	47,47	47,47	47,47
		Sur	47,47	47,47	47,47
		Este	41,31	41,31	41,31
		Oeste	41,31	41,31	41,31
		Promedio	44,39	44,39	44,39
4	Punta Arenas	Norte	26,51	26,51	26,51
		Sur	26,51	26,51	26,51
		Este	22,14	22,14	22,14
		Oeste	22,14	22,14	22,14
		Promedio	24,32	24,32	24,32
5	Punta Arenas	Norte	50,86	50,86	50,86
		Sur	50,86	50,86	50,86
		Este	40,60	40,60	40,60
		Oeste	40,60	40,60	40,60
		Promedio	45,73	45,73	45,73

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Caso 6 - Generación solar fotovoltaica en Punta Arenas, según orientación y calidad constructiva.



Fuente: elaboración propia.

Para esta investigación, los aportes solares mediante tecnologías solares fotovoltaicas son constantes para todas las situaciones constructivas, esto debido a que se priorizó la ocupación total de cubierta, considerando áreas de circulación y equipos especiales instalados. No obstante, se evidencia variación respecto a la localización y orientación, lo que sugiere prestar especial atención a la superficie de cubierta proyectada y mejoramiento de envoltante según lugar de emplazamiento para garantizar el máximo aporte que permita suplir un alto porcentaje del consumo energético.

Costos de ciclo de vida incorporación medidas de eficiencia energética

El análisis del costo del ciclo de vida es un método para evaluar el costo total de construcción. Tiene en cuenta todos los costos de adquisición y disposición de un edificio o sistema de construcción. Es especialmente útil cuando se deben comparar alternativas de proyectos que cumplan con los mismos requisitos de desempeño, pero que difieran con respecto a los

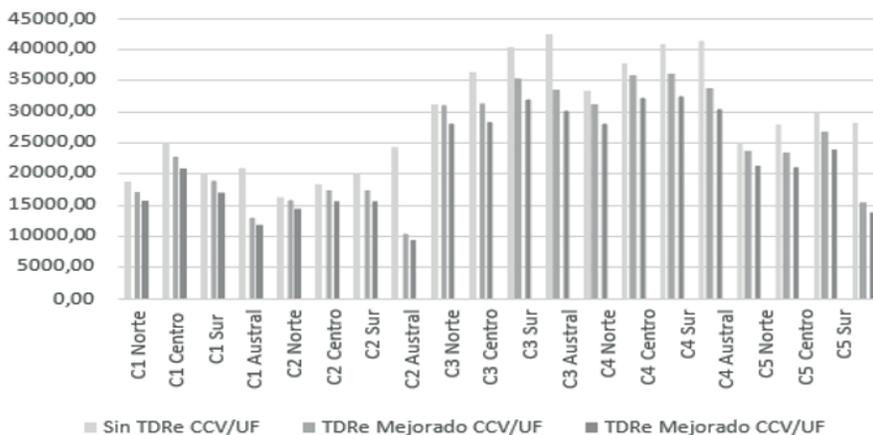
costos iniciales y los costos operativos, para seleccionar el que maximice el ahorro neto. Así, el análisis del costo del ciclo de vida ayudará a determinar si la incorporación de un sistema, que puede aumentar el costo inicial, puede dar, por ejemplo, como resultado costos de operación y mantenimiento visiblemente reducidos, es decir, si es rentable o no (tabla 64 y figura 60). El costo de ciclo de vida más bajo es la medida más directa y fácil de interpretar de la evaluación económica.

Tabla 64. Costos de ciclo de vida - incorporación de medidas de eficiencia energética.

Caso de estudio	Macro Zona	Sin TDRé	TDRé Mejorado	TDRé Mejorado
		CCV/UF	CCV/UF	CCV/UF
C1 20 000 usuarios / 1500 m2	Norte	18671,45	17295,13	15565,62
	Centro	24922,02	23037,72	20733,95
	Sur	20141,33	18935,25	17041,73
	Austral	20926,06	12975,80	11678,22
C2 20 000 usuarios / 1500 m2	Norte	16287,60	16051,53	14446,38
	Centro	18379,28	17431,19	15688,07
	Sur	20129,63	17394,74	15655,27
	Austral	24250,96	10565,08	9508,57
C3 30 000 usuarios / 3000 m2	Norte	31315,42	31244,01	28119,61
	Centro	36331,29	31442,49	28298,24
	Sur	40362,77	35426,96	31884,27
	Austral	42239,26	33462,39	30116,15
C4 30 000 usuarios / 3000 m2	Norte	33147,71	31112,84	28001,55
	Centro	37884,20	35854,14	32268,72
	Sur	40986,55	36131,55	32518,40
	Austral	41617,86	33883,25	30494,92
C5 20 000 usuarios / 1500 m2	Norte	25261,89	23662,64	21296,37
	Centro	28033,61	23503,46	21153,11
	Sur	30183,29	26736,56	24062,90
	Austral	28353,18	15513,45	13962,11

Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Costos de ciclo de vida - incorporación de medidas de eficiencia energética.



Fuente: elaboración propia.

Consolidado por macrozona climática

Previo a la construcción de cuadros de recomendaciones y posterior al análisis por orientación y calidad constructiva se elaboraron las tablas de la 65 a la 72, en la cuales se puede observar, para cada uno de los casos de estudio, el resultado promedio por orientación de consumo, costos de ciclo de vida y generación, según calidad constructiva (sin TDRé, con TDRé Mejorado y TDRé Optimizado) y macro zona climática. Lo anterior permite identificar la relación entre la forma construida, resumida en un coeficiente de forma y demás variables que influyen en el desempeño energético y costo asociado a la inversión de estrategias de eficiencia energética incorporadas, con tiempos de retorno. Cada una de estas tablas está compuesta por variables y resultados descritos a continuación:

Caso: hace referencia a cada uno de los casos de estudio analizados que constituyen las tipologías de Centro de Salud Familiar CESFAM, más representativas.

Factor de Forma (FF): es el coeficiente de forma que asocia la relación entre superficie de envolvente y volumen contenido. Es presentado como rango según casos de estudio analizados.

Construcción: responden a tres escenarios de construcción o mejoramiento de resistividad térmica, hermeticidad, protecciones solares y eficiencia de equipos de climatización e iluminación.

Consumo: se asocia al gasto total de energía eléctrica, de gas, gasoil y biomasa, entre otras, para satisfacer condiciones de habitabilidad y confort al interior de una edificación.

Costos iniciales o colaterales: todos los costos en que se incurre para implementar las medidas de EE en el edificio, se comprenden los costos iniciales en equipos, materiales y mano de obra para su implementación (corregida a valores sociales), además de costos colaterales en caso de existir. Estos últimos toman en cuenta situaciones de retiro de equipos o adaptación de instalaciones en caso de ser necesarias, entre otras. Su implementación queda reflejada a partir de $N=0$ (periodo).

Costos de mantenimiento y reemplazo: Se incluyen los costos asociados a la mantención y reemplazo de las diferentes medidas implementadas durante todo el horizonte de evaluación. Estos costos representan cantidades puntuales en determinados periodos de tiempo, que se traen a valor presente. Su impacto en la evaluación queda definido por su vida útil, el monto de la inversión que representa, el tipo de uso y gastos que demande su operación, entre otros.

Costos anuales y de operación: los costos de operación o costos anuales, corresponden a aquellos que resultan de la demanda y consecuente consumo de energía que exigen los diferentes servicios con los que funciona el edificio. Es particularmente importante el análisis de este ítem, ya que es donde se ve reflejado el ahorro energético, lo que justifica alternativas que incorporan criterios de eficiencia en el edificio base.

Costo ciclo de vida: entendido como la obtención del valor actual neto de todos los flujos financieros del proceso de edificación, para este caso, la suma de costos iniciales, de mantenimiento y operación para un periodo determinado traídos a valor presente.

Recuperación de la inversión en años: asociado al tiempo en que se recupera la inversión inicial producto de la incorporación de estrategias de eficiencia energética.

Macro zona norte

Tabla 65. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona norte (20 000 a 30 000 usuarios).

Ciudad Primaria CESFAM DE 20 000 a 30 000 usuarios																							
													3.000										
Caso	FF	Construcción	Demanda kWh/año	Costo miles de dólares UF	Costo de ciclo de vida mensual UF	Costo anual de consumo energético UF	Costos de energía UF/20 años	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión años	Generación kWh/año	Generación kWh/año	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión años	Costo ciclo de vida UF	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión años	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión años		
C4	0,3-1-0,8	Con T09e	157,206	8570,90	10508,96	315	6364,24	21544		209,050	55	5894	7131,84	2,9	32576	10,86	14465	4,82					
		Con T09e ME 20 años	124,819	8998,77	14206,59	44	830,60	24036	1	209,050	55	5894	7131,84	2,9	31168	10,39	14893	4,96					
		Con T09e OPTIMIZADO	101,403	11502,88	10629,17	44	830,58	23163	1	209,050	55	5894	7131,84	2,1	30294	10,10	17397	5,80					
C3	0,3-9-0,8	Con T09e	278,206	10476,43	5514,65	301	6887,45	22079		255,830	100	7525	9105,16	3,0	31184	10,39	18001	6,00					
		Con T09e ME 20 años	215,545	11336,99	10414,58	32	819,33	22371	3	255,830	100	7525	9105,16	2,5	31476	10,49	18662	6,22					
	0,3-9-0,8	Con T09e OPTIMIZADO	179,573	11465,29	10414,58	31	580,24	22140	5	255,830	100	7525	9105,16	2,8	31245	10,42	18670	6,22					

Fuente: elaboración propia.

Tabla 66. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona norte (5000 a 19 500 usuarios).

Ciudad MediacESPAN D15, 000 a 14,500 usuarios

Caso	FF	Construcción	Demanda kWh/ Año	Demanda kWh/m ² . Año	Contribución y balance UF	Costo de reemplazo y vida residual UF	Costo anual de consumo energético UF	Costo de consumo energético UF/ AÑO	Costo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Generación kWh/ Año	Generación kWh/m ² . Año	Costo inicial UF	Costo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Costo de vida UF	Costo inicial UF	Costo de vida UF	Costo inicial UF	Costo de vida UF	
C5	044-6	Sn TDR	25	5,19	548,88	455,25	15	382,29	1375,42		25	0,9	749	9353,31	2,2	230,2	15,34	13069	13069	8,73	8,73
	044-6	MEJORADO	7	3,88	524,88	486,76	24	46,70	1440,74	1	25	0,9	749	9353,31	2,2	236,3	15,78	13174	13174	8,70	8,70
	044-6	OPTIMIZADO	7	3,26	570,05	486,76	24	45,70	1363,51	1	25	0,9	749	9353,31	1,3	240,8	16,21	13349	13349	8,90	8,90
	047-30	Sn TDR	112	36,71	325,63	330,52	173	343,39	11974,53		251	10,8	6807	8322,99	1,9	200,8	13,47	2112	2112	8,07	8,07
C1	047-30	MEJORADO	69	35,06	534,89	497,63	20	37,27	12189,78	1	69	10,8	6807	8322,99	2,3	205,3	13,88	2232	2232	8,15	8,15
	047-30	OPTIMIZADO	64	38,77	500,09	497,63	20	43,82	12316,28	1	64	10,8	6807	8322,99	1,1	206,9	13,77	2287	2287	8,20	8,20
	031-54	Sn TDR	93	8,45	355,09	286,15	167	338,17	9708,41		94	169	5424	6934,44	2,1	162,73	10,85	8779	8779	5,85	5,85
	031-54	MEJORADO	69	60,54	383,83	336,36	15	31,12	9507,91	3	94	169	5424	6934,44	2,2	163,91	10,73	9344	9344	6,16	6,16
031-54	OPTIMIZADO	46	28,66	397,94	336,13	12	25,21	9540,28	5	94	169	5424	6934,44	1,0	161,13	10,74	9382	9382	6,26	6,26	

Fuente: elaboración propia.

