



Simulación paramétrica de desempeño energético y costo social para centros de salud primaria cero-energía en Chile.

Parametric simulation of energy performance and social budget for zero-energy primary health centers in Chile.

Alberto Nope Bernal

Filiación: Depto. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío Bío

Dirección: Collao 1202 Casilla 5-C / C.P: 4081112

Correo: albertonope@gmail.com

Rodrigo García Alvarado

Filiación: Depto. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío Bío

Dirección: Collao 1202 Casilla 5-C / C.P: 4081112

Correo: rgarcia@ubiobio.cl

Manuscript Code: 004

Date of Acceptance/Reception: 06.07.2018/31.05.2018

Resumen

Los establecimientos sanitarios son edificaciones complejas, de gran relevancia social y alto consumo energético operativo. El objetivo de esta investigación fue diseñar una estrategia que permitiera evaluar el desempeño energético, potencial solar activo y costos de ciclo de vida de Centros de Salud Familiar (CESFAM) en Chile. Para esto se realizaron modelos volumétricos en el programa Revit exportándolos mediante formato gbXML a DesignBuilder y efectuando simulaciones energéticas multivariadas con un script en Python combinando distintas volumetrías, climas, orientaciones y soluciones constructivas. Para la evaluación solar y de costo social de inversión se utilizó PV Sol Premium y la herramienta ECSE. La evaluación demostró que la adopción de envolventes más aisladas y selladas expresa una reducción progresiva de los requerimientos ambientales y solares activas en todos los ejemplos y situaciones climáticas, por lo que las inversiones en eficiencia energética y tecnologías solares en latitudes australes 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 una estrategia que permita analizar distinciones del entorno climático para orientar más cabalmente sus recursos, otorgar prestaciones con adecuada calidad ambiental, desempeño energético y rentabilidad social.

Palabras claves: Simulación paramétrica, desempeño energético; costo social; centros de salud primaria; Chile.

Abstract

Health facilities are complex buildings, of great social relevance and high operational energy consumption. The objective of this research was to design a strategy that would allow the evaluation of energy performance, active solar potential and life cycle costs of Family Health Centers (CESFAM) in Chile. In order to achieve this, volumetric models were made in the Revit program, exporting them using gbXML format to DesignBuilder and performing multivariate energy simulations with a Python script, combining different volumes, climates, orientations and constructive solutions. For solar evaluation and the social investment cost, PV Sol Premium and the ECSE tool were used. The evaluation demonstrated that the adoption of more isolated and sealed envelopes expresses a progressive reduction of the environmental and solar active requirements in all the examples and climatic situations, for which the investments in energy efficiency and solar technologies in southern latitudes are significantly more profitable and with greater social repercussion. This allows us to indicate that public building programs, specially in countries such as Chile, with a wide geographic diversity, should consider a strategy that allows for the analysis of distinctions of the climate environment to better guide their resources, provide benefits with adequate environmental quality, energy performance and social profitability.

Keywords: Parametric simulation, energy performance; social cost; primary health centers; Chile.

Introducción

El diseño arquitectónico de los centros de salud familiar (CESFAM), considera en general variables como el tamaño de la población, condición socioeconómica, accesibilidad, límites geográficos naturales, políticos y/o administrativos, ordenanza municipal, vialidad, geometría del terreno y programa médico arquitectónico PMA (Claudio Canales Cifuentes, 2008). La combinación de estas variables determina una arquitectura, donde prevalece notoriamente el desempeño operativo del edificio; por lo mismo las tipologías no se diferencia mucho a lo largo del territorio, discrepando con el ambiente natural, social y cultural en el que están insertas. En consecuencia, el centro de salud es entendido como un objeto programado, que busca satisfacer acciones internas en cantidad de espacio y capacidad tecnológica. Asimismo, estos edificios carecen en menor medida de flexibilidad, consecuencia del ritmo de las transformaciones en su programa, adaptaciones a nuevos sistemas técnicos y el crecimiento de algunos servicios, asumiendo también la necesidad de planteamientos sostenibles, con un amplio alcance, desde el control energético (Araujo, 2010). A pesar de esto, su configuración compacta emulada de la tipología hospitalaria "contenedor" parece tener ventajas respecto al ahorro en costes de explotación, debido a la facilidad de mantenimiento, tiempos limitados de ejecución y proximidad de recorridos, contribuyendo a vencer en el personal su resistencia frente al cambio en los procesos de trabajo (Guerras, 2003).