Macro zona centro

Tabla 67. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona centro (20 000 a 30 000 usuarios).

Ciudad Primaria CESFAM DE 20 000 a 30 000 usuarios																		
Centro											3. 000							
Caso	FF	Construcción	Demanda kWh/Año	Costos de re-emplazo y colaterales UF	Costos de re-emplazo y vida residual UF	Costo anual de consumo energético UF	Costo de consumo energético UF/20 años	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Generación kWh/Año	Generación kWh/m ² -Año	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Costo inicial EE + PV UF	Costo ciclo de vida EE + PV UF/m ²	Costo inicial EE + PV UF/m ²		
	0,31-0,38	sin TDR	286	12809	11522	266	5383	29714		128	35	6320	7647	4,7	37360	12,45	19128	6,38
C4	0,31-0,38	TDR Mejorado	132	12970	15086	43	800	28856	1,0	132	35	6320	7647	4,7	36503	12,17	19290	6,43
	0,31-0,38	TDR Optimizado	110	13446	13586	43	780	27813	1,0	132	35	6320	7647	4,7	35459	11,82	19766	6,59
	0,39-0,43	sin TDR	540	13631	8340	259	5255	27226		169	63	7525	9105	4,7	36331	12,11	21156	7,05
C3	0,39-0,43	TDR Mejorado	257	13956	10940	33	602	25537	2,0	169	63	7525	9105	4,7	34642	11,55	21520	7,17
	0,39-0,43	TDR Optimizado	185	14387	10440	32	595	25423	4,0	169	63	7525	9105	4,8	34528	11,51	21912	7,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla 68. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona centro (5000 a 19 500 usuarios).

Ciudad Media CESFAM DE 5000 a 19 500 usuarios																			
Centro													1.500						
Caso	FF	Contribución	Dic. medida KW/Año	Demanda KW/Año	Costo instalación y operación kW/Año	Costo de operación y mantenimiento y vida media U\$	Costo anual de consumo energético U\$	Costo de ciclo de vida U\$	Recuperación de la inversión en años	Generación KW/Año	Generación KW/Año	Costo inicial U\$	Costo de ciclo de vida U\$	Recuperación de la inversión en años	Costo de ciclo de vida U\$	Costo de ciclo de vida U\$	Costo inicial U\$	Costo de ciclo de vida U\$	
	0,44-0,46	sin Title	237	101	7911	6840	171	3469	18220		160	68	7649	9255	5,1	27475	18,32	15560	10,37
C1	0,44-0,46	Title mejorado	85	36	8470	8920	25	473	17863	1,0	160	68	7649	9255	5,1	27118	18,08	16119	10,75
	0,44-0,46	Title optimizado	65	36	8947	7574	25	473	16994	1,0	160	68	7649	9255	3,1	26250	17,50	16596	11,06
	0,47-0,50	sin Title	218	110,51	7305	5332	149	3015	15652		159	81	6887	8333	4,8	23985	15,99	14192	9,46
C1	0,47-0,50	Title mejorado	82	42	7384	6901	21	397	14682	1,0	159	81	6887	8333	4,8	23015	15,34	14270	9,51
	0,47-0,50	Title optimizado	62	42	7742	6031	22	417	14190	1,0	159	81	6887	8333	2,8	22523	15,02	14629	9,75
	0,51-0,54	sin Title	228	182	5102	4167	145	2945	12214		143	107	5424	6563	4,7	18777	12,52	10527	7,02
C2	0,51-0,54	Title mejorado	79	67,0775	5140	5538	14	370	11048	4,0	143	107	5424	6563	4,7	17612	11,74	10564	7,04
	0,51-0,54	Title optimizado	47	67	4705	5138	14	281	10124	4,0	143	107	5424	6563	2,7	16687	11,12	10129	6,75

Fuente: elaboración propia.

Macro zona sur

Tabla 69. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona sur (20 000 a 30 000 usuarios).

Caso	F#	Construcción	Demanda kWh/año	Costo índices ciclovida UF	Costos de inversión y vida residual UF	Costo vital del consumo energético UF	Sur				Comodidades UF	Comodidades UF/M2					
							Costo de inversión energética UF/año	Comodidades UF/año	Recuperación de inversión en años	Generación kWh/año			Costo vital UF	Comodidades UF/año	Recuperación de inversión en años	Comodidades UF/año	
C5	0,44-0,46	Sin TDRs	258	7933	6137	271	5336	39716	19716	1	143	61	8232	1917	19,78	16155	10,77
	0,44-0,46	100% Mejorados	75	8429	8144	27	509	37282	37282	1	143	61	8232	2143	18,16	16461	11,13
	0,44-0,46	101% Mejorados	50	8923	7844	27	509	38776	38776	1	143	61	8232	2017	17,82	17356	11,49
C1	0,47-0,50	Sin TDRs	233	118.5375	5053	235	6246	38710	38710	1	143	71	7312	2311	18,45	14783	9,86
	0,47-0,50	100% Mejorados	72	7691	6560	23	422	34673	34673	1	143	71	7312	2342	15,76	15103	10,07
	0,47-0,50	101% Mejorados	52	8093	5971	16	292	32596	32596	1	143	71	7312	2342	12,95	13951	9,29
C2	0,51-0,54	Sin TDRs	372	4668	3370	234	6528	3896	3896	1	110	36	5316	2011	13,42	10506	7,09
	0,51-0,54	100% Mejorados	117	6718	6071	18	414	3838	3838	1	110	36	5316	2011	11,65	10859	7,21
	0,51-0,54	101% Mejorados	71	6241	5471	16	381	3524	3524	1	110	36	5316	2011	10,42	10674	7,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla 70. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona sur (5000 a 19 500 usuarios).

Ciudad Media CESFAM DE 5000 a 19 500 usuarios																		
Sur													1.500					
Caso	FF	Construcción	Demanda (KW)/Año	Demanda (KW)/m ² -Año	Costos de reemplazo y vida residual UF	Costo anual de consumo energético UF	Costo de consumo energético UF/20 AÑOS	Recuperación de la inversión en años	Generación (KW)/Año	Generación (KW)/m ² -Año	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Costo ciclo de vida EE + PV-UF	Costo ciclo de vida EE + PV-UF + PV-UF/m ²	Costo inicial EE + PV-UF	Costo inicial EE + PV-UF/m ²	
C5	0,44-0,46	Sin TDRe	258	110	7923	6437	271	5356	19716	143	61	8232	9961	6,2	29677	19,78	16155	10,77
	0,44-0,46	TDRe Mejorada	75	32	8429	8344	27	509	17282	143	61	8232	9961	6,2	27243	18,16	16661	11,11
	0,44-0,46	TDRe Optimizado	50	21	8923	7344	27	509	16776	143	61	8232	9961	3,8	26737	17,82	17155	11,44
C1	0,47-0,50	Sin TDRe	233	118,5175	7371	5093	235	6246	18710	143	73	7412	8968	5,8	27678	18,45	14783	9,86
	0,47-0,50	TDRe Mejorada	72	37	7691	6560	23	422	14673	143	73	7412	8968	5,8	23642	15,76	15103	10,07
	0,47-0,50	TDRe Optimizado	52	26	8093	3971	16	292	12356	143	73	5838	7064	3,1	19420	12,95	13931	9,29
C2	0,51-0,54	Sin TDRe	272	238	4668	3770	234	4628	13066	110	96	5838	7064	5,7	20130	13,42	10506	7,00
	0,51-0,54	TDRe Mejorada	77	67,38	4971	4971	16	414	10356	110	96	5838	7064	5,7	17420	11,61	10809	7,21
	0,51-0,54	TDRe Optimizado	42	36	5141	3971	16	292	9404	110	96	5838	7064	3,1	16467	10,98	10978	7,32

Fuente: elaboración propia.

Macro zona austral

Tabla 71. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro Zona Austral (20 000 a 30 000 usuarios).

Caso	FF	Construcción	Ciudad Primeriz-CESFAMIZ 20.000-30.000 usuarios												3.000	
			Austral													
Demanda KWh/Año	Demanda KWh/mz. Año	Costos de catalisis UF	Costos de reemplazo y vida residual UF	Costo anual de consumo energético UF	Costo de consumo energético UF/20 AÑOS	Costo de ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Generación KWh/Año	Generación KWh/mz. Año	Costo inicial UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inversión en años	Costo ciclo de vida EE+ PV UF	Costo ciclo de vida EE+ PV UF/M2	Costo inicial EE+PV UF	Costo inicial EE+PV UF UF/M2
C4	0.315238	Sin Torre	6811	5949	754	15710	3110	31	24	7826	9465	6,1	4938	13,07	12319	4,71
	0.315238	Torre Mejorada	9311	1539	39	2530	2530	51	24	7826	9465	6,1	3478	11,66	2695	3,6
	0.315238	Torre Optimizada	10811	1329	39	2530	2530	51	24	7826	7586	6,1	3228	10,94	2695	3,6
C3	0.393043	Sin Torre	8933	7267	754	15809	31699	119	44	8711	10241	6,1	4229	14,08	17584	5,88
	0.393043	Torre Mejorada	11986	1110	47	2483	2483	119	44	8711	9465	6,1	3362	11,15	20707	6,9
	0.393043	Torre Optimizada	12833	1040	47	2482	2482	119	44	8711	8594	6,1	3492	11,46	21544	7,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla 72. Consolidado consumo, generación y costo de ciclo de vida - Macro zona austral (5000 a 19 500 usuarios).

Ciudad Media CESFAM DE 5,000 a 19,500 usuarios																				
Austral												1.500								
Caso	FF	Construcción	De- manda kW/hW/hlo	Demanda kW/h2 -Año	Costo instit y co- labores UF	Costo de reemplazo y vida útil UF	Costo anual de consumo energético UF	Costo de consumo energético UF/20 AÑOS	Recuperación de la inver- sión en años	Gene- ración kW/h2 - Año	Costo instit UF	Costo ciclo de vida UF	Recuperación de la inver- sión en años	Costo ciclo de vida EE = PV UF	Costo ciclo de vida EE + PV UF/20	Construcción EE = PV UF	Costo Ind EE + PV UF/20			
C	044-	Sin Torre	395	168,40	4254	5792	496	20413	30458		107	46	8855	10714	6,62	41173	27,745	13108	8,74	
	046																			
	044-	Torre Negativo	86	36,58	5967	8942	32	604	15513	4	107	46	8855	10714	6,62	26227	17,48	14821	9,88	
	046																			
C	044-	Torre	53	22,47	6967	7042	32	604	14613	4	107	46	8855	10714	4,68	25327	16,88	15821	10,55	
	046	Optimizado																		
	047-	Sin Torre	372	188,87	4224	4348	433	8911	17483		112	57	7972	9646	6,24	27129	18,09	12196	8,13	
	050																			
C	047-	Torre Negativo	92	46,45	5702	6771	27	502	12975	4	112	57	7972	9646	6,24	22622	15,08	13675	9,12	
	050																			
	047-	Torre	55	27,805	6660	4772	27	604	12036	4	112	57	7972	9646	4,33	21683	14,46	14632	9,75	
	050	Optimizado																		
C	051-	Sin Torre	503	439	2664	3863	424	8724	15251		87	75	6279	7598	6,16	22849	15,23	8943	5,96	
	054																			
	051-	Torre Negativo	111	96,79	4353	5846	19	518	10718	5	87	75	6279	7598	6,10	18316	12,21	10633	7,09	
	054																			
C	051-	Torre	65	56,91	5373	4112	19	518	10004	5	87	75	6279	7598	6,11	17602	11,73	11653	7,77	
	054	Optimizado																		

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El desempeño energético de los establecimientos analizados es variable y aproximado a referencias internacionales. En la evaluación por orientaciones, calidad constructiva y localización, se advierte una escasa incidencia de la disposición solar, inferior al 5 % en todos los casos, debido a la homogénea proporción de vidriado en todas las fachadas, así como también una influencia notable de las condiciones materiales, en todos los climas y tipologías estudiadas, lo cual evidencia una reducción progresiva del consumo del 60 % al 40 %, según el aumento de resistividad térmica de la envolvente y una disminución sustancial de los requerimientos energéticos según ubicaciones de mayor latitud de hasta el 85 %, para todos los establecimientos y calidades constructivas. Estas tendencias son coherentes con estudios locales e investigaciones y programas nacionales.

La evaluación energética demostró diferencias consistentes según atributos morfológicos, constructivos y latitud geográfica. En primer lugar, volumetrías con factores de forma menores presentan mayor consumo de energía en zonas australes, a diferencia de latitudes al norte del país. Asimismo, envolventes más aisladas y selladas, significan una reducción progresiva de los requerimientos energéticos en todos los ejemplos y situaciones climáticas, lo cual se traduce en una relevante contribución a la calidad ambiental de los establecimientos. Por último, se presenta también un considerable aumento del consumo en los climas más australes en los distintos casos, reducidos proporcionalmente con los tratamientos constructivos, por lo que las inversiones en establecimientos para estas latitudes son significativamente más rentables y con mayor repercusión social.

Lo anterior, permite indicar que los programas de edificación pública, especialmente en países como Chile, con gran diversidad geográfica, deben considerar distinciones del entorno climático para orientar de mejor forma el diseño y recursos, otorgando prestaciones con adecuada calidad ambiental, desempeño energético y rentabilidad social.

Capítulo 6

Cuadro de recomendaciones para morfologías energéticamente eficientes y socialmente rentables

Introducción

La eficiencia energética en los edificios se ha convertido en un objetivo clave de cualquier política energética. Por lo tanto, es crucial para el cumplimiento de estos objetivos contar con instrumentos que permitan tomar las mejores decisiones en etapas tempranas de diseño. Este capítulo muestra cuadros de recomendaciones para el diseño energéticamente eficiente de establecimientos de salud pública en Chile, en especial los Centros de Salud Familiar (CESFAM), en cuatro macro zonas climáticas y dos tipos de establecimientos reconocidos para ciudades primarias e intermedias. La relación entre coeficientes de forma, el desempeño energético, potencial de generación solar fotovoltaica y costo de ciclo de vida orientan al diseñador a tomar mejores decisiones respecto a la forma proyectada y materialidad.

En adelante, se muestran los rangos de coeficiente de forma asociados a los casos de estudio analizados y los valores de consumo energético, generación solar fotovoltaica y costo de ciclo de vida para cada una de las macro zonas climáticas y tipos de construcción basado en los Términos de Referencia Estandarizados (TDRé).

Como se vio en el estado del arte, la discusión sobre los coeficiente de forma es extensa, algunos autores defienden el principio de compacidad como la relación entre la envolvente del edificio y el volumen que contiene, entendido también como Facto de Forma (FF) y otros la cuestionan debido que es adimensional, planteando así nuevos coeficientes como el FAEP, que

relaciona la superficie de envolvente y la superficie de ocupación, o la Eficiencia Geométrica Relativa (EGR) que relaciona la superficie de envolvente y la superficie construida.

Esta investigación analizó distintas posibilidades para relacionar la superficie de envolvente con la superficie construida, el volumen contenido y capacidad en términos de área de las cubiertas para garantizar la mayor cantidad de aporte solar fotovoltaico, basados en el principio de que la prioridad para estos centros de salud debería ser reducir el consumo al máximo, para luego adaptar tecnologías solares de encubierta; se decidió utilizar el coeficiente de compacidad asociado al Factor de Forma.

A continuación, se presentan los cuadros de recomendaciones para etapas tempranas de diseño en morfologías de alta eficiencia y generación energética de centros de salud pública primaria según macro zona climática. La tabla 73 muestra valores promedio asociados a los consumos de energías, generación solar fotovoltaica y costo de ciclo de vida por unidad y área para cada rango de Factor de Forma “FF” (edificaciones diseñadas para 20 000 y 30 000 usuarios), tipo de construcción y macro zona climática, así mismo, las tablas de las 74 a la 81 muestran las recomendaciones por rango de factor de forma para cada una de las macro zonas.

Para una mayor comprensión y lectura, la figura 61 explica cada una de las variables que conforman los cuadros de recomendaciones (tablas de la 73 a 81).

Figura 61. Variables que conforman los cuadros recomendaciones.

		Macro zona Norte / 20 000 a 30 000 usuarios / hasta 3500 m ²						Umbral mínimo aceptable	
		SIN TDR		CON TDR MEJORADO		CON TDR OPTIMIZADO		Costo ciclo de vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
A	FF: 0.31 - 0.38		41,49	32,94	26,76	55,17		Bajo	Bajo
B	16 % VANO		10,96	10,10	10,10	55,17		10,5	45
		Macro zona Norte / 20 000 a 30 000 usuarios / hasta 3500 m ²						Umbral mínimo aceptable	
		SIN TDR		CON TDR MEJORADO		CON TDR OPTIMIZADO		Costo ciclo de vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
	FF: 0.39 - 0.43		104	80,41	67	99,94		Bajo	Bajo
	662 % VANO		12,03	10,49	9,11	99,94		10,5	85

	Consumo (kWh/m ²) Año
	Generación (kWh/m ²) Año
	Costo ciclo de vida UF/m ²

Fuente: elaboración propia.

- A. Coeficientes de forma: indica un rango asociado a los coeficientes de forma obtenidos de la relación superficie de envolvente / volumen (FF).
- B. Porcentaje de vano: muestra el porcentaje de vano obtenido de los casos de estudio y bajo los cuales se realizaron los análisis de consumo.
- C. Macro Zona: indica la zona geográfica en la cual se implantará el proyecto. Las tablas de recomendaciones actúan sobre cuatro macro zonas climáticas (Norte, Centro, Sur y Austral). La macro zona norte va desde la latitud $-18,44^{\circ}$ hasta la $-30,03^{\circ}$, la Centro desde la $-33,01^{\circ}$ hasta la $-36,60^{\circ}$, la Sur desde $-36,82^{\circ}$ hasta $-40,57^{\circ}$ y la Austral desde $-38,45^{\circ}$ hasta la $-53,16^{\circ}$. Este apartado también señala la cantidad de usuarios atendidos en un año y la superficie máxima construida.
- D. Umbrales mínimos aceptables: muestra las líneas base de consumo energético y costo de ciclo de vida por unidad de área. Calidad constructiva: indica el tipo de término de referencia que asocia el nivel de estrategias de eficiencia energética implementadas (aumento de aislación y hermeticidad en un 30 % y 60 %, respecto al escenario base y considera espesores comerciales de aislación en muros EIFS entre 3 cm a 16 cm, el espesor varía según zona climática, acogiendo lo sugerido en la herramienta ECSE.
- E. Resultados de desempeño y costo de ciclo de vida: evidencia el consumo energético, potencial solar fotovoltaico y costo de ciclo de vida promedio por unidad de área asociado al rango de coeficientes y solución constructiva.

Tabla 73. Cuadro general de recomendaciones.

C3	FF		Norte	Centro	Sur	Austral
	0.39 - 0.43	TDR	103,58	200,86	256,83	494,75
			99,94	63,00	56,93	44,39
		TDR MEJORADO	80,41	96,08	98,63	171,70
			10,49	63,12	56,93	44,39
		TDR OPTIMIZADO	67,06	69,07	60,83	94,47
			9,11	63,12	56,93	44,39
20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m2.			11,51	10,99	11,13	

C5	FF		Norte	Centro	Sur	Austral
	0.44 - 0.48	TDR	52,19	100,99	109,78	168,40
			109,05	68,13	61,04	45,73
		TDR MEJORADO	32,98	36,30	32,02	36,58
			15,78	68,13	61,04	45,73
		TDR OPTIMIZADO	30,36	30,36	21,39	27,81
			13,15	68,13	61,04	45,73
5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m2.			17,50	17,82	16,88	

C2	FF		Norte	Centro	Sur	Austral
	0.49 - 0.54	TDR	81,45	181,99	237,58	439,00
			169,08	106,89	96,39	15,23
		TDR MEJORADO	60,54	67,08	67,38	96,79
			10,73	106,89	96,39	75,49
		TDR OPTIMIZADO	39,66	38,74	36,79	56,91
			10,74	106,89	96,39	75,49
5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m2.			11,79	10,98	11,73	

C4	FF		Norte	Centro	Sur	Austral
	0.31 - 0.38	TDR	41,49	75,36	93,64	152,88
			55,17	34,79	31,29	24,32
		TDR MEJORADO	32,94	34,79	31,29	45,06
			10,39	34,79	31,29	24,32
		TDR OPTIMIZADO	26,76	29,09	23,95	29,51
			10,10	34,79	31,29	24,32
30.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m2.			11,82	11,48	10,94	

	Consumo (kWh/m2) Año
	Generación (kWh/m2) Año
	Costo Ciclo de Vida UF/m2

Fuente: elaboración propia.

Cuadro de recomendaciones por macro zona para edificios hasta 3500 m² / edificio energía plus

Tabla 74. Cuadro de recomendaciones macro zona norte / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).