Estos establecimientos se caracterizan por tener un elevado consumo energético operativo, relacionado con la energía de calentamiento, enfriamiento, iluminación y electricidad requerida para mantener cierto nivel de confort (Halverson, M, 2014). (García Sanz, 2014). Por lo tanto, el desempeño energético está fuertemente influenciado por la forma en que las variables de diseño de la envolvente (aislación térmica, hermeticidad, protección solar, entre otros) y arquitectónicas del edificio (orientación, emplazamiento, métrica, forma, relación superficie de envolvente/ volumen) se ajustan a las exigencias climáticas del lugar. Desde este punto de vista la reducción de la demanda energética impone patrones de diseño propios, que no necesariamente corresponden con los patrones que dicta la funcionalidad. En el caso de los (CESFAM) esta situación es digna de analizar, ya que hoy se exige que este tipo de edificios aparte de responder a requerimientos funcionales, tenga desempeño energético socialmente aceptable, es decir, demandas energéticas mínimas óptimas y aún más que sean capaces de autogenerar su propia energía (Ministerio de Energía, 2016), lo que a menudo causa contradicciones y edificaciones climáticamente descontextualizadas con elevados costos de inversión y operación. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es diseñar una estrategia para evaluar el comportamiento energético, generación solar y costos sociales de inversión de edificios (CESFAM), a lo largo del territorio chileno, y así, identificar criterios de diseño y medidas que permitan compatibilizar las exigencias funcionales y energéticas, apuntando a un comportamiento de auto-generación y mínimo consumo (cero-energía).

Estado del arte del problema

Distintos son los recursos a los cuales diseñadores y especialistas pueden acudir para proyectar centros de salud energéticamente eficientes; por ejemplo la Guía de Diseño de Energía Avanzada para Pequeños Hospitales e Instalaciones de Salud de los Estados Unidos (Eric Bonnema, Shanti Pless, 2010) (Bonnema, Doebber, Pless, & Torcellini, 2010) brinda recomendaciones para el diseño y operación eficiente, con el objetivo de reducir cerca de un 30% el consumo de energía frente al estándar establecido por el código ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2013 (Halverson, M, 2014).

A nivel nacional, la Agencia Chilena de Eficiencia energética AChEE, desarrolló en el marco del programa de apoyo a la gestión de proyectos de edificación pública de alta eficiencia energética, una guía que permite orientar el diseño arquitectónico de forma eficiente en etapas tempranas de diseño aplicando estrategias pasivas y activas según zona climática. Por su lado, el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de su Dirección de Arquitectura, ha trabajado en la incorporación de criterios de eficiencia energética y sustentabilidad en las Obras Públicas, estableciendo Términos de Referencia Estandarizados (TDRe), para diseñar y construir edificios con mejorados estándares ambientales.

Las estrategias, métodos y herramientas descritas, definen parámetros de diseño eficiente para distintas zonas climáticas, sin embargo, no existe una estrategia que permita evaluar el desempeño energético, generación solar y costos sociales para edificios cero-energía, compatibilizando prestaciones funcionales y energéticas según zona climática.

Metodología

La estrategia de evaluación inició con la caracterización arquitectónica y constructiva (Tabla 1) de cinco Centros de Salud Familiar (CESFAM) que se encuentran en proceso de licitación para su construcción. La figura 2 describe la estrategia y herramientas de simulación energética, generación solar y costo social, así como las variables de análisis.



Figura 1. Esquema general de estrategia para la evaluación energética y costos sociales de inversión para centros de salud primaria. Elaboración propia.

Evaluación energética

La estrategia de evaluación energética (Figura 2) consistió en la elaboración de cinco modelos volumétricos utilizando el programa Revit Architecture. La construcción de los modelos respetó las principales características arquitectónicas y constructivas de cada caso. Posteriormente estos modelos se exportaron mediante formato gbXML a DesignBuilder, configurando escenarios base que incorporaron horarios de operación, cargas de ocupación, equipos, iluminación, rangos de temperatura y tipo de construcción (Sin TDRe). Una vez configurados los escenarios, mediante archivos de datos de entrada Input Data File, IDF, se realizó un script en Python (Lenguaje de programación multiparadigma), para simular de forma multivariadas distintos escenarios combinando volumetría, orientación, ubicación geográfica, control solar, hermeticidad, y calidad constructiva mejorada y optimizada.

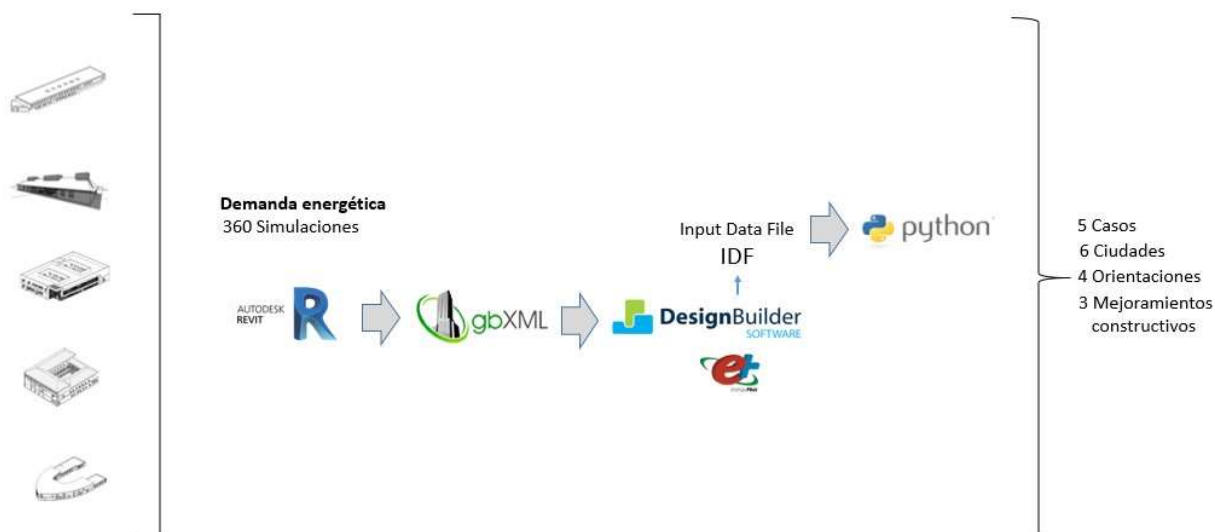


Figura 2. Esquema general de estrategia para la evaluación energética en centros de salud primaria. Elaboración propia.

Tabla 1. Caracterización arquitectónica y constructiva de casos estudio. Elaboración propia.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Localización	Algarrobo, Región de Valparaíso -33,36 / -71,67	Curepto, Región del Maule -35,09 / -72,02	Santiago, Región Metropolitana -33,46 / -70,64	Concepción, Región del Bío Bío -36,82 / 73,04	Dalcahue, Región de los lagos -42,37 / -73,65
Zona climática	4CL Centro Litoral	5CI; Central	5CI; Central	6SL Sur Litoral	8SE Sur Extremo
Área de parcela	22.000m ²	53.162m ²	2.500m ²	4.500m ²	4.333m ²
Usuarios a atender	10.000 / año.	5.000 / 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
Número de patios	0	3	2	1	1
Superficie construida	1.970m ²	1.146m ²	2.687m ² .	3.789m ²	2.346m ²
Superficie de cubierta	1.163 m ² .	1.125 m ²	1.552 m ²	1.193 m ²	1.338 m ²
Superficie de envolvente	2.500 m ²	1.687 m ²	2.834 m ²	3.442 m ²	2.336 m ²
Volumen	5.300 m ³	3.307 m ³	7.262 m ³	9.469 m ³	5.256 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)			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%

Evaluación solar

Mediante PV Sol Premium se realizaron simulaciones de generación solar conectada a red (potencia instalada) calculada en función de la demanda energética requerida. Se considerando para el cálculo la orientación, calidad constructiva, localización y superficie de cubierta útil en cada uno de los casos. Se contempló una ocupación inicial del 100% a la cual

se le descontó un 30% para dar espacio a equipos de clima y ventilación. La figura 3 describe el esquema general de simulación para cada uno de los casos de estudio.