Macro zona Norte / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,31 - 0,38	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
			41,49		32,94		26,16	Bajo
		55,17		55,17		55,17		
		10,86		10,39		10,10		
16% VANO							10,5	45
Macro zona Norte / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,39 - 0,43	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
		104		80,41		67	Bajo	Bajo
		99,94		99,94		99,94		
		12,03		10,49		9,11		
62% VANO							10,5	85

Fuente: elaboración propia.

Tabla 75. Cuadro de recomendaciones macro zona centro / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).

Macro zona Centro / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,31 - 0,38	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
			75,36		34,88		29,09	Bajo
		34,79		34,79		34,79		
		12,45		12,17		11,82		
16% VANO							12	40
Macro zona Centro / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,39 - 0,43	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
		201		96,08		69	Bajo	Bajo
		63,00		63,12		63,12		
		12,11		11,55		11,51		
62% VANO							10	70

Fuente: elaboración propia.

Tabla 76. Cuadro de recomendaciones macro zona sur / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).

Macro zona Sur / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,31 - 0,38	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
			93,64		33,36		23,95	Bajo
		31,29		31,29		31,29		
		12,45		12,21		11,48		
16% VANO							11,5	35
Macro zona Sur / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF : 0,39 - 0,43	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
		257		98,63		61	Bajo	Bajo
		56,93		56,93		56,93		
		13,62		11,46		10,99		
62% VANO							11	65

Fuente: elaboración propia.

Tabla 77. Cuadro de recomendaciones macro zona austral / edificio energía plus (20 000 a 30 000 usuarios).

Macro zona Austral / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,31 - 0,38	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		152,88	24,32	45,06	24,32	29,51	24,32	11
16% VANO	13,87		11,66	11,66	10,94			

Macro zona Austral / 20.000 a 30.000 usuarios / hasta 3.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,39 - 0,43	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		695	44,39	172	44,39	94	44,39	11
62% VANO	14,08		11,15		11,13			

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: elaboración propia.

Cuadro de recomendaciones por macro zona para edificios hasta 1500 m² / edificio energía plus

Tabla 78. Cuadro de recomendaciones macro zona norte / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).

Macro zona Norte / 5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,44 - 0,48	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		52	109	33	109,05	30	109	16
35% VANO	18,39		15,78		13,15			

Macro zona Norte / 5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,49 - 0,54	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		81	169	60,54	169,08	39,66	169	11,0
30% VANO	10,85		10,73		10,74			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 79. Cuadro de recomendaciones macro zona centro / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).

Macro zona Centro / 5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,44 - 0,48	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		101	68	36	68,13	30	68,13	16
35% VANO	18		18,08		17,50			

Macro zona Centro / 5.000 a 20.000 usuarios / hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,49 - 0,54	SIN TDRé		CON TDRé MEJORADO		CON TDRé OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		181,99	106,89	67,08	106,89	38,24	106,89	12
30% VANO	12,52		11,74		11,79			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 80. Cuadro de recomendaciones macro zona sur / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).

Macro zona Sur / 5.000 a 20.000 usuarios/ hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,44 - 0,48	SIN TDR _e		CON TDR _e MEJORADO		CON TDR _e OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		110	32		21			
		61		61,04		61,04		
35% VANO							18	35

Macro zona Sur / 5.000 a 20.000 usuarios/ hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,49 - 0,54	SIN TDR _e		CON TDR _e MEJORADO		CON TDR _e OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		227,58	67,38		56,29			
		96,39		96,39		96,39		
30% VANO							12	70

Fuente: elaboración propia.

Tabla 81. Cuadro de recomendaciones macro zona austral / edificio energía plus (5000 a 20 000 usuarios).

Macro zona Austral/ 5.000 a 20.000 usuarios/ hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,44 - 0,48	SIN TDR _e		CON TDR _e MEJORADO		CON TDR _e OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		168	37		28			
		45,73		45,73		45,73		
35% VANO							18	40

Macro zona Austral / 5.000 a 20.000 usuarios/ hasta 1.500 m ² .						Umbrales mínimos aceptables		
FF: 0,49 - 0,54	SIN TDR _e		CON TDR _e MEJORADO		CON TDR _e OPTIMIZADO		Costo Ciclo de Vida UF/m ²	Consumo (kWh/m ²) Año
							Bajo	Bajo
		439,00	96,79		56,91			
		75,49		75,49		75,49		
30% VANO							10	60

		Consumo (kWh/m ²) Año
		Generación (kWh/m ²) Año
		Costo Ciclo de Vida UF/m ²

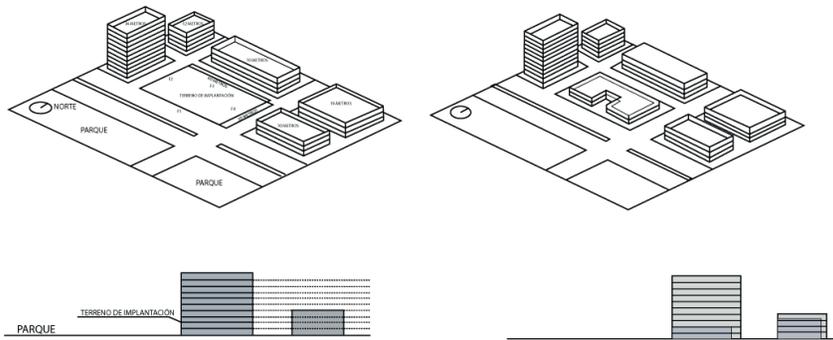
Fuente: elaboración propia.

Uso de cuadros de recomendaciones

Se entiende que las decisiones tomadas en etapas tempranas del diseño tienen un impacto considerable en el desempeño futuro de los edificios, esta herramienta, señalada como cuadros de recomendaciones, busca que proyectistas o consultores identifiquen, según la zona climática, la mejor opción respecto a materialidad y forma, de manera que se equilibre el consumo energético y la generación solar fotovoltaica al menor costo de ciclo de vida posible. Los resultados obtenidos se fundamentan en simulaciones de consumo, generación solar activa y costo de ciclo de vida, realizados mediante herramientas computacionales e instrumentos de uso público como la planilla ECSE y su metodología simplificada, diseñada para etapas tem-

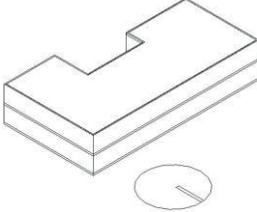
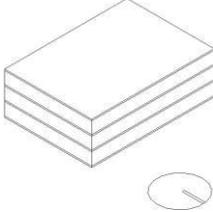
pranas de diseño. La figura 62 muestra una propuesta volumétrica típica de un centro de salud familiar inserto en un contexto urbano de mediana densidad, de este esquema parte el proyectista para calcular la superficie construida, superficie de cubierta, superficie de envolvente y volumen de dicha masa o propuesta volumétrica tal y como se muestra en la figura.

Figura 62. Ejercicio de diseño temprano con masas conceptuales.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 82. Aplicación de cuadros normativos a dos esquemas básicos con distinto factor de forma para identificar consumos, generación y costo de ciclo de vida por unidad de área.

	Ejercicio 1	ejercicio 2
Superficie de envolvente m ²		
	969	1.538
Superficie de vano m ²	160	160
Superficie construida m ²	960	1.480

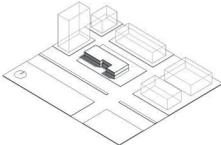
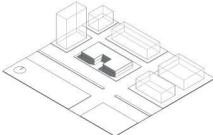
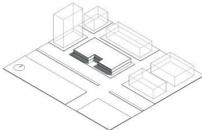
Continúa...

...Sigue

	Ejercicio 1	ejercicio 2
Volumen m ³ Factor de Forma (FF)	2.400	3.700
	0.40	0.34
Factor de cubierta / Superficie construida	0.39	0.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla 83. Resultados de Factor de Forma (FF) y resultados de desempeño para macro zona norte y austral.

	Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 3
			
Factor de Forma (FF)	0.49	0.40	0.38
Macro Zona Norte / Sin TDRé	Consumo : 81.45 (kWh/m ²) Año Generación: 169.08 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 10.85 UF/m ²	Consumo : 103.58 (kWh/m ²) Año Generación: 99.94 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 12.03 UF/m ²	Consumo : 41.49 (kWh/m ²) Año Generación: 55.17 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 10.86 UF/m ²
Macro Zona Norte / TDRé Mejorado	Consumo : 60.54 (kWh/m ²) Año Generación: 169.08 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 10.73 UF/m ²	Consumo : 80.41 (kWh/m ²) Año Generación: 99.94 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 10.49 UF/m ²	Consumo : 32.94 (kWh/m ²) Año Generación: 55.17 (kWh/m ²) Año Costo Ciclo de Vida: 10.39 UF/m ²

Continúa...

...Sigue

	Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 3
Macro Zona Norte / TDRé Optimizado	Consumo : 39.66 (kWh/m ²) Año	Consumo : 67.06 (kWh/m ²) Año	Consumo : 26.76 (kWh/m ²) Año
	Generación: 169.08 (kWh/m ²) Año	Generación: 99.94 (kWh/m ²) Año	Generación: 55.17 (kWh/m ²) Año
	Costo Ciclo de Vida: 10.74 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 9.11 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 10.10 UF/m ²
Macro Zona Austral / Sin TDRé	Consumo : 439.00 (kWh/m ²) Año	Consumo: 494.75 (kWh/m ²) Año	Consumo : 152.88 (kWh/m ²) Año
	Generación: 75.49 (kWh/m ²) Año	Generación: 44.39 (kWh/m ²) Año	Generación: 24.32 (kWh/m ²) Año
	Costo Ciclo de Vida: 15.23 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 14.08 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 13.87 UF/m ²
Macro Zona Austral / TDRé Mejorado	Consumo : 96.79 (kWh/m ²) Año	Consumo : 171.70 (kWh/m ²) Año	Consumo : 45.06 (kWh/m ²) Año
	Generación: 75.49 (kWh/m ²) Año	Generación: 44.39 (kWh/m ²) Año	Generación: 24.32 (kWh/m ²) Año
	Costo Ciclo de Vida: 12.21 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 11.15 UF/m ²	Costo Ciclo de Vida: 11.66 UF/m ²
Macro Zona Austral /	Consumo : 56.91 (kWh/m ²) Año	Consumo : 94.47 (kWh/m ²) Año	Consumo : 29.51 (kWh/m ²) Año
	Generación: 75.49 (kWh/m ²) Año	Generación: 44.39 (kWh/m ²) Año	Generación: 24.32 (kWh/m ²) Año

Fuente: elaboración propia.

La propuesta volumétrica con factor de forma 0,49 podría tener calidad constructiva sin TDRé en zonas norte del país, es decir, que no necesitaría de mayor inversión en eficiencia energética, ya que no sobrepasa los umbrales de consumo y costo de ciclo de vida; así mismo, podría autoabastecerse la necesidad de consumo con renovables en cubierta y tener excedentes.

En caso de la masa proyectada con factor de forma de 0,40 y 0,38, estas requieren, como mínimo, estrategias de eficiencia energética tipo TDRé Mejorado para para no sobrepasar los umbrales establecidos, satisfaciendo en su totalidad los requerimientos de consumo con excedentes menores al ejemplo 1.