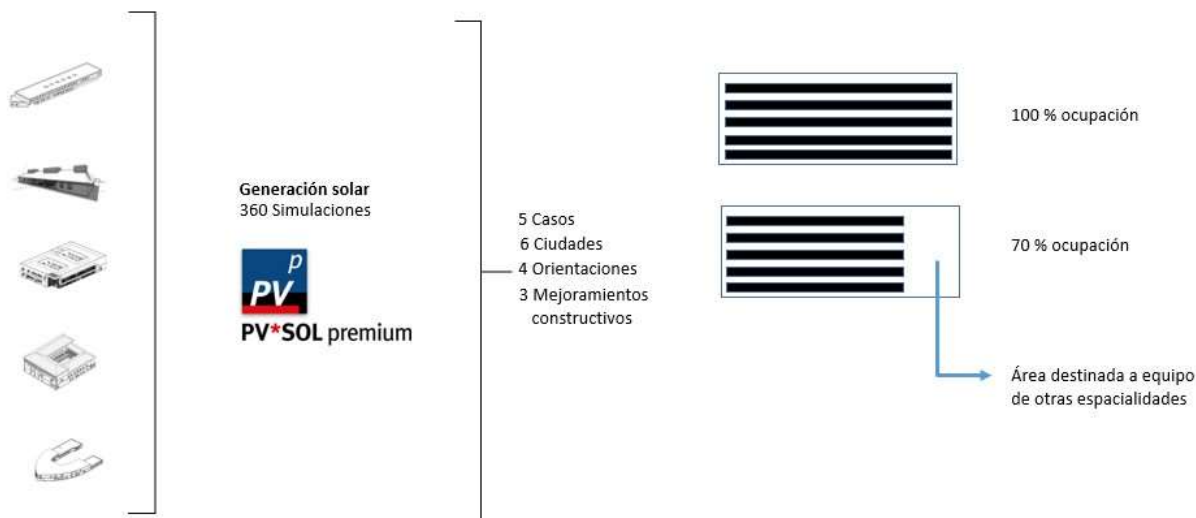


Figura 3. Esquema general de estrategia para la evaluación energética solar en centros de salud primaria. Elaboración propia.

Evaluación de costo social de inversión

Los costos sociales de inversión se analizaron mediante la herramienta ECES (Eficiencia y Costes sociales en Edificios) (Tabla 3) la cual se basa en el análisis de costo de ciclo de vida (LCC) en la forma que explica la Norma ASTM e917, 2013: Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Building Systems. Esta herramienta determina el flujo de costos actualizado neto, durante un periodo definido como de ciclo de vida; que se asocian a los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y provisión de agua. La rentabilidad de los distintos proyectos de intervención resulta de comparar, a valor presente, los costos sociales acumulados durante el ciclo de operación del edificio, bajo escenarios BASE, MEJORADO Y OPTIMIZADO. Asimismo, los costos iniciales y de ciclo de vida asociados a la implementación de tecnologías solares en cada uno de los casos se obtuvo mediante PV Sol Premium.

Resultados

La simulación realizada a cada uno de los casos evidencia un aumento y/o reducción de la demanda y generación solar según localización, justificando la inversión económica en estrategias de eficiencia energética mayormente para latitudes australes. Asimismo, la evaluación energética de un mismo caso en distintas latitudes permitió identificar el mejor desempeño asociado a distinto tipo de construcción. La tabla 5 describe los resultados promedio de orientación para demanda energética, generación solar y costos sociales de inversión, operación energética y ciclo de vida de cada uno de los casos y calidad constructiva (BASE, MEJORADA Y OPTIMIZADA).

a las características volumétricas de cada establecimiento; pero con mayor costo de ciclo de vida en los casos 3 y 4, edificaciones con mayor superficie construida. También se evidencia que volumetrías más compactas demandan menor energía en latitudes australes pero tienen menores posibilidades de generación solar, a diferencia de latitudes norte en donde la generación solar equipara la demanda energética.

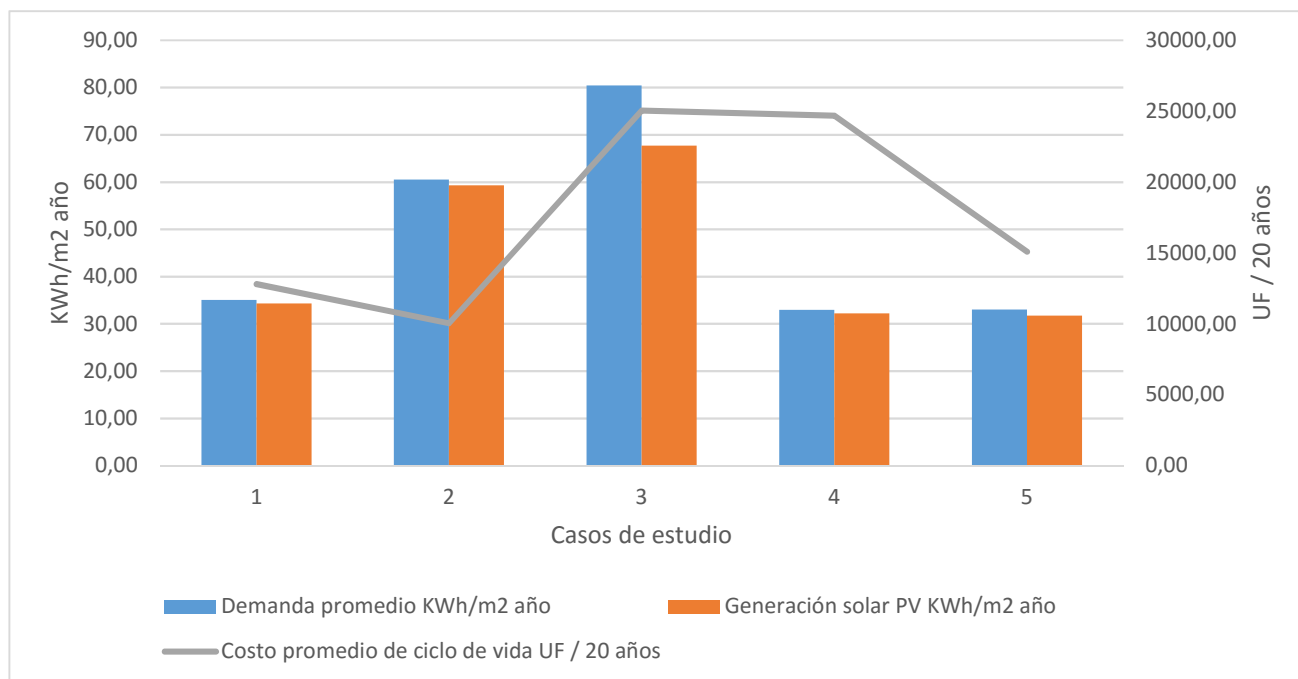


Gráfico 1. Demanda energética vs generación y costo de ciclo de vida. Caso 1 / Calama / TDRé MEJORADO. Elaboración propia.