Estas mismas configuraciones ubicadas en la zona Austral del país tienen comportamientos distintos, ya que, todas las propuestas volumétricas con factor de forma de 0,49 – 0,40 y 0,38 requieren de la incorporación de estrategias de eficiencia energética tipo TDRé Optimizado para no sobrepasar el umbral de consumo establecido, pero con excedentes de energía solar activa únicamente en el primer caso y cumpliendo con el mínimo aceptable de costo de ciclo de vida en el último ejemplo.

Conclusiones

Estos establecimientos con enfoque de prevención familiar, desarrollados a partir de 1993, presentan una conformación programática y funcional similar pero tipológicamente diversa a lo largo y ancho del territorio, con magnitudes de 1000 a 3500 m², según población atendida, geometría del lote y organización de recintos, lo cual produjo edificaciones de uno, dos o tres niveles, con presencia de patios internos para asegurar iluminación y ventilación natural, lo que arroja como resultado volumetrías compactas alargadas, rectangulares, cuadradas y, en ocasiones, curvas, carentes de contextualización ambiental. El proceso de planificación considera diversas instancias financieras y técnicas que aseguran la pertinencia y eficacia del establecimiento, y otorgan un plazo equivalente para su ejecución.

La evaluación energética demostró diferencias consistentes según atributos constructivos y latitud geográfica. La adopción de envolventes más aisladas y selladas expresa una reducción progresiva de los requerimientos ambientales en todos los ejemplos y situaciones climáticas, lo cual se traduce en una relevante contribución a la calidad ambiental de los establecimientos. Se presenta, también, un considerable aumento de consumo en los climas más australes en los distintos casos, reducidos proporcionalmente con los tratamientos constructivos, por lo que las inversiones en establecimientos para estas latitudes son significativamente más rentables y con mayor repercusión social.

Lo anterior, permite indicar que los programas de edificación pública, especialmente en países como Chile, con gran diversidad geográfica, deben

considerar distinciones del entorno climático para orientar más cabalmente sus recursos, con el fin de otorgar prestaciones con adecuada calidad ambiental, desempeño energético y rentabilidad social.

Capítulo 7

Conclusiones y futuras líneas de investigación

El estado del arte permitió identificar la presencia de herramientas independientes de simulación para determinar el consumo energético, aporte solar activo y costos de ciclo de vida. Sin embargo, esta herramienta, utilizada principalmente por especialistas, generalmente es útil para validar estrategias incorporadas en etapas avanzadas de diseño, lo que limita al proyectista en la búsqueda de una configuración morfológica energéticamente eficiente con costos asociados en etapas tempranas.

Por otro lado, es clara la intención de la arquitectura sustentable de promover edificaciones con bajo consumo y alta generación que permitan reducir el impacto al ambiente. En esta misma dirección, este trabajo apunta al diseño de edificios energéticamente autónomos, que se acerquen al concepto cero o casi cero energía, apoyando iniciativas de política pública para 2050.

Es importante resaltar que a nivel regional Chile ha sido el principal país que mediante normativas ha buscado reducir los consumos de energía, principalmente en el sector de la construcción, apoyando el desarrollo de documentos, guías, manuales y términos de referencia según tipo de edificación y localización geográfica. No obstante, para cumplir con los objetivos expuestos en el párrafo anterior, es necesario complementar estos documentos con nuevas investigaciones.

Esta investigación aportó una metodología aplicada que permitió caracterizar una muestra de centros de salud pública, relacionando variables arquitectónicas y constructivas como el factor de forma, orientación y calidad

constructiva, que influyen en el consumo energético, generación eléctrica con paneles fotovoltaicos y costo de ciclo de vida.

Respecto al objetivo general

Construir cuadros de recomendaciones para morfologías energéticamente eficientes y socialmente rentables en proyectos de Centros de Salud Familiar (CESFAM), que equilibren menor consumo energético y generación solar, respetando funcionalidad y confort ambiental para diferentes zonas climáticas del territorio nacional chileno.

La tesis permitió revisar y reconocer una estrategia para la planeación y materialización de la infraestructura pública primaria de servicios sanitarios regionales basada en etapas de pre inversión e inversión, que responde de forma eficiente y descentralizada, lo que evidencia un proceso arquitectónico, con una necesidad de adaptación local específica para asegurar un buen desempeño ambiental y socialmente rentable. Esto es muestra de una combinación entre la planeación general y la resolución específica de los establecimientos, apoyada por evaluaciones cuantitativas, para el diseño arquitectónico sustentable, que puede ser orientado con consideraciones formales y constructivas por zonas climáticas.

Como parte de esta tesis, fue posible realizar entrevistas a funcionarios administrativos del servicio de salud de Concepción y revisar el ciclo de proyecto y proceso de inversión para la construcción física de los establecimientos objeto de esta investigación. Este proceso permitió identificar para la investigación etapas, recursos, tiempos y costos asociados a la toma de decisiones en las etapas de planeación y diseño, antes de concretar la construcción.

Dentro de las etapas de planeación resaltan las dirigidas a la inversión, ya que es en estas, en una etapa temprana, se desarrollan los primeros esquemas básicos de diseño, previos al anteproyecto y proyecto arquitectónico y en donde los resultados de esta tesis materializados en cuadros de recomendaciones pueden ser utilizados y exigidos.

Como parte de la caracterización y desarrollo de esta investigación se puede concluir que las tipologías de salud primaria y en especial los Centros de Salud Familiar (CESFAM), cumplen con solicitudes funcionales de programa médico y relación entre recintos, pero carecen de adaptación climática completa que permita reducir aún más los consumos de energía e integrar renovables al menor costo posible, lo cual garantizaría confort ambiental para pacientes y funcionarios. Así lo demuestran los estudios realizados a los cinco casos de estudio ubicados en las ciudades principales e intermedias de Algarrobo, Curepto, Santiago, Concepción y Dalcahue.

La principal contribución de este trabajo radica en demostrar que es posible lograr mejores desempeños energéticos a costos razonables, pero bajo la combinación de variables constructivas y morfológicas acordes a la ubicación. Estos criterios diseñados para ser abordados en etapas tempranas, toman en cuenta la elaboración de masas conceptuales como estrategia proyectual para, mediante la consulta de cuadros de recomendaciones, lograr una configuración morfológica con mejores prestaciones ambientales y económicas que respete condiciones funcionales.

La creación de cuadros de recomendaciones para etapas tempranas de diseño en morfologías de alta eficiencia y generación energética de centros de salud pública primaria permite reducir la incertidumbre de la forma proyectada y su eficiencia, dado que, mediante la relación entre un coeficiente de forma como el Factor de Forma (FF), características constructivas y localización geográfica se puede establecer el consumo de energía, potencial solar fotovoltaico y costo de ciclo de vida.

De la investigación se desprende que, en el caso de las tipologías de los Centros de Salud Familiar (CESFAM), se requiere analizar la intervención a la normativa vigente, para asociar condiciones de forma y su relación con condiciones constructivas, ya que estos factores, junto con la localización, pueden aumentar o reducir notablemente los consumos de energía y reducir la cantidad de tecnologías solares adaptadas en cubierta, alterando los costos de ciclo de vida. Lo anterior, como complemento a las estrategias

para reducir el consumo de energía expuestas en documentos normativos como los Términos de Referencia Estandarizados (TDRe).

Por otro lado, la metodología desarrollada en esta investigación puede ser aplicada en otro tipo de establecimientos públicos, en donde su forma esté fuertemente influenciada por requerimientos funcionales y deba cumplir con mandatos nacionales, compatibilizando desempeño operacional y generación solar al menor costo de ciclo de vida.

En general, esta investigación logra, mediante la construcción de cuadros de recomendaciones, relacionar condiciones climáticas con características morfológicas, constructivas y funcionales en edificaciones condicionadas por una infraestructura de servicios consistente, lo cual promueve formas con reducido consumo energético, alta generación solar y bajo costo de ciclo de vida. Así mismo, se demuestra que es posible mejorar el desempeño energético, aporte solar fotovoltaico con costo de ciclo de vida asociado de edificaciones con altos requerimientos funcionales, si se tienen en cuenta ciertas combinaciones de variables constructivas y morfológicas acordes al emplazamiento de la edificación, lo cual aporta a la toma de decisiones proyectuales en etapas tempranas, entregando así lineamientos morfológicos de factor de forma y constructivos según ubicación geográfica.

Respecto a los objetivos específicos

1. Analizar la planeación, arquitectura, eficiencia energética, generación solar y confort ambiental de Centros de Salud Familiar (CESFAM), para reconocer tipologías representativas, funcionamiento, estrategias de diseño sustentable, rangos, valores límite e indicadores de desempeño.

Previo a esta investigación, no existía un estudio que permitiera identificar las características arquitectónicas, constructivas y energéticas de alguna de las tipologías de salud pública primaria, así como el proceso de planeación para la materialización de una infraestructura física. Este trabajo hace una contribución al respecto en tanto que pone en evidencia etapas, costos, tiempos y agentes que intervienen en el proceso de planeación de-

nominado ciclo de proyecto y proceso de inversión, para luego caracterizar a nivel arquitectónico, constructivo y energético casos representativos de centros de salud pública primaria.

Como parte del registro se concluye que el modelo de salud primaria en Chile, dirigido al cuidado y prevención de la salud familiar y comunal, cuenta con una red asistencial diversa compuesta por 170 Servicios de Atención Primaria en Urgencia (SAPU), 142 Estación Médico Rural, 44 Consultorios de Salud Mental (COSAM), 20 Servicios de Alta Resolución (SAR) y 252 Centros de Salud Familiar (CESFAM), lo que lo convierte en el elemento central de la ejecución del modelo, ya que resuelve el 80 % de las necesidades de atención de la población. Así mismo, resaltan por su importancia y cantidad los centros de salud familiar los cuales son diseñados para satisfacer las necesidades de hasta 30 000 habitantes al año en ciudades primarias e intermedias principalmente. Además, el Plan Nacional de Inversiones buscó, a 2018, la construcción de 100 centros con un 30 % más en proceso de licitación. Su planeación es un proceso continuo y descentralizado consistente en un ciclo de proyecto y proceso de inversión, el cual considera diversas instancias financieras y técnicas que aseguran la pertinencia y eficacia del establecimiento, considerando un plazo mayor equivalente a su ejecución.

Estos establecimientos conformados como una estrategia para promover la salud preventiva con enfoque familiar, comprenden una infraestructura programática altamente funcional con similitud arquitectónica interna e incorporación de estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética repetitivas, sugeridas por estándares normativos nacionales como los Términos de Referencia Estandarizados (TDRé) y costos de inversión inicial para edificios con magnitudes de 1000 m² a 3500 m², que varían de tamaño según población atendida (principalmente entre 5000 a 19 999 y 20 000 a 30 000 usuarios). Así como, también, por la geometría del lote y organización de recintos, la cual obedece principalmente a la proximidad y claridad exigida de los recorridos públicos y privados, e igual de las relaciones directas e indirectas de las funciones médicas y administrativas. Estas características han promovido edificaciones de uno, dos y tres niveles, lo cual arroja como resultado volumetrías alargadas, rectangulares, cuadradas y, en ocasiones,

curvas con distinto, pero no muy distante coeficiente de compacidad, lo que ha promovido una regularidad morfológica capaz de satisfacer requerimientos funcionales; aunque con elevado consumo de energía debido a la discrepancia entre la forma, materialidad y clima.

2. Evaluar el desempeño energético, la generación solar y los costos sociales de Centros de Salud Familiar (CESFAM), para identificar los escenarios de mayor rendimiento y rentabilidad social por zona climática.

A partir de la metodología propuesta, la evaluación energética, se basó en simulaciones dinámicas multivariadas para determinar consumos energéticos, potencial solar fotovoltaico y simulaciones estáticas para obtener costos de ciclo de vida, lo cual refleja una incidencia consistente de la forma arquitectónica (específicamente de la menor relación de la superficie envolvente con el volumen, y la menor proporción vidriada); y arroja volúmenes con distintos coeficientes de compacidad y con una relevante mayor demanda de energía en la zona Austral. Así mismo, para este tipo de establecimientos, las simulaciones develan que envolventes más aisladas y selladas expresan una reducción progresiva de los requerimientos energéticos en todos los ejemplos y situaciones climáticas del 20 % al 80 % de disminución de demanda; esto da cuenta de una relevante contribución a la calidad ambiental de los mismos. Por tanto, una combinación de aspectos geométricos y materiales en el diseño arquitectónico de los establecimientos puede contribuir significativamente a reducir su consumo, respetando habitabilidad y comportamiento ambiental, esto evidencia que las inversiones en eficiencia energética para estos establecimientos son significativamente más rentables en zonas australes.

Respecto al aporte solar activo, este fue calculado en función del consumo energético resultante de las estrategias de envolvente y hermeticidad adoptadas, lo cual permite suplir el total de lo consumido en zonas norte del país; y un tercio en la zona austral. Por otro lado, la evaluación del potencial solar fotovoltaico también consideró excedentes energéticos para otros requerimientos, lo cual suplió casi dos veces más el consumo en zonas norte y tres veces más en la zona austral. Se identificó que la relación

entre factor de forma y generación solar fotovoltaica es consecuente con la superficie disponible en cubierta y la localización.

En edificaciones con menores Factores de Forma, el potencial de generación solar fotovoltaica para suplir los consumos con posibilidades de excedentes tiene una relación directa con la calidad constructiva de la envolvente y localización, ya que, al ser más compactos, la superficie de cubierta es menor lo que obliga a mejores estrategias para reducir los consumo y poder acercar la generación a cero, en zonas sur y austral del país. Por otro lado, mayores factores de forma promueven excedentes en zonas norte, pero aumentan significativamente el consumo en zonas sur y australes por lo que envolventes mejoradas y optimizadas tienen mayor impacto en el consumo propiciando excedente de generación.

En otro sentido, esta investigación aporta un análisis de costos y umbrales asociados a la implementación de estrategias de eficiencia energética y generación solar fotovoltaica lo cual permite identificar, según tipología, zona climática, calidad constructiva, costos iniciales de reemplazo y consumo energético importantes para justificar la viabilidad económica de cualquier proyecto de salud pública primaria.

Los costos sociales asociados a la implementación de estrategias de eficiencia energética y adaptación de tecnologías solares fotovoltaicas en cubierta muestran mayores inversiones en escenarios optimizados, pero con menor costo operativo a lo largo del tiempo. la recuperación de la inversión se da en periodos más cortos en zonas del norte del país.

3. Desarrollar un instrumento de diseño para etapas tempranas que indique las recomendaciones de compacidad y construcción por zona climática, relacionando desempeño operacional, generación solar y costo de ciclo de vida en tipologías compactas y extendidas de los Centros de Salud Familiar (CESFAM).

La consolidación de un instrumento formulado para el diseño eficiente en etapas tempranas permite que proyectistas o consultores aborden la relación entre compacidad, materialidad y porcentaje de vano según zona

climática, mientras respetan la funcionalidad y evidencian el desempeño energético y costo de ciclo de vida asociado. Este instrumento se constituye como una guía para el diseño sustentable de establecimientos de salud primaria en Chile.

Los ejercicios realizados demuestran que para lograr que la generación solar fotovoltaica supla un 100 % del consumo de energía en edificaciones con menor Factor de Forma ubicadas en zonas norte del país, no es necesario acudir a condiciones de envolvente mejoradas. Sin embargo, en zonas australes es pertinente implementar soluciones optimizadas para lograr un edificio casi cero energía. Por su parte, edificaciones con mayor factor de forma ubicadas en zonas norte requieren de envolventes mejoradas para equilibrar consumos y generación, a diferencia de aquellas con menor factor de forma que no necesitan mejoramiento alguno, para suplir el requerimiento energético.

Según el análisis realizado, los coeficientes de compacidad (factor de forma) que equilibran mejores prestaciones energéticas y solares en Centros de Salud Familiar CESFAM oscilan entre 0,44 a 0,54 para edificaciones pequeñas diseñadas para atender entre 5000 a 20 000 usuarios y de 0,31 a 0,43 para edificaciones diseñadas para atender entre 20 000 a 30 000 usuarios, lo anterior asociando mejoramientos constructivos según TDR Mejorado y Optimizado.

Lo anterior, permite entender que la dualidad entre funcionalidad, desempeño energético y generación solar debe ser abordada respetando requerimientos programáticos y de confort ambiental establecidas por normativas y que existen otras estrategias asociadas al tipo de envolvente y nivel de compacidad que se pueden combinar para lograr menores consumos equilibrando generación solar para de esta forma promover edificaciones energéticamente autónomas.

Futuras líneas de investigación

Durante el desarrollo de esta investigación doctoral se crearon oportunidades de seguir investigando en la formulación de instrumentos para el diseño arquitectónico sustentable desde la primeras etapas de diseño, principalmente dentro de la investigación titulada “Optimización del proceso de diseño para proyectos de arquitectura sostenible mediante diseño integrado y *building information modeling* (BIM), bajo un ambiente de colaboración extrema” tomando como referencia las investigaciones realizadas por la doctora Maureen Trebilcock y los doctores Rodrigo García y Eric Forcael, a desarrollar por la Universidad La Gran Colombia, en colaboración con la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Universidad del Bío-Bío y la Universidad de la República del Uruguay.

Por otro lado, también existe la posibilidad de realizar análisis de aporte solar fotovoltaico y coeficiente de forma que permita complementar la herramienta ECSE (Eficiencia y Costos Sociales en Edificios) utilizada para cálculos los costos de ciclo de vida, haciendo de esta un instrumento de simulación estática útil para etapas tempranas y de evaluación previa a la aprobación de proyectos públicos sustentables en Chile y Colombia.

El objetivo principal de esta investigación permite ser abordado en varios contextos y distintos edificios, por lo tanto, dentro de los futuros proyectos de investigación se buscará extrapolar la metodología propuesta al contexto colombiano y, mediante el Ministerio de Salud y Protección Social, promover una infraestructura de salud energéticamente autónoma, con bajo costo de operación, adaptada a las condiciones climáticas del territorio.

Así mismo, desde los lineamientos de diseño propuestos se vislumbra como futura investigación, la creación de una herramienta que facilite la toma de decisiones en etapas tempranas de diseño. Es decir, que las tablas mostradas pasen a ser parte de la base de datos de esta herramienta más amigable y con representación gráfica para arquitectos.

Anexos

Tabla 84. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación norte y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C1	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C2	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C3	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C4	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Calama

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Santiago
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Valparaíso
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Concepción
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Temuco
C5	+	Sin TDRé	+	Norte	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 85. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación este y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Calama
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Santiago
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Valparaíso
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Concepción
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Temuco
C1	+	Sin TDRé	+	Este	+	Punta Arena
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Calama
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Santiago
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Valparaíso
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Concepción
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Temuco
C2	+	Sin TDRé	+	Este	+	Punta Arena
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Calama
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Santiago
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Valparaíso
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Concepción

Continúa...

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Temuco
C3	+	Sin TDRé	+	Este	+	Punta Arena
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Santiago
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Valparaíso
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Concepción
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Temuco
C4	+	Sin TDRé	+	Este	+	Punta Arena
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Calama
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Santiago
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Valparaíso
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Concepción
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Temuco
C5	+	Sin TDRé	+	Este	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 86. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación sur y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Calama
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Santiago
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Valparaíso
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Concepción
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Temuco
C1	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Punta Arena

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Calama
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Santiago
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Valparaíso
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Concepción
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Temuco
C2	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Punta Arena
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Calama
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Santiago
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Valparaíso
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Concepción
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Temuco
C3	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Punta Arena
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Santiago
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Valparaíso
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Concepción
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Temuco
C4	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Punta Arena
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Calama
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Santiago
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Valparaíso
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Concepción
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Temuco
C5	+	Sin TDRé	+	Sur	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 87. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción, orientación oeste y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Calama
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Santiago
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Valparaíso
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Concepción
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Temuco
C1	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Punta Arena
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Calama
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Santiago
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Valparaíso
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Concepción
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Temuco
C2	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Punta Arena
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Calama
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Santiago
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Valparaíso
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Concepción
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Temuco
C3	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Punta Arena
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Calama
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Santiago
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Valparaíso
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Concepción
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Temuco

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C4	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Punta Arena
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Calama
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Santiago
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Valparaíso
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Concepción
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Temuco
C5	+	Sin TDRé	+	Oeste	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 88. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación norte y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Calama
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Santiago
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Valparaíso
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Concepción
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Temuco
C1	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Punta Arena
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Calama
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Santiago
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Valparaíso
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Concepción
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Temuco
C2	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Punta Arena
C3	+	TDRé Mejorado	+	Norte	+	Calama

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C3	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Santiago
C3	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Concepción
C3	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Temuco
C3	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Calama
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Santiago
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Concepción
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Temuco
C4	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Calama
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Santiago
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Concepción
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Temuco
C5	+	TDRe Mejorado	+	Norte	+	Punta Arena

*Fuente: elaboración propia.***Tabla 89.** Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación este y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Calama
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Santiago

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Concepción
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Temuco
C1	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Calama
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Santiago
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Concepción
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Temuco
C2	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Calama
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Santiago
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Concepción
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Temuco
C3	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Calama
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Santiago
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Concepción
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Temuco
C4	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Calama
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Santiago

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Concepción
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Temuco
C5	+	TDRe Mejorado	+	Este	+	Punta Arena

*Fuente: elaboración propia***Tabla 90.** Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación sur y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Calama
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Santiago
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Concepción
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Temuco
C1	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Calama
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Santiago
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Concepción
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Temuco
C2	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Calama
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Santiago

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Concepción
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Temuco
C3	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Calama
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Santiago
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Concepción
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Temuco
C4	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Calama
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Santiago
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Concepción
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Temuco
C5	+	TDRe Mejorado	+	Sur	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 91. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (mejorado), orientación oeste y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Calama
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Santiago

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Concepción
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Temuco
C1	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Calama
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Santiago
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Concepción
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Temuco
C2	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Calama
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Santiago
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Concepción
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Temuco
C3	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Calama
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Santiago
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Concepción
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Temuco
C4	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Calama
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Santiago
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Concepción
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Temuco

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C5	+	TDRe Mejorado	+	Oeste	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 92. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación norte y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Calama
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Santiago
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Concepción
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Temuco
C1	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Calama
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Santiago
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Concepción
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Temuco
C2	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Calama
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Santiago
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Concepción
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Temuco
C3	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Calama

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Santiago
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Concepción
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Temuco
C4	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Calama
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Santiago
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Concepción
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Temuco
C5	+	TDRe Optimizado	+	Norte	+	Punta Arena

*Fuente: elaboración propia.***Tabla 93.** Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación este y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Calama
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Santiago
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Concepción
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Temuco
C1	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Calama
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Santiago

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Concepción
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Temuco
C2	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Calama
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Santiago
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Concepción
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Temuco
C3	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Calama
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Santiago
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Concepción
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Temuco
C4	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Calama
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Santiago
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Concepción
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Temuco
C5	+	TDRe Optimizado	+	Este	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 94. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación sur y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Calama
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Santiago
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Concepción
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Temuco
C1	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Calama
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Santiago
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Concepción
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Temuco
C2	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Calama
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Santiago
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Concepción
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Temuco
C3	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Calama
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Santiago
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Concepción
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Temuco

Continúa...