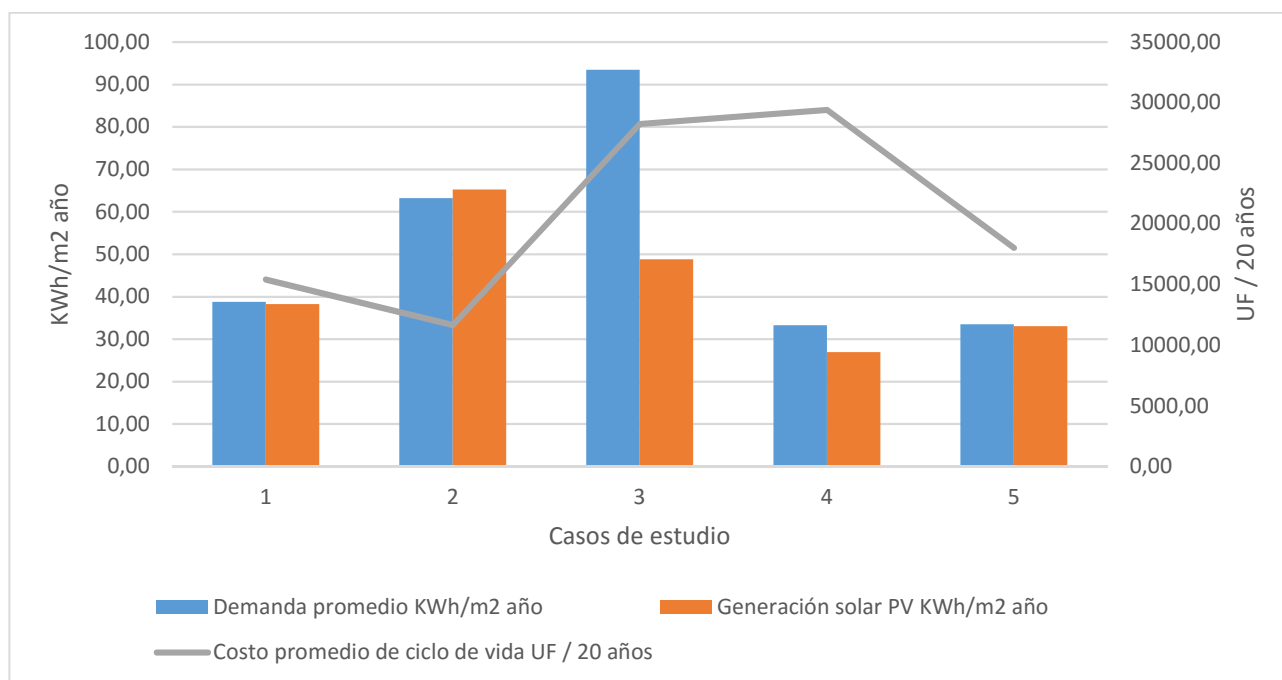


Gráfico 2. Demanda energética vs generación y costo de ciclo de vida. Caso 1 / Santiago / TDRé MEJORADO.

Elaboración propia.

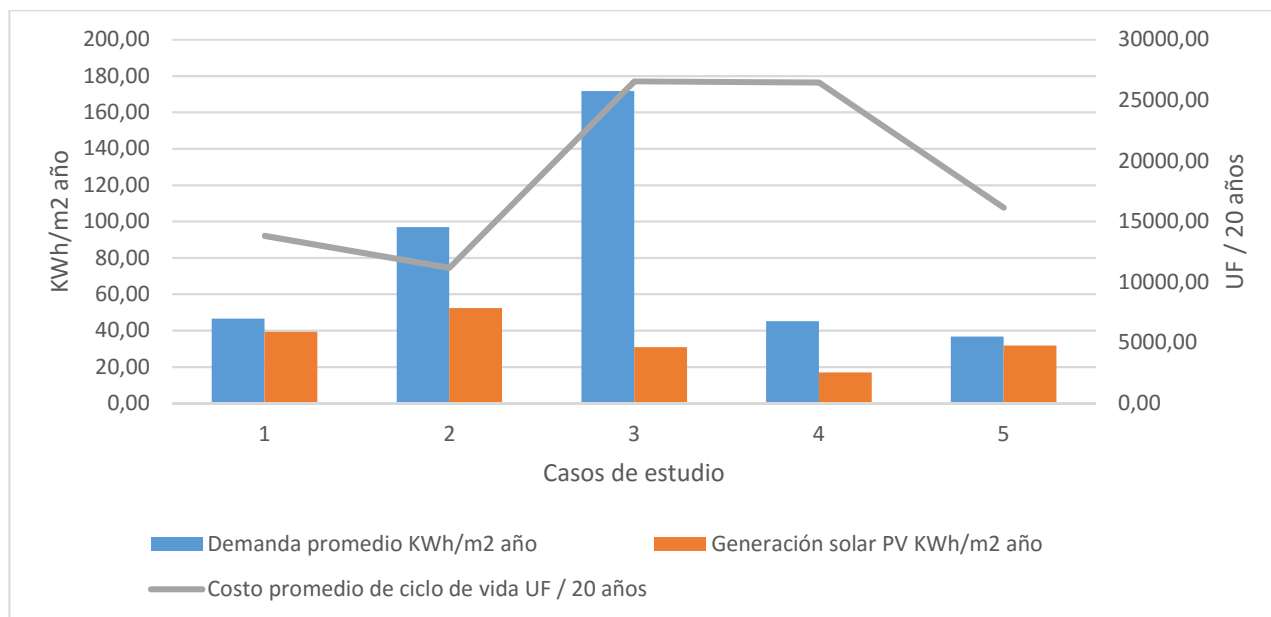


Gráfico 3. Demanda energética vs generación y costo de ciclo de vida. Caso 1 / Punta Arenas / TDRé MEJORADO. Elaboración propia.