...Sigue

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C4	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Calama
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Santiago
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Concepción
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Temuco
C5	+	TDRe Optimizado	+	Sur	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Tabla 95. Matriz de variables a combinar y simular en Python Eppy. Casos de estudio, tipo de construcción (optimizado), orientación oeste y ciudad.

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Calama
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Santiago
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Valparaíso
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Concepción
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Temuco
C1	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Punta Arena
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Calama
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Santiago
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Valparaíso
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Concepción
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Temuco
C2	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Punta Arena
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Calama

Continúa...

...*Sigue*

Caso		Tipo de construcción		Orientación		Ciudad
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Santiago
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Valparaíso
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Concepción
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Temuco
C3	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Punta Arena
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Calama
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Santiago
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Valparaíso
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Concepción
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Temuco
C4	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Punta Arena
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Calama
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Santiago
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Valparaíso
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Concepción
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Temuco
C5	+	TDRe Optimizado	+	Oeste	+	Punta Arena

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Albatici R., & Passerini, F. (2010). Building shape and heating requirements: A parametric approach in italian climatic conditions. En *Central Europe towards Sustainable Building CESB10 Prague Energy Efficiency* (pp. 1-11). http://cesb.cz/cesb10/papers/2_energy/111.pdf
- Ali, S. (2010). Analysis of procedures and workflow for conducting energy analysis using Autodesk Revit, GBXML and Trace 700. *Proceedings of SimBuild, 4(1)*, 56-63.
- Attia, S., Beltrán, L., De Herde, A., & Hensen, J. (2009). "Architect friendly": A comparison of ten different building performance simulation tools. En *Proceedings of 11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition* (pp. 204-211). International Building Performance Simulation Association (IBPSA). <https://research.tue.nl/files/3123852/671348843225203.pdf>
- Attia, S., De Herde, A., Gratia, E., & Hensen, J. L. (2013). Achieving informed decision-making for net zero energy buildings design using building performance simulation tools. *Building Simulation, 6(1)*, 3-21. <https://bit.ly/3NTr7wm>
- Attia, S. (2012). A tool for design decision making zero energy residential buildings in hot humid climates. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33501.23522>
- Balter, J., Ganem, C. y Canton, M. A. (2013). Evolución morfológica y materialización en edificios en altura en la ciudad de Mendoza. Incidencias en el comportamiento térmico interior. *Área, (19)*, 1-15. <http://hdl.handle.net/11336/1188>

- Becerril-Montekio, V., Reyes, J. D. y Manuel, A. (2011). Sistema de salud de Chile. *Salud Pública de México*, 53, 132-142. <https://www.scielosp.org/pdf/spm/v53s2/09.pdf>
- Benavides Salazar, P., Castro, R. y Jones, I. (2013). *Sistema público de salud: Situación actual y proyecciones fiscales 2013-2050*. Ministerio de Hacienda. <http://hdl.handle.net/11626/8665>
- Bergmann, G., Bruno, R., & Horster, H. (1980). Energy conservation in buildings. En J. Kreither & F. Kreith (eds.), *Solar Energy Handbook*. McGraw Hill.
- Bointner, R. (2016). Zebra 2020 – Estrategia 2020 de edificios de energía casi nula D6. 2: Estrategias para la transición del mercado de los EECN a nivel nacional. <https://www.zebra2020.eu/website/wp-content/uploads/2014/08/D62-in-Spanish.pdf>
- Capozzoli, A., Mechri, H. E., & Corrado, V. (2009). Impacts of architectural design choices on building energy performance applications of uncertainty and sensitivity techniques. En *International Building Performance Simulation Association* (pp. 1000-1007). http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2009/bs09_1000_1007.pdf
- Cenci, L., García Alvarado, R., & Jofré Muñoz, J. (2013). Environmental compatibility in art museums: Three case studies in the humid subtropical Brazilian climate. *Arquitetura Revista*, 9(2), 112-124. <https://bit.ly/3pwwjrJ>
- Choi, I. Y., Cho, S. H., & Kim, J. T. (2012). Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. *Energy and Buildings*, 46, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.038>
- Centro de Innovación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITECTUBB) y Dirección de Extensión en Construcción (Decon UC). (2004). *TDR1. Términos de referencia estandarizado con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licita-*

ciones de diseño y obra de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país y según tipologías de edificios. https://construccion sustentable.uc.cl/images/Documentos/TDRe_MOP-DA.pdf

Centro de Innovación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITECUBB) y Dirección de Extensión en Construcción (Decon UC). (2012). *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos*. Ministerio de Obras Públicas de Chile; Ministerio de Educación de Chile. <https://bit.ly/3ptdZgP>

Centro de Innovación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITECTUBB). (2015). *TDRe 10 Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética*. Concepción. http://arquitectura.mop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte3.pdf

Crawley, D., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661-673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>

Crawley, D., Pless, S., & Torcellini, P. (2009). *Getting to Net Zero*. <https://www.osti.gov/biblio/965977>

Danielski, I. (2011). Energy variations in apartment buildings due to different shape factors and relative size of common areas. *District Heating*, 140, 50-57. https://ep.liu.se/ecp/057/vol3/033/ecp57vol3_033.pdf

Delgado García, G. (2008). Conferencia internacional sobre atención primaria de salud, Almá-Atá (1978). *Cuadernos de Historia de la Salud Pública*, 1-4. <http://scielo.sld.cu/pdf/his/n103/his09103.pdf>

Depecker, P., Menezes, C., Virgone, J., & Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36(5), 627-635. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00044-5)

- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R. y Sokona, Y. (eds.). (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. IPCC. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf
- Ellis, P. G., Torcellini, P. A., & Crawley, D. B. (2008). *Energy design plugin: An EnergyPlus plugin for SketchUp*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43569.pdf>
- Esteves, A., Oliva, A. L. y Gelardi, D. (1997). Nueva medida para considerar la forma en la conservación de energía en edificios. *Revista de la Universidad de Mendoza*, (16). <https://www.um.edu.ar/ojs2019/index.php/RUM/article/view/76>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1995, diciembre). *El desarrollo sostenible*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/x5600s/x5600s05.htm>
- Frucht, Y., & Melamed, E. (1984). The dopaminergic amacrine system and its response to light stimulation in rats with inherited retinal dystrophy. *Experimental Eye Research*, 38(4), 391-398. [https://doi.org/10.1016/0014-4835\(84\)90194-5](https://doi.org/10.1016/0014-4835(84)90194-5)
- Gárate Santiago, F. (2017). El lenguaje de programación Python como herramienta multiuso en el análisis de datos y cálculo actuarial. *Actuarios*, (40), 21-25. <https://actuarios.org/wp-content/uploads/2017/07/actuarios-40.pdf>
- García Álvarado, R. y González, A. (2014). Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro-sur de Chile. *Revista INVI*, 29(80), 111-141. <https://www.scielo.cl/pdf/invi/v29n80/art05.pdf>
- Goulding, J. R., Owen Lewis, J., & Steemers, T. C. (1994). *Energy in Architecture, The European Passive Solar Handbook*. Commission of the European Communities.

- Hatt, T. (2012). *El estándar "PASIVHAUS" en el centro-sur de Chile: un estudio paramétrico multifactorial* [tesis doctoral, Universidad del Bío Bío]. Repositorio Institucional. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2316/1/Hatt_Tobias.pdf
- Hayter, S. J., Torcellini, P. A., Hayter, R. B., & Judkoff, R. (2000). The energy design process for designing and constructing high-performance buildings. En *Proceedings of the 7th REHVA World Congress and Clima*.
- Health. (2006). *Guidelines for Design and Construction of Healthcare Facilities*. Facility Guidelines Institute, Ed.
- Hopfe, C. J., & Hensen, J. L. (2011). Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. *Energy and Buildings*, 43(10), 2798-2805. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.034>
- Huellas de arquitectura. (2013, 24 de mayo). *El factor de forma como estrategia de diseño*. <https://bit.ly/30ITwLy>
- Instituto Nacional de Normalización. (2007). *Norma Chilena Oficial NCh853. Of2007. Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. <https://bit.ly/42p2E6o>
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico NCH1079.Of77*. <http://seigrapa.weebly.com/uploads/1/1/8/2/11828201/nch1079-1977.pdf>
- International Energy Agency. (2005). *ECBCS | Annual Report 2005. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*. <https://bit.ly/41uYCYS>
- International Energy Agency. (2018). *World Energy Outlook: Executive Summary. Oecd/lea, 11*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>

- Jin, J. T., & Jeong, J. W. (2014). Optimization of a free-form building shape to minimize external thermal load using genetic. *Energy and Buildings*, 85, 473-482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.080>.
- Kumar, S. (2008). *Interoperability between building information models (BIM) and energy analysis programs* [tesis de maestría, University of Southern California].
- Kurnitski, J., Saari, A., Kalamees, T., Vuolle, M., Niemelä, J., & Tark, T. (2011). Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. *Energy and Buildings*, 43(11), 3279-3288. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.033>
- Lobos, D., Wandersleben, G. y Castillo, L. S. (2015). Mapeo de Interoperabilidad entre BIM y BPS Software (Simulación Energética) para Chile. En *XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics-SI-GraDi* (pp. 1-5). http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigra-di2013_271.content.pdf
- Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., y Buswell, R. (2012). Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. *Applied Energy*, 97, 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.075>
- Mickaityte, A., Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., & Tupenaite, L. (2008). The concept model of sustainable buildings refurbishment. *International Journal of Strategic Property Management*, 12(1), 53-68. <https://doi.org/10.3846/1648-715X.2008.12.53-68>
- Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile (Mideplan). (1998). *Preparación y presentación de proyectos de inversión*. Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile. https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/btca/txtcompleto/DIGITALIZADOS/M665pp_1998.pdf
- Ministerio de Desarrollo Social de Chile. (2013). *Metodología de preparación, evaluación y priorización de proyectos atención primaria del sector sa-*

lud. http://www.cejis.atalca.cl/doc/german_lobos2/AtenciónPrimariaSalud2013.pdf.