Discusión y Conclusiones

La infraestructura del sistema de atención primaria en Chile, presenta una estructura diversificada de establecimientos que busca prevenir las enfermedades brindando servicios integrales a la familia y la comunidad. Dentro de este sistema se reconoce la importancia de los centros de salud familiar (CESFAM), que durante las dos últimas décadas han conservado un plan de construcción organizado y constante. De acuerdo al registro y análisis realizado se advierte que estos establecimientos presentan una conformación programática y funcional similar pero tipológicamente diversa a lo largo y ancho del territorio, con magnitudes de 1.000 a 3.500 m². Variando de tamaño según población atendida, geometría del lote y organización de recintos, produciendo edificaciones de uno, dos o tres niveles, con presencia de patios internos para asegurar iluminación y ventilación natural, lo que arroja como resultado volumetrías relativamente compactas alargadas, rectangulares, cuadradas y en ocasiones, curvas, carentes de contextualización cultural y ambiental.

El análisis paramétrico a través de simulaciones de desempeño y evaluación de costo social para centros de salud primaria cero-energía en Chile, basado en casos seleccionados y diversas alternativas, permite establecer mejoramientos específicos y criterios generales. Determinando, en esta tipología que la adopción de envolventes más aisladas y selladas presenta una reducción progresiva de los requerimientos ambientales en todos los ejemplos y situaciones climáticas, expresando una relevante contribución a la calidad ambiental de los establecimientos. Se advierte también un considerable aumento de demandas en los climas más australes en los distintos casos, reducidos proporcionalmente con los tratamientos constructivos, por lo que las inversiones en estrategias de eficiencia energética y generación solar en establecimientos para estas latitudes australes son significativamente más rentables y con mayor repercusión social.

Estos resultados sugieren que la estrategia constructiva de centros de atención primaria en salud en Chile, ha permitido desarrollar una implementación progresiva, pero desatendiendo diferencias geográficas. A la vez que demuestran la alta justificación de las adecuaciones térmicas en establecimientos de localizaciones más australes. La revisión efectuada permite entonces plantear 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 en el fin de otorgar prestaciones con adecuada calidad ambiental a toda la población.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de tesis en el Doctorado en Arquitectura y Urbanismo de la U. del Bío-Bío, con apoyo del Proyecto FONDECYT 1171108, Servicio de Salud Concepción y Talcahuano

Referencias

- Araujo, R. (2010). Diseño y construcción del Hospital Infanta Leonor en Vallecas (Madrid). *Informes de la Construcción*, 62(520), 19. <http://doi.org/10.3989/ic.10.030>
- Bonnema, E., Doebber, I., Pless, S., & Torcellini, P. (2010). *Technical Support Document: Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities--30% Guide*. (National Renewable Energy Laboratory, Org.). Colorado. Recuperado de <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46314.pdf>
- Claudio Canales Cifuentes. (2008). Arquitectura Hospitalaria Hospitales de Niños en Santiago. *DU&P DISEÑO URBANO Y PAISAJE*, 13, 22.
- Eric Bonnema, Shanti Pless, I. D. (2010). Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities. *ASHRAE Design Guide*, 1(2), 277–296. <http://doi.org/10.1260/2040-2295.1.2.277>
- García Sanz. (2014). *Diseño de centros sanitarios eficientes*. (A. E. de la Energía, Org.). Madrid. Recuperado de <http://www.agenex.net/guias-altercexa>
- Guerras, J. J. S. (2003). Verticalidad versus horizontalidad. Historia de la construcción de hospitales en el siglo xx. *Informes de la Construcción*, 55(Figura 1), 13. <http://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.2003.v55.i485.559>
- Halverson, M, M. R. ANSI / ASHRAE / IES Standard 90.1-2013. Determination of Energy Savings : Quantitative Analysis (2014). Washington, D.C. Recuperado de https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-23479.pdf
- Ministerio de Energía. (2016). *Energía-2050, Política Energética de Chile*. (M. de Energía, Org.). Santiago de Chile.