Ministerio de Energía de Chile. (2014, 6 de noviembre). *Aprueba reglamento de la Ley N° 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales*. Diario Oficial de la República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1066257>

Ministerio de Energía de Chile. (2016). *Energía 2050. Política energética de Chile*. Ministerio de Energía de Chile. https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf

Ministerio de Salud de Chile. (2007). *Guía de planificación y diseño de Centros de Salud Familiar CESFAM*. Ministerio de Salud de Chile.

Ministerio de Salud de Chile. (2011). *Estrategia nacional de salud para el cumplimiento de los objetivos sanitarios de la década 2011-2020*. Ministerio de Salud de Chile. <https://bit.ly/2HFqjcq>

Ministerio de Salud de Chile. (2013). *Guías de diseño de Recintos Hospitalarios Comunitarios*. Ministerio de Salud de Chile. <https://bit.ly/3LXHt4m>

Ministerio de Salud de Chile. (2018). *Listado de Establecimientos DEIS Información del departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS)*. Ministerio de Salud de Chile. <https://bit.ly/44Qe58P>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2013). *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. <https://bit.ly/42rnGkL>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2014). *Planes de Descontaminación Atmosférica: Estratégica 2014-2018*. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. <https://bit.ly/3l2bwH8>

Montero Labbé, J., Tellez, A. y Herrera Riquelme, C. A. (2010). Reforma sanitaria chilena y la atención primaria de salud: algunos aspectos críticos. *Temas de la Agenda Pública*, 5(38), 3-12. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1539>

- Moos, R. H., & Schaefer, J. A. (1987). Evaluating health care work settings: A holistic conceptual framework. *Psychology and Health, 1*(2), 97-122. <https://doi.org/10.1080/08870448708400318>
- National Institute of Buildings Sciences. (2015). *Results from an expert roundtable on utilization of public-private partnerships to promote high-performance public buildings in the United States*. <https://www.nibs.org/reports/results-expert-roundtable-utilization-public-private-partnerships-promote-high-performance>
- Nawaz, I., & Tiwari, G. N. (2006). Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro-and micro-level. *Energy Policy, 34*(17), 3144-3152. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.018>
- Neufert, E. (2006). *Arte de proyectar en arquitectura*. (15.^a ed.). Gili Editorial S.A
- Nope Bernal, A., García Alvarado, R. y Bobadilla Moreno, A. (2017). Método para la implementación de sistemas solares activos en establecimientos hospitalarios, estudio de caso en el Hospital Clínico del Sur, Concepción, Chile. En *Libro de Actas del 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes* (pp. 451-464). <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/58969/NopeBernalAlberto.pdf?sequence=1>
- Ochoa, C. E., & Capeluto, I. G. (2009). Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach. *Energy and Buildings, 41*(5), 480-488. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.11.015>
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (J. Frontado y L. Clavet, trads.). Editorial Gustavo Gili.
- Oliver-Solà, J., Armero, M., de Foix, B. M., & Rieradevall, J. (2013). Energy and environmental evaluation of municipal facilities: Case study in the

- province of Barcelona. *Energy Policy*, 61, 920-930. <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v61y2013icp920-930.html>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Publicación de Las Naciones Unidas*. Naciones Unidas; CEPAL. <https://bit.ly/2UtPJwT>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1978, 6-12 de septiembre). *Declaración de Alma-Ata. Conferencia Internacional sobre Atención Primaria de Salud*. Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/Alma-Ata-1978Declaracion.pdf>
- Ourghi, R., Al-Anzi, A., & Krarti, M. (2007). A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings. *Energy Conversion and Management*, 48(1), 300-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2006.04.011>
- Osello, A., Cangialosi, G., Dalmasso, D., Di Paolo, A., Turco, M. L., Piumatti, P., & Vozzola, M. (2011, 14-16 noviembre). Architecture data and energy efficiency simulations: BIM and interoperability standards. En *Proceedings of Building Simulation. 12th Conference of international Building Performance Simulation Association, Sydney*. http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1702.pdf
- Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559-3573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>
- Parasonis, J., Keizikas, A., Endriukaitytė, A., & Kalibatienė, D. (2012). Architectural solutions to increase the energy efficiency of buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(1), 71-80. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.652983>

- Petersen, S., & Svendsen, S. (2010). Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, 42(7), 1113-1119. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.002>
- Picco, M., Lollini, R., & Marengo, M. (2014). Towards energy performance evaluation in early stage building design: A simplification methodology for commercial building models. *Energy and Buildings*, 76, 497-505. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.016>
- Premrov, M., Žegarac Leskovar, V., & Mihalič, K. (2016). Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings in different climatic conditions. *Energy*, 108, 201-211. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v108y2016icp201-211.html>
- Purves, G. (2002). *Healthy living centres: A guide to primary health care design*. Architectural Press.
- Radford, A. D., & Gero, J. S. (1980). Tradeoff diagrams for the integrated design of the physical environment in buildings. *Building and Environment*, 15(1), 3-15. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(80\)90024-4](https://doi.org/10.1016/0360-1323(80)90024-4)
- Rajagopalan, P., & Elkadi, H. (2014). Energy performance of medium-sized healthcare buildings in Victoria, Australia-A case study. *Journal of Healthcare Engineering*, 5(2), 247-260. <https://doi.org/10.1260/2040-2295.5.2.247>
- Rodríguez Veloza, A. G. (2009). *Estrategias medioambientales como herramientas de diseño sostenible en la formación del arquitecto*. Universidad La Gran Colombia.
- Sanmiguel, S. (2007). *Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Editorial Gustavo Gili.
- Santamouris, M., Dascalaki, E., Balaras, C., Argiriou, A., & Gaglia, A. (1994). Energy performance and energy conservation in health care buildings in Hellas. *Energy Conversion and Management*, 35(4), 293-305. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0196-8904(94)90062-0)

- Santos Guerras, J.J. (2003). Verticalidad versus horizontalidad. Historia de la construcción de hospitales en el siglo XX. *Informes de la Construcción*, 55(485), 13-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=810141>
- Serra Florensa, R. y Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Ediciones Universidad Politécnica de Catalunya. <http://nicolasdiruscio.com.ar/archivos/Libros/Arquitectura%20y%20energia%20natural.pdf>
- Subsecretaría de Redes Asistenciales. (2018). *Orientaciones para la planificación y programación en red año 2018*. Ministerio de Salud de Chile. <https://bit.ly/44MLz8a>
- Tuhus-Dubrow, D., & Krarti, M. (2010). Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*, 45(7), 1574-1581. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.005>
- Utzinger, D. M., & Bradley, D. E. (2009, 27-30 julio). Integrating energy simulation into the design process of high performance buildings: A case study of the Aldo Leopold Legacy Center. *Building Simulation 2009, 11th International IBPSA Conference* (pp. 1214-1221). http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2009/BS09_1214_1221.pdf
- Valentin Software. (2013). *Manual de Instrucciones PV SOL. Versión 6.0. Dimensionamiento y simulación de sistemas fotovoltaicos*. <https://www.valentin-software.com/wp-content/uploads/legacy-downloads/handbuecher/es/manual-pvsol-es.pdf>
- Villamizar Bermúdez, M. C. (2018). *Principios básicos de sostenibilidad para el planteamiento de vivienda unifamiliar urbana en Colombia*. Universidad La Gran Colombia. <http://hdl.handle.net/11396/3561>
- Weytjens, L., Attia, S., Verbeeck, G., & De Herde, A. (2011). The 'architect-friendliness' of six building performance simulation tools: A comparative study. *International Journal of Sustainable Building Technolo-*

gy and Urban Development, 2(3), 237-244. <http://dx.doi.org/10.5390/SUSB.2011.2.3.237>

World Health Organization (WHO). (2010). *Healthy hospitals, healthy planet, healthy people: Addressing climate change in health care settings: Discussion Draft*. World Health Organization (WHO); Health Care Without Harm. <https://bit.ly/44KPcvn>

Yi, Y. K., & Malkawi, A. M. (2009). Optimizing building form for energy performance based on hierarchical geometry relation. *Automation in Construction*, 18(6), 825-833. <https://bit.ly/44KPcvn>

Zalamea León, E. y García, R. (2016). Energía solar en arquitectura. En A. Fissore Schiappacasse, C. Cuevas Barraza, E. Zalamea León, J. Mikkola, J. Jerez Monsalves, L. Troncoso Valencia, P. Campos Barria, P. Wegertse-der Martínez, P. Lund, R. García Alvarado y S. Baeriswyl Rada, *Potencial solar en la arquitectura y ciudad*. Ediciones Universidad del Bío-Bío.



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CENTROS DE SALUD PÚBLICA PRIMARIA PARA MORFOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS SUSTENTABLES ha sido elaborado con fuente Source Sans Variable e impreso en papel Earth Pact, elaborado 100% con fibra de caña de azúcar, libre de químicos y blanqueadores, en los talleres de Ediciones Carrera 7ª SAS en septiembre de 2023.

Con esta edición la Universidad La Gran Colombia contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente al utilizar materiales ecológicos producidos en Colombia.

Chile ha sido una de las economías latinoamericanas de más rápido crecimiento en las últimas décadas. Desde 1993, viene promoviendo un novedoso modelo de prevención en salud familiar, que ha resultado en la creación de más de 628 establecimientos denominados Centros de Salud Familiar (CESFAM), los cuales están dotados con innovadoras técnicas administrativas y sanitarias para su funcionamiento. No obstante, aun cuando no se puede negar la importancia social de estos establecimientos, los CESFAM son edificaciones complejas de alto consumo operativo, lo que sorprende, ya que Chile ha empleado en su diseño reducidas estrategias bioclimáticas, y estos centros han elevado el consumo de energía y los costos asociados a ello. Lo anterior, impulsó un estudio pormenorizado que incluye la caracterización operativa, arquitectónica, constructiva y bioclimática de una muestra representativa de CESFAM, lo que permitió el diseño y entrega de cuadros de recomendaciones para etapas tempranas de diseño, en morfologías de alta eficiencia y generación energética. Evaluación energética de centros de salud pública primaria para morfologías arquitectónicas sustentables permitirá al arquitecto y futuros profesionales la toma temprana de decisiones asertivas en este tema, para lograr edificaciones sustentables, con costos sociales de inversión aceptables, teniendo en cuenta que debe estar en sincronía con parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible del siglo XXI: desarrollo sustentable, cero emisiones contaminantes, energías limpias y consumo energético controlado.



ISBN: 978-958-5179-79-0



9 789585 179790



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia