



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

**INTEGRACIÓN DEL CONCEPTO CERO ENERGÍAS PARA ESTABLECIMIENTOS
EDUCACIONALES EN CHILE**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

AUTOR: FRANKLIN VIVANCO

Arquitecto

PROF. GUÍA: Dra. BEATRIZ PIDERIT

PhD. Universidad Católica de Lovaina

CO. GUÍA: Dr. SHADY ATTIA.

PhD. Universidad Católica de Lovaina

CONCEPCIÓN, 2017

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

En Chile existe un déficit en la calidad de los edificios escolares, esto es posible observarlo en la baja calidad del confort interior en las salas de clase, en las que se han medido temperaturas tan bajas como 8°C en ciudades con clima mediterráneo en invierno [1]. El gobierno de Chile ha promovido algunas políticas y proyectos de investigación para mejorar este tipo de edificios, sin embargo, ninguna de estas iniciativas se ha convertido en una normativa, dejando la decisión de que y como mejorar en manos de los dueños o administradores. El propósito de este trabajo es informar e influenciar a entidades de gobierno para adoptar una política que apunte a un balance neto cero (Net Zero) en colegios. Destacando la importancia para Chile de tener Colegios Energía Neta Cero (NZES), y su utilidad en caso de catástrofe, explorando, además, la factibilidad. De esta manera, el mejorar la calidad de los edificios en una forma correcta, con mejores condiciones de confort interior y altos estándares de eficiencia energética, pueda ser una alternativa atractiva para dueños y administradores. Al presente, no se ha encontrado ningún estudio relacionado con el objetivo NZES en Chile. El presente trabajo, presenta una evaluación del estado del arte de normativas, conceptos y tecnologías para alcanzar el objetivo de un Edificio Cero Energía (NZES), para proveer un panorama del escenario existente de los edificios escolares y una perspectiva para aplicar el concepto NZES en Chile. Varias definiciones de Edificios Energía Neta Cero (NZEB), normativas, estudios y estándares que están vigentes en Chile fueron analizados y puestos en perspectiva. Un estudio comparativo fue realizado con Bélgica, de manera de establecer una hoja de ruta de estrategias para la implementación de esta meta en Chile. Un análisis holístico de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) fue realizado para establecer las brechas, y la factibilidad de implementar el concepto NZEB, además de un grupo de recomendaciones para alcanzar este objetivo en Chile.

Palabras Clave: Balance Neto Cero (Net Zero), Cercano a Cero (Nearly Zero), Casa Pasiva (Passive House), Política Energética, Resiliencia, Confort

ABSTRACT

In Chile, there is a shortfall in the quality of school buildings, that is seen in the low standard of thermal comfort in the classrooms with temperatures as low as 8° C in a city with a Mediterranean climate in winter [1]. The Chilean Government has promoted some policies and investigation projects to improve this kind of buildings, however, none of them have become in a regulation, leaving the decision of what and how to improve in hands of the owners. The aim of this work was to inform and influence decision makers at government level to adopt Net Zero Energy Schools policy. Highlighting the importance for Chile to have strategic NZES to be useful in a catastrophe case, exploring also, the feasibility to became more attractive to owners and administrators, to improve in a right way their buildings and to build new ones with better indoor conditions and high energy efficiency standards. At the present, no study has been carried out related to the NZES goal in Chile. The follow work presents an assessment of the state of the art of regulations, concepts, and technologies to reach the NZEB, to provide a snapshot of the existing scenario of the school buildings and the perspective to apply the NZEB concept in Chile. Several definitions of NZEB, regulations, studies and standards that are in force in Chile were analyzed and put them in perspective. Then a comparative study was made with Belgium to establish a pathway of strategies to the implementation of this target in Chile. A holistic analysis of the Strength, Weakness, Opportunities and Threats (SWOTs) was made to establish the lacks, and the feasibilities of implement NZES and a group of recommendations was delivered to reach this goal in Chile.

Key Word: Nearly Zero, Net Zero, Passive House, Energy Policy, Social Resilience, Comfort.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION | 10 |
| 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 11 |
| 2. HIPÓTESIS..... | 11 |
| 2.1. Preguntas de investigación | 11 |
| 3. OBJETIVOS..... | 12 |
| 3.1. Objetivo General | 12 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 12 |
| 4. METODOLOGÍA..... | 12 |
| 4.1. Esquema de investigación | 13 |
| CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE..... | 14 |
| 1. MATRIZ DE REVISIÓN DE LITERATURA CONCEPTO CERO ENERGÍAS..... | 15 |
| 2. ESTADO DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO ₂ EN CHILE | 39 |
| 2.1. Estado de las construcciones en Chile..... | 40 |
| 2.2. Estado de las políticas y normativas en Chile relacionadas con la eficiencia energética y las energías renovables..... | 41 |
| 2.3. Situación de la infraestructura escolar en Chile | 45 |
| 2.4. Historia de la eficiencia energética en Chile..... | 47 |
| 2.5. Compromisos medioambientales de Chile | 49 |
| 3. DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE EDIFICIOS ENERGÍA NETA CERO (NET ZERO ENERGY BUILDINGS)..... | 51 |
| 3.1. Concepto Edificios Cero Energía | 51 |
| 3.2. Principales componentes del concepto de Edificio Energía Neta Cero..... | 56 |
| 3.2.1. Límite del sistema..... | 56 |
| 3.2.2. Sistema de Ponderación | 57 |
| 3.2.3. Balance Neto Cero..... | 59 |
| 3.2.4. Coincidencia temporal de energía: | 61 |
| 3.2.5. Monitorización y verificación | 61 |
| 3.2.6. Criterios de una definición de edificio cero energías (NZEB)..... | 62 |
| 4. CONFORT Y RESILIENCIA EN COLEGIOS CERO ENERGÍAS..... | 64 |
| 4.1. Influencia de los modelos de confort en colegios cero energías | 64 |
| 4.2. Rol de la infraestructura escolar en la construcción de resiliencia en Chile..... | 65 |
| 5. ESTRATEGIAS DE DISEÑO Y SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN..... | 66 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 5.1. | Estrategias de diseño para Edificios Cero Energías | 66 |
| 5.2. | Sistemas de evaluación o certificación de edificios..... | 68 |
| 5.3. | Diseño bioclimático y estrategias pasivas en colegios..... | 69 |
| 6. | FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LOS COLEGIOS CERO ENERGÍAS..... | 70 |
| 7. | FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR EL CONCEPTO CERO ENERGÍAS EN CHILE..... | 72 |
| CAPITULO 3. EVALUACION DE CASOS | | 73 |
| 1. | ESCUELA PRIMARIA BILZEN, REGIÓN FLAMENCA, BÉLGICA..... | 74 |
| 1.1. | Proyecto de escuelas primarias pasivas, Bélgica. | 74 |
| 1.2. | Escuela Primaria Bilzen | 75 |
| 1.3. | Objetivos de diseño..... | 76 |
| 1.4. | Estrategias de diseño..... | 76 |
| 1.5. | Evaluación de la definición cero energías..... | 77 |
| 1.5.1. | Límite del sistema..... | 77 |
| 1.5.2. | Sistema de ponderación | 78 |
| 1.5.3. | Balance Neto Cero..... | 79 |
| 1.5.4. | Coincidencia temporal de energía | 80 |
| 1.5.5. | Medición y verificación..... | 80 |
| 1.5.6. | Tabla resumen | 82 |
| 2. | COLEGIO ALMONDALE, CONCEPCION CHILE | 84 |
| 2.1. | Objetivos de diseño..... | 85 |
| 2.2. | Estrategias de Diseño | 85 |
| 2.3. | Evaluación del concepto cero energías..... | 86 |
| 2.3.1. | Límites del Sistema..... | 86 |
| 2.3.2. | Sistema de Ponderación..... | 87 |
| 2.3.3. | Balance cero energías | 87 |
| 2.3.4. | Coincidencia temporal de energía | 87 |
| 2.3.5. | Monitorización y Verificación..... | 87 |
| 2.3.6. | Tabla resumen | 88 |
| 3. | INDICADORES DE DESEMPEÑO APLICADOS A COLEGIOS CERO ENERGÍAS..... | 90 |
| 4. | RESULTADOS COMPARATIVOS..... | 94 |
| 4.1. | Requisitos de Desempeño | 94 |
| 4.2. | Confort y Calidad del Aire | 94 |
| 4.3. | Envolvente y Diseño Pasivo..... | 94 |

| | |
|---|------------|
| 4.4. Controles y ocupantes..... | 96 |
| CAPITULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO CERO ENERGÍAS EN CHILE..... | 97 |
| 1. HACIA UN ENFOQUE LOW TECH..... | 98 |
| 2. HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” (NZES)..... | 101 |
| 3. SITUACIÓN DE CHILE CON RELACIÓN A LA HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” (NZES)..... | 106 |
| 4. EVALUACIÓN DE UNA DEFINICIÓN DE “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” EN CHILE..... | 112 |
| 4.1. Límites del Sistema Edificio..... | 112 |
| 4.2. Sistemas de ponderación..... | 113 |
| 4.3. Balance Cero Energías..... | 114 |
| 4.4. Coincidencia temporal de Energía..... | 117 |
| 4.5. Monitorización y Verificación..... | 118 |
| 5. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “CERO ENERGÍAS EN COLEGIOS”..... | 119 |
| 5.1. Recomendaciones para la implementación del concepto..... | 122 |
| CAPITULO 5. CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS..... | 124 |
| 1. CONCLUSIONES..... | 125 |
| 2. INVESTIGACIONES FUTURAS..... | 126 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 128 |
| ABREVIACIONES..... | 134 |
| ANEXOS..... | 135 |
| Anexo 01. Matriz de revisión de literatura..... | 136 |
| Anexo 02. Poster SBD LAB, Universidad de Liège..... | 160 |
| Anexo 03. Artículo enviado: “Energy Efficiency in Chilean School Buildings: a literature review”..... | 161 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Esquema de estructura del documento..... | 13 |
| Figura 2. Consumo y distribución de la matriz energética chilena..... | 39 |
| Figura 3. Comparación entre la producción eléctrica por tipo de combustible en Chile y los países de la OCDE. | 40 |
| Figura 4. Desempeño energético de las viviendas en Chile..... | 41 |
| Figura 5. Datos de Infraestructura escolar..... | 46 |
| Figura 6. Evolución de las políticas y regulaciones relacionadas con la eficiencia energética y energías renovables en Chile..... | 47 |
| Figura 7. Organigrama de entidades chilenas que intervienen en la creación y aplicación de políticas y leyes relacionadas con: medio ambiente, infraestructura, educación, emergencia y energía..... | 49 |
| Figura 8. Medición de energía en el sitio..... | 53 |
| Figura 9. Ecuación gráfica para el cálculo de la energía primaria e intensidad de uso en el balance de un edificio Energía de la Fuente Cero (Net Zero Source)..... | 53 |
| Figura 10. Ilustración de los posibles límites de generación/exportación de energía en un Edificio Energía Neta Cero (NZEB)..... | 57 |
| Figura 11. Esquema del balance según D Koloska..... | 60 |
| Figura 12. Etapas estratégicas hacia el Balance Cero Energías (NZES)..... | 68 |
| Figura 13. Vista exterior escuela primaria Bilzen..... | 75 |
| Figura 14. Planta primer nivel, Escuela Primaria Bilzen..... | 75 |
| Figura 15. Diferencia entre el perfil de uso y de ocupación entre un colegio y una vivienda estándar Passiv . | 78 |
| Figura 16. Funcionamiento Sistema A (Free-running), y Sistema D (inyección y extracción mecánica)..... | 81 |
| Figura 17. Emplazamiento colegio Almondale Valle Noble, Concepción..... | 84 |
| Figura 18. Vista Exterior Colegio Almondale Valle Noble..... | 84 |
| Figura 19. Orientación de las aulas Colegio Almondale Valle Noble 2° Etapa..... | 85 |
| Figura 20. Idoneidad de los sistemas de control..... | 96 |
| Figura 21. Hoja de ruta para la implementación de un NZES low-tech en países en vías de desarrollo..... | 105 |
| Figura 22 Evaluación de la hoja de ruta en la situación de Chile. (Fuente Elaboración Propia)..... | 107 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Matriz de revisión de literatura..... | 16 |
| Tabla 2. Factores de conversión de energía en EE. UU y Canadá. | 58 |
| Tabla 3. Criterios a considerar en una definición de Edificio Energía Neta Cero (NZEB). | 63 |
| Tabla 4. Comparación del gasto en educación en Chile, EEUU y UE..... | 71 |
| Tabla 5. Análisis FODA, con relación a la aplicación del concepto NZES en Chile..... | 72 |
| Tabla 6. Resultados de los niveles E y K medidos en los proyectos PassivScholen Certificados..... | 79 |
| Tabla 7. Datos de monitorización escuelas proyecto Passiefscholen | 82 |
| Tabla 8 Criterios de evaluación cero energías en el colegio Bilzen Bélgica | 82 |
| Tabla 9 Tabla de evaluación de criterios Colegio Almondale | 88 |
| Tabla 10 Comparación de Indicadores de desempeño | 91 |
| Tabla 11. Comparación de enfoques high y low-tech..... | 100 |
| Tabla 12. Criterios para límites del sistema. | 113 |
| Tabla 13. Criterios para sistemas de ponderación | 114 |
| Tabla 14. Análisis del Balance Cero Energías | 115 |
| Tabla 15. Análisis Balance Cero Energías | 117 |
| Tabla 16. Análisis de Coincidencia Temporal de Energías | 118 |
| Tabla 17. Análisis de Criterios de Monitorización y Verificación..... | 118 |

CAPÍTULO I. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El presente capítulo resume las principales razones y motivaciones para la realización de esta investigación, junto con el planteamiento del problema, hipótesis y objetivos principales. Se explicará también, la metodología para abordar la investigación, y se presentará un esquema de la metodología a trabajar en la tesis.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Chile está teniendo un gran desafío con la infraestructura educacional, en el futuro se espera que estos desafíos sean aún mayores.

- Existe una baja calidad del ambiente interior en edificios escolares, los que usualmente trabajan en modo de oscilación libre, incluso en climas con bajas temperaturas en invierno y altas temperaturas en verano. El año 2012 el Ministerio de Educación realizó un catastro de infraestructura escolar, cuyo resultado fue un total de 7538,2 m² construidos existentes en colegios [2], ninguna de las variables de ese estudio tomó en cuenta el confort interior, calidad del aire o la eficiencia energética.
- Existe una normativa relacionada con el confort ambiental en escuelas que es limitada, esta normativa requiere que se logren como mínimo 12°C al interior de las salas de clase, cuando se cuenta con un sistema de calefacción (al sur de la latitud 36°) y 2 renovaciones de aire por hora cuando se requiera un sistema de ventilación mecánica [3], no existe normativa de aplicación obligatoria, sobre eficiencia energética en escuelas.
- Debido a que Chile es un país muy sensible a catástrofes, es común que el gobierno utilice la infraestructura escolar como refugio, o centro de operaciones. Por ejemplo, para el aluvión 2015 en el norte del país, 15 escuelas de la región de Atacama fueron usados como refugios [4].
- Se proyecta que el consumo energético de Chile se incrementará de los 49.518 GWh en 2015 a 81.652 GWh en 2035, la matriz energética de Chile en 2014 estaba compuesta principalmente de un 35,3% en carbón de piedra, 31,3% fue hidroeléctrica, las energías renovables solo alcanzaban al 2,7% [5], considerando las metas auto impuestas por el país, Chile necesita encontrar estrategias para diversificar su matriz energética.

2. HIPÓTESIS

¿El concepto actual de energía neta cero (Net Zero), puede ser aplicado a colegios en Chile y dar solución de forma integral a los problemas de confort, calidad del aire y eficiencia energética?

El concepto cero energías conocido actualmente a nivel internacional no es factible aplicarlo a países en vías de desarrollo, ya que, los problemas y la tecnología disponible son diferentes, por lo que, para su correcta implementación requiere de una aproximación low-tech.

2.1. Preguntas de investigación

¿Cómo desarrollar una política integrada, abordando el problema del confort interior, calidad del aire y eficiencia energética en colegios, para alcanzar edificaciones que cumplan con el concepto energía neta cero?

¿Cuáles son los lineamientos necesarios para que los entes regulatorios nacionales puedan adoptar el concepto de energía neta cero?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar los criterios presentes en el concepto cero energías que influyen en la aplicación para Establecimientos Educativos en Chile, permitiendo identificar las brechas, necesidades y oportunidades para su implementación.

3.2. Objetivos Específicos

- (1) Definir los criterios que conforman el concepto de Energía Neta Cero (Net Zero Energy Building), identificando los aspectos y los indicadores vinculados al confort térmico, la eficiencia energética y factibilidad económica, posibles de implementar en Chile.
- (2) Evaluar la aplicación del concepto energía neta cero en colegios de Bélgica y Chile, para identificar las brechas, necesidades y oportunidades que otorga la implementación de este concepto en Chile.
- (3) Generar una hoja de ruta que entregue las etapas para alcanzar este objetivo y las recomendaciones para la implementación del concepto cero energías en colegios (NZES) en Chile.

4. METODOLOGÍA

- (1) Revisión de Literatura del concepto NZES y sus partes, para establecer una línea base y un estado del arte del concepto en Chile y en el mundo.
- (2) Análisis y lecciones aprendidas de casos de estudio en Bélgica, de manera de extraer estrategias para abordar de una forma integral el problema de los colegios en Chile.
- (3) Un análisis holístico de las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas, para establecer las brechas, y factibilidades de implementar el concepto NZES en Chile.
- (4) Entrevistas y sesiones de tormenta de ideas, para establecer recomendaciones, y una hoja de ruta en relación con la implementación del concepto NZES en Chile.

4.1. Esquema de investigación

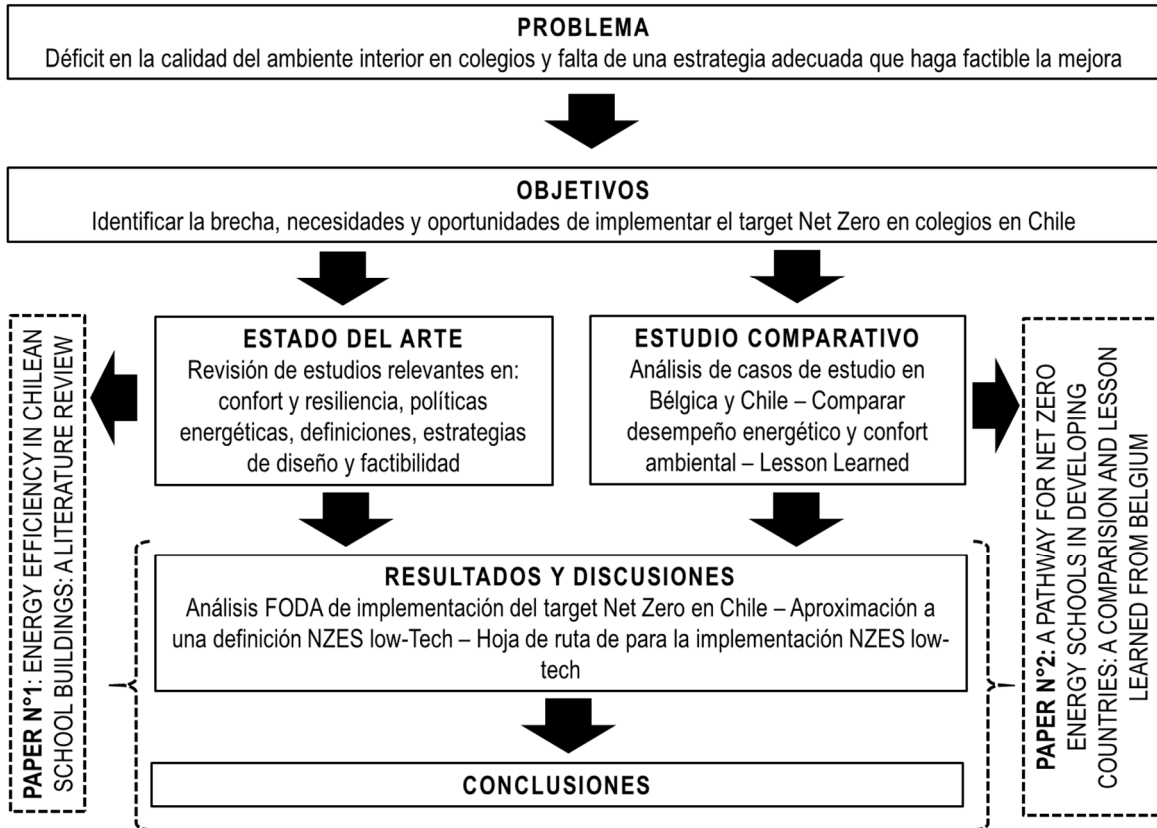


Figura 1. Esquema de estructura del documento. (Fuente: Elaboración propia)

CAPITULO II. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se proveerá una revisión del estado de las medidas de eficiencia energética y emisiones de CO₂ en Chile. Se presentará un panorama del estado de los edificios escolares, las normativas y regulaciones que afectan a los mismos, se describirá, la evolución de estas políticas y normativas. Además, se revisarán las definiciones más utilizadas en el concepto de Cero Energías, junto con la identificación de los principales criterios que lo componen. Se mostrará un panorama de la factibilidad y estrategias para abordar su implementación y, por último, en este capítulo se presentará una evaluación de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que plantea alcanzar el Balance Neto Cero (Net Zero).

1. MATRIZ DE REVISIÓN DE LITERATURA CONCEPTO CERO ENERGÍAS

El análisis de la literatura fue elaborado explorando recursos relacionados al desempeño de los edificios escolares en Chile y en el mundo. Las publicaciones revisadas incluyen estándares, códigos, libros, manuales, papers de conferencia y journal papers. El primer nivel de investigación revisa tópicos relacionados con el desempeño de edificios, estrategias de diseño y confort en el stock de edificios escolares en Chile. Las publicaciones presentadas en esta matriz fueron organizadas en las siguientes categorías: 1) Definiciones de energía neta cero (Net Zero) y cercana a cero (Nearly Zero), 2) Políticas y Normativas, 3) Confort – Pobreza energética y Resiliencia social, 4) Estrategias de diseño y 5) Factibilidad económica. Esta clasificación permite identificar los hallazgos más importantes de otras investigaciones y las falencias o brechas en el conocimiento referente a las cinco categorías antes mencionadas. Se revisaron en total 126 documentos (ver Anexo 01. Matriz de revisión de literatura), sin embargo, para esta matriz se filtraron 73 referencias (ver **Tabla 1**). Después del proceso de revisión, se realizó un análisis FODA, que evalúa las Fortalezas, las Debilidades, las oportunidades y amenazas que involucra alcanzar un Balance Cercano a Cero en Colegios (Nearly Zero Energy School) o Balance Cero en Colegios (Net Zero Energy School).

Tabla 1. Matriz de revisión de literatura (Fuente: *Elaboración propia*)

| | REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | DE ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|------------------------|--|---|--|--|---|
| 1. Definiciones | I. Sartori, A. Napolitano, K. Voss. 2012. [6]. | Criterio y definición de marco teórico: límites del Sistema edificio, sistemas de ponderación, balance de energía neta cero (Net Zero), coincidencias de energía temporal, medición y verificación. | Definir un marco de referencia para el concepto NZEB y sus criterios. - Compara diferentes conceptos y definiciones de NZEB existentes. | Muy teórico. - Genérico. - Uno de los primeros estudios de definiciones de energía en edificios. - Carece de detalles para una definición local. | Comprendiendo que EE. UU. está orientado al mercado, ellos discuten el balance de energía en el sitio; mientras en la UE se enfocan en el alto desempeño y generación de energía ultra eficiente in-situ. - El estudio realizó una definición de NZEB y sus componentes importantes. - El concepto depende de los requerimientos de confort. - Los parámetros más influyentes son el confort, clima, ocupantes, uso del edificio, y comportamiento del usuario. - |
| | <i>AJ Marszal. et al. 2011 [7].</i> | - Definiciones existentes de ZEB. - Entrega de energía. - Energía primaria. - Emisiones de carbón. - Costo energético. | 1.- Indicadores de balance. 2.- Período del balance. 3.- Tipos de energía incluidas en el balance. 4.- Tipos de balance de energía. 5.- Opciones aceptadas de suministro de energías renovables. 6.- Conexión a infraestructura energética- 7.- Requerimientos de eficiencia energética, clima interior, e interacción con la red. | - El documento es altamente analítico, proporcionando información técnica comparativa, sin proponer una metodología técnica. - El documento es muy técnico. - El documento es genérico y no proporciona una definición en común. | - Identifica un grupo de parámetros que difieren de otras definiciones de ZEB. - El estudio muestra que los indicadores, los períodos y tipos de energía incluidos en el balance de energía en conjunto con los suministros de energía renovable, las conexiones a infraestructura energética, el clima interior y los requerimientos de interacción del edificio con la red de energía son los aspectos más importantes. |
| | <i>P. Torcellini, S. et al. 2006. [8]</i> | - Definiciones | - Cuatro definiciones bien documentadas: - Net Zero Site (balance energético in-situ). -Net Zero Source Energy (Balance energético con energía primaria), -Net Zero Energy Cost (balance cero de costo energético). - Net Zero Emisiones (balance cero de emisiones). | -Fue escrito con influencia de EE. UU., enfocado en los costos y generación de energía renovable fuera del sitio. | - Se presentó una tabla resumen de las cuatro definiciones investigadas. - El resumen describe las ventajas y desventajas de cada definición. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|---|--|--|
| <i>I. Sartori, et al. 2010. [9]</i> | - Criterios relevantes para una definición de edificios energía neta cero (Net Zero) | - Marco para describir criterios relevantes de NZEB. - Condiciones de borde. - Sistema de ponderación. - Balance energético. - Coincidencia energética en el tiempo. - Procedimientos de monitorización. | - El documento es anticuado. - Muy teórico. - Describe un marco general. | - Identifica parámetros comunes para definiciones de Net Zero Energy. – El camino tradicional para lograr el balance energético es: primero, reducir la demanda energética, y segundo, generar la energía necesaria para suministrar dicha demanda. El procedimiento de monitorización es visto como una parte integral del proceso. |
| <i>J. Kurnitnski, et al. 2011. [10]</i> | - Definiciones. | - Clarificar una definición y una metodología aplicable para miembros del Gobierno Europeo. - Clarificar cuál flujo de energía debe ser incluida en la Evaluación de Desempeño de energía. - Como el factor primario debería ser usado para el cálculo de energía primaria. | - La definición estuvo enfocada en el contexto de Europa. | - Propone una definición detallada aplicable en Europa. - Propone una metodología de cálculo para un balance energético cercano a cero (Nearly Zero Energy Balance Building). |
| <i>Ecofys. 2013. [11].</i> | - Aproximación a conceptos de NZEB - Revisión literaria. - Casos de Estudio. - Aplicaciones prácticas. | - Conceptos en Europa sobre NZEB. | - El documento es anticuado. | - En Europa, hay muchas definiciones, pero sólo algunas son obligatorias. - Los países más avanzados son de la zona norte de la Unión Europea. |
| <i>T Lützkendorf, et al. 2015. [12]</i> | - Energía Primaria relacionada con viviendas Cero Emisiones de CO ₂ . | - Evaluación de energía primaria relacionada con las emisiones de CO ₂ en tres tipos de balance: 1- Impacto de emisiones contenidas. 2- Impacto de emisiones contenidas evaluadas por separado de la operación. 3- Impacto de Emisiones contenidas incluidas en la etapa de operación del ciclo de vida. | - El estudio es solo para Noruega y en el contexto de edificios. - Chile no cuenta con esa información ni los conocimientos en este momento para alcanzar dicho objetivo. | - Identifica los aspectos fundamentales conceptuales y metodológicos específicos que deben ser considerados para respaldar el enfoque del diseño NZB. – El estudio presenta un listado para guiar el proceso de incorporar las emisiones contenidas a lo largo del ciclo de vida del edificio. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|---|---|---|
| <i>S. Attia, et al. 2017. [13]</i> | - Revisión de literatura y estudio de casos, estado del arte en 7 países: España, Francia, Chipre, Grecia, Italia, Portugal y Rumania. | - Resume los descubrimientos de un estudio comparativo cruzado. – Resume las barreras técnicas y sociales para la implementación de nZEB en los 7 países del sur de Europa. – Se enfoca en los edificios residenciales nuevos y existentes. | - El estudio está hecho para el contexto europeo, y está enfocado en países entre las latitudes 35°N y 45°N. - El estudio no incorpora costos. | - Presenta una visión de conjunto de los desafíos y provee recomendaciones para traspasar las barreras para implementar el nZEB en el área de construcción del sur de Europa. - Provee recomendaciones de acciones para transformar las brechas identificadas, en oportunidades de futuros desarrollos de edificios de alta eficiencia y adaptabilidad al clima. – Los países de Europa del sur están mal preparados para la implementación de Balance Energético Cercano a Cero (NZEB). |
| <i>Wim Zeiler. Plea Conferences 2011. [14]</i> | - Eficiencia Energética – Parámetros de calidad del aire interior. | - Casos de estudio PHS en climas moderados. – Concepto de Plus Energy en colegios. | - La publicación está enfocada en Europa y su contexto en climas moderados. | - Es posible pasar de PHS a NZEB o Colegios Plus Energy. Las estrategias más usadas son una buena aislación, bombas de calor y paneles fotovoltaicos. |
| 2. Políticas <i>A. Bodgan, S. Attia 2011. [15]</i> | - Conceptos existentes de nZEB y estándares. - Implicancias políticas y financieras. | - Estudia y clarifica una definición de nZEB, y establece principios sustentables y reales de nZEB. – Posibles soluciones técnicas y sus implicancias en el mercado nacional de la construcción. | - Este estudio se enfoca en el contexto europeo. - No está enfocado en Colegios. | - Provee un panorama de los pasos siguientes hacia una exitosa implementación de nZEB. – Establece los principales desafíos para lograr una definición. – Establece principios para nZEB, y aproximaciones para su implementación. – Presenta una validación para los principios de nZEB, a través de la simulación de edificios de referencia en distintas zonas climáticas, con resultados comparativos. – Presenta las implicancias políticas y financieras de los principios de nZEB, con resultados comparativos, con recomendaciones para los pasos siguientes. |
| <i>P- Bampou 2016. [16]</i> | - Definición de edificios verdes (Green Buildings). – Políticas de edificios verdes en la región de Mena y Egipto. – Panorama socioeconómico y sus | - Estándares, políticas y sistemas de clasificación de eficiencia energética en Egipto. | - Sólo se enfoca en la región de Mena. – No es específico para el contexto de Chile. – No es específico para colegios. | - Es necesario establecer prioridades y acciones que reflejen las necesidades energéticas de cada país. – Es importante contar con una herramienta adaptada a cada país, tomando en cuenta también los aspectos sociales y económicos, incluso el perfil tecnológico. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|--|---|---|
| <i>Silva, S. Nasirov. 2017 [17]</i> | implicancias en Eficiencia Energética. -Examina alternativas energéticas estratégicas para Chile: eficiencia energética, proyectos hidroeléctricos, energía renovable no convencionales y energía nuclear. | - Identifica los desarrollos recientes y los desafíos pendientes para Chile. | - Se enfoca en alternativas energéticas a lo largo del país. – No es específico para el área de la construcción. – No es específico para colegios. | - Recomendaciones para identificar potencialidades y barreras para el desarrollo de diferentes tipos de energía limpia para Chile. – Para hacer que la EE sea una realidad en Chile, es necesario mejorar la legislación, desarrollo y estrategias, compromisos de las grandes industrias y sectores mineros, y apoyar campañas de educación de la población. |
| <i>Ministerio de Energía Chile. 2014. [18]</i> | - Evaluación de la situación energética de Chile. – Evaluación del objetivo del Programa de Gobierno de la presidenta Michelle Bachelet. | 1) Nuevo rol del Estado en el desarrollo energético. 2) Reducir los precios de la energía, eficiencia y diversificación del mercado energético. 3) Desarrollar sus propios recursos. 4) Conectividad para el desarrollo energético. 5) Sector eficiente en el manejo del consumo. 6) Impulsar la inversión para el desarrollo energético. 7) Participación ciudadana y ordenamiento territorial. | - Es solo una hoja de ruta. – Demasiado general, sin proponer medidas concretas. – Se ajusta al contexto chileno. – El objetivo al 2025 es muy ambicioso. – No es específico al sector de la construcción. - No es específico para colegios. | - La agenda propone impulsar el desarrollo de energías renovables no convencionales, para alcanzar el objetivo del 20% de la matriz energética en Chile para el 2025. – La agenda propone el desarrollo del uso eficiente de energía, para reducir en un 20% el consumo proyectado al 2025. |
| <i>Ministerio de Vivienda y Urbanismo Chile. 2013. [19].</i> | - Objetivos estratégicos. - Criterios de medición. - Líneas de acción | Cuatro ejes: 1) Hábitat y bienestar. 2) Educación. 3) Innovación y competitividad. 4) Gobernanza. | - Elaborado para el contexto de Chile. – Es sólo una hoja de ruta, incluso cuando propone un marco de referencia para el sector de construcción. – No propone medidas específicas para colegios. | - Propone: - Incrementar el número de edificios e infraestructura con certificaciones y estándares de construcción sustentable. – Reducir las emisiones y nivel de impacto ambiental en todo el ciclo de vida del edificio. – Definir estándares de construcción sustentable, y mejorar el marco regulatorio de la construcción. – Incrementar la resiliencia de los edificios e infraestructura a los cambios climáticos y eventos energéticos, |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|--|--|---|
| <i>Ministerio de Energía Chile</i> 2016. [16]. | - Metas a largo y corto plazo. | - Establecer lineamientos para diferentes sectores relacionados con la energía en Chile. | - El estudio es una hoja de ruta. – Es específico para Chile. – Incluso cuando se proponen objetivos que involucran colegios, no se proponen medidas específicas para lograr dichos objetivos. | y educar a la población sobre la construcción sustentable. - El objetivo en Chile del 70% de energía mixta sea suministrada por sistemas de energía renovables no convencionales. Propone 5 ejes, con objetivos y acciones para el 2020, 2025, 2030, 2035, 2050. -Lo más importante: 1) Al 2035 100% de los nuevos proyectos de energía no deben afectar la biodiversidad (Net Zero Biodiversity Loss), y en 2050 las emisiones del sector, fijando los objetivos de la OCDE. 2) Al 2035 35% de reducción de la brecha de pobreza energética, y para el 2050 reducir al 100% esa brecha. 3) Al 2035 100% de los planes curriculares de colegios deben incorporar contenidos de desarrollo energético, y 100% de los establecimientos educacionales deben alcanzar estándares sustentables. |
| <i>YJ Joo, CS Kim, SH Yoo.</i> 2015. [20] | - Los problemas y causalidades de corto y largo plazo dentro del consumo energético. – Emisiones de CO ₂ . Crecimiento económico en Chile. | - Examinar la relación causal entre el consumo energético, emisiones de CO ₂ , y crecimiento económico. | - El estudio fue hecho a nivel nacional. – No es específico al sector de la construcción. – No es específico a los colegios. | - El consumo energético reduce el crecimiento económico, pero no al revés. – Chile debe hacer más esfuerzos en desarrollar tecnologías de eficiencia energética y fuentes de energía renovable. – Hay una correlación de la energía consumida al crecimiento económico. – Hay una correlación entre emisiones de CO ₂ y crecimiento económico, y de CO ₂ al crecimiento económico. – Hay una correlación entre consumo energético y emisiones de CO ₂ . |
| <i>A Schueftan, J Sommerhoff, AD González.</i> 2016. [21] | - Eficiencia térmica de la envolvente y confort. – Tipo de energía empleado en calefacción. – Costo de energía. | - Identificar las mayores causas de contaminación del aire. –Discute varias estrategias para disminuir las emisiones y su efectividad en reducir la contaminación. – | - El estudio solo se enfoca en una zona específica de Chile (zona central) – No analiza otras fuentes de contaminación. – No es específico para colegios. | - Presenta una evaluación económica de estrategias y políticas, respecto de aliviar la pobreza energética en las casas de la zona central de Chile. – El resultado muestra que el reacondicionamiento térmico de las viviendas conlleva a un alivio de la pobreza |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|---|--|--|
| | | Se enfoca en el sector residencial. | | energética, contrastando con el mejoramiento de equipos de calefacción que no alivia la pobreza energética ni mejora el confort al interior de la vivienda. |
| <i>MF Inostroza</i> [22] | <i>Riveros 2014.</i> - Marco institucional vigente en Chile. - Ventajas y desventajas de la institucionalidad chilena. | - Análisis de la nueva institucionalidad de Eficiencia Energética. | - El estudio fue hecho solo desde una institución de Eficiencia Energética. – El estudio no involucra el sector de la construcción, ni escuelas ni otros edificios. | - La institucionalidad de Eficiencia Energética en Chile no tiene grandes resultados en sus políticas implementadas. – A pesar de la apertura de la agencia (2010), y la fecha del estudio (2014), la Agencia Nacional de Eficiencia Energética de Chile no propone ni genera políticas públicas, o cualquiera de las regulaciones respecto del uso eficiente de energía. |
| <i>PA Gómez, Fuentes</i> [23] | <i>Jofré, AU AC 2017</i> - Matriz energética chilena. – Acceso a la energía en Chile. – Acceso a las energías para calefacción en Chile. | - Establecer un diagnóstico del estado actual del acceso a la energía en Chile. | - Enfocado en las políticas chilenas. – Es un estudio global de las condiciones de para alcanzar las metas propuestas por el país. – No es específico para los colegios. | - Identifica los próximos desafíos para las políticas energéticas en Chile, respecto a las metas al 2050 establecidas por el gobierno. – Acceso a productos combustibles modernos de bajas emisiones manufacturados de recursos forestales. – Acceso a tecnologías eficientes para calefacción. – Proyectos de electrificación con ERNC en áreas remotas. |
| <i>Ministerio de Educación Gobierno de Chile</i> 1989 [3]. | - Parámetros mínimos de infraestructura escolar. | - Establece el conjunto de requerimientos mínimos para los colegios en Chile | - La regulación es muy básica, y carece de muchos parámetros relacionados con el confort y eficiencia energética. – No propone una definición de NZES ni para establecimientos educacionales energéticamente eficientes. | - Establece la calidad constructiva de los colegios, y sus terminaciones, como: - Iluminación mínima es pasillos y circulaciones 30lux, impone alcanzar una temperatura de 12°C en aulas de educación básica y media, en Los Andes, centro interior de ríos Ñuble e Itata al sur, costa sur, sur interior, extremo sur, iluminación de 180lux medidos en el plano de trabajo en el área menos iluminada, y cuando se requiera sistema mecánico de calefacción se consideran dos renovaciones de aire por hora. |
| <i>Gobierno de Chile</i> 2016 [24]. | - Condiciones generales de habitabilidad, | - Establece los estándares mínimos de construcción y habitabilidad. | - Los parámetros de confort en establecimientos | - Establece condiciones generales de impacto en la comunidad, construcción, habitabilidad y movilidad de locales |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|--|--|---|--|
| | Resistencia de materiales y estructura. - Condiciones universales de confort y movilidad. | | educacionales son muy básicos. | escolares. – En iluminación, regula solo la superficie de ventanas de la envolvente, según la proporción entre la superficie del recinto/ventana varía de 14% a 20% según área geográfica. – Para el caso de la ventilación se establece una superficie útil de apertura de 8% de la superficie/ventana, y para garantizar el volumen de aire se estima 3m ³ por alumno en la sala. |
| <i>Ministerio de Obras Públicas Chile 2013 [25].</i> | - Iluminación – Calidad de aire interior. | | -Es una regulación voluntaria, obligatorio solo para edificios nuevos de carácter público. | - Lo más notable es que: Determina 9 zonas climáticas, limita los valores de transmitancia térmica, factor solar para cristales de ventanas, infiltraciones de la envolvente (incluyendo ventanas), desempeño de calderas y sistemas de aire acondicionado, sistemas eficientes de iluminación, aporte solar para agua caliente sanitaria, ventilación mínima en establecimientos educacionales, frecuencia de la temperatura de funcionamiento en edificios pasivos, rango de temperatura para sistemas activos, iluminancia, autonomía diurna, deslumbramiento y reproducción cromática, y requerimientos de aislación acústica. |
| <i>Instituto de la construcción Chile. 2014. [26].</i> | - Confort térmico activo y pasivo. – Confort visual activo y pasivo. – Calidad de aire active y pasivo. – Confort acústico activo y pasivo. – Demanda de energía. – Hermeticidad de la envolvente. – Energía incorporada. – Eficiencia de iluminación artificial. – Aire acondicionado y ACS. – Cargas conectadas. – | - Evalúa, califica y certifica el grado de sustentabilidad ambiental del edificio. | - No es una certificación obligatoria para el sector privado. - Tiene un enfoque en el edificio, no holístico, con relación al entorno. - No incorpora el concepto Zero Energy. - No mide la interacción con la red. – Es una certificación desarrollada en el contexto de Chile. | - Los aspectos a evaluar son: 1) Calidad del ambiente interior (pasivo y activo térmico, iluminación, acústica y aire). 2) Energía (demanda de energía, energía incorporada, hermeticidad del agua, luz artificial, consumo, ERNC). 3) Agua (paisajismo, sistemas activos incorporados). 4) Manejo de desechos. 5) Administración (diseño integrado, administración y operación). – Cada una de estas áreas tiene requerimientos obligatorios y voluntarios (que otorgan un puntaje total de 100pts) – Para obtener el puntaje mínimo, se debe cumplir |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|-----------------------|---|--|-----------|--|
| OCDE 2016. [27] | <p>Contribución de diseño de sistemas de ERNC. – Gestión de operaciones.</p> <p>- Evaluación de PIB, de emisiones de GEI por sector, políticas y administración del aire, desechos y agua, gobernanza y administración medioambiental, crecimiento verde, cambio climático. – Conservación y uso sustentable de la biodiversidad.</p> | <p>- Evaluar las políticas ambientales y desempeño estadístico de Chile.</p> | | <p>con todos los requerimientos obligatorio más 30 a 54.5 puntos.</p> <p>La energía renovable corresponde a un tercio de la demanda energética en Chile, que representa el quinto OCDE más grande. – El sistema de impuestos se vuelve más sostenible, pero deja de lado la industria del cobre y otras. Las tasas de impuestos son relativamente bajas (US\$5) y deberían estar sujetos al aumento progresivo. – Los mercados verdes crecen y la capacidad de innovaciones ambientales mejora. – Chile es vulnerable a los cambios climáticos. – La intensidad de la energía de la economía chilena ha disminuido a apenas el promedio de los OCDE, reflejando la brecha de desigualdad de ingresos. – La matriz energética de Chile aún está compuesta mayoritariamente por combustibles fósiles. – Se establece recomendaciones, 54 en total.</p> |
| Acuerdo de París [28] | <p>- Establece objetivos relacionados con el cambio climático.</p> | <p>- Refuerza la responsabilidad global ante la amenaza del cambio climático. – Desarrollo sustentable y erradicación de la pobreza.</p> | | <p>- Mantiene que el aumento de la temperatura global de la tierra está por debajo de los 2°C, respecto de los niveles preindustriales. Limitar el alza de la temperatura a 1,5°C respecto de los niveles preindustriales. – Aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático, promover la resiliencia al cambio y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. – Ubica los flujos financieros a un nivel compatible con el camino que guía al desarrollo resiliente al clima y bajas emisiones. – Los países deben comunicar sus esfuerzos, con una visión orientada a lograr los objetivos propuestos.</p> |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|--|---|--|
| <i>Ministerio de Vivienda Chile. 2017 [29].</i> | - Estadísticas de clasificación de viviendas, tipologías, consumos de energía promedios y consumo térmico por zona, por materialidad y equipamiento en las viviendas. | - Entregar datos de viviendas calificadas, para mostrar su evolución. | - Los datos son solo para viviendas nuevas, no para todas las viviendas, ya que el Sistema es sólo obligatorio para viviendas sociales. – No presenta información sobre otros tipos de edificios. | - Indica: un índice de sobrecalentamiento en viviendas con alta calificación. – Muestra también que la mayoría de las viviendas no utiliza sistemas de ERNC (89,74%). – En general, las viviendas no cuentan con un sistema de calefacción (93,05%) lo que implica que la mayoría de las viviendas usa estufas a leña u otros sistemas de calefacción de llama expuesta. – Muchos de los proyectos mixtos evaluados (91,95%) emplean vidrio monolítico con un factor U bajo. – Muestra la demanda de consumo de energía más complicada es la zona 6-A. – La demanda promedio en calefacción es de 137,3 kWh/m ² al año, con un consumo de energía primaria en calefacción de 234,5 kWh/m ² al año. |
| <i>AChEE 2013. [30].</i> | - Parámetros Calidad del Ambiente interior – parámetros de confort en colegios. | - Provee recomendaciones para el diseño de colegios. | - Algunos datos son antiguos. | - Es un listado de iniciativas y programas a nivel nacional. - Da una serie de recomendaciones de diseño orientados a la iluminación, ventilación y confort. |
| <i>IEA. 2017. [31]</i> | - Producción de electricidad en países OCDE. - Matriz energética | - Presenta una serie de estadísticas relacionadas con la producción de energía en países OCDE y su evolución en el último año. | - Sólo muestran datos del último año. | - En general, la producción de electricidad en países OCDE ha aumentado en 1,1% o 9,5 TWh, respecto del mismo mes (marzo 2016). - La producción de combustibles creció un 1,2%, comparado con marzo de 2016, con un mayor crecimiento en los países americanos de OCDE con un 2,9%. – La producción de energía eólica, geotérmica y solar aumento un 18,7% y en países de OCDE América aumentó un 18,4%. – En Chile, la producción total del año 2016-2017 fue de 18.654 GWh. – La producción total fue menor por 337 GWh o 18%. – La producción de combustibles se redujo un 4,5% y disminuyó en 572 GWh. La producción de energía geotérmica, eólica, solar y otras aumentó en 74,9% o 721 GWh. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|---|--|--|
| <i>IEA. 2016 [32]</i> | - Parámetros de eficiencia energética. – Consumo energético por sector. – Intensidad energética por país. | - Presenta estadísticas de eficiencia energética en países miembros de la Agencia Internacional de Energía. | - Sólo muestra datos de los países de la AIE. | - Define la eficiencia energética como el “primer combustible”, es una energía que todos los países poseen en abundancia. – Globalmente, el consumo y desarrollo energético se han ido dissociando. La intensidad de uso de la energía ha disminuido aprox. 20% entre 1990 y 2014. – Muestra estadísticas de eficiencia energética de los países de la AIE en: sector residencial, industria y servicios, y transporte. – Para los miembros de la AIE, la disociación se debe principalmente a las mejoras en eficiencia. – En los países de la AIE, la eficiencia energética es responsable de más de 80% de la presión a la baja del consumo de energía. – Los ahorros de eficiencia energética son aprox. 4 veces más grandes que los ahorros asociados a cambios estructurales. |
| <i>Ministerio del Medio Ambiente Chile. 2015. [33].</i> | - Calidad de la educación. – Coordinación intersectorial. – Difundir la experiencia educacional. | - Calidad de la educación a través del conocimiento sustentable y conciencia ambiental. | - La evaluación de la situación medioambiental de los establecimientos educacionales no incluye parámetros de confort o de consumo energético. – La certificación de los colegios se basa en una autoevaluación. | - Los esfuerzos están en dos áreas: 1) Reforzar la calidad de la educación. 2) Difundir experiencias educacionales exitosas, para generar comunidades comprometidas con sus propios procesos educativos. – Promueve la instalación de un sistema de administración para el entorno. – Tiene tres niveles de certificación: Básico – Medio – Excelente; los dos primeros es por 2 años y el tercero es por 4 años. – Cuenta con tres instancias de organizaciones intersectoriales: 1) Comité Nacional de Certificación del Entorno. 2) Comité Regional de Certificación, y 3) Comité Administrativo de Entorno de los establecimientos educacionales. – Cuenta con una autoevaluación de la situación del ambiente educacional. – Incluye variables como el alcance del trabajo educativo, alcance de la relación curricular y alcance con el entorno. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|--|---|---|
| <i>Ministerio de Educación Chile. 2014. [2]</i> | - Evaluación de la calidad de los colegios en Chile. – Imagen y contexto – Innovación – Funcionalidad – Flexibilidad – Apertura a la comunidad – Inclusión – Espacios seguros – Sustentabilidad, confort y eficiencia energética. Intervenciones artísticas – Mobiliario y equipamiento – Mantención – Programa de recintos. | - Propone una nueva estrategia para los nuevos edificios educacionales. Y propone nuevos criterios para espacios educativos. | - Es una estrategia solo para establecimientos educacionales estatales. | - Incorporar estándares más altos para infraestructura, tanto nueva, como existente, para mejorar la calidad en todos los niveles del sistema educacional. – Provee de información sobre el catastro de la infraestructura de las escuelas realizado entre 2012-2013.- El plan es poder beneficiar a 2.000 establecimientos públicos del país. – Trabajo en 6 áreas: 1) Proyectos “Sello” en educación pública, considerando la construcción de establecimientos con altos estándares en infraestructura. 2) Obras de mejoras integrales. 3) Trabajo continuo con las escuelas, proyectos de expandir y mejorar los niveles de educación preescolar. 4) Trabajos preventivos. 5) Equipamiento; financiamiento de mobiliario y equipamiento. 6) Trabajos de emergencia, proyectos que respondan a las situaciones producto de desastres naturales. – Propone 16 criterios de diseño, entre ellos sustentabilidad, confort y eficiencia energética. |
| <i>Gobierno de Chile 2014. [34]</i> | - Procedimientos para la regulación de tarifas eléctrica en Chile. | - Regulación de las tarifas eléctricas. | | - Estipula que el usuario final, que tenga su propio sistema de generación de energía renovable no convencional o instalaciones de cogeneración eficiente, los que tendrán el derecho de poder inyectar la energía que generan a la red de distribución desde sus respectivos empalmes. – Establece las especificaciones técnicas y de seguridad que debe ser compatible con el equipo requerido que pudiera afectar las inyecciones. – La capacidad instalada permitida para cada usuario final, y para los usuarios en la misma red de distribución. |
| <i>IEA 2017. [35]</i> | - Consumo de energía, producción, eficiencia y emisiones relacionadas | - Energía y emisiones de CO ₂ en países OCDE. | - Reporte general. | - En general, continua la disminución de emisiones de CO ₂ de la combustión de combustibles fósiles. Los países de la OCDE |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|--|---|--|--|
| | con la región. | | | disminuyeron sus emisiones en un 9,5% (1,2GtCO ₂) desde su nivel más alto en 2007. – En general, el petróleo se mantiene como una de las mayores fuentes de emisiones en OCDE (40%), seguido por el carbón (32%), gas (27%), mientras que 20% del total de la energía primaria es proviene de fuentes carbono neutro. – A lo largo del período de 1990-2015, la disociación del crecimiento económico del consumo energético ha sido muy significativo (TPES/GDP=-31%). - OCDE América (Chile, México, Canadá y Estados Unidos) lograron ser autosuficientes, aunque aún deben importar algunos combustibles y exportar otros. – La producción de energía primaria de fuentes solares, eólicas y de mareas aumentaron significativamente un 15% (10Mtoe). |
| <i>Climate Tracker</i> 2017. [36]. | - Proyecciones de emisiones de CO ₂ en Chile. – Clasificación de las metas proyectadas. | - Evaluar lo que las metas proponen para Chile, y compararlas con los objetivos globales. | | - Si la mayoría de los otros países siguieran el enfoque de Chile, el calentamiento global excedería los 3-4°C. Entre 1990 y 2010, las emisiones de Chile aumentaron un 84%, de 50MTCO ₂ a 92MTCO ₂ , excluyendo UTCUTS. Las emisiones alcanzarían las 134-138 MTCO ₂ por año en 2020, lo que representa un 169-177% por sobre los niveles de 1990. En el 2030 esas emisiones serían de 161-167 MTCO ₂ (224-234% por sobre los niveles de 1990). |
| <i>Ministerio de Energía Chile</i> 2016. [37]. | - Características técnicas de sistemas instalados. – Inversiones asociadas. | - Instalación de sistemas fotovoltaicos en edificios públicos. | - Ninguna de las evaluaciones considera eficiencia energética. – La calidad de ambiente interior del edificio no se toma en consideración. – EL Concepto energía neta cero (Net Zero) no se considera. | - La instalación de sistemas FV para 899 edificios en 9 regiones de Chile ha sido contratada con una capacidad acumulada de 3MWp. – El programa intenta beneficiar a instituciones públicas de los diferentes poderes del Estado y municipios. – De los 99 proyectos adjudicados, 33 son escuelas públicas entre la I y VII Regiones. – Examina el consumo de energía eléctrica de los |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|---|---|--|
| | | | | edificios para proyectar el sistema FV. – La capacidad de los techos y sus cualidades constructivas son evaluadas. – Se evalúa la potencia conectada en la propiedad. |
| <i>AChEE. 2015</i> [5]. | - Parámetros de inversión. - Parámetros de ahorro. - Emisiones de CO ₂ . | - Eficiencia energética en edificios, minería e industrias, educación, y verificación de mediciones. | - El reporte no está actualizado | Chile está comenzando a aplicar conceptos de eficiencia energética en todas sus áreas productivas, lo que trae ahorros y una disminución de emisiones de CO ₂ . Las principales inversiones están en los edificios públicos. – Iluminación pública. – Programa de cogeneración en industrias. – Programas de manejo eficiente. – Programas de educación. – Formación de saber hacer (know how). |
| <i>Instituto Nacional de Normalización 2008</i> [38] | - Temperatura exterior. - Índice de precipitaciones. - Índice de luz día. | - Proveer una zonificación climática más acotada para Chile. | - No considera microclimas. | - Chile se compone de 9 zonas climáticas; algunas de las cuales son muy diferentes una de otras, como la zona desértica y el extremo sur. |
| <i>Ministerio del Medio Ambiente Chile. 2014</i> [39]. | - Temperatura ambiente. - Régimen de precipitaciones. - Impactos sectoriales. | - Diagnóstico del impacto del cambio climático en Chile, y proponer medidas para abordarlo. | - Específico para Chile. | - Propone una estructura para abordar el cambio climático en Chile. Acciones sectoriales transversales, a nivel central y regional. – Propone un proceso de monitoreo. – Define responsabilidades de cada tarea. |
| <i>OCDE 2016.</i> [40] | - Inversión de recursos humanos y financieros en educación. – Acceso a progresos en educación y participación. – Entorno de aprendizaje y organización de colegios. | - Provee estadísticas e información sobre los diferentes parámetros que afectan el nivel educacional en países de OCDE. | - No provee información específica sobre edificios educacionales. | - Chile es uno de los países que ha tenido un menor gasto en educación de los países OCDE. -También tiene uno de los progresos más lentos para alcanzar los objetivos propuestos por OCDE. |
| <i>Ministerio de Educación Chile. 2014.</i> [41] | - Gastos por estudiante. - Costos iniciales y operacionales. | - Proveer un panorama del gasto en educación. | - La información para el costo operacional referido a | En Chile, el costo promedio para construir un colegio es de 1.139,8 USD/m ² a en un edificio sin criterios de eficiencia energética, y de 1.610 USD/m ² a en un edificio con criterios de |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|--|---|---|--|
| | | | edificios educacionales es sólo estimativo y no medido. | eficiencia energética. El costo operacional de un colegio se estima en 20 USD/m ² a. |
| 3.- Confort, Pobreza Energética y Resiliencia Social. | <p><i>M. Trebilcock, J. Soto, R. Figueroa 2014 [42].</i></p> <p>- Parámetros térmicos: temperatura interior de las aulas, voto de sensación térmica, contexto climático, índice de vulnerabilidad, velocidad del aire, humedad relativa.</p> <p><i>R García Ochoa. 2014 [43]</i></p> <p>- Consumo energético per-cápita. Emisiones per-cápita. -Índice de desarrollo humano.</p> <p>- Relaciones entre necesidades, satisfacciones, bienes económicos y usos de energía. Antecedentes de pobreza energética.</p> <p><i>G Armijo, L Roubelat, P Jara, C Whitman. 2016 [44]</i></p> <p>- Segregación social habitacional. – Políticas de Gobierno para la integración social. – Uso de leña.</p> | <p>- Determinar temperatura de confort de los estudiantes en escuelas básicas públicas.</p> <p>- Resaltar la dimensión social de los usos de energía, y así tener una visión más equitativa e integral sobre la relación entre energía, pobreza y entorno.</p> <p>- Evaluación general de la pobreza energética en Chile.</p> | <p>- Es una versión más Antigua de la referencia [1]. – No considera la calidad del aire. – No considera la eficiencia energética.</p> <p>- El estudio está basado en la realidad de Latinoamérica.</p> <p>- Es necesario llevar a cabo un análisis más profundo de las realidades de cada país.</p> <p>- Sirve como marco de referencia.</p> <p>- Es un estudio general.</p> | <p>- La temperatura de confort del trabajo de campo es significativamente menor a la temperatura de confort calculada con la fórmula de Humphrey. – También muestra que los alumnos de escuelas altamente vulnerables votaron por temperaturas de confort más bajas que otros de realidades menos vulnerables.</p> <p>- Propone el concepto de “Pobreza energética en la vivienda” y el método de “Satisfacción absoluta de las necesidades energéticas”. – Muestra la relación entre consumo energético per-cápita de gases de efecto invernadero y el desarrollo humano en el mundo. – El resultado también muestra que es pertinente introducir y reforzar la pobreza energética como línea de investigación y como un eje de análisis en el desarrollo de planes e instrumentos en Latinoamérica.</p> <p>- En la mayoría de los edificios residenciales, tanto en los bajos como altos estratos socioeconómicos, no se provee del adecuado confort higrotérmico ya que la normativa térmica es insuficiente. – Todos los estratos socioeconómicos, excepto el más alto, sufren de pobreza energética, ya que los sistemas de calefacción son ineficientes, contaminan, y las políticas urbanas aumentan la dependencia del transporte. – La pobreza energética depende no sólo de la vivienda, sino también de la salud y conectividad con el contexto urbano.</p> |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|----------------------------------|---|--|--|---|
| <i>G Walker. 2015</i> [45] | - Definiciones de derechos universales. – Definición del derecho a la energía. | - Caracteriza cual es el espacio para trabajar en políticas enfocados en definir el derecho a la energía, sus especificaciones e implementación. Reconocer los diferentes roles que el uso de la energía juega para permitir el bienestar. | | - Usualmente el derecho a la energía es correctamente abordado por países en desarrollo, quienes argumentan que necesitan desarrollar su infraestructura eléctrica y aumentar los niveles de energía consumida y emisiones de carbono para expandir sus economías y levantar a la gente de la pobreza. – Puede ser problemático para el clima global, si el derecho a la energía es tomado como medio para poner en marcha una infraestructura basada en combustibles fósiles. |
| <i>R Moore. 2012</i> [46] | - Costo de combustible relacionado como porcentaje de ingresos. – Definiciones. – Indicadores suplementarios. | - Analizar datos previos, English Housing Survey de 2008, y el English House Condition Survey para explorar sus implicancias para políticas energéticas. | - Se enfoca en el contexto de Inglaterra. - El documento no propone una definición. - El documento es un marco referencial. | - El documento estudia una serie de definiciones sobre pobreza energética, y hace recomendaciones para todos. – Concluye que la definición preferida por los Gobiernos no es la dirigida a los más necesitados. |
| <i>YTJ Khew et al. 2015</i> [47] | - Áreas costeras. – Permanencia de áreas urbanas del Gran Concepción en áreas propensas a tsunamis. – Estructuras físicas de mitigación de tsunamis. – Co-beneficio de estructuras mitigadoras de tsunamis. | - Evaluar la contribución de la “infraestructura dura” para aumentar la resiliencia al desastre. | - El estudio es específico al contexto de Chile. – El estudio depende fuertemente de la percepción social de los residentes. – Sólo toma en cuenta dos tipos de infraestructura (malecones, y viviendas elevadas). | - Las estructuras fueron consideradas beneficiosas para edificios resilientes cuando eran multifuncionales, las que ayudan en la recuperación social y/o económica de la comunidad asociada. – Las estructuras previas sin una función netamente protectora contribuyeron positivamente a construir una economía resiliente en Dichato, Talcahuano y Penco a través de la promoción del turismo y la actividad pesquera a pequeña escala. – Solo en tumbes las casas elevadas mostraron ser útiles para restaurar la función económica, proveyendo un área segura para almacenar los elementos y productos de la pesca. – El estudio provee una clara clasificación de resiliencia dura y sensible. – Concluye que es ideal que el diseño para las nuevas infraestructuras de mitigación de |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|--|--|--|--|
| <i>R Borquez, P Aldunce, C Adler. 2017 [48]</i> | - Teoría de la resiliencia y cambio climático. – Proceso participativo para producir conocimiento. | - Sequía en Chile 2014. - Como la teoría de la resiliencia puede ser aplicada y articulada en la práctica. | - Enfocado en la realidad chilena, y solo en estudios comunitarios. - El estudio no involucra otros tipos de desastres. | tsunami, maximicen las cualidades multi-funcionales positivas, especialmente aquellas que refuerzan la cultura de preparación a tsunamis. - Es necesario un proceso participativo y de co-producción de conocimiento, y participación de las partes involucradas y de quienes toman las decisiones. – para construir resiliencia al cambio climático, se requiere una activa participación de los gobiernos, ciudadanos, científicos y del sector privado. – El marco de la resiliencia no es solo la capacidad de recuperación, sino que también de adaptarse, aprender, transformarse y reorganizarse. – Acceso universal a la información y educación para mejorar la preparación, como clave para construir resiliencia, especialmente en países frecuentemente expuestos a desastres naturales relacionados con amenazas climáticas. . |
| <i>G San Juan, et al. 2014. [49]</i> | - Condiciones ambientales: confort higrotérmico, confort lumínico, confort acústico y calidad del aire. – Condiciones arquitectónicas: adaptabilidad del espacio, contacto visual, contacto auditivo, contacto estético. | - Mostrar las condiciones de los establecimientos educacionales en diferentes países. - Determinar las condiciones de confort en establecimientos educacionales de 6 países en Latinoamérica. | - El estudio no considera políticas relacionadas con los establecimientos educacionales. | - Las condiciones higrotérmicas generalmente no responden a los estándares recomendados. – Se han detectado que hay situaciones en que coincide el período de invierno con concentraciones de CO ₂ no coordinadas. En estos casos, la necesidad de una regulación de ventilación genera otros problemas, térmicos, higrotérmicos, olfativos. – La temperatura y la iluminación natural son parámetros críticos desde un punto objetivo. |
| <i>M Trebilcock, A Bobadilla, M Piderit. 2012 [50].</i> | - Medidas para desempeño ambiental. – Temperatura del aire. – Humedad relativa. – Emisiones de CO ₂ . – Percepción de confort | - Evaluar el desempeño de los establecimientos educacionales, con y sin diseño energéticamente eficiente. | - El estudio es limitado a casos de estudio, a un clima específico y ambiente sociocultural. | - El estudio muestra severos contrastes entre los datos medidos y las respuestas de los ocupantes, que puede ser atribuido a la pobreza y resiliencia. – Es importante incluir principios culturales en la arquitectura, porque mejora la resiliencia de los ocupantes |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|--|---|---|
| | térmico, visual y acústico. – Calidad del aire. | | | y su percepción del bienestar. – También es necesario mejorar el desempeño del medioambiente interior de las escuelas rurales localizadas en áreas de extrema pobreza, basado en el mejoramiento de la calidad de la construcción y estrategias de diseño pasivo. – Es importante vincular la eficiencia energética con el confort, para obtener mejores resultados. |
| <i>ZS Zomorodian et al. 2016.</i> [51] | - Metodologías. – Revisión de resultados basados en: zonas climáticas, etapa educativa, y enfoques de confort térmico aplicado. | - Se enfoca en presentar una visión global de estudios existentes relacionados al confort en las aulas. | - Se enfoca solo en estudios de confort. – No establece una relación con la eficiencia energética. – El estudio es un marco referencial, no propone uno estándar. | - La evaluación del disconfort en el aula puede ser útil para disminuir el porcentaje de insatisfacción de los ocupantes. – Estudios demostraron que los estudiantes prefieren ambientes más fríos y son más sensibles a condiciones calurosas. – Las medidas de conservación de energía deben ser aplicadas cuidadosamente, porque el ahorro de energía es la segunda preocupación en un establecimiento educacional. – Desarrollar indicadores de confort térmico espaciales y temporales puede ser útil para la evaluación en aulas. |
| <i>T Hatt, et al. 2012.</i> [52] | - Demanda de energía. – Consumo energético. – Confort interior. – Ubicación, orientación y factor de forma. – Superficie vidriada. – Sombra temporal. – Casos de referencia y casos de estudio. | - Demostrar que en la zona centro-sur de Chile es posible aplicar estándares Casa Pasiva (PassivHaus) en viviendas. | - Estudio basado solo en la simulación, sin monitoreo. – Estudio limitado a tres regiones de Chile y sólo a un tipo de edificio. | - Los edificios que logran el estándar PH tienen un costo de inversión inicial más alto que una edificación tradicional, pero con un costo de operación 80% más bajo. Esto permite recuperar la inversión durante el ciclo de vida del edificio. – El estudio establece recomendaciones para el diseño PH en viviendas de Santiago, Concepción y Puerto Montt, o climas similares. |
| <i>M. Trebilcock, et al. 2016</i> [1]. | - Confort térmico, en colegios, complementado con cuestionarios basados en confort adaptativo. | - Confort térmico en colegio de Santiago. – Determina la satisfacción de niños con relación a la temperatura interior. | - El estudio no profundiza en el aspecto del consumo energético para lograr un mejor estándar de confort. – Se enfoca solo en colegios de Santiago. – Ellos no | - Los niños tienen diferentes percepciones térmicas, comparado con los adultos. – El confort térmico y los lineamientos están basados en percepciones de los adultos. – En Chile no hay regulaciones de eficiencia |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|--|--|---|--|
| S. Attia, S. Carlucci. 2015 [53]. | - Modelos de confort: Fanger, Givoni, ASHRAE 55 adaptativo, EN 15251 adaptativo. | - Comparar la influencia de usar diferentes modelos de confort térmico para edificios cero energías en climas cálidos. | - El estudio está relacionado con un solo tipo de edificio. - El estudio está relacionado solo a un tipo de clima. | energética para establecimientos educacionales. - El confort es fundamental, porque que tiene un impacto directo en la definición de un NZEB y los requerimientos que influyen en el diseño. – Adoptar un modelo de confort disponible es de suma importancia, ya que las condiciones de referencia para el ambiente interior son significativamente diferentes, y eso causa una gran diferencia de desempeño energético. – Se puede esperar un mayor ahorro de energía de edificios en climas cálidos con mayores demandas de enfriamiento. – Hay una diferencia en el desempeño energético cuando se adoptan diferentes criterios de confort. |
| Sernageomin Chile. 2017. [54] | - Tipos de catástrofes. – Año en que ocurrió. – Zona afectada. | - Presentar información sobre las catástrofes más importantes que han sucedido en Chile desde 1980. | - No resume las catástrofes y no provee información clara. | - Chile es constantemente afectado por muchos tipos de catástrofes en el último tiempo; inundaciones, aluviones, terremotos son los más comunes. |
| Ministerio de Vivienda y Urbanismo 2015. [4]. | - Centro de refugio. – Medidas de acción contra catástrofes. | - Proveer información sobre refugios y centros de acopio de alimentos. | - Es informativo. – Específico para cada catástrofe. | - Todos los refugios y centros de acopio de alimentos son escuelas. |
| O. Irulegi, et al. 2017 [55] | - Cuestionario y campaña de monitoreo. – Consumo energético. | - Proponer un método para definir y evaluar estrategias para alcanzar NZEB en edificios universitarios, basado en el análisis de confort de los alumnos. | - Las estrategias están enfocada solo en un tipo de edificio. En este sentido, el trabajo no es comprensivo. | - Los estudiantes prefieren temperaturas interiores más bajas (20-22,5°C) que las establecidas teóricamente en modelos de confort. – Basado en el análisis confort, propone un reacondicionamiento de las estrategias para el período de invierno, como: 1) eliminar puentes térmicos usando sistemas de recuperación de calor aire-aire y mejorando las ventanas orientadas hacia el norte. – El resultado muestra un ahorro potencial de un 62%, y una reducción de dos |

Estrategias de Diseño

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|---|---|--|---|
| <i>H. Breesch, B. Wauman. 2016 [56]</i> | - Como alcanzar los requerimientos de un edificio escolar pasivo. | - Dificultades para alcanzar un buen confort térmico – Opciones de diseño – Enfocado en el confort térmico – Impacto de la ventilación nocturna – Hay una diferencia en el confort térmico en verano, en la construcción de madera – enfocado en la verificación de la aplicación de estándar PH. | Enfocado en un caso de estudio, y en un área pequeña – El estudio no habla acerca del balance energético – Enfocado en el confort térmico en Verano – no analiza el confort en todo el año – no se explica que tipo de NZEB se pretende alcanzar – no se analiza la importancia de la masa térmica | meses en el período de calor. – Los problemas por sobrecalentamiento durante el verano y temporadas medias podrían ser resueltos usando 4 rah día y enfriamiento por ventilación nocturna. - Es importante considerar la diferencia entre la demanda de refrigeración neta, y la temperatura de confort, porque, ellas no se acoplan necesariamente. - Hay unos pasos anteriores más relevantes que lograr el balance energético. |
| <i>Nishita Gulati. 2012. [57]</i> | - Consumo energético. – Parámetros de la envolvente. – Orientación. – Rango de Ventana a muro (WWR). – Techumbre y muro. – Elementos de sombreado | - Enfocado en el costo eficiencia de la optimización de sistemas HVAC en viviendas Zero Energy. | - Los resultados del estudio y optimización de estrategias están limitados al caso de estudio. – El estudio no contempla el comportamiento del ocupante. – No hay referencia a escuelas. | - Se observe que del diseño del caso base al diseño del caso optimizado, la demanda de calefacción por envolvente se redujo un 71%. – La incorporación de medidas de EE efectivas reduce el dimensionamiento de sistemas ERNC para alcanzar el estándar Zero Energy. – El diseño apropiado de un edificio puede optimizar el desempeño de un sistema de aire acondicionado, reduciendo sus costos y mejorando el confort. |
| <i>M Trebilcock Kelly, J Soto Muñoz. 2016 [58]</i> | - Temperaturas de confort en colegios. – Relación entre confort y el rendimiento académico de los alumnos. | - Presentar una propuesta metodológica que sustente el diseño confortable y resiliente de edificios educacionales, basados en determinar temperaturas de confort para niños en diferentes contextos de climáticos. | - El estudio solo aplica al contexto de Chile. – La relación entre el confort térmico y el desempeño del colegio no se establece claramente. – No se explica cómo los edificios pueden ser más resilientes. | - El resultado del trabajo de campo sugiere que los estándares de confort térmico no son apropiados para niños en etapa escolar. Así como las temperaturas de confort pueden variar entre 2-4°C menor que las derivadas de un modelo de confort adaptativo. -La situación socioeconómica de los alumnos los hace más resilientes a las bajas temperaturas. |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|--|--|--|--|---|
| <i>M. Trebilcock, B. Piderit, J. Soto y R. Figueroa. 2016</i> [59] | - Desempeño térmico, y estrategias de diseño pasivo. | - Evaluar las condiciones térmicas al interior de las aulas, tanto en verano como en invierno. – Analizar paramétricamente una escuela de educación básica. – Tres diferentes climas en Chile. | - El análisis es limitado a tres tipos de clima, y en Chile existen nueve. | - Muchas administraciones locales consideran difícil poder pagar el costo del combustible para poder mantener los sistemas de calefacción encendidos durante el invierno. – Las condiciones inadecuadas de temperatura interior pueden ser mejoradas con soluciones simples de diseño pasivo. – El estudio utiliza la relación de demanda de energía para verificar las mejores soluciones. – Las dos demandas de energía más grandes para el análisis fueron de calefacción e iluminación en la zona sur del país. |
| <i>M. Gil-Baez, et al. 2017.</i> [60] | - CO ₂ interior. – Niveles de temperatura y humedad. | - Comparar la efectividad de los sistemas de renovaciones de aire en edificios educacionales. | - El estudio de caso es para un clima y contexto muy específico. – No presenta definiciones para colegios. | - Los resultados muestran que, usando un sistema de ventilación natural, incluso cuando hay pérdidas de calor, la energía a lo largo del año académico es menor que cuando se utiliza un Sistema de ventilación mecánico. Los ahorros en energía primaria están en un rango de 18-33% con la ventilación natural, mientras mantienen los niveles de confort dentro de las aulas. |
| <i>N. Hossaini, et al. 2015</i> [61] | - Características regionales. – Evaluación de sustentabilidad en el ciclo de vida. – Energía, agua y materiales. | - Discutir una nueva metodología para evaluar edificios energía neta cero (Net Zero). | - El concepto energía neta cero (Net Zero) propuesto no es totalmente claro. – Tienen un enfoque muy amplio. – El estudio es un marco referencial sin ensayos. | - El estudio propone un nuevo marco de evaluación y clasificación de NZEB. – Define 3 componentes principales de NZEB (uso de energía, agua y materiales). – También hacen una revisión de los sistemas de evaluación más importantes. |
| Living Building Challenge [62] | Paisajismo. – Agua. – Energía. – Salud y Felicidad. – Materiales. – Equidad. – Belleza. | - Proveer una certificación con una visión holística amplia. | - No especifica estándares para distintos tipos de edificios. | - Propone una certificación para NZEB y balance neto de agua cero (Net Zero Water). Considera la escala del proyecto y su ámbito de influencia. – Sus 7 principios hacen un enfoque en el ciclo de vida del edificio. |
| U.S. Green Building Council [63]. 2017 | - Diseño integrado. – Ubicación y transporte. – Sitio sustentable. – Eficiencia de agua. – | Proveer una certificación holística para edificios. | - No considera NZEB en su enfoque. – Se basa en EE. UU. y estándares ASHRAE. | - Provee criterios específicos para edificios educacionales, eficiencia energética y energías renovables. Es posible aplicarlas a |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | DE ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|--|
| | Energía y atmósfera. Materiales y recursos. – Calidad interior. – Innovación y prioridad regional. | | | nivel mundial. – Es más una certificación comercial. | |
| <i>S. D. Pless, et al. 2016. [64]</i> | - Tipo de envolvente. – Aberturas. – Infiltraciones. – Iluminación. – Cargas de enchufes. – Calefacción, ventilación y aire acondicionado. – Agua caliente sanitaria. – Intensidad del uso de energía | - Presentar un estudio de factibilidad basado en una simulación, para mostrar el tipo de tecnología que se requiere. | - El estudio se enfoca en el contexto de EE. UU.. | - Es posible que escuelas K-12 alcancen el estándar cero energías cuando EUI está entre 20-26 Kbtu/ft ² /año. – Climas temperados requieren un menor porcentaje de celosías que los climas muy calientes o muy fríos. | |
| 3. Factibilidad Económica | <i>AF Marique, S Reiter. 2015. [65]</i> | - El impacto de la forma urbana en los requerimientos de energía. – Producción de energía renovable in-situ. – Impacto de la ubicación en el transporte y consumo energético. | - Investigar el vecindario Zero Energy. | - El estudio no menciona la importancia del contexto y el clima. | - Propone un marco simplificado y un método de cálculo relacionado con la escala del vecindario energía neta cero (Net Zero neighborhood). – Muestra las potencialidades de una aproximación integrada vinculada al transporte y al consume energético del edificio. – Encuentra necesario una mayor integración del edificio individual dentro de su contexto en políticas que tengan que ver con eficiencia energética. – No es suficiente con promover el reacondicionamiento de edificios con criterios de eficiencia energética, es fundamental considerar parámetros e interacciones relacionadas a gran escala, la escala de la planificación urbana. – La ubicación del nuevo edificio es crucial en el balance total. |
| | <i>J Carrasco Eade, G Kokogiannakis. 2012. [66]</i> | - Regulación energética chilena actual. – Concepto de Casa Pasiva (PassivHaus). – Demanda energética. | - Identificar un diseño de estrategias útil para lograr resultados de energía comparables con los | - Es importante que los análisis ahonden más en las variables de confort. – El estudio no se enfoca en colegios | - Los aspectos técnicos de la Normativa Térmica chilena actual deben mejorar en el futuro, especialmente en aspectos como eficiencia energética, infiltraciones, y evitar puentes térmicos. – Los resultados de simulaciones dinámicas sugieren que el |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|---|---|--|---|---|
| | | propuestos por el estándar PH. | | desempeño energético PH puede ser logrado con estándares de construcción más accesibles que los descritos por la herramienta PH. – El diseño pasivo también puede reducir significativamente el requerimiento de calefacción del edificio, y constituye una alternativa factible al PH. – Es importante evaluar el diseño pasivo a través de herramientas de simulación dinámicas. |
| <i>Jaime Soto-Muñoz et al. 2015. [67]</i> | - La realidad constructiva de las escuelas localizadas en diferentes áreas de Chile. – Políticas de Estado y métodos de evaluación de inversión en Chile. | - Temperatura, humedad, concentración de CO ₂ (condiciones medioambientales) | - Enfocado solo en Chile. – El caso de estudio no involucra todos los climas de Chile. – No hay un análisis comprensivo de evaluación del sistema de proyectos públicos en Chile. | - Concluye que la temperatura de una sala de clases debe estar entre 18-21°C, para aumentar los niveles de asistencia, y, en consecuencia, disminuir los niveles de deserción y mejorar el rendimiento de los alumnos. – Es necesario incluir la temperatura, humedad y un sensor de CO ₂ en el diseño de edificios educacionales. – Es necesario establecer estrategias para evaluaciones económicas cuando los sistemas de calefacción y enfriamiento no existan. |
| <i>MJ Valdebenito. 2014. [68]</i> | - Ambiente físico para la educación. – Oportunidades y desafíos de colegios más sustentables. | - Proveer un marco de referencia para planificar el proceso hacia colegios más sustentables. | - El número de colegios considerados en el estudio es limitado. | - Los resultados indican que las acciones aplicables se pueden agrupar en 4 categorías: compromiso de construcción, alineación de la administración, currículo integrado, crear alianzas. – Un proceso sostenible es exitoso si se involucra y compromete a toda la comunidad escolar, incluyendo a los alumnos, profesores, apoderados, vecinos, administradores, y sostenedores. – Para sustentar efectivamente los resultados de diseño, estos necesitan conectarse fuertemente con el currículo durante la planificación. – Es necesario que las autoridades escolares transmitan un mensaje claro y fuerte para las escuelas, proporcionando políticas sustentables de apoyo, que es el medio para |

| REFERENCIA | PARAMETROS DE ESTUDIO | ENFOQUE | FALENCIAS | HALLAZGOS |
|----------------------------------|--|---|--|--|
| <i>LDD Harvey. 2013.</i> [69] | - Principios de diseño de edificios de bajo consumo. – Intensidad de la energía. – Costo de nuevos edificios. – Costos de alcanzar el estándar Casa Pasiva (PassivHaus). | - Presentar y discutir las tecnologías más recientes, y enfoques que han sido usadas para ahorros en eficiencia energética. | - La información se centra EE. UU., Europa y Asia. | lograr que estos procesos sean efectivos y se conviertan en la corriente principal. - Los costos adicionales para lograr el estándar PH para las cargas de calefacción en edificios nuevos, que representa un factor de 5 a 10% de reducción de la carga de calefacción comparado con el estándar actual, ha variado de 0% a 16% del costo de construcción en un edificio de referencia. Edificios comerciales de alto desempeño, con intensidades energéticas en general de 20-50% que un edificio convencional, se han construido a un costo más bajo, o con un bajo porcentaje por sobre el costo de un edificio tradicional |

2. ESTADO DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO₂ EN CHILE

De acuerdo con datos de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética [5] (Figura 2), en el año 2013, Chile importó el 59,3% de sus requerimientos de energía primaria. En este escenario, las energías más utilizadas fueron carbón de piedra, gas natural y petróleo. El total de energía consumida en el país fue 531,94 TWh, de los cuáles el 35% (184,17 TWh) se perdieron en la distribución y transformación de la misma energía. Según estos datos, del total de energía consumida en el país, el 24,6% (85,55 TWh) fue consumida por edificios [5]. Considerando estos datos y proyecciones de la Comisión Nacional de Energía (CONAMA), se espera que la demanda de energía crezca sostenidamente en los próximos años entre un 5 y 5,5% acoplada a la curva de crecimiento económico en los próximos 10 años [70].

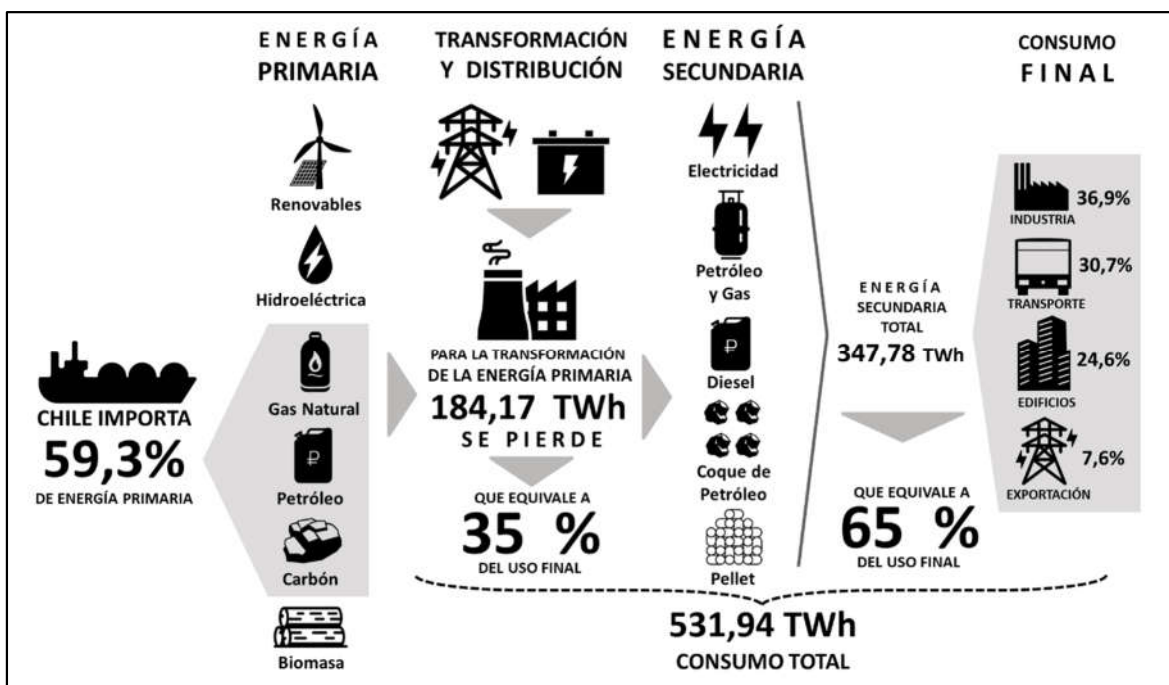


Figura 2. Consumo y distribución de la matriz energética chilena. (Fuente: Elaboración propia en base a reporte anual 2015 de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética [48])

En general, la matriz energética chilena está basada principalmente en combustibles fósiles como energía primaria, como se muestra en la Figura 3. En este sentido, los mayores aportes a la energía primaria son el petróleo y el carbón de piedra, los que juntos el año 2016, contribuyeron con 51464 GWh, lo que es equivalente al 67,99% de la matriz energética. Mientras que las energías renovables, solo contribuyeron con el 6,37% (4825 GWh), el aporte de energía hidroeléctrica es también importante en el país contribuyendo con cerca del 20% de la producción, y con un alto potencial de seguir creciendo.

Cabe destacar que Chile ha incrementado la generación de energía proveniente de fuentes renovables, sin embargo, el consumo de energía también se ha incrementado en relación con el PIB, además, el incremento

del consumo energético ha seguido ligado a la importación de combustibles fósiles, fuente de importantes emisiones de CO₂ [27], esto se traduce en que exista una causalidad directa entre consumo de energía y crecimiento económico [20]. Al mantener la actual matriz energética, Chile está expuesto a una alta inestabilidad económica, debido a la constante variación de los precios de los combustibles fósiles, sin embargo, el país mantiene la tendencia de los países de la OCDE, donde la principal fuente de energía primaria está aún dominada por los combustibles fósiles. En el último tiempo, existe una tendencia a disminuir el consumo de combustibles fósiles, y a un aumento de las energías renovables, sin embargo, estas aún no son parte importante y no dominan la matriz energética de estos países.

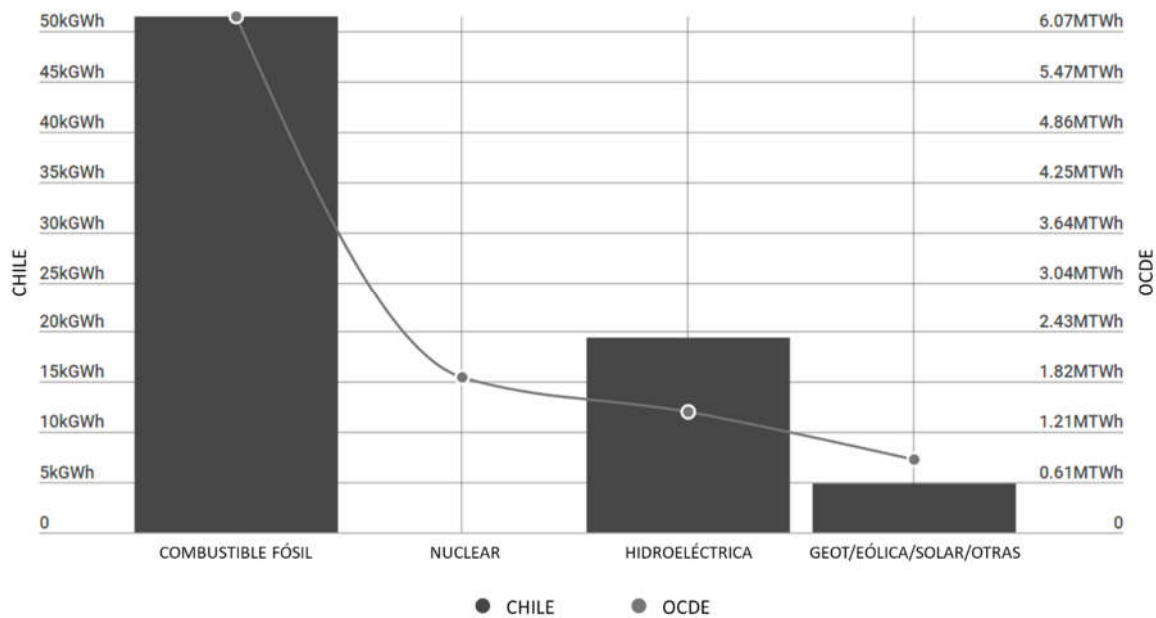


Figura 3. Comparación entre la producción eléctrica por tipo de combustible en Chile y los países de la OCDE. (Fuente: Elaboración propia en base a datos de Monthly Electricity Statistics, Marzo 2017)

2.1. Estado de las construcciones en Chile

El parque de viviendas en Chile se estima en alrededor de 4,5 millones de edificios, el país carece de una caracterización exhaustiva de edificios, que considere criterios de rendimiento energético. Además, la mayoría de los estudios revisados en la **Tabla 1**, relativos a Chile, entregan información acerca de temas relacionados con viviendas, sin considerar edificios educacionales. Conjuntamente, en Chile, la calidad de los edificios en términos de eficiencia energética tiende a ser bastante bajo. la mayoría de los edificios operan en oscilación libre sin sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado (HVAC) y sin sistemas de energías renovables. En esta línea, un estudio realizado por el laboratorio CITEC de la universidad del Bío-Bío reportó que la demanda promedio en viviendas, sin reglamentación térmica, en Concepción, es de 154 kWh/m² al año y aquellas que cumplen con la reglamentación térmica es de 120 kWh/m² al año [71], otro reporte del Ministerio

de Vivienda y Urbanismo (MINVU), arrojó que el consumo promedio nacional de viviendas construidas antes del año 2000 es 268 kWh/m² [72], si bien, existen diferencias entre viviendas y establecimientos educacionales, en base a estos estudios se puede estimar que Chile posee una gran cantidad de edificios energéticamente ineficientes y, por lo tanto, un alto consumo energético.

Explicando un poco más lo anterior, Chile posee una regulación obligatoria solo para viviendas y edificios de uso residencial [24], esta normativa fue introducida en el año 2000 y fue mejorada el año 2007, y es conocida como normativa térmica. En la **Figura 4**, se puede observar las diferentes intensidades de uso de energía (IUE), relacionadas a la modificación de la normativa térmica chilena, a pesar de la mejora que representa la aplicación de la normativa térmica, en relación con las viviendas que se construyeron anteriormente, el IUE promedio de las viviendas del país se mantiene bastante alto si lo comparamos con los requerimientos del estándar “PassivHaus” (PH). Para otros tipos de edificios como los comerciales, educacionales e industriales no existe regulación térmica obligatoria, solamente un pequeño número de edificios han logrado ser energéticamente eficientes siguiendo iniciativas o certificaciones voluntarias como Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Certificación de Edificios Sustentable (CES) o PH, o aplicando los criterios de los Términos de Referencia Estandarizados (TDR).

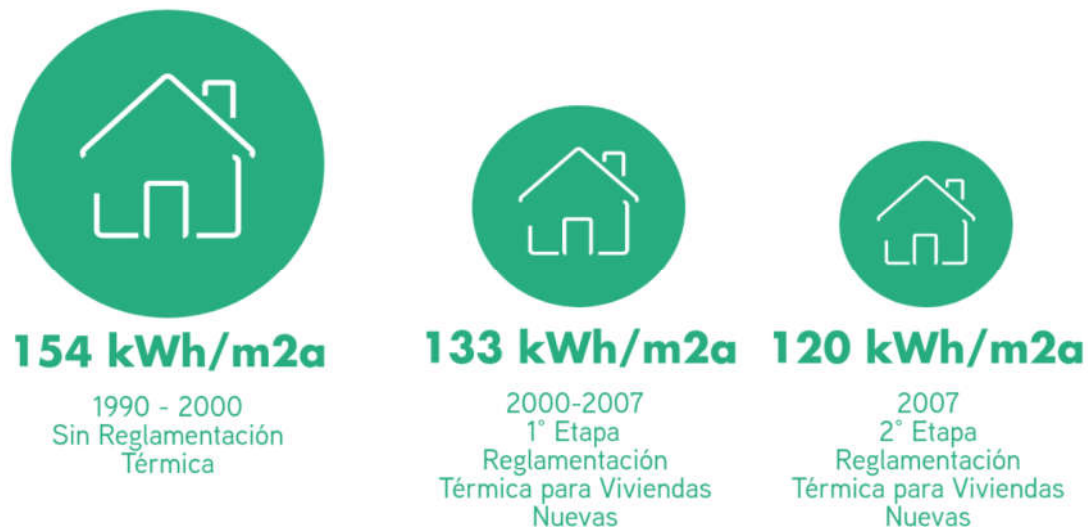


Figura 4. Desempeño energético de las viviendas en Chile. (Fuente: elaboración propia en base a datos de CITEC 2015)

2.2. Estado de las políticas y normativas en Chile relacionadas con la eficiencia energética y las energías renovables

En Chile, el desarrollo de políticas, regulaciones, estándares y estrategias relacionadas con el desempeño energético y el confort ambiental en colegios es todavía reciente y aquellas políticas en las que se han avanzado e implementado hasta ahora no siguen un enfoque holístico. Sin embargo, dentro de estas se pueden identificar

dos tipos: las primeras son las regulaciones vigentes en el país y las segundas son iniciativas voluntarias de índole público o privadas. En los párrafos siguientes, se describirán estos dos grupos principales.

En el primer grupo podemos identificar dos principales textos regulatorios que tratan el tema de la infraestructura escolar:

- **Decreto 548** [3] de 1989, Que regula los requerimientos mínimos que deben cumplir los establecimientos reconocidos como cooperadores de la función del estado. El decreto define el programa de espacios que una escuela debe tener, incluyendo la calidad de la construcción y sus terminaciones. En términos de confort, esta regulación impone un mínimo de temperatura de 12°C para salas de clase en la Zona Andina (AN), Central Interior (CI) desde el río Ñuble e Itata hacia el sur, la zona Sur Litoral (SL) junto con la Zona Sur Extremo (SE) y Sur Interior (SI) [38]. Para iluminación, requiere un mínimo de 180 lux, medidos en el plano de trabajo, y sólo 2 renovaciones de aire cuando se necesite un sistema de ventilación mecánica.
- **Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones** (OGUC) [24], regula en general algunas condiciones de impacto ambiental en la comunidad, las condiciones constructivas, la habitabilidad y la accesibilidad universal de los establecimientos educacionales. En términos de confort, la ordenanza regula la iluminación en las salas de clase a través de un cociente (ratio) específico: la relación entre muro y ventanas, esta relación debe estar entre 14 ~ 20% dependiendo de la zona geográfica. Para ventilación, la ordenanza establece una razón de apertura de ventanas en relación con el área de la sala de clase.

En el segundo grupo están una serie de iniciativas que han sido implementadas, con el objetivo de mejorar la calidad y el confort en colegios y su relación con el medio ambiente.

- **Esquema piloto para establecimientos de administración delegada del estado 2011** [30], fue llevado a cabo mediante un acuerdo entre el Ministerio de Educación (MINEDUC), el Ministerio de Energía y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, el cuál fue diseñado e implementado durante el año 2011.
- **Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educaciones 2012** (Geeduc), que contiene una serie de estrategias y guías de diseño pasivo para espacios educacionales por zona climática [30].
- **Proyecto INNOVA-CORFO** llamado “Evaluación de estrategias para diseño constructivo y estándares de calidad medio ambiental y uso eficiente de la energía en edificios públicos, a través de monitorización de edificios construidos”. Dónde se desarrolló un método de evaluación ambiental y energético y de certificación de edificios públicos [73].
- **Proyecto Banco Interamericano de Desarrollo** (BID) “Aprendiendo de las escuelas del siglo XXI”, cuyo objetivo fue analizar la relación entre infraestructura escolar y aprendizaje, con énfasis en

escuelas “verdes” (Green Schools) y el impacto del confort interior, y en donde participaron 12 países de latino América y el Caribe [49].

- **Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos (SNCAE)** [33]. Fue creado en 2003, basada en la Ley N° 19300 (Bases del Medio Ambiente), y la asociación Chilena de Municipalidades, junto con la Comisión Nacional de Medio Ambiente, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA-MOP) y el Consejo de Desarrollo Sustentable. Y cuyo objetivo es incorporar estándares de sustentabilidad en escuelas abordando tres aspectos: 1) El aspecto pedagógico-curricular, 2) La Gestión de la Escuela y 3) La relación entre la escuela y su Medio Ambiente. En general el SNCAE promueve la instalación de un sistema medio ambiental de autoadministración, que considera el marco histórico, cultural y el territorio donde la comunidad educacional está insertada. Tiene tres niveles de certificación: Básico, Medio y Excelente, este último con una duración de 4 años, y la certificación Básica y Media con una duración de 2 años. Hasta abril del 2017, existían 1249 colegios certificados, incluyendo escuelas, kindergarten, Liceos y colegios especiales, de todos ellos 482 están certificados Excelente [74].
- **Plan Estratégico de Infraestructura Escolar 2014-2018**, lanzado el año 2014, y cuyo objetivo es incorporar altos estándares de infraestructura para edificios escolares nuevos y existentes. Trabaja en 6 líneas de acción: Colegios de alta performance para la educación pública (Proyectos Sello), renovación Integral de Escuelas, Proyectos de continuidad desde K-5 a K-12, Proyectos de Mantenimiento y Equipamiento [2].
- **Términos de Referencia Estandarizados (TDR)** [25], es una iniciativa del Ministerio de Obras Públicas (MOP) en conjunto con el CITEC de la Universidad del Bío-Bío y la DECON de la Universidad Católica. El proyecto tiene como objetivo mejorar la calidad del ambiente interior (CAI) y la eficiencia energética de los edificios públicos del país, incorporando criterios de desempeño energético, estándares de eficiencia energética y confort ambiental en los proyectos de licitaciones públicas. Este estándar distingue entre 4 tipos de edificios incluyendo edificios educacionales, y propone 4 líneas generales para abordar el proyecto: 1) Diseño Arquitectónico Pasivo, 2) Ahorro Energético, 3) Confort Ambiental y 4) Ahorro de Agua. Entre los requerimientos más importantes para escuelas, se proponen: valores límite de transmitancia térmica para todos los recintos de acuerdo a la zona climática, porcentaje de contribución solar mínima para agua caliente domiciliaria, requerimientos mínimos de ventilación para recintos educacionales, frecuencia de temperatura operativa para edificios educacionales y rango de temperatura para edificios con sistemas activos, iluminancia mínima para salas de clase de 300 lux y porcentaje de Autonomía de luz día (DA) mayor que 50%, además incorpora requerimientos para deslumbramiento y desempeño cromático, entre muchos otros [25].

- En el año 2014 un sistema de certificación de edificios fue adaptado e implementado en el contexto chileno, la **“Certificación de Edificios Sustentable”** [26]. Un instrumento desarrollado por el instituto de la Construcción y el Colegio de Arquitectos. Esta certificación tiene un enfoque basado en la performance del edificio, considerando sistemas pasivos y activos en 5 importantes aspectos: 1) CAI asociado con el confort térmico, acústico, iluminación y calidad del aire; 2) Demanda y Consumo de Energía, que considera energía incorporada, Hermeticidad de la envolvente, Iluminación Artificial, Producción de Energía renovable; 4) Desperdicios (Manejo); 5) Administración (Diseño Integrado, Administración y Operación). El plan estratégico de infraestructura escolar del año 2014 requiere de forma obligatoria para todos los colegios nuevos (proyectos Sello), que se cumpla con esta certificación [2].

Chile también ha desarrollado algunas políticas de orden público, que incorporan a los establecimientos educacionales y sus comunidades, dentro de sus alcances:

- En diciembre del año 2013, La Secretaría General de Construcción Sustentable, compuesta por el Ministerio de Energía, el MOP, El MINVU y el Ministerio de Medio Ambiente, publicó la **“Estrategia Nacional de Construcción Sustentable”** [19]. Esta estrategia fija objetivos estratégicos para promover la construcción con criterios de sustentabilidad en Chile, y trabaja con 4 aspectos principales: 1) Hábitat y Bienestar; 2) Educación; 3) Innovación y Competitividad; 4) Gobernanza. En el campo de la educación, el objetivo estratégico es “Integrar criterios de construcción sustentable en la formación de nuevas generaciones”.
- La Hoja de Ruta 2050 **“Hacia una estrategia sustentable e inclusiva para Chile”** [75], propone la meta que para el año 2025 100% de los planes de educación formal incorporen contenidos transversales de desarrollo energético.
- Uno de los objetivos de la **“Contribución Nacional Tentativa de Chile para el Acuerdo Climático de Paris”** (INDC) 2015 [76], es tener ciudadanos educados sobre el desarrollo sustentable, con conciencia medio ambiental, resilientes al cambio climático y comunidades bajas en emisiones de CO₂. El Ministerio de Educación, está involucrado en incorporar estos objetivos en el currículo escolar.
- En el año 2014, El Ministerio de Energía creó el programa de **“Techos Solares Públicos”** (PTSP) [37] con el objetivo principal de hacer posible y promover la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en los edificios públicos. Hasta el año 2016, este programa ha financiado 99 proyectos, de los cuales 33 son instituciones de educación pública. Sin embargo, este programa no considera ni promueve la eficiencia energética (que podría mejorar enormemente el programa), ni tampoco el confort interior del edificio (que podría alterar el consumo energético), tampoco considera conceptos como Cero Energía o balance Cercano a Cero (Nearly Zero Energy Building).

Como se mostró en esta revisión, el panorama regulatorio de Chile es básico, además, se vislumbra una no muy buena coordinación en el nivel operativo, sin embargo, es claro que las diversas y ambiciosas iniciativas que se han desarrollado en los últimos 10 años, han tenido una cierta efectividad, sobre todo en la promoción de ERNC, no obstante, esta efectividad permanece limitada en la escala de la implementación. Ahora, si comparamos esas iniciativas con los esfuerzos hechos por países de Europa o Estados Unidos, podemos pensar que Chile, está preocupado sobre un desarrollo sustentable, energéticamente eficiente y bajo en emisiones de CO₂. Sin embargo, es necesaria una mejor coordinación, además de requerir una consolidación del panorama regulatorio para formalizar esas iniciativas y hacer que funcionen correcta e integradamente. En las Conclusiones se presentará un comentario más elaborado sobre las implicaciones y descubrimientos de esta revisión de literatura. Al mismo tiempo, se continuará evaluando la información acerca de infraestructura escolar en Chile y la evolución de las políticas y regulaciones relacionadas con eficiencia energética. Además, se proveerá un mapa de las entidades de gobierno y autoridades que son los principales mandantes en el campo del medio ambiente, infraestructura, educación, emergencia y energía (Ver **Figura 7**).

2.3. Situación de la infraestructura escolar en Chile

En esta sección se resumirá el estado de la infraestructura escolar en Chile, basado en información del Catastro Nacional de Infraestructura Escolar del año 2012.

Entre el año 2012 y 2013 el Ministerio de Educación, completó el catastro de infraestructura escolar [2]. El catastro arrojó que 5509 escuelas son administradas por entidades Municipales Chilenas, además, indicó que existen 2472,834 m² de salas de clases, 691,441 m² disponibles para bibliotecas, laboratorios y otros espacios (Ver **Figura 5**). De acuerdo con la **Figura 5**, de las 5509 escuelas en Chile un 10% se encuentra en condiciones precarias, ese 10% corresponde a colegios con más de un 40% de infraestructura calificada como “dañada” según el catastro. Esto significa que algunos de esos colegios sufren algunos problemas estructurales, o patologías de una mala envolvente o con dificultades, o simplemente sin conexión a la red de agua potable. Además, evidenció que 1146 escuelas no poseen acceso a agua potable y su provisión de agua recae en: cisternas, norias o estanques públicos, 75 escuelas tienen problemas de alcantarillado y 61 tienen severos problemas eléctricos. El catastro además mostró que la región más afectada del país es la 8^{va} Región del Bío-Bío y la Región Metropolitana de Santiago.

Cabe destacar que ninguna de las variables del catastro tomó en consideración criterios relacionados con el confort en las salas de clase o eficiencia energética, tampoco fueron considerados en el catastro sistemas de calefacción, ventilación o sistemas de aire acondicionado (HVAC) o sistemas de energía renovable. De hecho, se puede estimar que todos los colegios catastrados funcionan en modo de oscilación libre (sin sistemas auxiliares de ventilación, calefacción o aire acondicionado), además, no fue posible encontrar información pública sobre calidad del ambiente interior (CAI) en salas de clase. Sin embargo, existen algunos estudios

como Trebilcock et al. 2016 [1] y Soto et al. 2015 [67], donde se han llevado a cabo monitorizaciones y mediciones de CAI, pero su alcance está limitado solo a algunos colegios. Los descubrimientos más importantes de esos estudios hacen presumir que la mayoría de los colegios y salas de clases del país no poseen las condiciones mínimas de CAI y confort térmico. Además de esto, en el transcurso de esta revisión se descubrió que la infraestructura escolar es carente de varios criterios técnicos de confort y eficiencia energética.

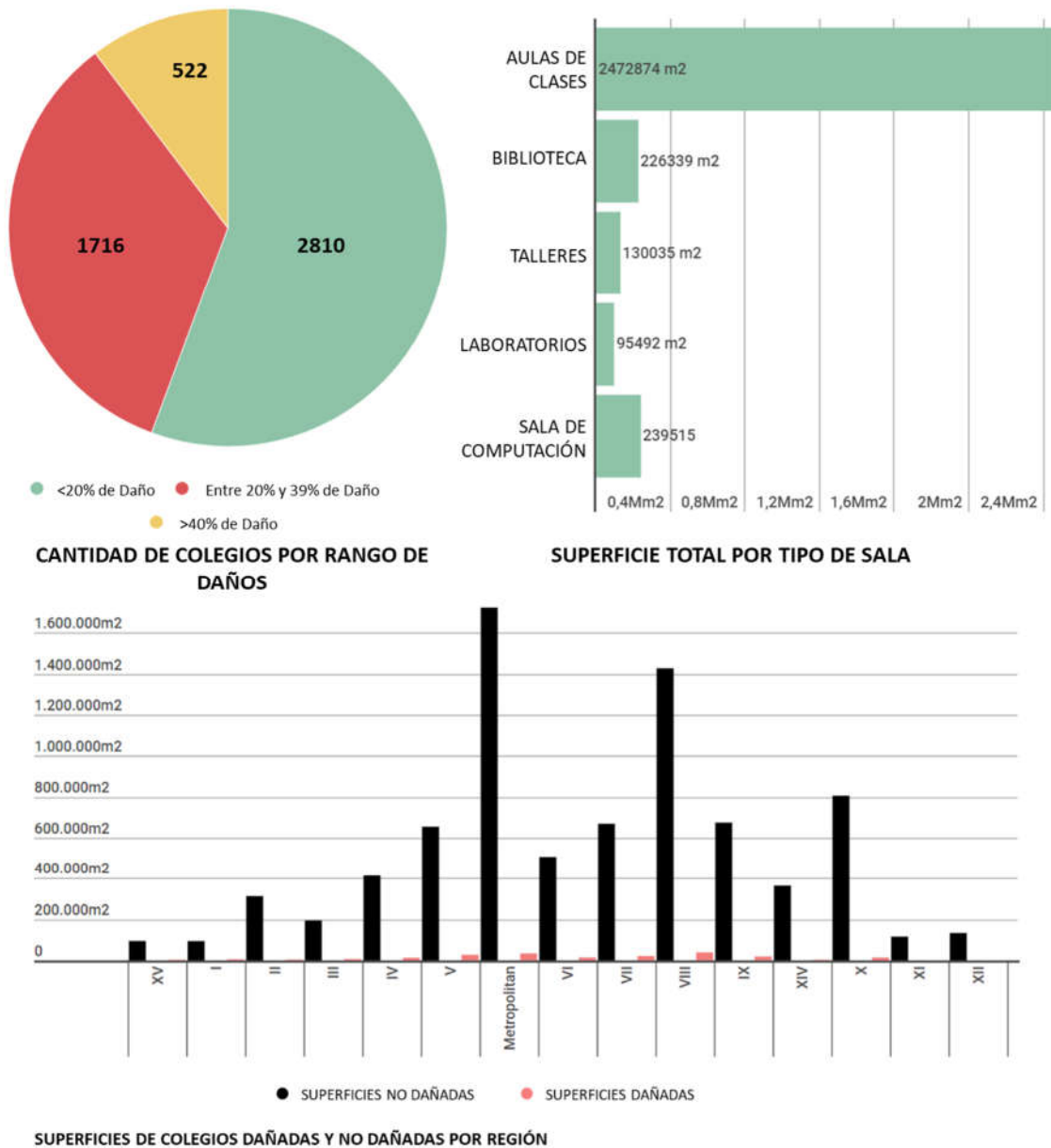


Figura 5. Datos de Infraestructura escolar (Fuente: Adaptación del catastro de infraestructura escolar MINEDUC 2014)

2.4. Historia de la eficiencia energética en Chile

En general se puede decir que Chile aún no tiene la capacidad para alcanzar sus propias metas autoimpuestas en el campo de la eficiencia energética y energías renovables aplicados a la construcción. La **Figura 6**, ilustra una serie de regulaciones, estándares e iniciativas cuyo objetivo es o fue mejorar las condiciones en el ámbito de la eficiencia energética entre los años 1989 y 2017. En base a esta figura se puede observar que la más temprana regulación que involucra colegios en Chile fue establecida el año 1989 por el Decreto 548 del Ministerio de Educación. El Decreto 548 [3] establece los criterios mínimos de temperatura y calidad de aire para colegios (Ver sección 2.2). Después de esto, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) fue modificada en el año 2000 para incluir indicaciones sobre eficiencia energética en techumbre, y luego el año 2007 con nuevas indicaciones para muros, ventanas y pisos ventilados. Con la creación del Ministerio de Energía el año 2010 se promovió la creación de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética. En el año 2010 se promovió la creación de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética. En el año 2013 se promulgó la Ley 20.571, esta ley permite la transferencia de energía desde una fuente renovable a la red eléctrica, además, permite de manera voluntaria, para edificios nuevos y antiguos incorporar fuentes de energía renovable, sin embargo, Chile no tiene una meta específica para incorporar energías renovables de forma obligatoria en edificios.



Figura 6. Evolución de las políticas y regulaciones relacionadas con la eficiencia energética y energías renovables en Chile (Fuente: Elaboración Propia en base a datos del Gobierno de Chile 2017)

En cuanto a la institucionalidad medio ambiental, se vislumbra que su estructura corporativa y regulatoria está bastante fragmentada. No obstante, es posible llevar a cabo políticas con criterios holísticos, sin embargo, la implementación de esas políticas y su aplicación permanece siendo un desafío, la **Figura 7** ilustra las principales entidades de gobierno que operan en el campo de la sustentabilidad, eficiencia energética y energías renovables.

La historia de esta institucionalidad se resume a lo siguiente. Entre el año 2000 y 2010, el medio ambiente era responsabilidad de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), una entidad bajo el mando del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia. En el año 2010, el Ministerio de Medio Ambiente fue creado, y tomó la responsabilidad por el desarrollo, promoción y control de las políticas públicas relacionadas con el hábitat y medioambiente de Chile. En paralelo, los temas energéticos estaban a cargo de la Comisión Nacional de Energía (CNE), que operaba bajo el mando del Ministerio de Minería. En el mismo año 2010, el Ministerio de Energía fue creado y su función fue desarrollar, medir y velar por todas las políticas públicas relacionadas con la eficiencia energética y energías renovables. Luego el año 2015, Chile promulgó una política integrada llamada Energía 2050 [75], dónde diferentes ministerios como el de Vivienda y Urbanismo, Medio Ambiente, Obras Públicas, Educación y Minería trabajan bajo la coordinación del Ministerio de Energía. Esta política integrada estableció metas a corto, mediano y largo plazo, y su objetivo principal es reducir el consumo energético a nivel país y promover una nueva más equilibrada y renovable matriz energética tratando de dejar de lado el carbón como fuente principal.

Si bien, estas políticas tienen un buen respaldo a nivel ministerial, se evidencia un efecto “Silo”, eso significa, que existe una gran individualización y especificidad de tareas, al momento de la aplicación, impidiendo una cooperación entre entidades públicas, e incluso entre las entidades públicas y privadas, además de un potente centralismo en el desarrollo de las mismas políticas. Evidencia de esto es la actual aplicación de los Planes de Descontaminación Ambiental (PDA) en algunas zonas del país, dónde, se puede observar algunas discrepancias entre estos y la reglamentación térmica expuesta en la OGUC [24]. Así, por ejemplo, un edificio podría cumplir con la reglamentación térmica, pero no con el PDA. O lo que sucede con el programa de Techos Solares Públicos del Ministerio de Energía, que no considera que el edificio sea participe de un plan de eficiencia energética o que posea alguna certificación o estándar como CES o TDRé. O la Certificación Ambiental de Establecimientos educacionales del Ministerio del Medio Ambiente SNCAE, que no considera criterios de confort o de calidad del ambiente interior para certificar el edificio, así un edificio puede ser “Sustentable” para SNCAE, pero tener una alta intensidad de uso de energía y un mal desempeño del CAI.

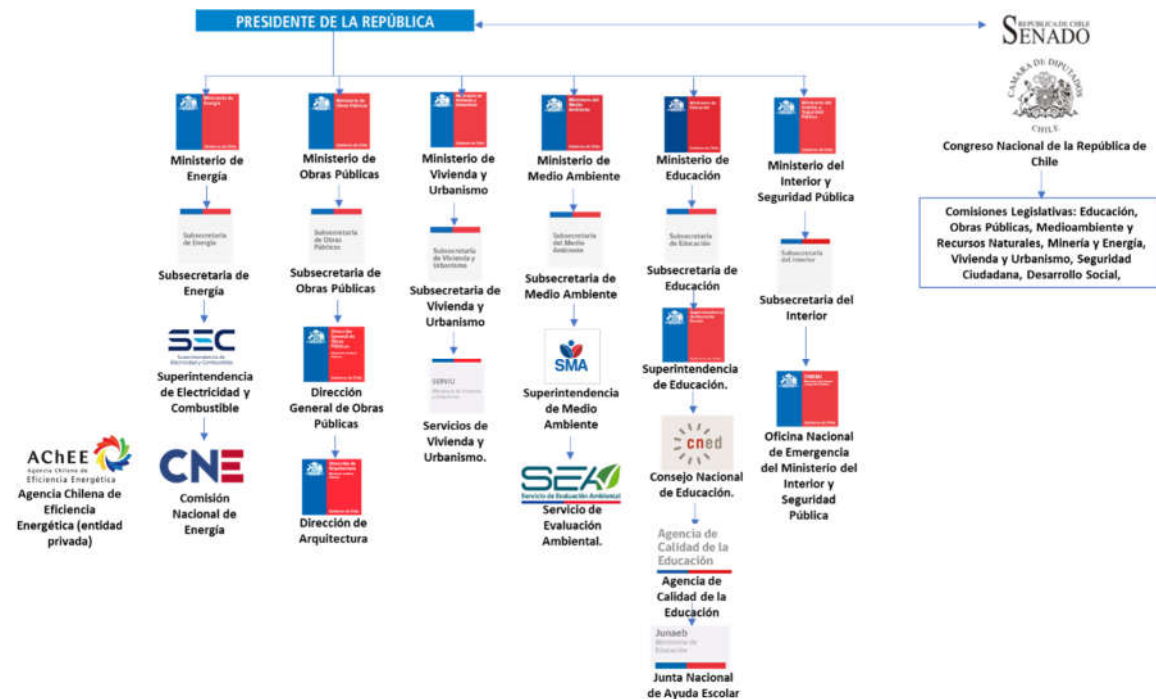


Figura 7. Organigrama de entidades chilenas que intervienen en la creación y aplicación de políticas y leyes relacionadas con: medio ambiente, infraestructura, educación, emergencia y energía. (Fuente: Elaboración Propia en base a información de la Contraloría General de República y la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile 2016)

2.5. Compromisos medioambientales de Chile

Chile, así como la mayoría de los países de la Organización para Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ha suscrito una importante cantidad de iniciativas internacionales relacionadas con el cambio climático, el más reciente es el acuerdo de París, el que fue ratificado el 10 de febrero de 2017, y cuyo principal objetivo es mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C. Dentro de las propuestas de Chile están que el país debe incrementar su capacidad adaptativa y promover la resiliencia al cambio climático, y proveer los medios financieros compatibles con el desarrollo del país. Estos esfuerzos deben llevar a un desarrollo sustentable, resiliente y bajo en emisiones de gases de efecto invernadero [28]. Dentro del marco de este acuerdo el país propone trabajar en cuatro importantes áreas para abordar el cambio climático: 1) Mitigación, 2) Adaptación, 3) Construcción de capacidades, 4) Desarrollo, transferencia tecnológica y financiamiento.

1. Para mitigación, se propone como meta incondicional, la reducción de un 30% de las emisiones de CO₂ por unidad de producto interno bruto (PIB) por año al 2030, comparado con el nivel de emisiones alcanzado el año 2000. Como meta condicional, basado en el apoyo y financiamiento internacional, se ha propuesto reducir las emisiones de CO₂ entre un 35-45%. Chile también se ha comprometido al manejo sustentable y recuperación de 100.000 ha de bosque mayormente nativo. Para lograr este

objetivo, se propone la creación e implementación de varios instrumentos, entre ellos: el Inventario Nacional de Gases de Efectos Invernadero (con actualizaciones bianuales), El plan de Acción para el Cambio Climático 2016-2021, La Agenda Nacional de Energía, La Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, y Las medidas apropiadas de mitigación (NAMAS), y la creación de un Impuesto a las emisiones de CO₂.

2. Para adaptación, Chile ha desarrollado el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático [39], que busca implementar acciones concretas para incrementar la resiliencia al cambio climático en el país, desarrollando planes específicos para cada sector productivo, además, busca integrar diferentes esfuerzos entre el gobierno y privados para lograr objetivos comunes.
3. Para construcción de capacidades, se propone tener ciudadanos educados sobre desarrollo sustentable, con conciencia medio ambiental, comunidades resilientes al cambio climático y con bajas emisiones de CO₂. Para cumplir ese propósito, en coordinación con el MINEDUC, se están introduciendo gradualmente estos temas en el currículo escolar, junto con el desarrollo de seminarios internacionales y el impulso de instrumentos de promoción de la investigación.
4. En términos de transferencia tecnológica, el país espera tener para el año 2018 una estrategia para desarrollo y transferencia tecnológica. Para el mismo año 2018, se ha programado tener un Estrategia Nacional Financiera para el cambio climático, que servirá para establecer una línea base de financiamiento a nivel nacional para enfrentar el cambio climático [76].

Estas metas, aunque parezcan ser ambiciosas para el país y su nivel de desarrollo, realmente no son tal, y están lejos de un objetivo consistente para limitar el calentamiento global. De acuerdo con un reporte realizado el año 2017 por Climate Action Tracker [36], las actuales políticas en Chile están enfocadas solamente a cumplir su objetivo incondicional. Por lo tanto, para lograr su objetivo condicional, el país necesita generar un mayor número de políticas, mucho más ambiciosas que las que se ha desarrollado hasta el momento. En consecuencia, con esto, y considerando su objetivo condicional, solo se podría lograr la meta de estabilizar el aumento de la temperatura en 2°C para el año 2050 [77]. El compromiso más fuerte de Chile en este sentido está en las energías renovables no convencionales, donde la meta para el año 2025 es lograr que 20% de la matriz energética provenga de este tipo de fuente. No obstante, incluso con un escenario con 100% de generación eléctrica libre de CO₂, podría ser insuficiente para lograr los objetivos autoimpuestos. Para esto, es necesario que cada sector productivo reduzca sus emisiones de una forma equilibrada, especialmente el sector agrícola, comercial-público-residencial, transporte y minería, los que exceden los niveles de referencia propuestos [77]. YJ Joo et al. 2015 [20] concluye, en la misma línea de pensamiento, que el país debe hacer más esfuerzos para desarrollar e implementar políticas y tecnologías relacionadas con eficiencia energética y energías renovables.

3. DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE EDIFICIOS ENERGÍA NETA CERO (NET ZERO ENERGY BUILDINGS)

Entender el concepto “Cero Energías”, es uno de los objetivos principales de esta investigación, para esto se realizó una revisión exhaustiva de las definiciones y conceptos existentes en la literatura a nivel internacional, de las cuales, las más importantes se presentarán a continuación. No solamente se analizaron los conceptos de Edificio Energía Neta Cero (NZEB), sino que, además, se exhibirán los elementos relevantes que deberían componer cualquier definición de Edificio Cero Energías.

Para contextualizar, se debe destacar que aún no existe un consenso sobre una definición común, que satisfaga a todos los actores, en el campo de la investigación, política y la práctica. Esto se debe a que, la definición de NZEB, está fuertemente influenciada por el contexto socioeconómico y político del país, como se verá en la presente sección.

3.1. Concepto Edificios Cero Energía

A pesar de que no existe un consenso sobre una definición común, si existe un entendimiento general del concepto de NZEB, como un edificio eficiente energéticamente, capaz de generar electricidad u otras energías, utilizando fuentes renovables para compensar sus demandas energéticas.

S Deng et al. 2014 [78] plantea que estas definiciones dependen de los valores y objetivos de cada proyecto, del equipo de diseño y de los mandantes.

Según Sartori et al. 2012 [6] en primer lugar se puede diferenciar entre el concepto de Edificio Cero Energía (Zero Energy Building) (ZEB) y Edificio Energía Neta Zero (Net Zero Energy Building) (NZEB), los que se definen de la siguiente manera:

Edificio Cero Energía (ZEB), en este caso se considera que es un edificio ultra eficiente y autónomo, capaz de producir el 100% de la energía que requiere para su funcionamiento, pero que no interactúa con la red eléctrica.

Edificio Energía Neta Cero (NZEB), se entiende como un edificio que está conectado a la red eléctrica, y que produce tanta energía como se requiera en el balance anual. En el caso del NZEB implica el hecho de que el balance se realizará entre la energía generada con del sistema de respaldo y la energía obtenida desde la red en un periodo de tiempo determinado, normalmente un año [6].

Torcellini et al 2006 [8], plantea, además, 4 definiciones.

Energía Neta en Sitio (Net Zero Energy Site), El edificio produce en el sitio, a lo menos la suficiente energía renovable, en el periodo de un año, como la energía que se utiliza en el sitio del edificio.

Energía Neta en la Fuente (Net Zero Energy Source), El edificio produce (o compra), por lo menos, la suficiente energía renovable como la que puede utilizar en un año. Contabilizando la energía en la fuente de producción, o energía primaria.

Costo de Energía Neta Cero (Net Zero Energy Cost), En este caso el balance se produce entre el costo de energía renovable producida por el edificio, y el costo de la energía obtenida de la red, la que debe ser a lo menos igual a cero durante el periodo de un año.

Emisiones Netas Cero (Net Zero Emissions), El edificio produce (o compra), la suficiente energía renovable libre de emisiones, para compensar las emisiones de todas las fuentes de energía utilizadas por el edificio en el periodo de un año.

Más recientemente en la investigación realizada por Attia et al 2017 [13], se hace una recopilación más exacta de 4 definiciones bien documentadas y plantea los siguientes conceptos.

Net Zero Energy Buildings (NZEB) (Edificio energía neta cero), Un edificio energía neta cero (net Zero) es un edificio ultra-eficiente que produce 100% o más de su energía requerida usando una fuente de energía en el sitio del edificio. El umbral mínimo de eficiencia energética varía entre 15-30 kWh/m² año para demanda de calefacción y climatización anual, de acuerdo con la mayoría de las definiciones de los países europeos (Attia et al. 2017) [13].

Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) (Edificio energía cercana a cero), Son edificios que producen en el sitio un 30% o más de la energía, en base a fuentes renovables, que requieren para cubrir sus demandas de calefacción o climatización (Attia et al 2017) [13].

Net Zero Site Energy (Edificio energía en sitio cero), Un edificio energía neta cero en sitio (Net Zero Site Energy) produce a lo menos, la suficiente energía como la que requiere para su uso anual, considerando solo la energía producida en el sitio del edificio. En este caso el tiempo de medición del balance es necesariamente anual (**Figura 8**).

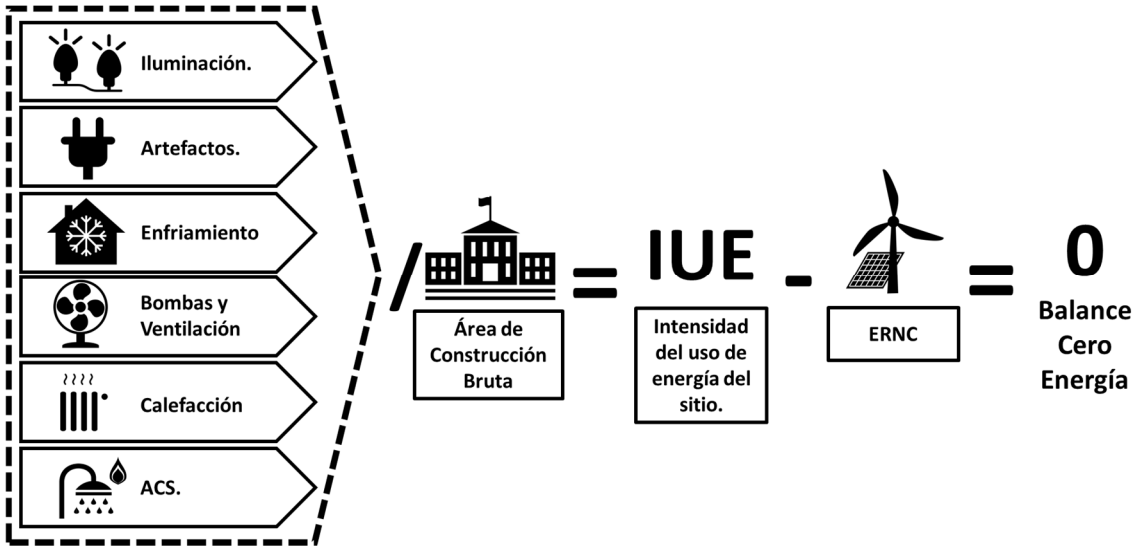


Figura 8. Medición de energía en el sitio. (Fuente: Elaboración propia adaptado de Attia et al. 2017 [13])

Net Zero Source Energy (Energía neta de la fuente cero) (Energía Primaria), Un edificio fuente de energía neta cero (Source Energy), produce por lo menos, la suficiente cantidad de energía para cubrir su consumo anual, contabilizando la energía primaria. Con energía primaria se refiere a la energía requerida para producir y entregar la energía de consumo final en el sitio del edificio. Para estimar el total de energía primaria, la energía importada y la exportada desde y hacia la red debe ser multiplicada por un factor de conversión apropiado al sitio donde se encuentra el edificio (Figura 9).

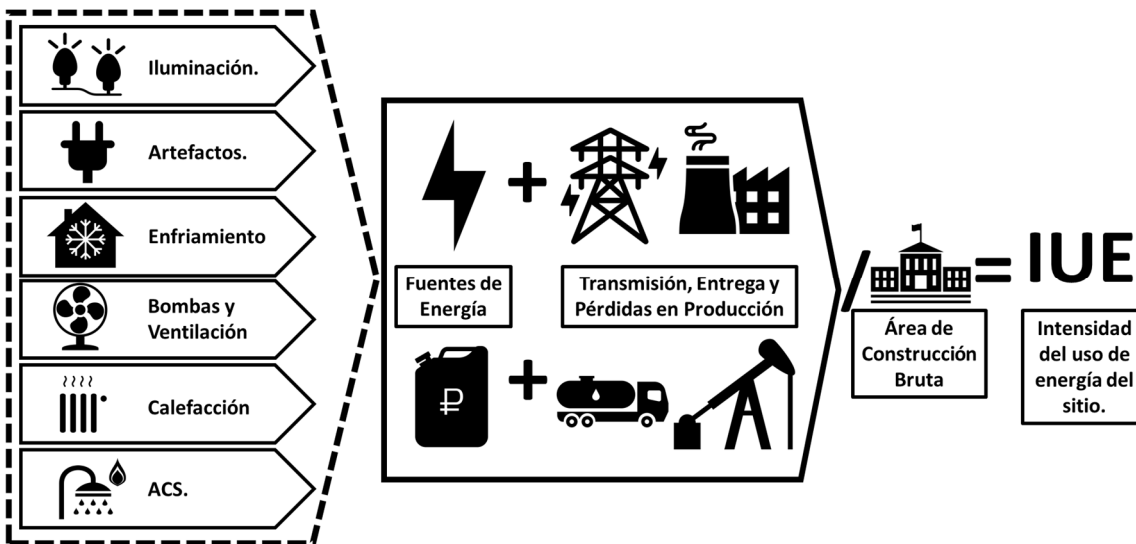


Figura 9. Ecuación gráfica para el cálculo de la energía primaria e intensidad de uso en el balance de un edificio Energía de la Fuente Cero (Net Zero Source). (Fuente: Elaboración propia adaptado de Attia et al 2017 [13])

Fuera de estas definiciones de Edificios de Energía Neta Zero, es necesario considerar también el concepto que propone el estándar “PassivHaus” (PH), el que plantea criterios de desempeño para colegios de forma específica.

Estándar “PassivHaus” para Colegios (PassivHaus for Schools), El enfoque del estándar “PassivHaus” (PH) es “reducir de forma dramática los requerimientos para calefacción y climatización de los espacios” [79]. Los requisitos para lograr el estándar PH para colegios son [80]:

- 1) Cada escuela debe tener controles de ventilación que cumplan los criterios para una calidad del ambiente interior (CAI) aceptable.
- 2) Las renovaciones de aire del sistema de ventilación del colegio deben estar basados en la salud y en los objetivos educacionales (valores límites de CO₂ entre 1200 y 1500 ppm, y flujos de aire entre 15 a 20 m³/persona/hora).
- 3) El sistema de ventilación en las escuelas debe operar periódicamente o de acuerdo con la demanda (Control por tiempo).
- 4) Un colegio estándar “PassivHaus” (PHS) debe ser diseñado para además de usar una calefacción a través del sistema de ventilación, permitir la posibilidad de calentar las salas de clases y llevarla a un nivel confortable durante la primera fase de renovación de aire durante la mañana.
- 5) La envolvente del edificio y el sistema de recuperación de calor deben ser diseñados para que la demanda anual de calefacción y refrigeración, calculado con la herramienta PHPP (PassivHaus Planning Package) sea menor o igual a 15 kWh/m² año.
- 6) El valor U de las ventanas debe ser menor o igual a 0,85 W/m²K, es recomendable incluir soluciones para los posibles puentes térmicos que se puedan producir en las ventanas.
- 7) La envolvente del edificio debe ser construida de forma hermética (se requiere $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$ y se recomienda $< 0,3 \text{ h}^{-1}$)
- 8) La demanda de energía primaria anual para toda la provisión de energía no renovable en la escuela debe ser menor o igual a 120 kWh/m²a.
- 9) Para asegurar el confort ambiental en verano, la frecuencia de temperatura sobre 25°C debe estar limitada a menos de un 10% de las horas de uso.
- 10) La capacidad de calefacción efectiva total por área específica de los espacios debe ser $> 150 \text{ wH/m}^2\text{L}$ (540kJ/m²K).

Basado en la revisión de literatura (Ver **Tabla 1**), se pudo observar que la mayoría de las definiciones encontradas están relacionadas con países de Europa o Norte América. La mayor cantidad de definiciones fueron encontradas en documentos científicos provenientes o situados en el contexto europeo. Sin embargo,

esas definiciones son altamente dependientes de su contexto y clima, lo que hace difícil aplicarlas directamente al contexto del estudio. También se pudo observar que la mayoría de las definiciones expuestas en la **Tabla 1**, son demasiado teóricas y genéricas. Esto puede ser entendido por lo nuevo del concepto y por la poca cantidad de investigaciones que se han realizado orientadas a establecer definiciones para NZEB. Revisando las diferentes definiciones y metas en países europeos, es posible darse cuenta de que el objetivo de un balance Energía Neta Cero (Net Zero) está en una etapa temprana de desarrollo y en este momento representa un gran desafío para muchos países de Europa. Sin embargo, es fundamental y urgente elaborar y desarrollar una definición específica para Colegios Energía Neta Cero (Net Zero Energy School) basada en parámetros universales, así como parámetros nacionales.

En paralelo, no fue posible encontrar ninguna meta u objetivo de eficiencia energética (EE) o de alto desempeño en las normativas para colegios en Chile, los TDR e la certificación CES plantean requisitos mínimos de eficiencia para edificios educacionales, sin embargo, no son obligatorios. De la revisión de literatura no se pudo identificar ningún trabajo publicado o definición específica para Colegios Energía Neta Cero (NZES). Tampoco fue posible encontrar una definición de Edificio Energía Neta Cero (NZEB), Energía Cero (ZEB) o Cercano a Cero (nZEB) para ningún tipo de edificio en Chile. Esto significa que, si bien es posible utilizar algunas definiciones provenientes de Europa, es necesario complementar y contextualizar estas definiciones para Chile. También fue posible observar que Europa en general está más avanzada en cuanto los colegios de alto desempeño. Esto es debido a que en Europa el Recast of Energy Performance of the Building Directive (EPBD), estableció que todas las construcciones de nuevos edificios deben lograr un desempeño Cercano a Cero (nZEB) para el año 2020. Todos los países miembros de la Unión Europea (UE) deben cumplir con varios objetivos: Para el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben ser nZEB y después del 31 de diciembre de 2018, todos los nuevos edificios de la administración pública deben ser nZEB. Los estados miembros deben desarrollar políticas y tomar medidas como las de fijar objetivos para estimular la transformación de edificios remodelándolos a nZEB. También, ellos deben incluir en sus códigos de construcción las medidas apropiadas para incrementar el uso de todo tipo de energía renovable. Desde 2014, los miembros de la UE deben incluir el uso de niveles mínimos de energías de fuentes renovables en nuevos edificios. Ellos deben fijar, además, un estándar mínimo de desempeño energético, que les permita acercarse a la neutralidad energética. De acuerdo con un reporte de Ecofys el año 2013, sobre el estado del arte de las definiciones y la implementación de este objetivo en Europa, se verificó que en ese momento existían alrededor de 75 definiciones en varios países miembros de la UE [11]. De acuerdo con una investigación más actual, S Attia et al 2016 [13] solo Grecia, Portugal, Rumania y España no han desarrollado ninguna política o establecido alguna medida para fomentar la construcción de edificios NZEB. En este sentido, las políticas que más se han desarrollado e implementado han tenido que ver con el soporte financiero, seguidas por la creación de conciencia y el levantamiento de información y la creación e implementación de certificaciones energéticas [11].

Los Estados Unidos de Norte América, en cambio han establecido una meta para el año 2030 donde todos los nuevos edificios públicos y comerciales deben lograr un desempeño energético con un Balance Neto Cero (Net Zero). El estado de California ha ajustado sus códigos de construcción para incluir el objetivo Balance Neto Cero (Net Zero) en viviendas para el año 2020 y para edificios públicos y comerciales para el año 2030.

En el Capítulo 4, se profundizará en la construcción de una definición de Colegios Energía Neta Cero (NZES), para Chile, también se analizará un enfoque Low-Tech, para la misma definición. Sin embargo, antes de comenzar a construir esa definición es necesario conocer cuáles son los criterios esenciales en una definición, junto con estrategias para su implementación, lo se estudiará en las secciones siguientes.

3.2. Principales componentes del concepto de Edificio Energía Neta Cero

Para poder comprender de mejor manera los alcances del concepto de NZEB, es necesario describir los elementos fundamentales que componen un sistema NZEB.

En este sentido la investigación conducida por I. Sartori et al. 2012 [6] define 5 componentes esenciales de toda definición: a) Límite del sistema, b) Sistema de Ponderación, c) Balance Neto Cero, d) Coincidencia temporal de energía, e) Medición y verificación. En base a lo expuesto por Sartori, estos componentes serán examinados con más detalle a continuación:

3.2.1. Límite del sistema.

Considerando que el edificio es un sistema, es necesario, definir en primer cuál será su límite. Principalmente se pueden identificar dos tipos de límites: el límite físico y el límite del balance.

- **Límite físico:** El límite puede ser físico cuando, por ejemplo, se define si el balance se realizará en un edificio o en un grupo de edificios. O si la fuente o fuentes de energía renovable está dentro o fuera del sitio (on-site/off-site) como se puede observar en la **Figura 10**. En otras palabras, el límite físico define el perímetro dentro del cual se considerarán que los elementos a analizar son parte del sistema.
- **Límite del balance:** El límite también puede estar en el balance, es decir, considerar el tipo de cargas que se considerarán en el balance cero del edificio. Usualmente se consideran las siguientes energías dentro del balance: calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria, iluminación fija y cargas conectadas. Pero esto no es excluyente a que se puedan incorporar otras energías, como, por ejemplo: la energía contenida, emisiones en materiales y consumos. Para estos es necesario considerar otro periodo de balance lo que se explicara en el punto 3.2.3 de esta sección. Algunas investigaciones realizadas respecto de incluir estas energías dentro del límite del edificio son: S. Attia 2016 [81], P Chastas et al 2016 [82], B Berggren et al 2013 [83].

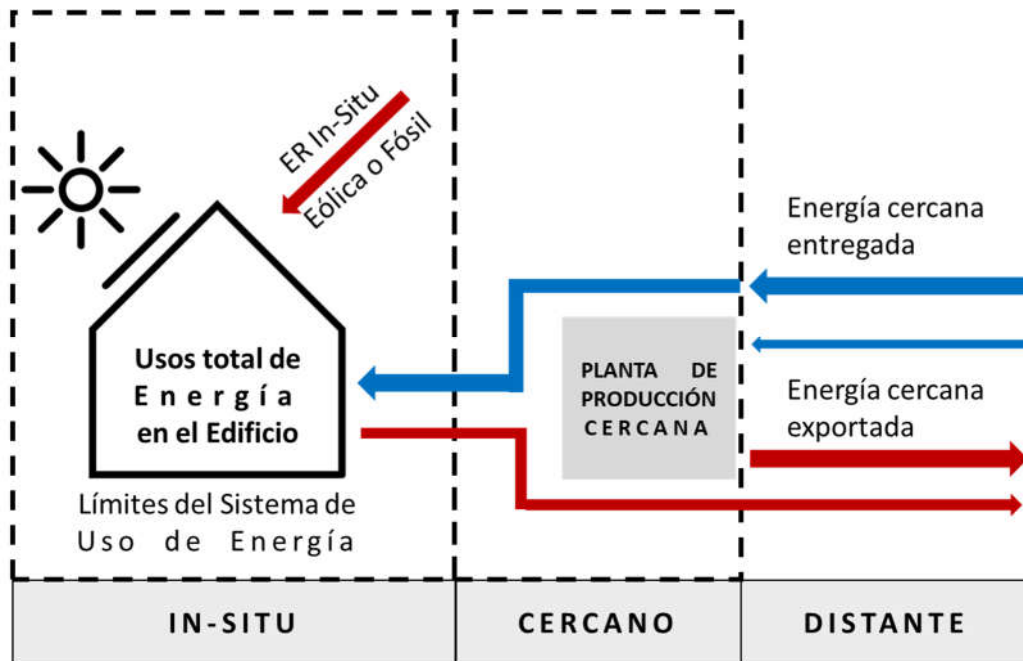


Figura 10. Ilustración de los posibles límites de generación/exportación de energía en un Edificio Energía Neta Cero (NZEB). (Fuente: Elaboración propia adaptado de J Kurnitski 2013 [84])

3.2.2. Sistema de Ponderación

Un sistema de ponderación permite convertir las unidades físicas o de energía en otro tipo de unidad uniforme, como, por ejemplo, se puede transformar la cantidad de energía utilizada (o emisiones liberadas) para generar y transportar energía, en energía final. Esta ponderación habilita a el balance para poder evaluar e incluir toda la cadena energética, y llevarlo a un solo tipo de indicador. Además, es factible considerar el efecto “cambio de combustible”, al definir los factores de ponderación. Por ejemplo, puede existir más de una fuente de producción de energía dentro del límite del edificio, o también se puede considerar la energía de red eléctrica (fuera del límite), otra alternativa muy común, es que la matriz energética tenga distinta ponderación dependiendo del tipo de energía primaria que se utilice (fotovoltaica, carbón, petróleo, etc.), además se puede agregar el factor distancia desde la fuente al sitio. El sistema de ponderación puede también considerar el costo de producción de energía, en las distintas estaciones del año, por ejemplo, distinto valor para verano e invierno. El factor de ponderación debería ser fijado por la autoridad nacional, considerando también, políticas públicas, o que tengan relación con el cambio climático, por ejemplo, penalizando las fuentes de energías más contaminantes.

Al implementar un sistema de ponderación es necesario considerar 3 aspectos importantes: Los factores de ponderación, la simetría, y la dependencia del tiempo.

Tabla 2. Factores de conversión de energía en EE. UU y Canadá. (Fuente: *Portfolio Manager Technical reference [85]*)

| Tipo de Energía | Factor EE. UU | Factor Canadiense |
|--|---------------|-------------------|
| Electricidad (Obtenida de la Red) | 3,14 | 2,05 |
| Electricidad (Solar o Eolica, instalación en el sitio) | 3,14 | 2,05 |
| Gas Natural | 1,05 | 1,02 |
| Combustible Fósil (1,2,4,5,6, Diesel, Kerosene) | 1,01 | 1,01 |
| Propano y Propano Líquido | 1,01 | 1,03 |
| Vapor | 1,20 | 1,20 |
| Agua Caliente | 1,20 | 1,20 |
| Agua Fria | 1,00 | 0,71 |
| Madera | 1,00 | 1,00 |
| Carbón de Piedra/ Coke | 1,00 | 1,00 |
| Otro | 1,00 | 1,00 |

- Factores de Ponderación:** Según Torcellini et al 2006 [8] existen 4 tipos de indicadores principales: energía en el sitio, energía en la fuente o primaria, costo de la energía y emisiones de CO₂. Sin embargo, se puede ponderar, además, la proporción de energía primaria no renovable, la cantidad de créditos ambientales, y otros de carácter político o estratégico. El factor de ponderación debe considerar el valor relativo de las fuentes de energía y, por lo tanto, favorecerá las fuentes de energías más seguras o estables y determinará la capacidad de generación de energía. En la **Tabla 2** se puede apreciar los factores de conversión de energía para Estados Unidos y Canada [85], estos se usan para transformar la energía al realizar el cálculo del balance.
- Simetría:** Cuando los tipos de energía fluyen en ambos sentidos, desde el sitio del edificio a la red y de la red al sitio del edificio, se pueden ponderar simétricamente usando el mismo factor de ponderación tanto para la energía importada, como para la exportada. Esto considerando que la energía entregada a la red tiene un valor de reemplazo, ya que se está evitando una generación equivalente a un consumo similar en otro punto de la red. Sin embargo, es factible ponderar asimétricamente, usando diferentes factores, esto considerando que la energía importada y exportada no tienen el mismo valor, por lo que, necesariamente deben ser ponderadas de forma distinta.
- Dependencia del tiempo:** En la mayoría de los países la infraestructura energética es compleja, por lo que, es mucho más factible estimar los factores de ponderación solo como un promedio de valores en un periodo de tiempo determinado. Este tipo de ponderación estática es mucho más sencilla, y se aplica típicamente a la energía primaria y a las emisiones de CO₂. Sin embargo, también es factible variar los factores a través del tiempo y el espacio. Por ejemplo, la calefacción distrital puede ser

evaluada en una zona determinada, y la electricidad de una forma más global, a nivel país o en una zona más extensa.

3.2.3. Balance Neto Cero.

Es una condición que se satisface cuando el suministro ponderado iguala o excede la demanda ponderada, en un periodo de tiempo, normalmente un año (importación v/s exportación). Sin embargo, el balance neto cero puede ser determinado por el balance entre la energía entregada y la energía generada (carga/generación). Una tercera opción es posible utilizando los valores mensuales de carga/generación (balance mensual de la red). Por ejemplo, un edificio que tiene una demanda anual de energía de la red de: 87.921 kWh de electricidad (equivalente a 300.000 kBTU), 49 pies cúbicos de gas (equivalente a 50.000 kBTU) y 40.000 kBTU de agua fría y una producción anual de energía exportada a la red proveniente de paneles fotovoltaicos de 102.574 kWh (equivalente a 350.000 kBTU), usando los factores de conversión para EE. UU el resultado del balance de importación/exportación sería el siguiente pensando en energía de la fuente o primaria [86]:

$$E_{fuente} = (300.000 \times 3,14 + 50.000 \times 1,05 + 40.000 \times 1) - (350.000 \times 3,14)$$

$$E_{fuente} = -64.500$$

$$E_{fuente} \leq 0, = \text{Edificio Energía Neta Cero (NZEB)}$$

Para definir el Balance Neto Cero, se deben considerar 3 aspectos: Periodo de tiempo del balance, Tipo de Balance, Eficiencia Energética y Provisión de Energía.

- **Periodo de tiempo del balance:** En general un balance anual es adecuado para cubrir todos los ajustes de operación del edificio. Un periodo de tiempo más corto puede ser más demandante, en términos de la medición energética, y la determinación de los equipos de respaldo, sobre todo en una etapa crítica como invierno. Por otra parte, un periodo de tiempo más largo, como por ejemplo una década, puede ser útil para lograr el balance neto durante el ciclo de vida del edificio.
- **Tipo de Balance:** La gran parte de las definiciones de Edificio Neto Cero, consideran el balance entre demanda ponderada y suministro ponderado (importación v/s exportación). Sin embargo, otro tipo de balance como el de consumo/generación (carga/generación), que implica que se busca la neutralidad entre lo que consume el edificio y lo que produce, puede ser útil para la monitorización del edificio, ya que son datos más simples de obtener y dependen del edificio. También en la etapa de diseño se puede utilizar el balance de carga/generación, para determinar la capacidad de autoconsumo de energía generada en sitio del edificio.

- **Eficiencia Energética:** Para todos los tipos de balance y definiciones de Edificio Neto Cero, se deben exigir requerimientos de eficiencia energética, los que pueden ser prescriptivos, de desempeño o una combinación de ambos. Estos requisitos pueden ser obtenidos sobre consideraciones básicas de costo/eficiencia o solamente considerando una reducción de la demanda (por ejemplo, un 50%), comparado a un edificio de referencia de la misma categoría.
- **Provisión de Energía:** Necesariamente una definición de Edificio Energía Neta Cero debe tener una cuota de energía renovable no convencional (ERNC). Idealmente después de aplicar las medidas de eficiencia energética, el edificio debe producir la cuota de energía necesaria para lograr el balance cero o por lo menos una cuota (balance cercano a cero). Alternativamente las opciones de provisión de energía pueden ser categorizadas de distintas formas y la definición de NZEB puede ser una forma de jerarquizar estas opciones de energía renovable. La priorización puede estar dada por: energía libre de emisiones, disponibilidad durante la vida útil del edificio, escalabilidad, generación en sitio o fuera de sitio.

D Koloska et al. 2011 [87] considera que, para lograr el balance energético cero, se necesita primeramente reducir la demanda de calefacción, refrigeración y la energía eléctrica (Ver **Figura 11**), luego, la demanda que se genera después de reducir estas cargas debe ser suplida con alguna fuente de energía renovable, en un periodo de tiempo anual.,

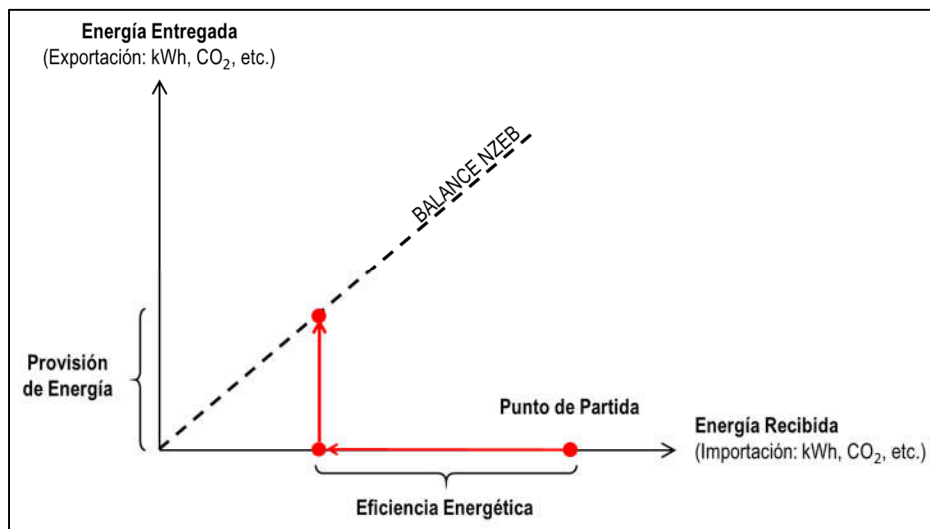


Figura 11. Esquema del balance según D Koloska. (Fuente: Adaptación de Koloska et al. 2011)

Es importante destacar que el balance energético y la neutralidad energética representan el núcleo del concepto Energía Neta Cero (NZEB) [7] [6], sin embargo, esto no se puede lograr sin garantizar las condiciones de confort óptimas.

3.2.4. Coincidencia temporal de energía:

Una característica importante de los edificios cero energías (NZEB), es su capacidad de hacer coincidir las cargas y trabajar de forma colaborativa con respecto a las necesidades de la infraestructura de la red local. Indicadores adecuados pueden ser usados para expresar la coincidencia entre las cargas del edificio y su generación de energía, concurrencia del tipo de cargas, y coincidencias de importación/exportación de energías en el tiempo, con respecto a las necesidades de la red.

- **Coincidencia de Cargas:** Las coincidencias en el tiempo entre el consumo y generación para un determinado tipo de energía, provee una primera perspectiva de la habilidad del edificio para trabajar en sinergia con la red. Cuando existe una pobre relación entre consumo y generación, el edificio deberá confiar mucho más en la red. Por ejemplo, para el caso del consumo de una calefacción eléctrica y la generación de electricidad con paneles fotovoltaicos, el mayor consumo se dará en invierno, y la principal generación ganancias solares en verano, por lo tanto, el consumo/generación será poco coincidente, haciendo menos sustentable el edificio. Pero si el consumo y la generación son más coincidentes en el tiempo, el edificio tendrá muchas probabilidades de ser un edificio autónomo.
- **Interacción con la red:** Para evaluar la interacción de un edificio Cero Energías y su compatibilidad con la red es necesario conocer, por lo menos, cuál es el perfil de importación/exportación desde el edificio, este perfil está dado por la coincidencia de cargas de consumo/generación, la tipología del edificio y su intensidad y régimen de uso. También es necesario conocer la composición y las necesidades de la red. La interacción con la red puede ser proyectada en base a los datos de simulación o en base a la medición de las cantidades de energía exportadas e importadas.

3.2.5. Monitorización y verificación

Establecer la performance mínima de un edificio a nivel normativo, necesariamente conllevará el desarrollo de un sistema de evaluación o una metodología para la verificación de la performance energética de los edificios.

Una certificación y /o calificación del nivel de desempeño en la etapa de diseño y/o en la etapa de uso, permitiría la verificación necesaria para comprobar la efectividad y fortaleza de las soluciones de diseño aplicadas, y el real cumplimiento de la meta de desempeño energético.

El proceso de medición y verificación depende estrictamente de las opciones seleccionadas para cada criterio de la definición establecida, y de las características del edificio en evaluación. Como requisito mínimo un protocolo de medición y verificación para un edificio cero energías (NZEB), debería permitir la evaluación del balance energético y las cantidades de energías que se importan o exportan, ya que este es el núcleo del concepto cero energías, junto con la calidad del ambiente interior. Eventualmente el proceso de medición,

verificación y/o certificación podría apuntar a evaluar las características de coincidencia temporal con la red o el índice de interacción con esta.

Además, un nivel de confort adecuado debería ser obligatorio en los edificios, por lo que, un protocolo de medición y verificación debería comprobar y asegurar que se cumpla el nivel mínimo de calidad del ambiente interior (CAI), establecida por la definición de Edificio Cero Energías escogida. Esto puede incrementar la complejidad del proceso de verificación debido al aumento en la cantidad de sensores que probablemente se requerirán en varias ubicaciones del edificio y la gran cantidad de datos a procesar. Sin embargo, garantizar el confort interior es siempre, la primera prioridad en el diseño de un edificio cero energías, y se debe evitar que un edificio con una pobre calidad del ambiente interior sea considerado como un edificio Cero Energías (NZEB). Por lo tanto, el concepto de Edificio Cero Energías, no puede estar completo sin una clarificación del proceso de medición y verificación en términos de factibilidad y abordabilidad.

3.2.6. Criterios de una definición de edificio cero energías (NZEB)

En la presente sección se muestra una síntesis de los conceptos expuestos anteriormente basados en la clasificación que realizó I Sartori et al 2012 [6]. Cada criterio expuesto tiene sub-criterios, estos a la vez plantean preguntas esenciales que permiten clarificar el propósito de una definición de Edificio Cero Energías. Sin embargo, como se explicó en la sección anterior, no es necesario, que una definición cumpla con todos los criterios acá identificados.

Una definición específica dependerá en primer lugar de la escala a la que se está abordando el problema, así una visión gubernamental por ejemplo, puede fijar los criterios de confort mínimos para cada tipología de edificios, algunas cargas específicas a considerar dentro del balance, el factor de ponderación de las distintas energías, un porcentaje de generación de energía renovable y/o la obligatoriedad de monitorizar, pero del equipo de diseño dependerá, si desean llegar a un balance económico cero, o la compatibilidad de consumo/generación, o incluso tratar de llegar a un balance de emisiones cero. Es así, como la **Tabla 3**, puede ser de utilidad tanto, para generar una definición a nivel normativo, como para equipos de diseño que se planteen abordar un proyecto cero energías.

En la **Tabla 3**, se pueden observar los principales criterios que conforman una definición de un edificio Cero Energías y sus criterios de evaluación basados en la clasificación de I Sartori et al 2012 [6].

Tabla 3. Criterios a considerar en una definición de Edificio Energía Neta Cero (NZEB). (Fuente: Elaboración Propia según definición de I Sartori et al 2012 [6])

| CRITERIOS A EVALUAR | | |
|---|---|--|
| 1. Límite del sistema edificio | Límite del Sistema | |
| | 1.1 El sistema comprende un solo edificio o un grupo de edificios? Qué tipo de energía fluye en ambos sentidos, hacia la red y desde la red (electricidad, calefacción, etc). | |
| | Funcionalidad y Efectividad | |
| | 1.2 Qué tipo de edificio es? (habitacional, educacional, oficina, etc) Cuál es la relación energía/usuario? Cuál es la intensidad de uso en términos de personas/m2? (densidad) | |
| | Clima y Confort | |
| | 1.3 Cuál es el clima de referencia? Qué estándar de confort se han seguido para calcular las cargas? | |
| | 2. Sistema de ponderación | Indicadores |
| 2.1 Que indicador se usará? Energía final (o del sitio) Energía de la fuente (primaria) Costo de la energía Emisiones | | |
| Medición de los Indicadores | | |
| 2.2 Cuál será el factor de ponderación? | | |
| 3. Balance NZEB | Elementos del Balance | |
| | 3.1 Qué cargas se incluirán en el balance? calefacción refrigeración ventilación energía auxiliar agua caliente sanitaria Iluminación Cocina Existen otros servicios energéticos que tengan un impacto positivo en el ambiente? tratamiento y recuperación de aguas lluvias carga de vehículos eléctricos Se considerará la energía contenida en los materiales e instalaciones ? Se considerará un análisis de ciclo de vida completo, incluido construcción, demolición, tratamiento de los desperdicios y opciones de reciclaje? | |
| | Periodo del balance | |
| | 3.2 Cuál será el periodo base para calcular el balance? meses estación (otoño, invierno, etc) un año 30 a 50 años | |
| | Eficiencia Energética | |
| | 3.3 Existe alguna reglamentación con requerimientos mínimos de eficiencia energética? Normativas Nacional Normativas Internacionales comportamiento costo energético comparativo con un caso base | |
| | Provisión de Energía | |
| | 3.4 Existe una jerarquía en las opciones de suministro de energía? La cogeneración de energía con combustibles fósiles será ponderada en el balance? Es factible comprar energía "verde" o invertir en fondos o proyectos "verdes" ? | |
| | 4. Características de coincidencia de energía temporal | 4.1 Cuáles son los indicadores que permitirán evaluar el impacto del intercambio de energía entre el edificio y la red? |
| | 5. Monitorización y Verificación | 5.1 Es suficiente el diseño y la simulación para chequear la efectividad del balance? Es necesario la monitorización para chequear el balance? La monitorización debe considerar que se cumplan las condiciones de confort, para no llevar a un concepto errado de NZEB |

4. CONFORT Y RESILIENCIA EN COLEGIOS CERO ENERGÍAS

4.1. Influencia de los modelos de confort en colegios cero energías

Chile tiene estudios interesantes sobre confort en colegios, incluyendo varios análisis de colegios en la Región Metropolitana de Santiago [1]. También existen estudios que analizan el desempeño del ambiente interior en colegios de la Zona Andina en el Sur del país [50]. Otro estudio investigó el desempeño de 15 colegios en diferentes áreas geográficas de Chile [67]. Estos estudios muestran que en general el mayor problema de los colegios chilenos es la pobreza energética, la cual está directamente relacionada con la situación socioeconómica de los niños y sus familias. Estos estudios también proponen una serie de estrategias para mejorar las condiciones de confort interior, pero no consideran variables como el consumo o la evaluación de indicadores de eficiencia energética, incluso cuando, la implementación de las estrategias sugeridas en estas investigaciones implica intrínsecamente medidas de conservación y aprovechamiento energético. En este sentido, es indudable pensar que un gran número de colegios públicos en Chile sufren de serios problemas de confort. Esto es confirmado por el estudio realizado por Trebilcock et al. 2016 [1], donde se encontró que las temperaturas en invierno al interior de las salas de clase bajaban hasta 8°C mientras que la temperatura media en la sala de clase se calculó en 14,1°C. La razón de este desconfort está relacionada a una muy mala calidad constructiva, junto a que los estándares y normativas no reconocen la necesidad de una buena CAI y un adecuado nivel de confort al interior de las salas de clase. Otro ejemplo es observado en el estudio realizado por Soto et al. 2015 [67], donde se encontró que existe una correlación entre la adaptabilidad a condiciones precarias de confort ambiental al interior de las aulas y el índice de vulnerabilidad social al que pertenecían los alumnos. Como se mencionó anteriormente en la sección 2.2 del Capítulo 2, relacionada con políticas y normativas, el Decreto 548 tolera temperaturas interiores en salas de clase de hasta 12°C [3], sin embargo, como se mostró en el estudio de M Trebilcock et al 2016 [1], existen colegios con niveles de temperatura aún más bajos en invierno.

De acuerdo con los estudios revisados, se evidencia la importancia de considerar la influencia de los modelos de confort y su impacto en las medidas de eficiencia energética y el objetivo de alcanzar el Balance Neto Cero (Net Zero). Por ejemplo, en la investigación realizada por S Attia et al. 2015 [53] se abordó la influencia de los diferentes modelos de confort en el balance energético de edificios NZEB, este estudio comparó modelos como Fanger, Givoni, y modelos adaptativos como ASHRAE 55 y EN 1525, dentro de sus conclusiones descubrió que con el modelo de Fanger se puede alcanzar una adecuada temperatura de confort interior (considerando temperatura operativa) con un rango de temperaturas estrecho, mientras que con los modelos de Givoni la temperatura de confort adecuada se puede lograr con un rango de temperaturas más amplio. El mismo estudio también observó, que en general, la aplicación de los modelos adaptativos permite un más amplio rango de temperaturas de confort que el modelo de Fanger. En conclusión, es posible en algunas situaciones (dependientes de la temporada y el tipo de edificio) mantener las condiciones interiores dentro de los rangos

de confort adaptativo, solamente por medios naturales. El estudio también encontró que usando modelos de confort adaptativo es posible lograr ahorros de entre 10 a 18%, en comparación con el modelo de Fanger, en cuanto al consumo de climatización. Por lo tanto, es necesario tomar en consideración la influencia de aplicar un determinado modelo de confort, cuando se plantea alcanzar un balance Neto Cero. Esto toma mayor relevancia aún, cuando se considera que los alumnos son más sensibles al calor y en general prefieren medio ambientes más fríos, esto se comprueba no solo a nivel nacional, sino mundial, según descubrió el estudio realizado por Zomorodian et al. 2016 [51] quién hizo una revisión de estudios los de confort más relevantes en establecimientos educacionales a nivel internacional. En la misma línea, estudios de campo en Chile han explorado los modelos de Fanger y adaptativos de ASHRAE 55 para analizar las temperaturas de confort en las salas de clase. Por ejemplo, el estudio realizado por Soto et al. 2015 [67] aplicó el modelo de Fanger, y concluyó que las temperaturas recomendadas para las salas de clase deben mantenerse entre 18 y 21°. En cambio, el estudio realizado por Trebilcock et al 2016 [1], concluyó que la temperatura media derivada de la encuesta de sensación térmica estuvo entre 14,7°C – 15,6°C en invierno y 22,5-23,1°C en primavera. En este sentido, es recomendable para Chile adoptar un modelo de confort adaptativo, debido a la pobreza energética presente en el país, y al factor de ausencia de buenos estándares de confort en escuelas y viviendas.

Basados en la literatura revisada es posible establecer la temperatura de confort siguiendo la recomendación del estudio realizado por Trebilcock et al. 2014 [42], que estima que es posible fijar rangos de temperatura unos 3 – 4°C más bajos que los resultados que se pueden obtener con la fórmula de Humphrey.

4.2. Rol de la infraestructura escolar en la construcción de resiliencia en Chile

Otro factor que es necesario tomar en cuenta, es que Chile es muy susceptible a ser afectado por catástrofes. En los últimos siete años Chile ha sufrido 3 terremotos sobre 8° Richter, 7 aluviones, 5 inundaciones producto de crecidas de ríos, 12 inundaciones producto de lluvias severas, 2 eventos producto de fuertes mareas, 9 desplazamiento de tierra, 4 incendios importantes y 2 erupciones (catastro Sernageomin 2017) [54]. Durante la mayoría de estos eventos, muchos colegios fueron usados como refugios o infraestructura estratégica, para ir en ayuda de las personas afectadas. La infraestructura escolar en Chile es también utilizada como lugar de distribución o acopio de alimentos y ayuda en situaciones de catástrofe, y no solamente de la ayuda proveniente del gobierno, sino también de otras organizaciones no- gubernamentales. Sin embargo, no existen estadísticas sobre el número de colegios que han sido usados como refugios (o alguna otra función) en el país. A pesar de esto, es fácilmente identificable la función estratégica y significativa que tienen los colegios en Chile. Por ejemplo, durante los aluviones de las ciudades de Copiapó y Chañaral, en la región de Atacama el año 2015, 21 colegios fueron usados como refugios (Reconstrucción de Atacama Gobierno de Chile 2015) [4]. Otro ejemplo sucedió en los incendios que afectaron la zona central del país en enero del año 2017, en la región del Bío-Bío 9 colegios fueron utilizados como refugios y como centros de distribución de ayuda (Servicio de Salud

Concepción 2017) [88]. Todo lo anterior, sugiere que los colegios son una infraestructura clave, utilizada estratégicamente a nivel local durante las situaciones de crisis en Chile. Sin embargo, hasta el momento ningún estudio se ha realizado en el país, con el objetivo de destacar y reforzar esta condición estratégica. El estudio realizado por Khew et al 2015 [47], investigó sobre la resiliencia de la infraestructura pública construida después del terremoto del 2010 en Chile, para soportar las actividades de los habitantes de las zonas afectadas, esta investigación evidenció la infraestructura más resiliente, era aquella diseñada como protección para tsunamis, pero que a la vez, ayudaban a desarrollar actividades propias de la comunidad y por lo tanto, mejoraba el bienestar y fomentaba las relaciones sociales. Sin embargo, este estudio no consideró a los colegios dentro de la infraestructura estudiada. En otro estudio realizado por Trebilcock et al 2012 [50], se encontró que los establecimientos educacionales, tienen un rol importante en la inclusión y participación de la comunidad, y que cuando este factor es bien manejado, ayuda a incrementar la tolerancia de los ocupantes a las bajas temperaturas y afecta de manera positiva su percepción de bienestar. Por otra parte, M. Valdebenito 2014 [68], descubrió que el diseño del medio ambiente construido transmite un mensaje poderoso a los estudiantes, sobre la importancia de los colegios en proveer, seguridad, cuidado y educación. Este estudio también encontró que una “intervención verde” del colegio permite a los alumnos convertirse en personas ecológicamente educadas y les permite adquirir habilidades relacionadas con democracia, participación y ciudadanía, además de incrementar su sentido de apropiación.

En base a lo anterior, se deduce que la infraestructura escolar juega un rol estratégico en Chile, e introducir mejoras en ella es una oportunidad, no solo para elevar las condiciones interiores de confort, sino que, también para incorporar criterios culturales de la región en el diseño de estos edificios, y cooperar en la construcción de resiliencia a las catástrofes y al cambio climático. En este contexto, se hace necesario garantizar la autonomía energética de los colegios e involucrar a la comunidad en su diseño y uso como una infraestructura vital.

5. ESTRATEGIAS DE DISEÑO Y SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN

Basado en la literatura revisada, podemos clasificar este punto en tres grandes líneas. La primera guarda relación con las estrategias de diseño para colegios de alta performance en directa relación con el estándar “PassivHaus” y los enfoques de Europa para construir NZES. El segundo grupo de publicaciones están relacionadas con los sistemas de evaluación de edificios, teniendo como protagonista al LEED para colegios del US Green Building Council. El último grupo agrupa las publicaciones claves y guías relacionadas con el diseño pasivo y bioclimático.

5.1. Estrategias de diseño para Edificios Cero Energías

El concepto de Edificio Energía Neta Cero (NZEB) esta fundamentalmente basado, en reducir el consumo energético de los edificios usando el diseño pasivo y medidas energéticas ultra eficientes. Basado en la revisión de literatura, el estándar “PassivHaus”, es el primer hito para alcanzar el objetivo balance neto cero (Net Zero).

De este estándar se extraen las cinco principales estrategias deben ser aplicadas para garantizar la eficiencia energética en colegios:

- 1) Aislación continua, basada en la reducción máxima de pérdidas de calor y ganancias de calor controladas.
- 2) Envoltente hermética, para prevenir infiltraciones y problemas de humedad.
- 3) Ventanas ultra-eficientes, tamaño de apertura y protecciones solares adecuadas para incrementar el calentamiento pasivo en invierno y evitar las ganancias solares en verano.
- 4) Ventilación mecánica ultra-eficiente con sistemas de recuperación de calor para proveer una buena ventilación en salas de clase y fijar flujos de aire entre 15 a 20m³/persona/hora.
- 5) Alta calidad constructiva e inspección para limitar los errores y fallas de operación.

Una vez se cumpla con estas estrategias, las necesidades energéticas del edificio pueden ser reducidas a más de un 80%. El siguiente hito depende de la capacidad de reducción de las cargas conectadas (plug-loads) y el uso de accesorios y electrodomésticos ultra-eficientes. El último hito es dimensionar y definir la fuente de energía renovable y tratar de ajustarla al consumo de los sistemas de climatización (HVAC). Como se muestra en la **Figura 12**, la reducción de la demanda energética a 15 kWh/m²/año es clave para reducir el consumo energético. Durante este proceso el confort y la calidad del ambiente interior (CAI) debe ser asegurada. En efecto, asegurar el confort es un requerimiento básico para los colegios que cumplen con el estándar PassivHaus.

De acuerdo con la literatura revisada y con la necesidad urgente de garantizar el confort en los colegios europeos, se encontró en los ejemplos y las lecciones extraídas de los colegios “PassivHaus” (PHS), que un rango de entre 15kWh/m²/año y 40kWh/m²/año es tolerable. Sobre todo, considerando que muchos de ellos han presentado problemas con el dimensionamiento de los sistemas de ventilación y han sufrido complicaciones para mantener el porcentaje de disconfort dentro de márgenes tolerables, reforzando la idea que el confort debe estar siempre por sobre la eficiencia energética y, por lo tanto, el gasto energético (dentro de estos márgenes) es secundario en relación con él. Además, existe una tendencia en la literatura sobre advertir a los profesionales sobre los problemas de disconfort asociados con aplicar estándares como el PH en climas mediterráneos (Attia 2018) [89]. Existe también, una sobrestimación del efecto de la ventilación pasiva y las condiciones climáticas más favorables, que puedan garantizar disipación de la temperatura durante periodos de calor extendidos (Attia et al. 2017) [13]. Sin embargo, las guías de diseño y requerimientos del estándar PHS deben ser verificados cuidadosamente durante el proceso de diseño [80]. Otro desafío de aplicar el estándar PH en colegios está relacionado con la alta tecnología que este concepto requiere para su aplicación [52], principalmente dado por los sistemas de ventilación con recuperación de calor, los elementos con alta aislación térmica y características de hermeticidad, como puertas y ventanas, y las soluciones para puentes térmicos.

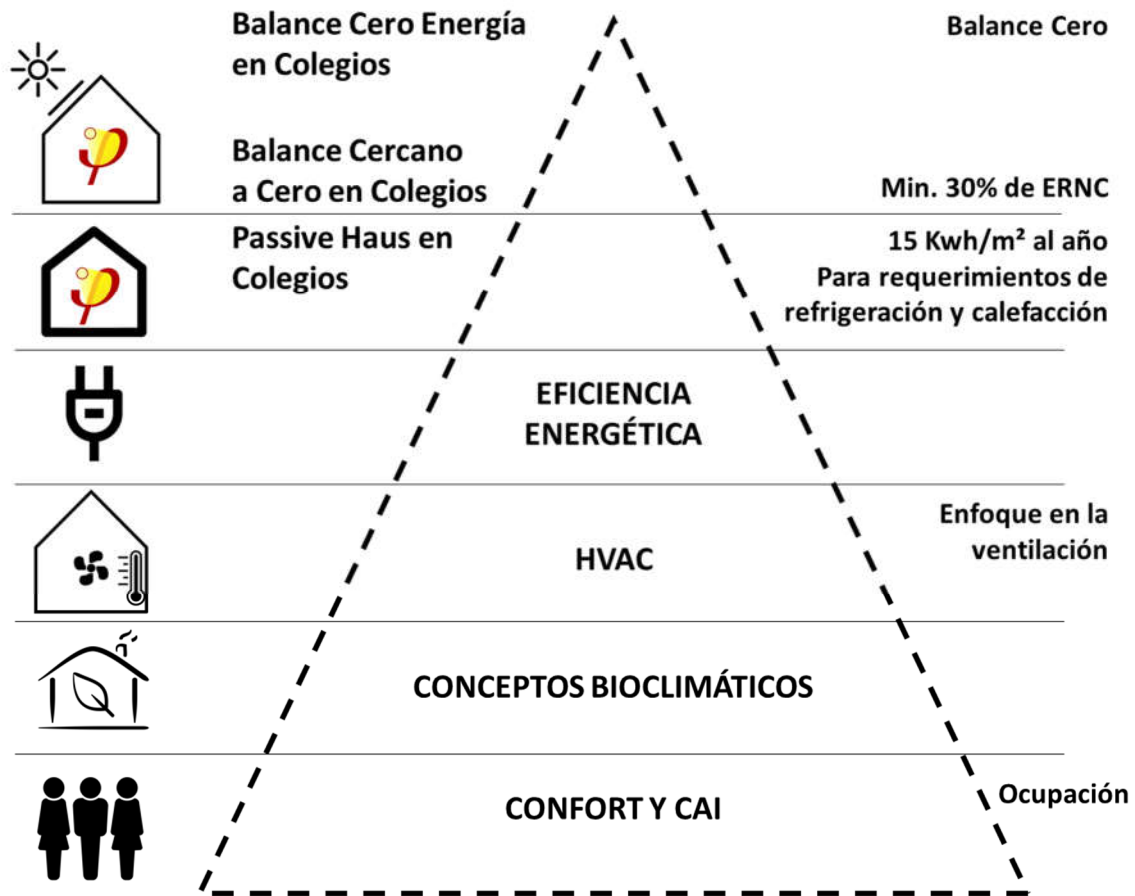


Figura 12. Etapas estratégicas hacia el Balance Cero Energías (NZES). (Fuente: Elaboración propia en base focus group de discusión en SBD LAB Universidad de Liège 2017)

5.2. Sistemas de evaluación o certificación de edificios

El segundo grupo de publicaciones corresponde a los sistemas de certificación. Los sistemas de certificación o calificación de edificios se han posicionado en el contexto internacional, promoviendo altos estándares para edificios verdes o sustentables (Green Buildings). Las certificaciones de edificios verdes o sustentables siguen, en general, un enfoque holístico y una evaluación multicriterio. Existen varios y diferentes sistemas de certificación a nivel mundial, los más importantes son: Energy Star (EE. UU.), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (EE. UU.), Desafío del Edificio Vivo (Living Building Challenge) internacional, entre otros. Sin embargo, muchas de estas certificaciones fallan en tomar en cuenta la meta de un Balance Neto Cero (Net Zero) o no consideran a los colegios como un tipo de edificio. El Desafío del edificio vivo (Living Building Challenge) ha desarrollado un esquema genérico para Edificios Energía Neta Cero (NZEBs), sin embargo, no define requerimientos para colegios [62]. La certificación LEED tiene un sistema de clasificación especial para colegios que recientemente se ha actualizado para adoptar estándares más rigurosos como el estándar

“PassivHaus” a través de caminos alternativos. Sin embargo, el número de colegios certificados LEED que son energéticamente neutrales en EE. UU. o Europa es trivial [63]. Para los edificios certificados LEED los requerimientos de eficiencia energética están basados en los requisitos que impone ASHRAE. Ahora si comparamos los requisitos del estándar ASHRAE con el estándar “PassivHaus”, e incluso si los comparamos con los códigos de construcción nacionales de Europa, ASHARE tiende a ser menos estricto. Además, LEED es diseñado para el contexto climático, tecnológico y económico de EE. UU., lo que limita su aplicación en otros países. También se debe considerar que LEED esta principalmente basado en principios prescriptivos, por lo que, es posible obtener una certificación, sin necesariamente tener una alta performance energética. Sin embargo, LEED posee la ventaja de tener un enfoque holístico, basado en el ciclo de vida del edificio, además está comercialmente difundido lo que lo hace atractivo, especialmente cuando el edificio es concebido con un objetivo inmobiliario o comercial. Chile lanzó recientemente su propio sistema de certificación, se trata de la Certificación de Edificio Sustentable (CES), la cual fue pensada para el contexto del país, y está enfocada mayormente en el desempeño del edificio. Esta certificación toma en cuenta la tipología de edificio educacional, estableciendo requisitos para este tipo en todas sus categorías. El CES también considera la variación climática y la tecnología del contexto chileno. Sin embargo, esta certificación no considera la neutralidad energética (balance cero) y, por lo tanto, no provee una guía para este objetivo [26].

5.3. Diseño bioclimático y estrategias pasivas en colegios

El tercer grupo de publicaciones está relacionado con las estrategias de diseño bioclimático que se pueden aplicar en Chile. En este sentido uno de los primeros documentos a consultar es la Guía de Eficiencia Energética de Edificios Educativos 2012 (Geeduc). Esta guía otorga un marco para un diseño pasivo de edificios escolares, para diferentes zonas climáticas de Chile, provee importantes recomendaciones de diseño con relación a la calidad del ambiente interior (CAI). Sin embargo, esta guía no fija una meta de performance o de intensidad de uso de energía (IUE), y es mayormente una guía de recomendaciones prescriptivas [30]. Igualmente, los Términos de Referencia estandarizados (TDRé) es otra guía cuyo objetivo es mejorar el CAI y la eficiencia energética en edificios públicos. Como mencionamos anteriormente en la Sección 2.2, esta guía incorpora la tipología colegios específicamente y propone una serie de estrategias de eficiencia energética y diseño pasivo, fijando criterios prescriptivos y de desempeño. No obstante, este estándar no considera la neutralidad energética entre sus requerimientos, y solo establece requerimientos de energías renovables para agua caliente domiciliaria [25].

Otro estudio relevante, mencionado anteriormente, fue el estudio realizado por Trebilcock et al. 2016 [1]. Esta publicación no está relacionada directamente con el concepto de NZEB, pero propone una metodología interesante y viable. El estudio recomienda definir en una primera etapa, los requerimientos de confort para los colegios investigados, tomando en consideración las características climáticas y socioeconómicas del contexto.

En una segunda etapa, propone medidas de diseño pasivo dependiendo de las expectativas de confort establecidas anteriormente. En este sentido, el estudio provee una metodología flexible, que es factible de ser aplicado en Chile. Propone, además, medidas pasivas dependiendo del clima e incluye estrategias como: control solar y disipación de calor para climas cálidos, aislación y hermeticidad para climas fríos.

El estudio realizado por Irulegi et al. 2017 [55], propone un enfoque similar, estableciendo primeramente las temperaturas de confort. Una vez este parámetro es fijado, los autores proponen una serie de medidas para la renovación de establecimientos educacionales, basados en medidas de diseño pasivo. Dentro de las estrategias que propone este estudio se incluye la eliminación de puentes térmicos, integración de ventilación mecánica con sistemas de recuperación de calor y mejora de las propiedades de las ventanas.

Finalmente, no fue posible encontrar estudios específicos para NZES en Chile. El único estudio experimental sobre el diseño de escuelas encontrado en la revisión de literatura fue el estudio realizado por Breesch et al. 2016 [56]. En este estudio, los autores relacionan temperaturas de confort con la demanda energética, buscando llegar a un estándar Casa Pasiva (PassivHaus). El estudio encontró que, a pesar de lograr el estándar, existe un gran riesgo de sobrecalentamiento en verano. Para resolver esto, ellos proponen algunas estrategias pasivas como ventilación nocturna y sistema de enfriamiento evaporativo.

6. FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LOS COLEGIOS CERO ENERGÍAS

Chile es un país en vías de desarrollo, con una de las más altas disparidad económica según datos de la OCDE [27]. Los beneficios del reciente crecimiento económico en el país no se reflejan directamente en la mayoría de los habitantes. Además, el país se encuentra bajo presiones y compromisos, como el Acuerdo de París [28], que lo obligan a trabajar en revertir el fenómeno del cambio climático, además de tener que resolver los problemas de pobreza energética en sus edificios y particularmente en colegios. Por lo que se hace necesario buscar una solución que aborde todos estos problemas, que solucione principalmente el problema de confort, y que además sea económicamente factible. De acuerdo con el reporte de la OCDE Education at Glance [40], Chile es uno de los países de la OCDE que menos invierte en educación por estudiante, gastando un poco más de \$5.000 USD (MM\$ 3,125 pesos) por estudiante por año, lo cual es bajo considerando que el promedio de los países de la OCDE gastan más de \$10.000 USD (MM\$ 6,25 pesos) por alumno. De acuerdo con estadísticas del Ministerio de Educación de Chile, es posible observar que el costo operacional es de \$67.000 pesos mensuales por estudiante, considerando solamente los establecimientos de educación básica. En relación con la distribución de este gasto operacional, el promedio nacional indica que la mayor parte del presupuesto operacional se gasta en personal (87%) y solo el 13% (\$8.710) se gasta en otras materias incluyendo la operación y mantención del edificio (Mineduc 2013) [41]. De este 13%, los gastos de operación del edificio se estiman en un 41% (\$3.571) para electricidad, 23% (\$2.003) para agua potable y alcantarillado, 19% (\$1.654) para combustible y 17% (\$1.480) para comunicación. Esto significa que el gasto operacional en energía es

bastante bajo en la mayoría de los colegios de Chile, sobre todo si lo comparamos con el gasto en la Unión Europea o Estados Unidos, como se puede observar en la **Tabla 4**. De hecho, este bajo gasto se debe principalmente a que existe un problema de pobreza energética en el país, y a que la mayoría de los colegios públicos funcionan en modo de oscilación libre de temperaturas. Además, es importante destacar que el bajo costo de operación de los colegios públicos en Chile no debe interpretarse como un signo de que se han aplicado medidas de eficiencia energética. En el estudio de M. Trebilcock et al. 2016 [1], se observó que, en la mayoría de los colegios estudiados, los administradores no tienen recursos suficientes para pagar el costo de mantener la calefacción activa durante el invierno. Esto significa que, aunque los colegios estén equipados con sistemas de calefacción, el presupuesto para operación es tan bajo, que obliga a los administradores a hacer funcionar el colegio en modo de oscilación libre. Por lo tanto, tener un objetivo de alto desempeño como NZEB, debe estar basado primero en un enfoque low-tech y en un adecuado análisis del costo del ciclo de vida, además, se deben plantear soluciones abordables para evitar estos problemas, considerando el costo de operación dentro de los aspectos relevantes.

Tabla 4. Comparación del gasto en educación en Chile, EEUU y UE. (Fuente: Elaboración propia)

| | Superficie por estudiante | Promedio de alumnos por Curso según OCDE (2) | Costo inicial promedio para edificios nuevos y renovación. | Costo Operacional | Relación entre costo inicial y operacional. | Vida útil de edificios educacionales |
|--------------|------------------------------------|--|---|--|---|---|
| CHILE | 1,1 m ² /estudiante (1) | 30 | 1139,8 USD/m ² (sin EE) 1610 USD /m ² (con EE) (1) | 20 USD/m ² por año (sin EE) (1) | 0,017 | Dependiendo de la materialidad, 20 a 80 años. |
| US | 2 m ² /estudiante (1) | 21 | 2277,1 USD/m ² (3) | 71,47 USD/m ² (4) | 0,03 | 50 años (4) |
| EU | 1,8 m ² /estudiante | 21 | 2291 USD/m ² | 45,91 USD/m ² | 0,02 | 60 años |

(1) Hacia la medición del costo de una educación de calidad, MINEDUC 2015

(2) Education at Glance 2016 OCDE

(3) from School Planning and management's 20th Annual School Construction Report USA 2015.

(4) State of Our Schools America's K-12 facilities.

Una manera de lograr un diseño costo-eficiente, es implementar estrategias pasivas, las que no implican necesariamente una mayor inversión en el costo de construcción. Lecciones extraídas de la práctica indican que las medidas de diseño pasivo son, de hecho, costo-eficientes, sobre todo al ser aplicadas en nuevas construcciones. Sin embargo, la aplicación de estas estrategias debe estar basadas en estudios económicos de largo plazo. También, se debe ser capaz de cuantificar otros beneficios sociales y ambientales, entre los cuales puede estar seguridad, confort, bienestar social, conocimiento medioambiental integrado al proceso de aprendizaje [67]. Este tipo de evaluación debe incluir criterios como resiliencia a desastres naturales, o producción de energía renovable, o también incluir la habilidad del edificio para convertirse en un centro de aprendizaje o en una guía demostrativa para la comunidad. Esto solo se puede lograr, monitorizando la performance de las condiciones espaciales de los colegios, para cuantificar su desempeño en cuanto a confort

térmico, y consumo energético, y luego compararlo con el futuro NZES, además de evaluar su adaptabilidad e inserción en la comunidad.

Como conclusión, se puede decir que el objetivo NZES puede ser alcanzado, una vez que los establecimientos educacionales estén mecánicamente calefaccionados y ventilados. De hecho, para que el Balance Cero Energías sea competitivo, es necesario que el estándar de confort adecuado en colegios sea valorizado y alcanzado. Si esto no sucede, cualquier comparación económica no favorecerá al concepto de NZES.

7. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR EL CONCEPTO CERO ENERGÍAS EN CHILE

Finalmente, después de revisar los documentos más importantes individualizados en la **Tabla 1**, se pueden resumir los hallazgos más importantes en la tabla que presentamos a continuación. La **Tabla 5** presenta el resultado de un análisis FODA que investiga los desafíos y oportunidades de que Chile adopte el concepto NZES. Después de entender el marco regulatorio en Chile y la evolución de los estándares y normativas relaciones con la construcción, se puede resumir el análisis, los hallazgos y la pertinencia del concepto NZES en relación con la política Energía 2050 en la siguiente tabla.

Tabla 5. Análisis FODA, con relación a la aplicación del concepto NZES en Chile. (Fuente: Elaboración Propia)

| Fortalezas | Debilidades |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Provee un concepto holístico, que involucra eficiencia energética, confort y energías renovables. • Puede implementar colegios para que sean capaces de proveer refugio para las comunidades locales, durante catástrofes. • Mejora las condiciones de confort y CAI en los colegios. • Reduce el costo energético operacional. • Promueve y mejora la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción, y la mantiene en posición de liderazgo en el ámbito de los edificios de alto desempeño en Latino-América. | <ul style="list-style-type: none"> • Bajo presupuesto para la construcción de edificios • Falta de infraestructura industrial y dependencia de componentes tecnológicos importados. • Falta de conocimiento, competencias y habilidades para diseñar y construir NZES. • Falta de infraestructura tecnológica, incluyendo sistemas de recuperación de calor, controles, materiales de construcción y componentes, que obligaría a la importación e incrementaría el costo. • Problemas en la colaboración de las distintas entidades de gobierno. |
| Oportunidades | Amenazas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Permite que Chile logre más rápidamente sus objetivos de incrementar la integración de energía renovable en edificios. • Desarrollo de confort adaptativo para colegios en Chile • Transferencia de conocimiento a través de la construcción de proyectos piloto de NZES. • Puede ser una vía para aplicar el concepto energía neta cero (Net Zero) a otros tipos de edificios o infraestructura clave. | <ul style="list-style-type: none"> • No considerar e incorporar administradores o facilitadores energéticos, para mantener la calidad y operación de un NZES. • Fallar en construir consenso entre educadores, familias de estudiantes, gobierno y autoridades locales. |

CAPITULO 3. EVALUACION DE CASOS

Para llevar a cabo la evaluación se revisaron dos casos de estudio, bien documentados, uno en la ciudad de Concepción Chile, y otro parte del proyecto “PassiefScholen” en la ciudad de Bilzen Bélgica. Ambos casos se consideraron representativos de colegios de alto desempeño en las respectivas ciudades. Cada uno de estos ejemplos está, además, asociado a distintas estrategias las que se clasificaron según su relación con: Orientación, Envolvente del edificio, Climatización y ventilación, Iluminación natural y artificial, Cargas conectadas y Energías renovables. Además, se evaluará en cada caso los criterios relevantes de una definición de Edificio Energía Neta Cero y como estos aplican a los respectivos casos. Al final de este capítulo y como resultado del análisis, se realizará una síntesis con valores de performance promedio más relevantes.

1. ESCUELA PRIMARIA BILZEN, REGIÓN FLAMENCA, BÉLGICA

1.1. Proyecto de escuelas primarias pasivas, Bélgica.

En marzo del 2007 el parlamento europeo, propuso objetivos para la reducción de gases de efecto invernadero y la promoción de energías renovables, además de una serie de medidas para mejorar la eficiencia energética. Esto dio como resultado que el año 2010 el parlamento europeo lanzara una nueva regulación relacionada con el rendimiento energético (EPBD 2010/31/UE), esto llevo a la modificación de los reglamentos de construcción de cada país, para que puedan adoptar, por lo menos, un balance Cercano a Cero de energías en todos los nuevos edificios. Es así como todos los edificios nuevos a partir del año 2019 deben cumplir con este desempeño, esto incluye a los edificios escolares. El gobierno de la región Flamenca de Bélgica, preocupado de anticipar las futuras restricciones energéticas, lanzó a mediados del año 2007 un proyecto piloto de Escuelas Pasivas (PassiefScholen). El objetivo de este proyecto era sensibilizar a la comunidad respecto a la construcción de edificios, con altos estándares de desempeño, y a la vez obtener lecciones de la aplicabilidad de estos en un edificio escolar, que además, cumpla con un Balance Cero o Cercano a Cero Energías [90].

La primera etapa de este proyecto consistió en un catastro y evaluación de la calidad de los colegios existentes en la región Flamenca el año 2008. Esta evaluación, dio como resultado que solamente el 22% de los colegios obtuvieron una calificación positiva. Además, casi la mitad de los colegios fueron evaluados negativamente. Los aspectos fundamentales en esta evaluación fueron calefacción, ventilación e iluminación. Con la aplicación de una normativa más estricta, las modificaciones más frecuentes fueron en la calidad de la envolvente. Sin embargo, muy pocas modificaciones tomaban en cuenta realizar transformaciones a la calefacción, ventilación e iluminación. Además, las transformaciones fueron dificultadas por un déficit en el suministro de productos de construcción, contratistas y proveedores de servicios de la industria de la construcción.

El gobierno de la región Flamenca fue, consiente del importante rol de las escuelas en la comunidad y su influencia en poder acelerar el proceso de concientización hacia las políticas energéticas y relacionadas con el cambio climático en un mediano y largo plazo. Además, la evaluación realizada a los colegios advirtió de la necesidad, de inspirar y estimular a la industria de la construcción a innovar y expandir el mercado de la construcción con altos niveles de desempeño.

Una vez realizada las evaluaciones del estado de los colegios y de la industria, y apoyados por la creación de nuevas normativas, se seleccionaron 25 proyectos. El primer colegio se terminó de construir el año 2012 y hasta el año 2015, 10 de los 25 colegios se encontraban construidos y de estos 8 se habían certificado "PassivHaus".

El objetivo del proyecto "PassiefScholen" es construir escuelas que tengan una demanda de calefacción y enfriamiento muy bajas, de manera de reducir el costo operacional de la red escolar, esto se traduce en que los recursos se enfoquen efectivamente en los objetivos del currículo escolar y no en operación del edificio [90].

1.2. Escuela Primaria Bilzen

La escuela primaria Bilzen, está ubicada en la ciudad de Bilzen en la región Flamenca de Bélgica. El proyecto comprende 3 salas de clases para niños, 6 salas de clases para la escuela primaria, una sala de cuidados, una sala de profesores, una sala de conferencias, una oficina de secretaría, una gran sala polivalente (gimnasio) y una sala multipropósito, dos vestidores, dos salas para uso compartido con la comunidad.



Figura 13. Vista exterior escuela primaria Bilzen. (Fuente: Propia, Visita Julio 2017)

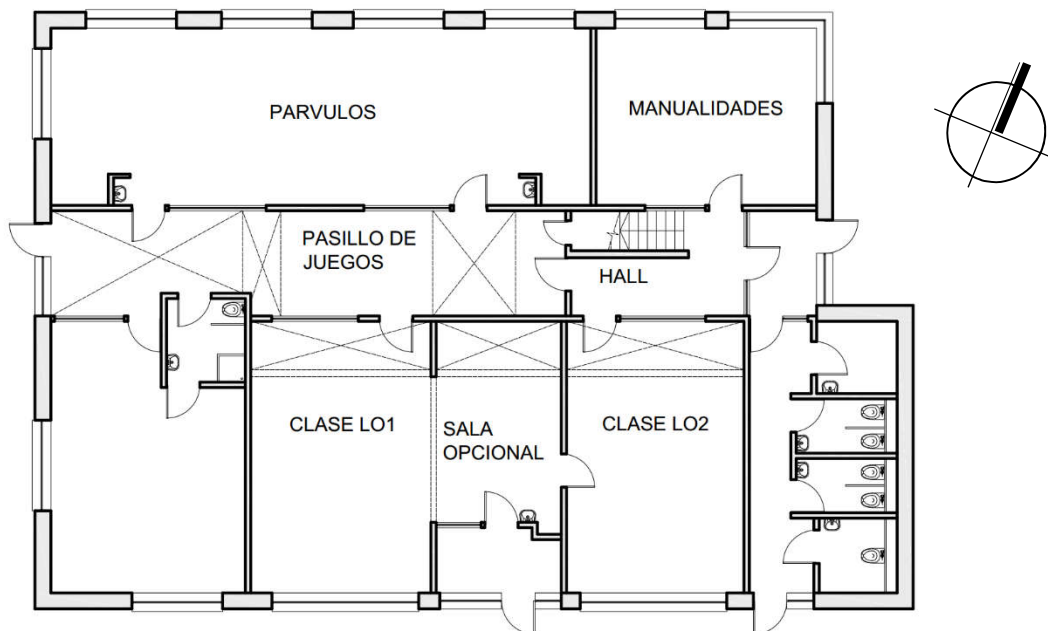


Figura 14. Planta primer nivel, Escuela Primaria Bilzen. (Fuente: Elaboración propia en base a fotografías, Visita Julio 2017)

1.3. Objetivos de diseño

El proyecto de la escuela primaria de Bilzen, fue pensado para ser integrado en la comunidad, por lo que se concibió como un edificio multifuncional. En este sentido se combinaron los esfuerzos de la escuela de la ciudad, la empresa constructora y centro de cuidado infantil y apoyo familiar de la ciudad de Bilzen, el resultado fue la construcción de un conjunto que incluyó un conjunto de viviendas, una escuela, un pabellón deportivo y una zona de juegos (integrados en la escuela) y una plaza con estacionamientos. Todos los elementos fueron diseñados en el plan maestro del conjunto, para fomentar la interacción entre ellos.

El edificio en sí fue diseñado con dos partes: la escuela primaria y el centro comunitario, que alberga un uso común entre el barrio y la escuela., un puente hace el nexo entre ambas partes y a la vez da cabida al espacio de juego cubierto.

1.4. Estrategias de diseño

Orientación: Los volúmenes del edificio se orientaron con relación al recorrido solar de manera de proporcionar la mayor cantidad de ventanas hacia el sur (salas de clases), y de esa forma calefaccionar los recintos mediante ganancias solares pasivas.

Envolvente del edificio: El edificio se concibió como dos volúmenes compactos. Los vidrios son del tipo triple vidriado hermético, de alto desempeño térmico, los marcos son de madera y aluminio, con rotura de puente térmico. La envolvente es de alta eficiencia, el primer nivel construido en hormigón y el segundo nivel, en estructura de madera, el revestimiento térmico es poliestireno de alta densidad por la cara exterior. La techumbre también es estructurada en madera con revestimiento de lana mineral.

Climatización y Ventilación: El edificio posee un sistema de ventilación con recuperación de calor de alta eficiencia. El control de la ventilación se hace a través de sensores de CO₂. En las temporadas de frío extremo la calefacción se hace mediante radiadores en las salas de clases, y suelo radiante en pasillos y gimnasio, en temporadas no tan extremas, la calefacción se puede realizar a través del sistema de ventilación. Además, el uso constante del edificio sobre todo en temporada de invierno permite que la temperatura interna se mantenga constante, debido al aporte de las ganancias internas y a la disminución de las fluctuaciones de temperatura a raíz de las mismas. El enfriamiento pasivo se hace mediante free-cooling, se impulsa el aire exterior cuando este está más frío que el del interior del edificio. La masa térmica del edificio ayuda al enfriamiento, almacenando energía durante el día y, por lo tanto, regulando la temperatura, luego el enfriamiento por free-cooling nocturno, permite liberar la energía acumulada en las temporadas de calor.

Iluminación Natural y Artificial: El control de iluminación artificial se realiza mediante un sensor de iluminación natural, lo que ayuda a la eficiencia energética del edificio. El control de la iluminación natural se hace a través de cortinas en el interior, el control de las ganancias solares se hace por sistema de cortinas en el exterior.

Cargas conectadas: Para el requerimiento del estándar Casa Pasiva (PassivHaus), solo se consideran las cargas de calefacción, refrigeración y ventilación, en ambos casos el consumo medido no sobre pasa los 15 kWh/m² año.

Energías renovables: El edificio ocupa la techumbre para la instalación de paneles fotovoltaicos conectados a la red.

1.5. Evaluación de la definición cero energías

En la presente sección se hará una evaluación de los criterios aplicados al proyecto de colegios pasivos en Bélgica, enfocándose principalmente en la escuela Bilzen. Que cómo se explicó anteriormente, su objetivo es que los colegios parte del proyecto logren un balance lo más cercano a cero posible. Para esto se evaluarán los criterios presentados en la sección 3.2 del Capítulo 2. Estos criterios son: a) Límite del sistema, b) Sistema de Ponderación, c) Balance Neto Cero, d) Coincidencia temporal de energía, e) Medición y verificación.

1.5.1. Límite del sistema

Límite físico: En general los colegios del proyecto PassiefScholen construidos hasta el momento establecen un límite físico que corresponde al sitio del edificio. Exceptuando el caso del colegio Bilzen, donde el colegio fue integrado en el diseño del conjunto habitacional, compartiendo funciones con la comunidad, y albergando espacios de uso común con ellos (Gimnasio). Si bien, esta diferenciación no afecta al balance energético, si afecta la forma en que el colegio funciona, ya que estas funciones se deben separar. Esta separación genera como consecuencia que se disponga de distintos equipos y sistemas para las distintas partes del edificio, y por lo tanto exista un consumo energético con un mayor grado de continuidad.

Límites del balance: Las cargas utilizadas para calcular el balance energético, en este caso, son las del sistema de ventilación, iluminación, cargas conectadas, calefacción, refrigeración. Sin embargo, el tipo de cargas no es lo único relevante a considerar. Otro factor relevante es la densidad de uso, y el perfil de usuario. El perfil de uso de una escuela es continuo por periodos demarcados (día y temporada escolar) y un uso ocasional en periodos concretos (noche y temporada de vacaciones). El perfil de usuario también influye en la temperatura de confort del termostato, ya que como se vio anteriormente en la Sección 4.1 del Capítulo 2. La intensidad de uso en este caso se consideró como un factor importante de ganancias internas.

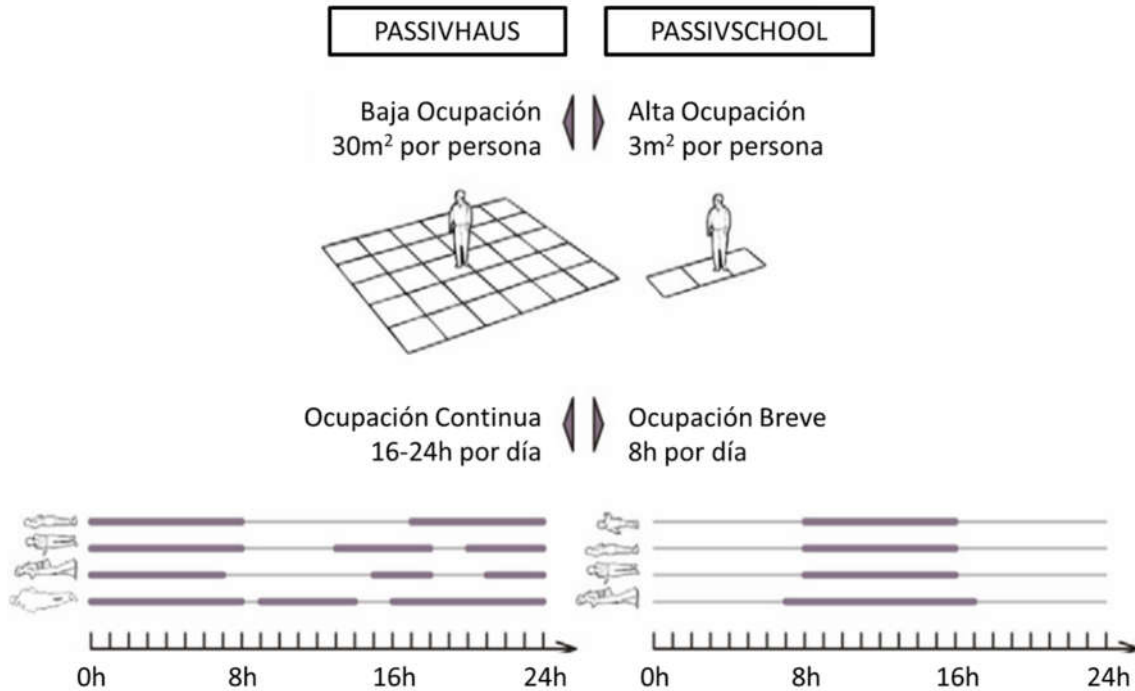


Figura 15. Diferencia entre el perfil de uso y de ocupación entre un colegio y una vivienda estándar Passiv (Fuente: Adaptación del reporte proyecto PassivSchoolen 2015 [90])

Dentro de los límites también se consideró el factor climático, Bélgica posee un clima cálido templado, con veranos calurosos. En la clasificación de Köpper Geiger el clima se clasifica como Cfb, o clima oceánico templado, con una temperatura media anual de 9,7°C y precipitaciones promedio de 806mm [91] [92]. Sin embargo, es común tener variaciones más extremas de temperatura en las distintas temporadas, con temperaturas de hasta -5°C en invierno y algunas máximas por sobre los 30°C en algunos días del verano [93]. Por lo que, se debe tener en consideración en el diseño una alta probabilidad de sobrecalentamiento en temporadas de calor y, por el contrario, una muy buena protección para las temperaturas más frías de invierno.

1.5.2. Sistema de ponderación

Para el caso de este proyecto piloto se utilizó como indicador para el balance la energía primaria o en la fuente en kWh/m² año. Sin embargo, para estimar la eficiencia energética del edificio se utilizó el indicador Nivel-E. El Nivel-E es un indicador de desempeño del edificio, que se calcula con la siguiente fórmula [94]:

$$\text{Nivel-E} = [\text{Demanda de energía primaria del edificio (kWh/m}^2 \text{ año)} / \text{Valor de referencia (kWh/m}^2 \text{ año)}] \times 100$$

La meta en este sentido fue que todos los colegios logaran un Nivel-E menor a 60, en otras palabras, que la eficiencia en relación con el edificio de referencia fuera mayor a 40%. Según la **Tabla 6** que se muestra a continuación, se puede observar que todos los colegios alcanzaron un Nivel-E menor a 55.

Tabla 6. Resultados de los niveles E y K medidos en los proyectos PassivScholen Certificados. (Fuente: Proyecto PassivScholen [90])

| Colegio | Nivel-E | Nivel-K |
|----------------|---------|---------|
| Bilzen | 38 | 14,5 |
| Bocholt | 51 | 18,5 |
| Etterbeek | 38 | 18 |
| Heusden-Zolder | 45 | 16 |
| Kalmthout | 49 | 18 |
| Londerzeel | 47 | 12 |
| Wuustwezel | 35 | 13 |
| Zwevegem | 53 | 17 |

Otro factor que se tomó en cuenta como indicador fue el costo de construcción. Por ser un proyecto piloto, era necesario saber cuánto era el mayor costo que debería pagarse en relación con la construcción tradicional de colegios en la región Flamenca. Un estudio preliminar realizado el año 2007, descubrió que el costo adicional de construir un proyecto con alto estándar de desempeño podría estar entre el 0 y 20%, esto se transforma en un coste adicional promedio de €105/m² (81.375 pesos / m²). Tomar en cuenta este estudio permitió que se aumentara el presupuesto para los proyectos piloto en un 21% o €235/m² (182.125 pesos/m²). En este sentido, los proyectos construidos y certificados tienen un valor medio de €1.430,7/m² (1.108.792 pesos/m²), que corresponde a un coste adicional de un 12% sobre el presupuesto estandarizado de la normativa Flamenca. En este caso el indicador es el % sobre el presupuesto estandarizado y el indicador a comparar en el caso de este proyecto es €/m².

1.5.3. Balance Neto Cero

El cálculo del balance Neto Cero, en este proyecto está dado por el equilibrio entre el consumo de las cargas que se incluyeron, (según el punto 1.5.1 de esta sección) y la producción de energía renovable. Los valores de consumo energético para calefacción de la escuela Bilzen es de 11,62 kWh/m² año y el de refrigeración es de 9,6 kWh/m² año, el consumo total de energía primaria estimado es de 60 kWh/m².

La provisión de energía renovable complementaria a la red eléctrica es entregada por paneles solares, la que se destina principalmente a iluminación, cargas conectadas, sistema de refrigeración y energía auxiliar del sistema de calefacción, cubriendo en la primera etapa el 5% del consumo energético anual.

Entonces el balance de energía primaria del edificio sería el siguiente, (considerando que los datos entregados están en energía primaria):

$$E_{Fuente} = (60 \text{ kWh} \times 1.411 \text{ m}^2) - (3 \text{ kWh} \times 1.411 \text{ m}^2)$$

$$E_{Fuente} = 84.660 \text{ kW} - 4.233 \text{ kW}$$

$$E_{Fuente} = 80.427 \text{ kW} > 0 = \text{Nearly Zero Energy Building}$$

El proyecto considera la construcción con materiales de baja emisión de CO₂ en base a la clasificación NIBE, que es una clasificación ambiental internacional, que evalúa y visualiza el impacto ambiental de la mayoría de los materiales de construcción. Estos datos no se consideran para el balance, pero si se consideran para la asignación de recursos de construcción, privilegiando, la especificación y construcción con materiales de con bajas emisiones de CO₂.

1.5.4. Coincidencia temporal de energía

La interacción con la red no es monitorizada, y tampoco considerada en el diseño.

La coincidencia de carga/generación si está considerada en el diseño, con el objetivo inicial de cubrir el 5% de la demanda total del edificio, sin embargo, el proyecto considera la adición posterior de más paneles fotovoltaicos para cubrir una mayor parte de la demanda del edificio.

1.5.5. Medición y verificación

Monitorización: Después de la construcción los edificios serán monitorizados por 2 años. Esto es uno de los ejes fundamentales de este proyecto. La monitorización se realiza sobre los parámetros de confort: niveles de CO₂, temperatura y humedad relativa. También se evalúa la sensación de confort de usuario a través de una encuesta. Estas mediciones se realizaron por escuela y en temporada de invierno y verano, en el verano se obtuvieron temperaturas de entre 20- 25°C y en invierno el rango estuvo entre los 19 – 22°C. Sin embargo, el primer año se evidenció un problema en primavera debido a una ola de calor, donde se registraron temperaturas de hasta 33°C en el interior del edificio, la causa de esto fue la sobre estimación del free-cooling nocturno, y el consiguiente mal dimensionamiento del equipo de refrigeración, el que tuvo que ser rediseñado.

La monitorización de la ventilación dio como resultado una muy baja humedad relativa durante la temporada de invierno <30%, lo que implica un aire demasiado seco. Se monitorizaron humedades relativas tan bajas de hasta un 10% o menos, esto puede producir molestias como ojos secos y un aumento del riesgo de infección de las vías respiratorias. Una humedad relativa óptima se considera entre un 40 y 60%.

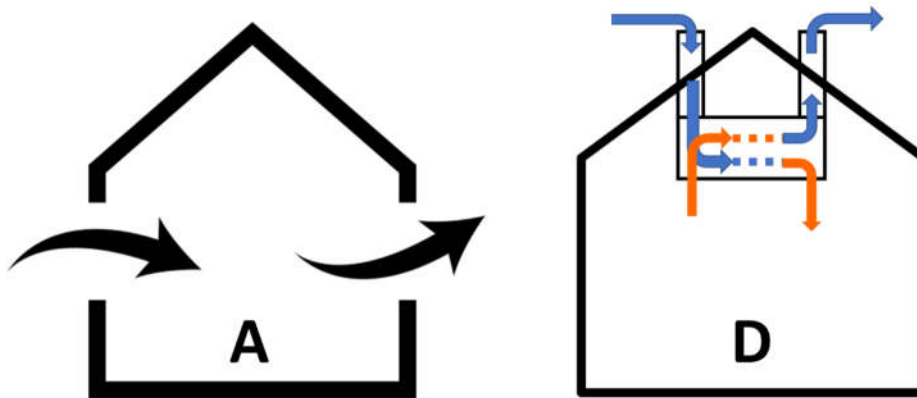


Figura 16. Funcionamiento Sistema A (Free-running), y Sistema D (inyección y extracción mecánica). (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a las concentraciones de CO₂, la monitorización arrojó que los mejores índices de monitorización se obtuvieron en los colegios que poseían el sistema de ventilación D. El sistema de ventilación D, como se aprecia en la **Figura 16** consiste en suministro mecánico y drenaje mecánico. Al contrario, los que obtuvieron los peores índices fueron los colegios que utilizaban el Sistema A. Este sistema consiste en la inyección natural y extracción natural a través de vanos operables en la fachada (Ver **Figura 16**).

La monitorización no solo se enfoca en el gasto energético o en alcanzar el balance neto cero. También está enfocada en la evaluación del confort de usuario, la que se realiza a través de una encuesta. Esta encuesta mide la experiencia general del usuario, la percepción del clima interior, el mantenimiento y la gestión. Además, la encuesta recoge la experiencia durante el proceso del proyecto. La encuesta estaba enfocada a funcionarios de las escuelas, personal de logística, padres y usuarios externos. Los primeros resultados de la encuesta, muestra que el 85% de los encuestados están satisfechos con el uso diario del edificio. Sin embargo, los principales problemas que detectan los encuestados tienen relación con la velocidad del aire 4% y el sonido de las instalaciones técnicas el 9%, el 22% se mostraron insatisfechos con la temperatura interior en temporada de calefacción y el 39% no está satisfecho con la calidad del aire (olor, CO₂).

Verificación: En este caso la verificación está dado por una certificación en el periodo de ocupación, dónde se comparan los datos de ocupación, con los datos de rendimiento proyectado. Hasta el año 2015, 8 proyectos habían sido certificados. Los requisitos para la certificación era cumplir con 4 aspectos: 1) Nivel de hermeticidad $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ medida con ensayo Blower Door, 2) Nivel-E máximo de 55, 3) Consumo neto de energía para calefacción $\leq 15 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ año}$, 4) No sobrepasar la temperatura de 25°C por más de un 5%.

Tabla 7. Datos de monitorización escuelas proyecto Passiefscholen (Fuente: Proyecto Passiefscholen)

| Colegio | Nivel-E | Energía neta para calefacción (kWh/m ² a) | Energía neta para refrigeración (kWh/m ² a) | Hermeticidad (n50) | Área Bruta m ² | Nivel-K |
|----------------|---------|--|--|--------------------|---------------------------|---------|
| Bilzen | 38 | 11,62 | 9,6 | 0,25 | 1.411 | 14,5 |
| Bocholt | 51 | 14,46 | 9,09 | 0,5 | 1.466,43 | 18,5 |
| Etterbeek | 38 | 13,92 | 7,94 | 0,5 | 1.071 | 18 |
| Heusden-Zolder | 45 | 12,71 | 3,4 | 0,6 | 5.325 | 16 |
| Kalmthout | 49 | 13,34 | 2,01 | 0,5 | 750 | 18 |
| Londerzeel | 47 | 9,99 | 0,43 | 0,3 | 4.395 | 12 |
| Wuustwezel | 35 | 12,96 | 1,93 | 0,4 | 1.225 | 13 |
| Zwevegem | 53 | 13,22 | 0,97 | 0,5 | 1.190 | 17 |

1.5.6. Tabla resumen

La **Tabla 8** resume los 5 criterios analizados en la sección anterior. Se puede observar como la definición de Cero Energías, que ha realizado el Gobierno Flamenco, completa la mayoría de los criterios planteados en la definición de I Sartori et al 2012 [6]. También se verifica la importancia de que el concepto y definición de Cero Energías sea respaldada por normativas y entidades de gobierno. El respaldo de la autoridad y la motivación de la industria es relevante para obtener los niveles de desempeño que se han logrado con este proyecto.

Tabla 8 Criterios de evaluación cero energías en el colegio Bilzen Bélgica (Fuente: *Elaboración propia*)

| CRITERIOS | COLEGIO BILZEN | |
|---|--|--|
| 1. Límite del sistema edificio | 1.1 Límite del Sistema | |
| | ¿El sistema comprende un solo edificio o un grupo de edificios? | Dos Edificios en el sitio |
| | ¿Qué tipo de energía fluye en ambos sentidos?, hacia la red y desde la red (electricidad, calefacción, etc.) | Electricidad energía primaria |
| | 1.2 Funcionalidad y Efectividad | |
| | ¿Qué tipo de edificio es? (habitacional, educacional, oficina, etc.) | Educacional |
| | ¿Cuál es la relación energía/usuario? | Ganancias 80W x pers |
| | ¿Cuál es la intensidad de uso en términos de personas/m ² ? (densidad) | 0,4 pers x m ² |
| 1.3 Clima y Confort | | |
| ¿Cuál es el clima de referencia? | Según TDRé Sur Litoral | |
| ¿Qué estándar de confort se han seguido para calcular las cargas? | 1000 ppm de CO ₂ | |
| 2. Sistema de ponderación | 2.1 Indicadores | |
| | ¿Que indicador se usará? | Energía final (o del sitio) No Energía de la fuente (primaria) SI Costo de la energía Si (energía final) Emisiones Si |
| | 2.2 Medición de los Indicadores | |
| | ¿Cuál será el factor de ponderación? | Nivel-E |

| CRITERIOS | COLEGIO BILZEN | | |
|--|--|--|---|
| 3. Balance NZEB | 3.1 Elementos del Balance | | |
| | ¿Qué cargas se incluirán en el balance? | calefacción | Si |
| | | refrigeración | Si |
| | | ventilación | Si |
| | | energía auxiliar | No |
| | | agua caliente sanitaria | Si |
| | | Iluminación | Si |
| | | Cargas conectadas | Si |
| | | Cocina | no |
| | ¿Existen otros servicios energéticos que tengan un impacto positivo en el ambiente? | tratamiento y recuperación de aguas lluvias | No se consideró |
| | | carga de vehículos eléctricos | No |
| | ¿Se considerará la energía contenida en los materiales e instalaciones? | | Si |
| | ¿Se considerará un análisis de ciclo de vida completo, incluido construcción, demolición, tratamiento de los desperdicios y opciones de reciclaje? | | Si |
| | 3.2 Periodo del balance | | |
| | ¿Cuál será el periodo base para calcular el balance? | meses | No |
| | estación (otoño, invierno, etc.) | No | |
| | un año | Si | |
| | 30 a 50 años | No | |
| 3.3 Eficiencia Energética | | | |
| ¿Existe alguna reglamentación con requerimientos mínimos de eficiencia energética? | Normativas Nacional | SI | |
| | Normativas Internacionales | SI | |
| | Normativo comportamiento costo energético | No | |
| | Normativo comparativo con un caso base | No | |
| | Código Voluntario | NO | |
| 3.4 Provisión de Energía | | | |
| ¿Existe una jerarquía en las opciones de suministro de energía? | | Si | |
| ¿La cogeneración de energía con combustibles fósiles será ponderada en el balance? | | Si | |
| ¿Es factible comprar energía "verde" o invertir en fondos o proyectos "verdes"? | | No | |
| 4. Características de coincidencia de energía temporal | 4.1 | ¿Cuáles son los indicadores que permitirán evaluar el impacto del intercambio de energía entre el edificio y la red? | No existe la infraestructura para Smart Grids |
| 5. Monitorización y Verificación | 5.1 | ¿Es suficiente el diseño y la simulación para chequear la efectividad del balance? | NO |
| | | ¿Es necesario la monitorización para chequear el balance? La monitorización debe considerar que se cumplan las condiciones de confort, para no llevar a un concepto errado de NZEB | SI |

2. COLEGIO ALMONDALE, CONCEPCION CHILE

Este colegio se ubica en la ciudad de Concepción, en la región del Bío-Bío, y en la Zona Climática Sur Litoral (SL). El clima de esta zona es templado cálido con estación seca de cinco a cuatro meses, y está altamente influenciado por la proximidad al océano, que modera la oscilación térmica tanto diarias como anuales [38]. El colegio tiene un área inicial de 1364,30 m² y aloja al grupo de pre-básico con 4 salas de clases (114 alumnos), y en 4 salas de clase se encuentra el nivel básico (120 estudiantes) y un multi-taller. El colegio comenzó a construirse el año 2011 y comenzó a funcionar con la primera etapa el año 2012. E que funciona como un colegio particular subvencionado

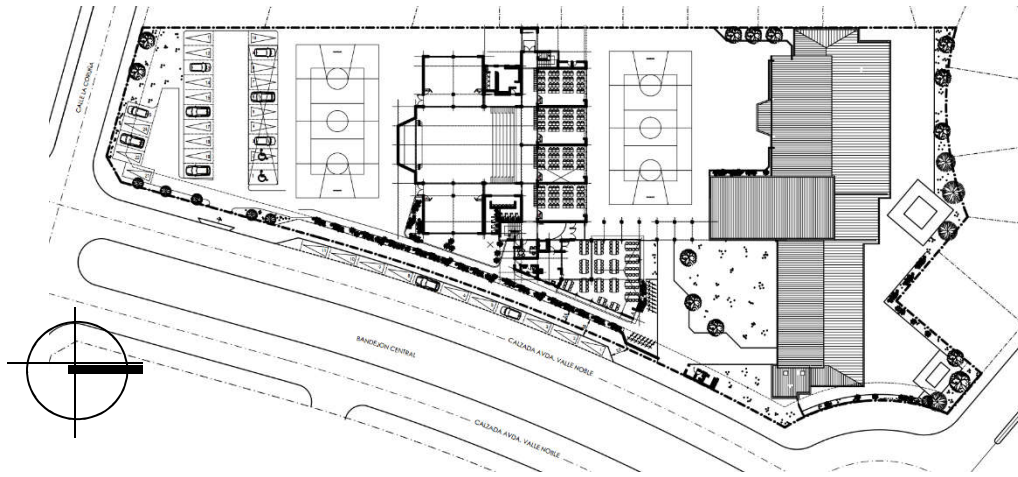


Figura 17. Emplazamiento colegio Almondale Valle Noble, Concepción. (Fuente: Colegio Almondale Valle Noble)



Figura 18. Vista Exterior Colegio Almondale Valle Noble. (Fuente: Visita al lugar Septiembre 2017)

2.1. Objetivos de diseño

El colegio pertenece a la corporación de colegios Almondale (corporación privada), se diseñó y construyó considerando estrategias pasivas que, en este caso, fueron requerimientos expresos del mandante al equipo de diseño [95] Específicamente el mandante solicitó una edificación lo más eficientemente energéticamente posible y que en lo posible fuera pasiva.

2.2. Estrategias de Diseño

Orientación: En la Figura 19 se puede apreciar cómo se orientaron las salas con relación al recorrido solar, de manera, de aprovechar al máximo las ganancias solares para calefacción e iluminación. De esta manera las aulas se orientaron hacia la cara norte del edificio, maximizando las ganancias solares y la iluminación natural.

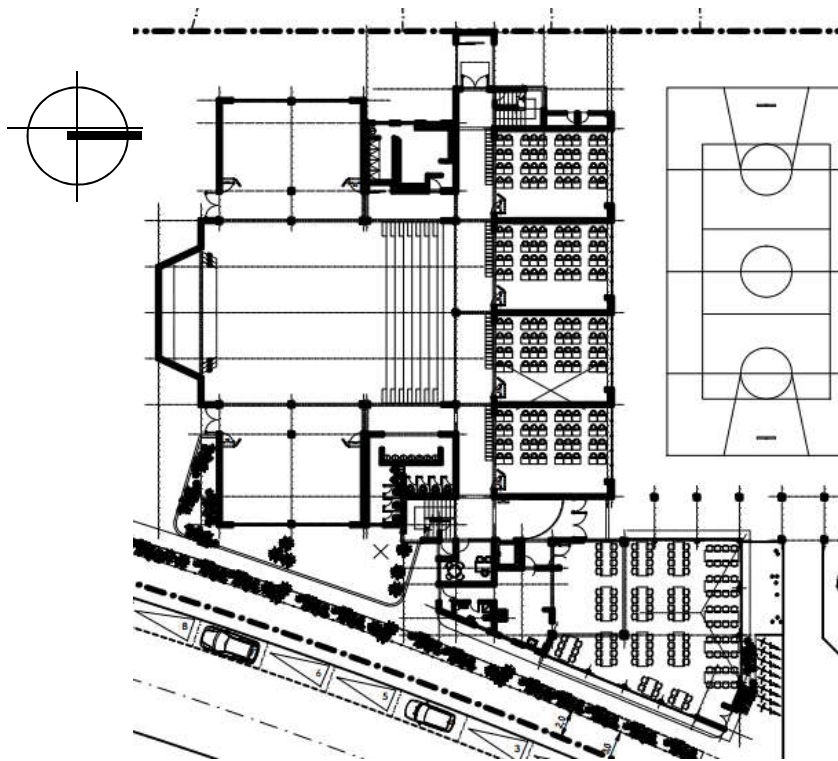


Figura 19. Orientación de las aulas Colegio Almondale Valle Noble 2º Etapa. (Fuente: Colegio Almondale Valle Noble)

Envolvente del edificio: La envolvente fue diseñada para evitar los puentes térmicos, de esta manera, se pensó en una buena aislación, junto con una alta masa térmica y una envolvente hermética. El proyecto está construido en base a muros de hormigón armado, y con un revestimiento exterior de poliestireno expandido por la cara exterior (sistema EIFS). La estructura de hormigón ayuda a reducir el riesgo de infiltración y el revestimiento exterior ayuda a mejorar el valor U del muro. Los vidrios son del tipo doble vidriado hermético (DVH), lo que favorece la aislación térmica, además, se les instaló una lámina 3M Prestige para el control de la

radiación UV, el área vidriada corresponde a 45.91% de la envolvente del edificio. La techumbre está construida en perfiles de acero galvanizado, con una aislación térmica de celulosa proyectada de $e=200\text{mm}$ en los patios cubiertos o lana de vidrio $e=180\text{mm}$ en las techumbres en aulas.

Climatización y ventilación: El colegio no posee calefacción en las salas de clase, ya que se considera que las ganancias solares y las internas de los alumnos proveen la suficiente energía para calefaccionar las salas. El edificio solo considera refrigeración a través de la ventilación, ya que éste no se usa desde 6 ~ 8 de diciembre hasta el 4-6 de marzo, que es el periodo de vacaciones de verano de los estudiantes. El sistema de ventilación considera inyección forzada para las salas de clase con índice de renovación de aire de 3,6 a 4 rah, la extracción es natural por ducto independiente.

Iluminación Natural y Artificial: Las aulas están orientadas hacia el norte de manera de aprovechar la mayor cantidad de luz natural posible, además las ventanas poseen repisas de luz que hacen rebotar la luz natural para que se distribuya de forma uniforme en el aula. Los patios techados reciben luz indirecta desde ventanas en el techo. La iluminación artificial es provista a través de equipos LED, controles manuales en aulas, y sensores de iluminación (exterior e interior) en patios techados y espacios de doble altura.

Cargas conectadas: El edificio sólo posee sistemas eléctricos, por lo que, el balance final se hace incluyendo iluminación, calefacción eléctrica (oficinas), sistemas de ventilación, agua caliente sanitaria, computadores, artefactos, control, etc. Sin embargo, no existe ninguna estrategia respecto a este tipo de cargas, salvo el de evitar otro tipo de fuente de energía, que no sea la eléctrica.

Energías renovables: El edificio no considera la incorporación de energías renovables.

2.3. Evaluación del concepto cero energías

Al igual que con el caso estudiado en la región Flamenca de Bélgica. En el caso de Chile no existe una definición del concepto Cero Energías, ni requerimientos de desempeño obligatorios. Sin embargo, el caso evaluado representa a las mejores prácticas de construcción de establecimientos educacionales en la zona de Concepción.

2.3.1. Límites del Sistema

Límite Físico: En este caso el límite del sistema está dado por los bordes del sitio donde se ubica el colegio. El colegio consta de dos volúmenes principales y el proyecto espera seguir expandiéndose en razón de la demanda de energía. Todos los consumos de energía se generan en el interior del sitio del edificio. La energía eléctrica proviene exclusivamente desde el exterior, no existe generación de energía primaria de ningún tipo, dentro del sitio del establecimiento.

Límite del Balance: solamente la energía eléctrica traspasa el límite del edificio, y solamente en un sentido, para consumo. La energía eléctrica es la energía que el edificio utiliza para los sistemas de calefacción y ventilación.

Si bien en este caso el balance es inexistente, ya que no hay producción de energía primaria con la que equilibrar los consumos. Se consideró la intensidad de uso y la densidad de ocupación para equilibrar las necesidades de calefacción dentro de las aulas.

El este caso las cargas por el uso del sistema mecánico de ventilación y la iluminación son las más relevantes a tomar en consideración, ya que el colegio no posee sistema de climatización. Las cargas conectadas también influyen en el balance, ya que, también son cargas eléctricas.

El estándar de confort normativo solamente exige 12°C dentro de las aulas con sistema de calefacción, y 2 renovaciones de aire [3]. Un estándar muy por debajo de lo óptimo. Estos índices son cumplidos y sobrepasados por las estrategias que se aplicaron al colegio.

2.3.2. Sistema de Ponderación

El indicador que se utiliza en este caso es la energía final o del sitio, ya que no existe más información de la red. Este indicador es útil para este edificio, ya que solo existe un tipo de energía con la cual es factible realizar un balance de importación/exportación.

Otro indicador relevante para el mandante es el costo de energía, por lo que, la evaluación de este indicador es necesaria para determinar la rentabilidad de la inversión.

En el país no existe un sistema de ponderación de energía o eficiencia energética que sea obligatorio. Y para el proyecto, no fue importante considerarlo.

2.3.3. Balance cero energías

Como se dijo anteriormente en este caso es imposible hablar de balance, ya que no existe producción de energía, solo consumo. Sin embargo, algunos aspectos del balance si son factibles de ser analizados en base a la información disponible.

2.3.4. Coincidencia temporal de energía

En Chile no existe aún un desarrollo de una red eléctrica inteligente (Smart Grid), aún no existen ejemplos de edificios que puedan interactuar de forma activa con la red eléctrica. Ya sea, por ejemplo, para traspasar energía a la red, cuando exista mayor necesidad o para usar la energía de la red en horarios de bajo consumo.

2.3.5. Monitorización y Verificación

La monitorización se ha realizado mayormente enfocada hacia el consumo eléctrico, de manera, de obtener datos que permitan determinar la rentabilidad del edificio. Los resultados del consumo energético fueron de 18,3 kWh/m² año, para el periodo 2014, considerando los consumos de calefacción, ventilación y cargas conectadas [96].

También se realizaron monitorizaciones puntuales de ventilación, arrojando un índice de 3 a 4 renovaciones de aire.

2.3.6. Tabla resumen

La **Tabla 9** resume los criterios relevantes para concepto energía neta cero en el colegio Almondale de Valle Noble. En ella se puede apreciar que el planteamiento de un colegio con buenas prácticas desde el punto de vista de la eficiencia energética y el confort ambiental permite acercarse al concepto de cero energías (aunque este no se logre en la realidad). Sin embargo, también es factible apreciar que muchos de los criterios faltantes deben ser respaldado por normativas y provistos por la autoridad respectiva, como, por ejemplo: los factores de ponderación, o la necesidad de incorporar energía renovable no convencional.

Tabla 9 Tabla de evaluación de criterios Colegio Almondale (Fuente: *Elaboración propia*)

| CRITERIOS | COLEGIO ALMONDALE | |
|---|--|--|
| 1. Límite del sistema edificio | 1.1 Límite del Sistema | |
| | ¿El sistema comprende un solo edificio o un grupo de edificios? | Dos Edificios en el sitio |
| | ¿Qué tipo de energía fluye en ambos sentidos?, hacia la red y desde la red (electricidad, calefacción, etc.) | Electricidad solo consumo |
| | 1.2 Funcionalidad y Efectividad | |
| | ¿Qué tipo de edificio es? (habitacional, educacional, oficina, etc.) | Educacional |
| | ¿Cuál es la relación energía/usuario? | Ganancias 80W x pers |
| | ¿Cuál es la intensidad de uso en términos de personas/m2? (densidad) | 0,4 pers x m2 |
| 1.3 Clima y Confort | | |
| ¿Cuál es el clima de referencia? | Según TDRé Sur Litoral | |
| ¿Qué estándar de confort se han seguido para calcular las cargas? | Solo se consideró ventilación (3,4 ~ 4 rah) | |
| 2. Sistema de ponderación | 2.1 Indicadores | |
| | ¿Que indicador se usará? | Energía final (o del sitio) Si (es factible) |
| | | Energía de la fuente (primaria) No existen datos para energía primaria |
| | | Costo de la energía Si (energía final) |
| | | Emisiones No existe base de datos |
| 2.2 Medición de los Indicadores | | |
| ¿Cuál será el factor de ponderación? | No se consideró (es factible utilizar Intensidad de uso de energía) | |

| CRITERIOS | | COLEGIO ALMONDALE | |
|--|--|---|--|
| 3. Balance NZEB | 3.1 Elementos del Balance | | |
| | ¿Qué cargas se incluirán en el balance? | calefacción | Si (solo oficinas) |
| | | refrigeración | No posee sistema |
| | | ventilación | Si (el consumo no está desagregado) |
| | | energía auxiliar | Si (el consumo no está desagregado) |
| | | agua caliente sanitaria | Si (el consumo no está desagregado) |
| | | Iluminación | Si (el consumo no está desagregado) |
| | | Cargas conectadas | Si (el consumo no está desagregado) |
| | | Cocina | no |
| | ¿Existen otros servicios energéticos que tengan un impacto positivo en el ambiente? | tratamiento y recuperación de aguas lluvias | No se consideró |
| | | carga de vehículos eléctricos | No |
| | ¿Se considerará la energía contenida en los materiales e instalaciones? | | No (no hay datos suficientes a nivel país, se puede estimar) |
| | ¿Se considerará un análisis de ciclo de vida completo, incluido construcción, demolición, tratamiento de los desperdicios y opciones de reciclaje? | | No (Faltan datos si se quiere lograr cero emisiones de CO2) |
| | 3.2 Periodo del balance | | |
| | ¿Cuál será el periodo base para calcular el balance? | meses | factible / para ajuste |
| | estación (otoño, invierno, etc.) | factible / para ajuste | |
| | un año | Si | |
| | 30 a 50 años | No | |
| 3.3 Eficiencia Energética | | | |
| ¿Existe alguna reglamentación con requerimientos mínimos de eficiencia energética? | Normativas Nacional | No | |
| | Normativas Internacionales | No consideradas en el proyecto | |
| | Normativo comportamiento costo energético | No | |
| | Normativo comparativo con un caso base | No | |
| | Código Voluntario | TDR no considerado en el proyecto | |
| 3.4 Provisión de Energía | | | |
| ¿Existe una jerarquía en las opciones de suministro de energía? | | No | |
| ¿La cogeneración de energía con combustibles fósiles será ponderada en el balance? | | No existe co-generación | |
| ¿Es factible comprar energía "verde" o invertir en fondos o proyectos "verdes"? | | No | |

| CRITERIOS | | COLEGIO ALMONDALE | |
|--|----------------------------------|--|--|
| 4. Características de coincidencia de energía temporal | 4.1 | ¿Cuáles son los indicadores que permitirán evaluar el impacto del intercambio de energía entre el edificio y la red? | No existe la infraestructura para Smart Grids en Chile |
| | 5. Monitorización y Verificación | 5.1 | ¿Es suficiente el diseño y la simulación para chequear la efectividad del balance? |
| | | | ¿Es necesario la monitorización para chequear el balance? La monitorización debe considerar que se cumplan las condiciones de confort, para no llevar a un concepto errado de NZEB |

3. INDICADORES DE DESEMPEÑO APLICADOS A COLEGIOS CERO ENERGÍAS

En la presente sección, se realiza una comparación entre indicadores de desempeño, entre 4 situaciones: (1) La realidad del promedio de colegios públicos en la zona de Concepción Chile, que no fueron diseñados con criterios de eficiencia energética, y que mantienen la condición básica que plantea la normativa, (2) El colegio Almondale de Valle Noble, que representa a las mejores prácticas de diseño pasivo y eficiencia energética en la zona, (3) La Escuela Pública Bilzen, de la zona de Limburgo Bélgica, parte del proyecto piloto “PassiefScholen”, para colegios con Balance Cercano a Cero (Nearly Zero), (4) Un escenario futuro de máxima eficiencia para colegios energía neta cero.

La tabla que se presenta a continuación permite comparar los principales indicadores de desempeño, que se deberían considerar en el balance neto de energías (ver sección 3.2.3 del Capítulo 2), junto con los sistemas ocupados o comúnmente utilizados para lograr ese nivel de desempeño. Estos indicadores se dividen en: (1) Datos generales relevantes para el cálculo del balance y su implementación (costo de construcción, intensidad de uso en m² x persona, y cantidad de estudiantes por aula), (2) Datos relativos a la envolvente (Valores de transmitancia térmica y hermeticidad), (3) Datos de calefacción (Sistemas de calefacción activa y pasiva), (4) Datos de refrigeración (Sistemas activos y pasivos), (5) Datos de ventilación (Sistemas activos y pasivos), (6) Datos relativos al confort ambiental de las aulas (desempeño térmico y del sistema de ventilación), (7) Opciones de control de usuario (considerando el tipo de usuario), (8) Producción de Energía y Agua caliente sanitaria (considera el % de energía renovable no convencional a considerar y el sistema de producción de ACS), (9) Consumo neto de calefacción y refrigeración, (10) Sistema de iluminación. En el punto 3.4 se hará un comentario más completo respecto a los resultados que arroja la **Tabla 10** .

Tabla 10 Comparación de Indicadores de desempeño (Fuente: Elaboración Propia)

| | PROPIEDADES | SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESCUELAS PÚBLICAS EN CONCEPCION CHILE | COLEGIO ALMONDALE | PROYECTO PASSIVSCHOLEN BELGICA (nZES) | MAXIMA EFICIENCIA PARA NZES |
|----------------------|--|--|--|--|---|
| Datos Generales | Costo Construcción (pesos/m ²) | 745.085 | 1.053.225 | 1.012.227 | 1.263.870 (Mejores prácticas+20%) |
| | Área (m ²) | (1,5 m ² x persona) | (1,6 m ² x persona) 1385 m ² | (2,5 m ² x persona) 964+447 m ² | (1,8 ~ 2 m ² x persona) |
| | Cantidad de estudiantes | 35 (curso) | 28 (curso) | 90 total (22 por curso) | 22-25 (curso) |
| Envolvente | Valor U de la Techumbre | 4,06 W/ m ² K (zona central) | 0,21 W/ m ² K (zona central) | 0,12 W/ m ² K | 0,15 W/ m ² K |
| | Valor U de Muros | 2,46 W/ m ² K (zona central) | 0,67 W/ m ² K (zona central) | 0,13 W/ m ² K | 0,15 W/ m ² K |
| | Valor U de Pisos | 1,93 W/ m ² K (zona central) | 1 W / mK | 0,16 W / m ² K | 0,15 W / m ² K |
| | Sistema de Ventanas | Aluminio – vidrio simple | Doble vidriado hermético, y marco PVC | Triple vidriado hermético, marco aluminio-madera | Triple vidriado hermético, marco PVC o Aluminio con rotura puente térmico |
| | Valor U _m (marcos) | 5,7 W / m ² K | 2,2 W / m ² K | 0,75 y 0,68 W / m ² K | 0,6 W / m ² K |
| | Valor U _v (cristales) | 5,7 W / m ² K | 2,9 W / m ² K | 0,51 W / m ² K | 0,5 W / m ² K |
| | Hermeticidad n ₅₀ | No medido | No medido | 0,3 & 0,2 rah | n ₅₀ =0,50 rah |
| Calefacción Pasiva | Ganancias Internas (80W persona) | 58 W / m ² | 50 W / m ² | 32 W / m ² | 44 W / m ² |
| | Sistema de calefacción | Pasivo no optimizado, mediante aprovechamiento y ganancias internas solar | Pasivo optimizado, mediante aprovechamiento solar y ganancias internas | Pasivo optimizado mediante aprovechamiento solar y ganancias internas | Pasivo optimizado mediante aprovechamiento solar y ganancias internas. |
| Calefacción Activa | Sistema de calefacción | Solo desde Itata hacia el sur (estufas en aula, radiadores con caldera a madera o gas) | No posee sistema de calefacción activo en aulas Calefactores de placas en oficinas. | Caldera de condensación a gas / distribución de calefacción a través de ventilación convectiva (sala de clase). Calefacción radiante a través del suelo (gimnasio). | Calefacción activa de respaldo (bombas de calor, calderas de condensación a gas, paneles solares, biomasa) |
| Refrigeración Pasiva | Sistema de refrigeración | Solo a través de ventilación free cooling | Sólo a través de ventilación free cooling y mecánica | Free cooling pasivo y enfriamiento nocturno pasivo en complementación a la masa térmica | Free cooling pasivo, diurno y nocturno, complementado con masa térmica, máximo uso en relación a las temporadas |

| PROPIEDADES | | SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESCUELAS PÚBLICAS EN CONCEPCION CHILE | COLEGIO ALMONDALE | PROYECTO PASSIVSCHOLEN BELGICA (nZES) | MAXIMA EFICIENCIA PARA NZES |
|----------------------|--|---|---|---|--|
| | Sistemas de control solar | Aleros | Aleros y celosías verticales móviles en ventanas orientadas hacia el oeste Film 3M con filtro UV en ventanas orientación norte | Cortinas Internas y externas | Sistemas de sombreados por la cara exterior (cortinas, celosías) |
| Refrigeración Activa | Sistema de Refrigeración | No posee | No posee | Chillers dimensionados para evitar sobrecalentamiento | Sistemas mecánico complementario a la refrigeración activa de bajo consumo |
| Ventilación Pasiva | Sistema de Ventilación | 8% de operabilidad de las ventanas | Sistema mixto, inyección mecánica 3,6 a 4 rah, accionados por timer extracción natural en salas. En gimnasio sistema pasivo extracción mediante dampers apertura por sobre presión | Ventilación natural nocturna con extracción mecánica. Ventilación natural diurna en épocas de baja ocupación | Ventilación natural diurna y nocturna en temporadas donde sea factible utilizar |
| Ventilación Activa | Sistema de ventilación mecánica | Mayormente no poseen o no funcionan 2 rah en caso de existir | | Central 1 equipo por edificio, recuperador de humedad y recuperador de calor Gimnasio control bypass y set point CO ₂ 3 rah | Principalmente mecánico, (pasivo complementario), recuperación de calor y recuperación de humedad |
| Confort | Set point del termostato Set point de ventilación | Límite inferior 12°C Libre control sensación usuario | Límite inferior 15°C Renovaciones de aire fijas en aula cuando el sistema está en uso (3,6 a 4 rah) Control por CO ₂ en gimnasio | 18°C – 24°C 1000 ppm de CO ₂ máximo | Según modelo de confort adaptativo para la zona (16~18 a 24~26°C) 1000 ppm de CO ₂ máximo |
| Control de Usuario | Opciones de control para el usuario | Solo control manual on/off para iluminación No hay control sobre la ventilación Usuario no capacitado | Ventilación accionada por timer. Control de iluminación por sensor operador capacitado full time | Control limitado de calefacción (+ 1 / - 1) Grifos termostáticos Regulación de climatización por espacio y zona + control de sobre tiempo | Controles simples para usuarios no capacitados ocasionales controles avanzados para facilitadores o administradores capacitados full time |

| PROPIEDADES | SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESCUELAS PÚBLICAS EN CONCEPCION CHILE | COLEGIO ALMONDALE | PROYECTO PASSIVSCHOLEN BELGICA (nZES) | MAXIMA EFICIENCIA PARA NZES | |
|-----------------------------|---|-----------------------|---|---|--|
| | | | Operador dedicado | | |
| Producción de Energía y ACS | Sistema de Agua caliente sanitaria | Calefactor a Gas GLP | Calefactor Eléctrico | Calefactor eléctrico / Calefactor eléctrico de flujo | Calefactor eléctrico / Calefactor solar / Calefactor Gas / Sistemas mixtos |
| | Sistemas fotovoltaicos | No Posee | No posee | 10kW (5% del consumo eléctrico) | 100% del consumo eléctrico |
| Consumo | Consumo calefacción neto (kWh / m ² a) | Sin sistema | No posee en aulas | 12,52 & 10,71 | 15 |
| | Consumo de refrigeración (kWh / m ² a) | Sin sistema | 0 | 9,08 & 10,12 | 15 |
| Iluminación | Sistema de cálculo de la iluminación | Solo normativo | Estudio de iluminación | Estudio de iluminación | Estudio de iluminación |
| | Sistema de Iluminación | Luminarias eficientes | Luminarias de alta eficiencia tubos fluorescentes en aulas, iluminación LED en pasillos | Luminarias de alta eficiencia (A label) / artefactos de iluminación de 85% de eficiencia. | Luminarias alta eficiencia, recomendable LED / 300 lux mínimo en aulas |
| | Operación de la iluminación | Manual on / off | Controles Dali. Sensores de iluminación exterior. Sensores de ocupación en baños | Manual / sensor de movimiento/ Sensor de luz día / Timing | Sensor de iluminación interior / exterior + sensor de ocupación |

4. RESULTADOS COMPARATIVOS

4.1. Requisitos de Desempeño

Se pudo constatar que tener un objetivo de desempeño estricto, como por ejemplo 15 kWh/m²a para demanda de calefacción y climatización, es bastante conveniente. La fortaleza de tener esta meta es que los esfuerzos del equipo de diseño se enfocan en un objetivo que es ultra-eficiente, pero medible. Es posible discutir y llegar a precisar cuál es la meta más adecuada, si es 15 o 20 o incluso 40 kWh/m²año. Pero lo que es más importante es fijar un límite de desempeño obligatorio. Igualmente, se necesitan diferentes objetivos prescriptivos, para los distintos parámetros de diseño como geometría del edificio, paramentos exteriores, cargas, sistemas de climatización (HVAC) y fuentes de energías renovables. Reforzando la idea, el desafío está en cómo lograr la meta propuesta, y no mucho en fijar la meta.

4.2. Confort y Calidad del Aire

El confort y la calidad del aire son los factores más importantes en el concepto NZES. Estos deben estar por sobre lograr las cero emisiones de carbón y por sobre la eficiencia energética. Sin embargo, es necesario precisar que el confort es una medida de calidad ambiental subjetiva. Entre la percepción y la evaluación basada en la evidencia, existen diferencias y en base a estas se pueden encontrar en la literatura una serie de modelos de confort. Esos modelos van desde el modelo de Givoni al ISO 7703 [53]. También, los distintos estándares revisados definen distintos rangos de confort. Por ejemplo, el caso del estándar Casa Pasiva (PassivHaus), que está basado en altas expectativas de confort. Sin embargo, la experiencia muestra que el rango de confort está estrechamente relacionado con el estatus socioeconómico del país. Esto hace que la identificación de los requerimientos de confort sea relevante. La comparación entre las dos escuelas revela la dificultad de tener la misma calidad de confort y las mismas expectativas, para estas realidades distintas. Es importante entonces que los diseñados de NZES, puedan identificar primeramente las necesidades de confort y las expectativas de los ocupantes, porque estas pueden variar de una población a otra. En paralelo se puede observar que la calidad del aire es una medida universal y se debe implementar con los mismos estándares en todo el mundo. El límite de 1000 ppm de CO₂ es muy importante para mantener el bienestar, la productividad y asegurar el desempeño académico de los estudiantes.

4.3. Envoltente y Diseño Pasivo

Los NZEBs requieren que se cambien las reglas del juego y las asunciones de la arquitectura pasiva y bioclimática. Los NZES requieren un dimensionado óptimo de la proporción de ventana-muros y la protección de las fachadas norte (en el caso de los países en hemisferio sur), un dimensionado óptimo de apertura de ventanas en las fachadas sur, para aprovechar al máximo la luz del sol. Esto incluye entender los principios básicos del diseño pasivo que asocia la aislación con la hermeticidad. Un edificio bien aislado térmicamente, pero que es permeable al aire, no debe calificar como aislado, si bien, el nivel de hermeticidad puede variar

dependiendo del tipo de clima, el nivel que se defina debe ser garantizado. Se deben considerar espacios de acceso intermedio (Chifloneras), ubicadas en todas las entradas del edificio, deben ser instaladas y dimensionadas adecuadamente para garantizar la hermeticidad y el fácil acceso al edificio. Además, los puentes térmicos deben ser evitados y dispositivos de sombreado exterior deben ser correctamente diseñados e instalados y considerados como esenciales en el diseño. En un NZEB las ganancias solares pueden incrementar enormemente el riesgo de sobrecalentamiento, incluso en las fachadas Sur (la latitud es determinante en este caso). Se recomienda optimizar el tamaño de los vanos y siempre permitir a los usuarios bloquear la radiación solar antes que golpee al edificio. La optimización de la orientación y la investigación del recorrido solar y acceso a la luz exterior debe ser parte de todo diseño.

La ventilación natural y el enfriamiento nocturno, no es muy efectiva en un NZEB. Lecciones extraídas de la práctica indican que la mayoría de los equipos de diseño sobrestiman la contribución del enfriamiento nocturno. En las ciudades contaminadas de hoy y el cambio climático, existe una desestimación del riesgo de sobrecalentamiento, debido a la sobreestimación del enfriamiento pasivo y el impacto del enfriamiento nocturno. Es por esto, que este estudio recomienda para NZES utilizar equipos activos para climatización, y dimensionar los sistemas de ventilación y las redes de distribución de aire apropiadamente.

Utilizar ventilación mecánica con recuperador de calor es fundamental en todo NZEB. Estos edificios requieren una red de distribución de aire con tubos de inyección y extracción. Dimensionando la red de distribución de aire e integrándola en el cielo, puede significar una importante consecuencia espacial y económica. La mejor manera de llegar al objetivo de confort térmico y respetar los requerimientos de calidad del aire, es separar la climatización de la ventilación. Una lección extraída de la práctica para sistemas de generación de calor es utilizar calderas de gas para edificios pequeños y calderas a pellet o estufas de doble cámara o bombas de calor para grandes edificios o grupos de edificios. Para la distribución del calor, los radiadores son efectivos en espacios con baja ocupación y con demanda de calefacción rápida. Lecciones extraídas de la práctica para climatización, recomiendan el uso de sistemas VRF para edificios pequeños e individuales, y chillers a gas o sistemas adiabáticos para grandes edificios o grupos de edificios. La ventilación mecánica debe ser dimensionada para entregar a lo menos la cantidad de aire fresco requerido independiente de los sistemas de calefacción o enfriamiento. Un pequeño terminal de AHU en cada lugar, puede ser usado para ayudar a alcanzar la temperatura de confort rápidamente y de forma individual en cada zona. Se recomienda instalar sistemas de Volumen de Aire Variable (VAV) en edificios grandes e integrar controles de humedad.

Con la dependencia de sistemas HVAC de alta tecnología, se debe considerar que la eficiencia decrece con el tiempo. La mantención y el reemplazo del equipamiento debe ser parte de la administración del edificio y del análisis del costo del ciclo de vida del edificio.

4.4. Controles y ocupantes

Hay dos enfoques principales para empoderar a los ocupantes y proveer un óptimo control de NZEBs. El primer enfoque es minimalista pensado en sistema de control manuales, permitiendo a los usuarios regular su propio ambiente. En NZEBs high-tech, el uso depende principalmente de su operador. En la **Figura 20**, se realiza una comparación entre controles manuales y automáticos en NZEBs. En base a esta se puede descubrir que el uso de controles conocidos para manejar el confort, pueden ser fácilmente operados siguiendo una curva de aprendizaje pequeña. Por otro lado, para NZEBs high-tech que pueden ser operados por profesionales o administradores, se recomiendan usar controles automáticos e inteligentes. Con el tiempo NZEBs se volverán mucho más conectados con sistemas domóticos. Los equipos de diseño deben asegurar que existan administradores de tiempo completo para ese tipo de edificios. Finalmente, se observa que los dos enfoques son buenos, pero ellos dependen fuertemente de los usuarios y de las capacidades o habilidades del administrador.

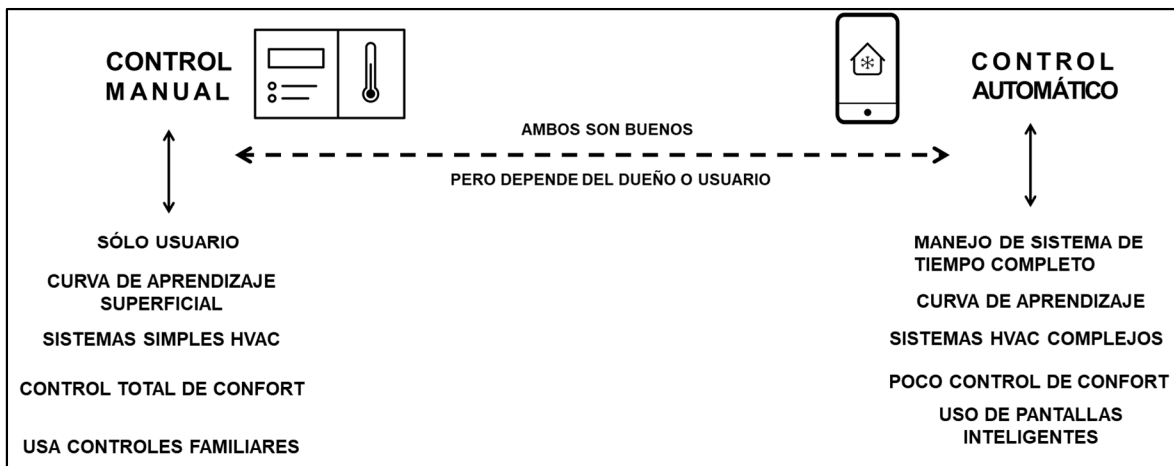


Figura 20. Idoneidad de los sistemas de control. (Fuente: Elaboración propia basado en resultados de reuniones de discusión)

CAPITULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO CERO ENERGÍAS EN CHILE

En base al marco teórico y los resultados del análisis realizado en el capítulo anterior, es pertinente evaluar el enfoque low-tech del concepto Cero Energías, aplicada a Chile. Este capítulo, muestra los resultados de una discusión realizada con especialistas de área y con experiencia en NZEB. Además, en el presente capítulo se estudia y analiza una hoja de ruta para la implementación del concepto NZES low-tech en el país. Junto con esto, se evalúa para Chile la defición de “Colegios Energía Neta Cero”, y se concluye con un borrador de definición para el país.

1. HACIA UN ENFOQUE LOW TECH

La transición energética y la eficiencia de los recursos son tan importantes en los países industrializados como en los países en desarrollo. La meta de reducción de las emisiones de CO₂, el incremento de la eficiencia energética y de la provisión de energía renovable se han convertido en una realidad para ciudades y edificios a nivel mundial. Fijar un objetivo de alto-desempeño para edificios asociado a un indicador de intensidad de uso de energía y a un índice de emisiones de CO₂ es necesario para para lograr las metas que se mencionaron anteriormente. Sin embargo, la manera de lograr esas metas es totalmente diferente para países industrializados y países en vías de desarrollo. Los países en vías de desarrollo enfrentan diferentes tipos de desafíos, de acuerdo con su realidad social, que requiere un enfoque y un camino distinto.

Típicamente los NZEBs son edificios equipados con alta tecnología, y que son fruto de una red interconectada de altos estándares ecológicos en construcción y tecnología. Ellos han evolucionado durante años de investigación y desarrollo e implementaciones prácticas, para hoy en día ser energéticamente independientes y libres de emisiones de CO₂. Países industrializados integran la eficiencia energética y las energías renovables después de suplir las necesidades de stock habitacional y después de lograr las suficientes condiciones de confort en su medio ambiente construido. Por otro lado, muchos de los países en desarrollo, están aún trabajando en cerrar la brecha del déficit habitacional y lentamente abordar el tema del confort y la calidad del aire al interior de los edificios. La evolución del confort y la calidad del ambiente interior, en estas dos partes del mundo, no son lo mismo. De hecho, la calidad del ambiente interior depende del estatus socioeconómico y el progreso. Por lo tanto, el concepto NZEB requiere de un trabajo integrado para sustentar las necesidades de los países en desarrollo y reflejar su progreso socioeconómico. Esto puede ser logrado integrando tecnología low-tech, soluciones sustentables y tecnologías que sean económicamente justificables y arquitectónicamente interesantes. El uso de soluciones arquitectónicas pasivas y low-tech, que suplan las necesidades sociales de los usuarios y los desafíos ecológicos que enfrentan las personas en los países en desarrollo, requiere de el desarrollo de un concepto Cero Energías low-tech (NZEB-lowT).

Basado en discusiones que se llevaron a cabo durante diferentes sesiones o focus group con especialistas del área, se identificaron tres temas importantes a abordar para alcanzar el objetivo de un NZEB low-tech.

El primer tópico está relacionado con la identificación de los niveles de confort. En países industrializados, el concepto de confort está bien establecido y la industria de servicios para los edificios alcanza por lo menos el 100% de penetración en el mercado inmobiliario. Además, en estos países, existe una variedad de modelos de confort. Con la creciente mejora de la eficiencia energética en los últimos 30 años, la preocupación acerca del confort y el avance de los modelos de confort ha resultado en estrechos rangos de temperatura para confort térmico [53]. La definición de Edificio Energía Neta Cero (NZEB) high-tech, está mayormente basada en un modelo de confort estático y en los modelos de confort adaptativo que estos mismos países han desarrollado.

Sin embargo, la definición de NZEB low-tech, no necesita estar basada en esos modelos de confort tan estrictos, se requieren nuevas definiciones y conceptos para NZEBs en países como Chile, que integren modelos de confort adaptativos más tolerantes, reflejando el estatus socioeconómico del país, esto tendrá consecuencias directas en el consumo total de energía, el que debería bajar, permitiendo alcanzar fácilmente el Balance Cero Energías.

El segundo tema, está relacionado a la selección y uso de sistemas activos que se integran en los edificios. Como se muestra en la **Tabla 11**, el enfoque high-tech está basado en ventilación mecánica con recuperación de calor, lo que requiere tecnología más avanzada. Estos sistemas, servicios e instalaciones son mayormente importados y necesitan de controles más sofisticados. Sin embargo, no es necesario seguir un enfoque de un estándar "PassivHaus" o enfoques high-tech (alta tecnología) similares usando sistemas HVAC avanzados, ya que, dependiendo del clima local y la infraestructura tecnológica de los países, se pueden adaptar una serie de servicios, productos y soluciones low-tech que pueden ayudar a desarrollar el concepto NZEB low-tech. El uso de ventiladores de cielo o estufas móviles son dos ejemplos que permiten evitar altos costos de instalar sistemas de calefacción centralizados, sobre todo pensando en edificios con un alto nivel de aislación. Además, es posible desarrollar nuevos servicios, instalaciones y tecnologías para edificios que se adapten a la realidad socioeconómica y al estatus del mercado energético local.

El tercer tema está relacionado en cómo se consideran las cargas conectadas (plug-loads) y la iluminación en el balance energético. Ciertamente, en los países industrializados los NZEB son mayormente diseñados para tener un bajo gasto en climatización y calefacción, como consecuencia de esto, las cargas conectadas y de iluminación han llegado a tener un significativo efecto en el balance energético, siendo en muchos casos la mayor fuente de gasto energético. Aunque, en la mayoría de los países industrializados el concepto Energía Neta Cero (Net Zero) ha sido adoptado, o al menos se ha llegado a establecer estándares similares al Casa Pasiva (PassivHaus), solo hay unos pocos que consideran las cargas conectadas como parte del balance. Sumado a esto varios estudios llevados a cabo en estos países, han encontrado grandes diferencias entre el consumo proyectado por estos edificios y las mediciones realizadas una vez construidos. Esta diferencia es causada por el comportamiento de los ocupantes, principalmente en el uso de la iluminación y cargas conectadas, además del consumo vampiro o fantasma. En este sentido, el desafío que enfrentan los países industrializados está estrechamente relacionado a la reducción de estas cargas, y en tratar de educar a los usuarios para un uso más consciente. En el caso de los países como Chile, las cargas adicionales y la iluminación pueden ser un camino para lograr un balance cero de forma más rápida. En Chile, el mayor consumo energético todavía está dado por los sistemas de calefacción o climatización, en establecimientos educacionales se suma además el problema de la pobreza energética asociado a estos sistemas, luego toman relevancia los consumos de iluminación y las cargas conectadas. Podemos suponer entonces, que los usuarios, en estos países, no poseen las condiciones para tener muchos equipos tecnológicos, asociados al

gasto de este tipo de cargas, y en general es un tipo de usuario más consiente del uso y el gasto energético, en el caso de Chile, existe una creciente preocupación por utilizar artefactos (computadores, TV, refrigeradores, etc.) y sistemas de iluminación (LED, sensores, etc.) de bajo o muy bajo consumo. Sin embargo, se abre la posibilidad a un efecto rebote, cuando la condición del ambiente interior del edificio es mejorada, como sucedió con los países industrializados. No obstante, este efecto no es inmediato y se debe tomar en consideración el tiempo y el cambio generacional en el que sucede, esto puede ayudar a pensar en un NZEB, en una primera etapa, sin muchas cargas conectadas y con un gasto de iluminación que en el caso de Chile cada vez es más reducido. Este enfoque puede proveer una forma más simple para el cálculo del balance energético, por ejemplo, si todas las cargas son eléctricas, no existe la necesidad de implementar un sistema de ponderación para las distintas fuentes de energía, solamente se debería implementar para la conexión a la red. También la electricidad puede ser fácilmente provista en la mayoría de los casos por paneles fotovoltaicos, o plantas eólicas cercanas al sitio. Además, es necesario considerar otro tipo de comportamiento del usuario, sobre todo en Chile y es que en general las viviendas y los establecimientos educacionales, aumentan su superficie constantemente a medida que el presupuesto lo va permitiendo. Así generalmente estos comienzan como una unidad básica la que con el tiempo puede transformarse, en una gran instalación o un grupo mayor de edificios, cómo, por ejemplo, el caso del colegio Almondale Valle Noble, que este momento está en la etapa 2, y se espera la construcción de incluso una 3^{ra} etapa.

Tabla 11. Comparación de enfoques high y low-tech. (Fuente: Elaboración Propia)

| Enfoque High-Tech (alto estándar tecnológico) | Enfoque Low-Tech (bajo estándar tecnológico) |
|--|---|
| Objetivo Eficiencia Energética: 15 kWh/m ² a | Objetivo Eficiencia Energética: 30 kWh/m ² a |
| Objetivo Energía Renovable: 15 kWh/m ² a | Objetivo Energía Renovable: 15 kWh/m ² a |
| Envolvente: Max. Aislación y hermeticidad | Envolvente: Aislación y hermeticidad optimo según zona climática |
| Confort Térmico: modelos estáticos y adaptativos | Confort Térmico: Modelos Adaptativos |
| Calidad del Aire: 1000 ppm | Calidad del Aire: 1000 ppm |
| Comportamiento Usuario: Inconsciente y rígido | Comportamiento Usuario: Consciente y adaptable |
| Sistemas: Ventilación mecánica D, sistemas HVAC eficientes. | Sistemas: Ventilación mecánica ABC, sistemas HVAC eficientes |
| Controles de Usuario: Sistema de Gestión de Edificaciones (BMS) | Controles de Usuario: Ninguno o limitado |
| Operación de Sistemas: Alta tecnología Experto Full time. | Operación de Sistemas: Básica para Usuario no experto. |

De esta manera es factible pensar en un NZEB en etapas, dónde en primer lugar se debe asegurar el confort y la calidad del aire interior, luego aplicar medidas de eficiencia energética (considerando las cargas adicionales y la iluminación), y finalmente la implementación de sistemas de energías renovables.

2. HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” (NZES)

En la presente sección se presenta la hoja de ruta para la implementación de Colegios Energía Neta Cero (NZES). Esta hoja de ruta resume los argumentos expuestos en la sección anterior. Esta es el resultado de los grupos de discusión y entrevistas realizadas con profesionales y académicos con experiencia en la construcción e investigación de edificios Cero Energías en el mundo. Aborda la implementación del concepto en 3 etapas, corto, mediano y largo plazo.

En enfoque a corto plazo comienza con la implementación de una visión común entre todos los actores relevantes, luego implementando elementos claves como el confort y calidad del aire y finalizando con una implementación de un estándar de desempeño “PassivHaus” o similar adaptado a la realidad chilena y una base de datos de desempeño de los nuevos edificios, de manera, de establecer una línea base de comparación con los futuros desarrollos. En este sentido, se recomienda avanzar en los siguientes aspectos:

- (1) Una visión Común de la Industria, Gobierno, Profesionales, Comunidades Locales, Instituciones de Salud. Para lograr un correcto desarrollo del concepto Cero Energías, es necesario integrar objetivos de común acuerdo, establecer plazos posibles de ser alcanzados y una cooperación intersectorial.
- (2) Mejores Prácticas (Diseño Bioclimático), Antes de establecer medidas obligatorias es necesario incentivar el desarrollo de buenas prácticas, estas incluyen estrategias de diseño pasivo, diseño en participación con la comunidad, verificación de las condiciones de confort y de eficiencia energética a través de certificaciones voluntarias entre otras. En paralelo el gobierno puede incentivar o premiar estas mejores prácticas con subsidios o rebaja en el pago de ciertos impuestos.
- (3) Mejorar la Calidad del Aire. Como se vio anteriormente, la calidad del aire es un aspecto fundamental en los establecimientos educacionales, por lo que, implementar medidas y normativas para su mejora es esencial y debería ser siempre uno de los primeros temas a abordar en cualquier visión y definición de Colegios Cero Energías. Cualquier meta que se imponga debe estar relacionada con el nivel de CO₂ en las aulas, y nunca debe sobrepasar las 1000 ppm.
- (4) Desarrollo de un nuevo modelo de confort. Establecer un modelo de confort adaptativo, considerando la necesidad de los estudiantes, será determinante, no solo para mejorar la satisfacción y el desempeño de los estudiantes, sino que también, para el desempeño energético. Estos modelos deben ser respaldados de manera normativa, y su actualización debe ser periódica, para acomodarse a las necesidades de las nuevas generaciones.

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

- (5) Medidas de eficiencia energética y desarrollos de sistemas de energía renovable. Luego de asegurar una buena calidad de confort interior y la calidad del aire, se deben implementar medidas de eficiencia energética de forma obligatoria en todos los proyectos de establecimientos educacionales. En paralelo se debe motivar a la industria a desarrollar sistemas de energía renovable, con miras a una producción nacional y a una masificación futura de estos sistemas.
- (6) PassivHaus Low-Tech para Colegios e Infraestructura Industrial. Es necesario fijar un estándar de alto desempeño como "PassivHaus" (15 kWh/m² x año), u otro similar adecuado para el país. El cómo lograr este estándar debería implicar un enfoque low-tech, en el sentido de, eliminar los equipos que encarezcan y complejicen la aplicación del estándar. Este estándar puede ser voluntario de manera de no estresar el mercado de la construcción, sin embargo, en paralelo es necesario contar con el respaldo de la industria para disponer de un stock de materias primas y servicios que permitan lograr la meta de desempeño. En este sentido, el principal objetivo de la industria debería ser el reemplazar los elementos importados o que encarezcan el logro de un máximo desempeño, por elementos de producción nacional y que respondan a las necesidades planteadas en la visión común.
- (7) Desarrollo de una base de datos para edificios (performance energética y confort ambiental) para establecer una línea base. Una vez se comience a implementar el estándar fijado anteriormente y previendo la necesidad de comparar y evaluar el impacto de las medidas tomadas, es necesario, generar una base de datos de edificios educacionales que permita comparar el desempeño entre estos. Estos datos son esenciales para reevaluar las metas y plazos establecidos en la primera etapa.

La visión a mediano plazo pretende concretar el concepto Cero Energías Low Tech, partiendo por un máximo desempeño low-tech en los establecimientos educacionales, acompañado de la correspondiente infraestructura industrial. Concretando un balance Cero Energías para las cargas de calefacción, refrigeración y ventilación. Además, considerar metas para lograr que edificios existentes logren un balance cercano a cero, se considera esencial. En esta etapa se considera que el parque de edificios y la red debería ser lo suficiente madura para poder generar una relación de interacción entre ellos.

- (8) Máximo desempeño low-tech e infraestructura industrial. En esta etapa el desempeño low-tech, en confort ambiental y consumo energético, debe ser obligatorio y la industria de la construcción debe disponer de los servicios y materiales necesarios para alcanzar el estándar.
- (9) Estándar "PassivHaus" high-tech para Colegios. Una vez asegurado un desempeño low-tech de manera obligatoria, es factible pensar en la implementación de un estándar "PassivHaus" o similar high-tech voluntario. Esto implica necesariamente un mejor desempeño en confort ambiental y consumo energético. En esta etapa los sistemas activos deben estar disponibles en el mercado de la construcción para poder lograr y asegurar los objetivos requeridos.

- (10) Desarrollo de una base de datos de huella de carbono para materiales y servicios. En esta etapa del desarrollo de la industria y de los códigos de construcción, incorporar datos de huella de carbono de materiales, se hace altamente factible. Si bien es totalmente posible, incorporar estos datos en una etapa más temprana, la utilidad de estos será necesaria cuando en los códigos de construcción se incorpore la necesidad de evaluar la huella de carbono de los proyectos de construcción. Sin embargo, las certificaciones voluntarias pueden incorporar en esta etapa, u en otra más temprana, requerimientos mínimos de materiales que cumplan con esta característica.
- (11) Incluir una meta mínima para energías renovables en edificios. Al incorporar un porcentaje mínimo de energía renovable en un edificio que cumple con un alto desempeño en confort ambiental y eficiencia energética, se estaría logrando el objetivo de un Balance Cercano a Cero. Este porcentaje debe ser evaluado en relación con la disponibilidad de sistemas de energía renovable para cada zona, y al potencial de cada energía en los lugares específicos. La autoridad puede implementar un sistema de ponderación para cada tipo de energía, premiando la incorporación de energías renovables, de cierto tipo, de forma de favorecer la industria y el potencial energético local.
- (12) Balance Neto Cero low-tech para colegios (calefacción, refrigeración y ventilación). En una primera instancia el Balance Neto Cero debería estar enfocado a que las cargas de refrigeración, calefacción y ventilación sean completamente cubiertas por la generación de energía renovable en el sitio. Esto va en la línea de asegurar las condiciones de confort ambiental, esenciales para el desempeño de los estudiantes.
- (13) Meta mínima para cargas conectadas e iluminación. Equilibrar las cargas conectadas y la iluminación en un balance neto cero, es el paso lógico para lograr un Balance Cero de todas las cargas, sin embargo, dependiendo de la intensidad de uso del edificio, se puede fijar un porcentaje mínimo de energía renovable para cubrir una parte de estas cargas, incentivando un desarrollo progresivo.
- (14) Meta Balance Cercano a Cero para edificios existentes. Indudablemente el mejorar el desempeño del parque de edificios existentes representa uno de los mayores desafíos de cualquier país. Sin embargo, en esta etapa, se hace necesario el incorporar requerimientos para edificios educacionales existentes. Un plan de renovación para establecimientos públicos, que cumplan con este objetivo, puede ser implementado en una etapa anterior, de manera, de perfeccionar las estrategias para que el resto de edificios puedan realizar este tipo de mejoras.
- (15) Medición de la Interacción con la Red y factores de ponderación para diferentes tipos de energías. Una vez que el concepto Cero Energías haya alcanzado transversalmente a edificios nuevos y existentes, el paso lógico es mejorar la interacción con la red energética. Implementar sistemas de Smart Grids (redes inteligentes) puede reducir de una forma importante las emisiones de CO₂, producidas por la generación y transporte de la energía. Una Smart Grid es una red que permite el

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

intercambio de información entre la fuente de distribución de energía de la red y el receptor, quién a su vez genera energía a una menor escala.

En el largo plazo es factible considerar que la industria y la tecnología darán el suficiente respaldo para poder fijar metas para edificios cero energías High-tech o de un muy alto desempeño. En esta etapa, se puede pretender también considerar otros tipos de balances como el cero emisiones, o un balance positivo de energías.

- (16) Balance Neto Cero para colegios High-Tech (Incluyendo cargas conectadas e iluminación). Lograr un Balance Neto Cero de todas las cargas, es un objetivo que es factible de lograr en el largo plazo. En esta etapa, gran parte del parque de establecimientos educacionales existentes deberían lograr un muy buen desempeño energético, por lo que, para este tipo de edificios lograr un balance total no implicaría un mayor costo.
- (17) Balance de emisiones de CO₂ cercano a cero (80% de reducción de emisiones de CO₂). Alcanzar un Balance Cero Emisiones de CO₂ puede llegar a ser un desafío incluso para edificios Cero Energías. Sin embargo, un edificio Cero Energías, es un edificio que ha podido reducir (aunque no se mida) en una cantidad importante sus emisiones de CO₂.
- (18) Balance Cero Emisiones de CO₂. Lógicamente incorporar el Balance Cero Emisiones requiere de un nivel avanzado de experticia, información, disponibilidad de materiales y recursos, por lo que, necesariamente este objetivo debe estar ubicado en el largo plazo.
- (19) Balance Positivo de Energía y Negativo de emisiones de CO₂ (Plus Energy School). Llegar a un balance positivo de energía (Plus Energy) y negativo de emisiones de CO₂, representa el ideal máximo a alcanzar en cualquier visión a largo plazo. En este escenario de máxima sustentabilidad, se piensa en una matriz energética libre de emisiones, y donde el objetivo sobrepasa el simple ahorro energético a unas condiciones de muy alto desempeño.

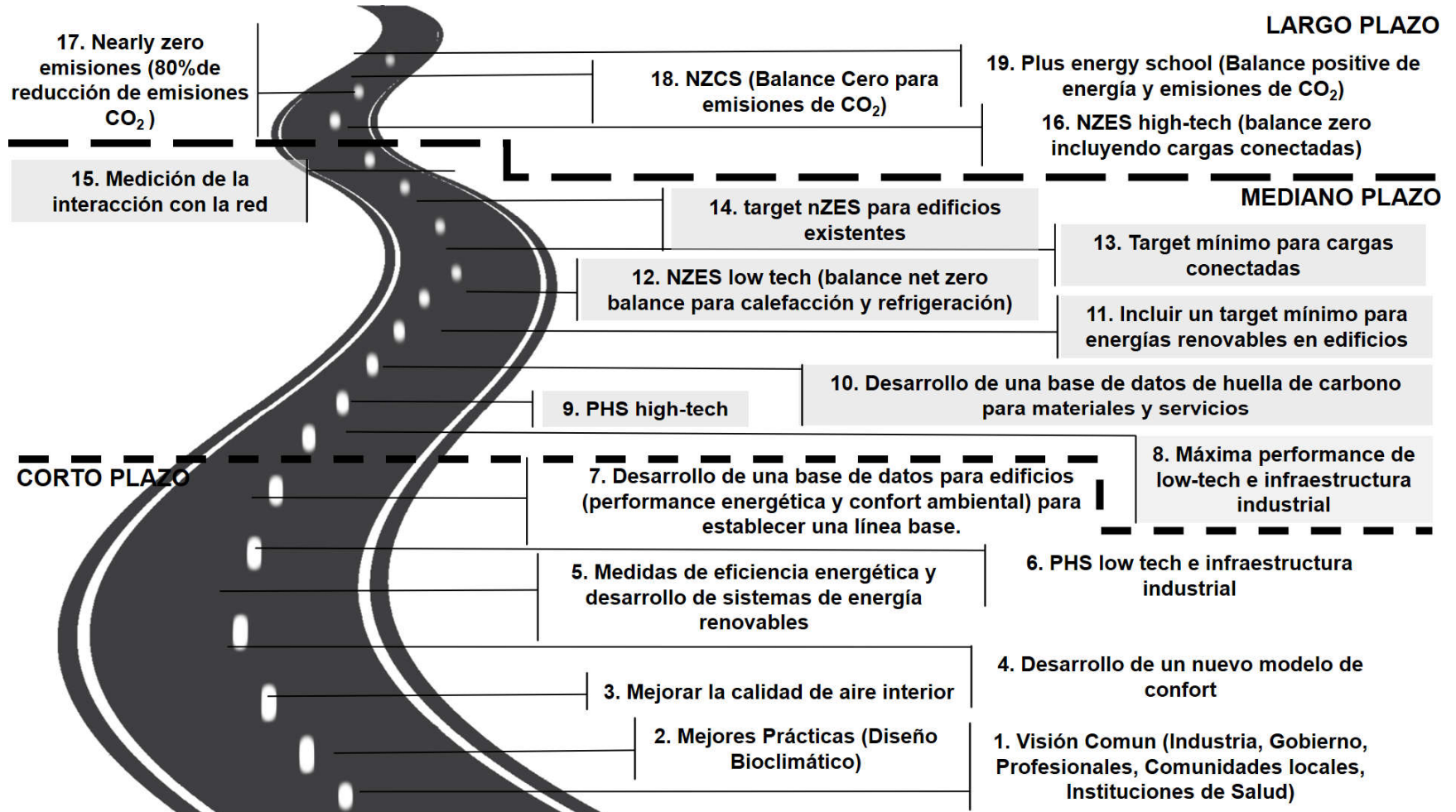


Figura 21. Hoja de ruta para la implementación de un NZES low-tech en países en vías de desarrollo. (Fuente: Elaboración propia basado en reuniones de discusión)

3. SITUACIÓN DE CHILE CON RELACIÓN A LA HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” (NZES)

En esta sección se evaluará el estado de Chile con relación a la hoja de ruta propuesta en la sección anterior. Para esto se definieron 4 escenarios:

- (a) Desarrollado: Implica que se cumple con todos los requisitos mencionados en el punto, donde, además, existe una normativa que respalda su aplicación y que existe algún sistema de verificación que permita comprobar su efectividad.
- (b) Parcialmente Desarrollado: En este caso se considera que se cumple con solo alguno de los aspectos mencionados en el punto analizado, donde no existe una normativa que lo respalde o solamente existe un requisito voluntario.
- (c) Factible de Desarrollar: Existen condiciones favorables de implementación o un desarrollo incipiente. Pueden existir estudios que comiencen a evaluar su factibilidad.
- (d) No existe Desarrollo: Significa que no se ha abordado o considerado dentro de las políticas de gobierno la industria no tiene perspectivas de desarrollo en el tema, no existen estudios conocidos en la materia en el país.

Los elementos claves en los que el país debe concentrarse, está el reordenar las políticas públicas entorno a una visión común, que involucre a las entidades públicas y privadas relacionadas con la educación, las entidades de salud, las familias y autoridades locales, la industria de la construcción y profesionales del área de la construcción. También se debe concentrar en la solución en el corto plazo de los problemas de confort ambiental y de calidad de aire al interior de las aulas, para luego fijar los distintos objetivos de desempeño de eficiencia energética, de producción de energía renovable no convencional y reducción de emisiones de CO₂.

La presente **Figura 22** y el análisis presentado en esta sección da cuenta, del estado actual en relación con esta propuesta y las posibilidades que el país tiene respecto de incorporar el concepto de Cero Energías en establecimientos educacionales dentro de los objetivos principales a lograr en el largo plazo.

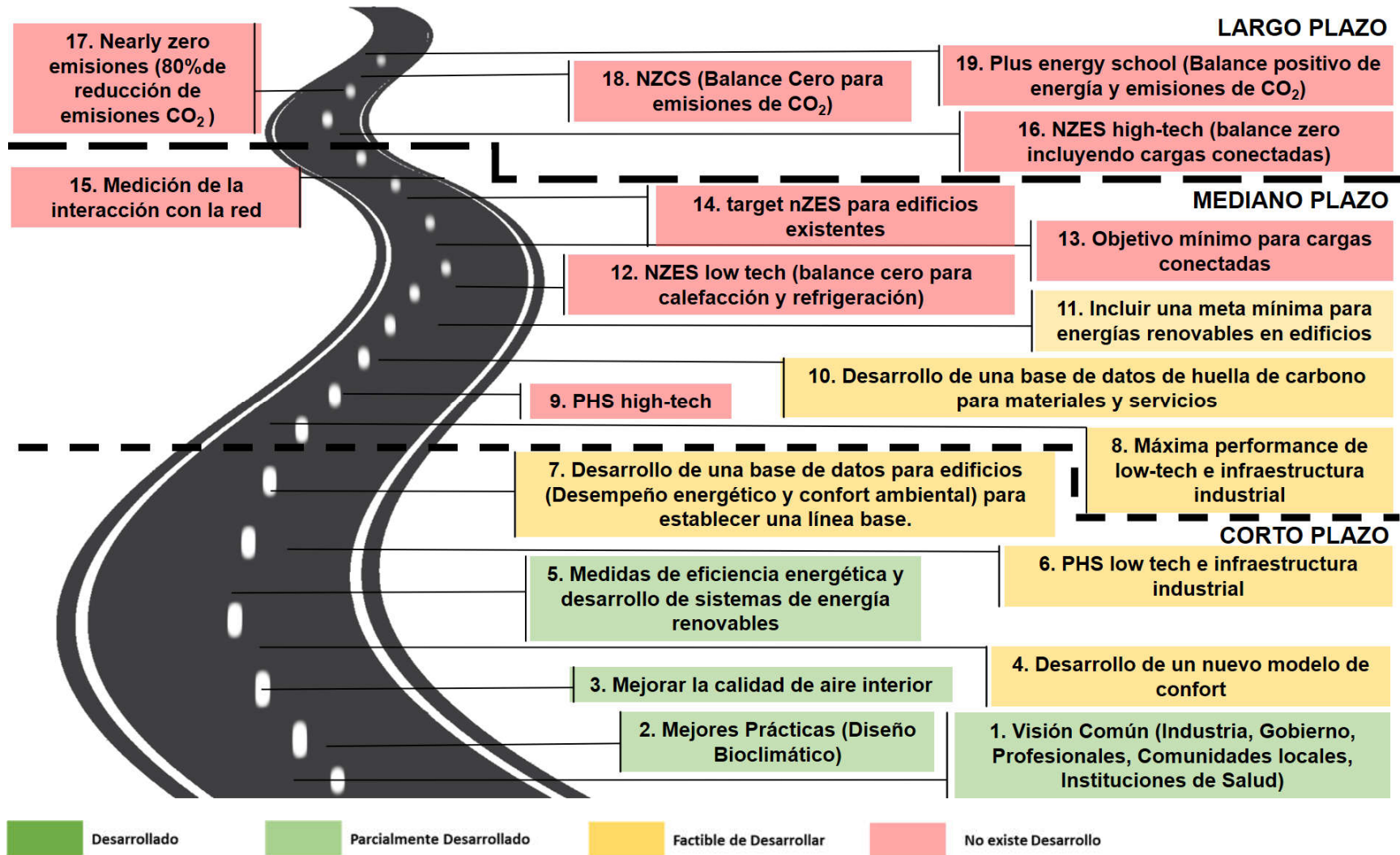


Figura 22 Evaluación de la hoja de ruta en la situación de Chile. (Fuente Elaboración Propia)

Como se puede observar en el análisis de la **Figura 22** Chile está comenzando a incorporar criterios de confort ambiental y de eficiencia energética en establecimientos educacionales. Además, existe una cantidad importante de etapas que son factibles de desarrollar, si se consideran de forma integral. Y en general, todas las etapas a largo plazo no están consideradas o no ha habido ningún desarrollo al respecto de ellas.

Analizando las propuestas al corto plazo, por ejemplo

- (1) Chile posee una política integral energética denominada Energía 2050 [75] que se analizó en el punto 2.2 del Capítulo 2, esta política tiene la virtud de aglutinar una importante cantidad de entidades de gobierno con un fin común de un desarrollo energético limpio y sustentable. Por lo que existe un gran potencial de incorporar el concepto de Energía Neta Cero a esta política energética, sin embargo, se debe ampliar el enfoque, incorporando representantes de las distintas comunidades, Industria e Instituciones de Salud. Sobre todo, cuando hablamos de establecimientos educacionales se debe tomar en cuenta que los temas de salud y rendimiento son prioritarios, y el establecer una visión común, debe partir del punto de vista de asegurar el confort ambiental y el índice de ventilación.
- (2) El país también ha desarrollado guías de diseño y estándares voluntarios para establecimientos educacionales, dentro de los más importantes están la GEEDUC [30] y los TDRé [25]. Estas guías potencian el diseño bioclimático y estrategias pasivas de diseño, sin embargo, utilizar estas guías y estrategias aún son voluntarias. Estas guías son una herramienta importante para aquellos equipos de diseño que desean utilizar estrategias pasivas, por lo que, rediseñarlas incorporando el concepto de Cero Energías Low-Tech, aunque permanezcan voluntarias por un periodo de tiempo, sería una herramienta que potenciaría la incorporación de concepto en una primera etapa.
- (3) La calidad del aire es uno de los temas fundamentales a resolver, Chile está comenzando a preocuparse de este tema, y se han desarrollado investigaciones al respecto como M Trebilcock et al 2016 [58] donde se ha evidenciado problemas en la calidad del aire en las aulas, en este sentido las guías de diseño bioclimático incorporan criterios de ventilación, sin embargo, es necesario fijar criterios de desempeño obligatorios basados en los niveles de CO₂.
- (4) Los estudios realizados en colegios evidencian que existe un problema de una mala calidad del confort interior en las aulas, los TDRé, establecen un método para establecer la temperatura de confort [25] basado en la determinación de la temperatura neutra según Humphreys. Para incorporar el concepto Cero Energías Low-Tech es necesario establecer un método de confort adaptativo, que permita reducir las cargas de calefacción y/o refrigeración, y que, además, facilite hacer una transición entre el nivel de confort actual en colegios públicos y un rango más estricto.
- (5) El gobierno ha implementado como un requisito obligatorio para edificios públicos medidas de eficiencia energética basado en los TDRé [25], en paralelo se ha implementado iniciativas para incorporar energía renovable a edificios públicos con el programa de Techos Solares Públicos [37],

también se promulgó una ley que permite traspasar la energía sobrante que se genera en el edificio a la red a través del Decreto 71 2016 [34]. Esto es una base importante, que, sin duda, es un avance. Se hace necesario coordinar estas iniciativas, para que se complementen la una a la otra, además, se debe incorporar e incentivar a la industria, para que esta pueda desarrollar los materiales y servicios asociados a la incorporación de energías renovables y a la eficiencia energética.

- (6) Chile aún no ha fijado un estándar mínimo de desempeño para establecimientos educacionales. Si bien, ha fijado estándares voluntarios para envolvente en los TDR [25].
- (7) El país tampoco ha desarrollado una base de datos del desempeño de los edificios existentes, por lo que, no existe información disponible para comparar
- (8) Si bien es factible lograr una máxima performance low-tech, ya que existen profesionales capacitados para desarrollar proyectos eficientes, y la industria está empezando incorporar materiales que responden a más altos estándares.

En el mediano plazo:

- (9) Con respecto a un estándar de alto desempeño como el “PassivHaus”, el país, no ha pensado incorporar este estándar u otro similar, en efecto, existen algunas investigaciones al respecto como T Hatt et al 2012 [52] J Carrasco et al 2012 [66]. Estas evalúan la factibilidad de implementación, y en general concuerdan que existen algunas barreras de implementación, principalmente tecnológicas y de mano de obra capacitada. Además, existe cierta reticencia con respecto a la aplicación del estándar a nivel país. Sin embargo, si es factible incorporar metas de alto desempeño adecuadas al país, considerando una visión común y pensando en el mediano plazo, el país puede fijarse un objetivo de alto desempeño independiente de la zona climática. Un estándar similar al PassivHaus en Chile, debería ser mucho más completo, que permita incorporar herramientas, y diferentes estrategias para lograr el desempeño requerido en las distintas zonas. Los objetivos de desempeño para ventilación (< a 1000 ppm) y de consumo neto para calefacción y/o refrigeración (por ejemplo ≤ 15 kWh/m² año) no debería variar a lo largo del país, sin embargo, el estándar de desempeño para calefacción y/o refrigeración puede ser menos estricto sobre todo en una primera etapa. El estado de desarrollo de la industria de la construcción, debe ser un factor que evaluar junto con la disponibilidad de materiales e insumos en todas las zonas del país, para fijar el desempeño.
- (10) Debe ser un objetivo país, desarrollar una base de datos de huellas de carbono de los materiales, esto pensando en el desarrollo de una industria de la construcción más sustentable y libre de emisiones, que es parte de las metas y compromisos que el país se auto impuesto para cumplir con el Acuerdo de París por el cambio climático. Esta base de datos es necesaria para poder hacer evaluaciones completas del ciclo de vida de las construcciones del tipo “de la cuna a la tumba” o “de la cuna a la

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

cuna". Pensado en estos objetivos, se debe fijar una meta para contar con esta información, que no debe pasar de un mediano plazo.

- (11) Incluso en el corto plazo, Chile tiene la capacidad de fijar una cuota mínima de producción de energía renovable no convencional (ERNC) en establecimientos educacionales. Sin embargo, es conveniente pensar en fijar este objetivo en el mediano plazo, para no estresar los presupuestos de las nuevas construcciones, ya que, existen problemas prioritarios de confort ambiental y ventilación que deben ser solucionados antes de pensar en una cuota obligatoria de ERNC. Existe, además, subsidios que están fomentando la incorporación de estas tecnologías, como, por ejemplo, el Programa de Techos Solares Públicos [37], sin embargo, se requiere que en la evaluación de estos subsidios se considere el factor eficiencia energética, de esta manera, encaminar hacia el objetivo Cero Energías.
- (12) Lograr un Balance Cero para calefacción y refrigeración, después de establecer un estándar de eficiencia de alto desempeño como el PassivHaus, y de proponer una meta de ERNC, para establecimientos educacionales, no debería ser una tarea difícil. El desafío de pasar a esta etapa está en el conocimiento técnico que deberían posean los profesionales, y en los lineamientos que establezca la autoridad en el momento de la aplicación, en el sentido, de cómo se considerará los distintos tipos de energías de calefacción y/o refrigeración en el balance, y si este balance se realizará con un factor de energía primaria, o con energía final o del sitio. Para esta etapa es necesario que los edificios tengan sistemas que permitan diferenciar el consumo de calefacción y/o refrigeración de las demás cargas.
- (13) Incluir un porcentaje del consumo iluminación y las cargas conectadas al Balance Cero Energías, implica que el edificio deberá ser capaz de producir más ERNC o lograr un índice mayor de eficiencia energética o una combinación de ambas. Este porcentaje puede variar dependiendo de la zona climática, ya que es lógico, que se produzca un mayor consumo en zonas del extremo sur, dónde se necesita más iluminación artificial en una época determinada del año. El incluir cargas conectadas e iluminación en el balance, debe hacerse después de asegurar que los consumos relacionados a lograr un nivel óptimo de confort y ventilación se cumplan.
- (14) El país debe fijar, además, alguna meta para la renovación de establecimientos educacionales existentes. Esta meta es necesaria fijarla, una vez se asegure que los nuevos edificios cumplan con un balance para calefacción y refrigeración. Fuera de esto la autoridad puede incentivar la renovación incluso en el corto plazo, una vez se fijen estándares de alto desempeño, otorgando subsidios o premiando este tipo de renovaciones.
- (15) Una vez se asegure un 50% del parque de establecimientos educacionales cumplan con el balance Cero o Cercano a Cero Energías, se podrá generar acuerdos entre las empresas proveedoras de energía eléctrica y los establecimientos educacionales que produzcan este tipo de energía, de manera

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

de mejorar la interacción entre ellos. La red puede fijar ciertas cuotas de producción en algunas épocas del año las que podrían ser cubiertas por la producción de energía de estos establecimientos, este intercambio de información y energía es útil para reducir las emisiones por transporte y transformación de la energía, y es factible cuando existe una cantidad importante de productores locales de energía.

En el largo plazo

- (16) Pensar en un Balance Neto Cero de alto desempeño tecnológico, implica que tanto las respectivas redes, como la industria completa de la construcción, tenga un nivel del desarrollo y madurez que permita a los mandantes a acceder de forma expedita a información, profesionales, materiales y empresas para concretar este tipo de edificios. Este debe ser el primer objetivo por lograr en el largo plazo dentro de la visión común.
- (17) Lograr un meta de emisiones Cercano a Cero (80% de reducción de emisiones) es un objetivo que va más allá del Balance Cero de Energías y, por lo tanto, más difícil de lograr, sobre todo, considerando el poco desarrollo de la información necesaria para realizar el análisis de ciclo de vida. Sin embargo, existe una alta conciencia de la necesidad de reducción de emisiones de CO₂ sobre todo en las nuevas generaciones. Esta creciente preocupación hace pensar que fijar una meta de reducción de emisiones en establecimientos educacionales, puede llegar a ser, para estas generaciones una preocupación mayor incluso que un Balance Cero Energías. Establecer una meta en el largo plazo, es importante para desarrollar la información necesaria, confiable, que permita realizar el análisis de ciclo de vida y la consiguiente reducción de emisiones, el porcentaje de esta reducción dependerá de la factibilidad técnica que exista en ese momento, sin embargo, pensar una meta alta permitirá mejorar los esfuerzos que se realicen en el corto y mediano plazo.
- (18) Pasar de un porcentaje de reducción de emisión de CO₂ al Balance Cero emisiones de CO₂, puede ser un paso no tan simple de lograr, tampoco se puede pensar en que los edificios que ya están contruidos podrán reducir fácilmente sus emisiones, por lo que, se debe pensar en estrategias que permitan a estos edificios compensar sus emisiones para alcanzar el balance ero. Para esto se puede pensar en hacer un balance de Emisiones Cero para algunas partes del edificio, o que nuevas partes del edificio tengan un balance de emisiones negativo, que pueda suplir las emisiones generadas en la construcción de los edificios existentes.
- (19) El balance positivo de energía y negativo de emisiones CO₂, se vislumbra con el objetivo final de cualquier hoja de ruta que contemple la incorporación del concepto Cero Energías. Para el caso de Chile este debería ser objetivo de las políticas energéticas, vislumbrando un futuro que permita empezar a recuperar el daño realizado al medio ambiente, y permitiendo tener un superávit energético que sostenga el crecimiento económico y no al contrario.

4. EVALUACIÓN DE UNA DEFINICIÓN DE “COLEGIOS ENERGÍA NETA CERO” EN CHILE

Complementando la anterior hoja de ruta, a continuación, se presenta una evaluación de una definición de Colegios Energía Neta Cero para Chile. En esta evaluación se analizarán los 5 criterios principales de una definición de Cero Energías, según la concepción de Sartori et al 2012 [6], contextualizado en la situación actual del país. Esta definición es complementaria a la hoja de ruta evaluada en el capítulo anterior, y sus parámetros deberían ser fijados en el momento de generar una visión común, en el primer hito del corto plazo.

4.1. Límites del Sistema Edificio

En cuanto al límite físico, en general cualquier definición debería poder aceptar en el balance, la inclusión de sistemas individuales y grupo de edificios. Para el caso de los establecimientos educacionales de Chile, las dos situaciones son comunes y, por lo tanto, el excluir una u otra dejaría fuera una importante cantidad de edificios, lo que limitaría el efecto del concepto. Definir además los límites físicos del sistema en el país, no debería ser una tarea complicada entendiendo que en general, existe una clara diferenciación entre propiedad privada y espacio público, y aunque se pueda pensar en colegios que acojan funciones propias de una comunidad, estas instalaciones generalmente serán consideradas para el balance siempre dentro del sistema del edificio.

En cuanto al límite del balance, en el país ya existe la factibilidad de entregar el exceso de producción eléctrica a la red, por lo que, esta sería el principal tipo de energía que fluiría hacia el edificio y hacia la red (doble vía). Los establecimientos educacionales también tienen el potencial de ser fuentes de calefacción distrital, entre los edificios del mismo establecimiento e incluso hacia fuera del sitio del edificio, sin embargo, hasta el momento no ha habido experiencias relativas a este tipo de uso. También es posible hacer un balance de consumo/ generación con la calefacción distrital, dentro del límite de él o los edificios.

Al establecer una definición para colegios en Chile, se debe tomar en cuenta que la tipología tiene características específicas, que hacen que tenga un desempeño distinto a los demás edificios (Ver **Tabla 12**). Este perfil de usuario distinto tiene que ver principalmente con la alta densidad que posee un colegio en relación por ejemplo a una oficina o una vivienda, esta como se vio anteriormente, es una fuente de ganancias internas importante que debe ser considerada en el balance. Además, el régimen de uso de los establecimientos educacionales, especialmente colegios, es continuo durante un largo periodo de tiempo (generalmente de 8 a 16 hrs, de lunes a viernes), y por temporada (de finales de verano, hasta finales de primavera), este régimen debe ser considerado en el balance, ya que puede haber un periodo donde el consumo de calefacción, por ejemplo, sea intenso, y periodos donde la producción de energía sea importante.

El clima siempre es un factor importante para considerar, y requisitos distintos deben ser establecidos para los distintos tipos de clima del país. En este sentido la importancia de los microclimas, para una definición de Cero Energías es no menor, ya que un edificio de alto desempeño, muy aislado y que dependa principalmente de

estrategias pasivas para calefacción y refrigeración, puede generar bastantes problemas sobre todo de sobrecalentamiento. Por lo que, es necesario una actualización de la NCH 1079 [38], que incluya la definición de microclimas en el país, y que entregue, datos suficientes para el diseño de este tipo de edificios.

En cuanto al estándar de confort, es necesario que se actualicen los códigos de construcción especialmente el Decreto 548 [3] y la OGUC [24] incorporando estándares de confort específicos para establecimientos educacionales. Además, considerando que para el enfoque Cero Energías Low-Tech, crear modelos de confort adaptativos para las distintas zonas y climas del país es prioritario. Fuera de esto el estándar de ventilación debe estar definido por los índices de CO₂ en el aire los que no deberían sobrepasar los 1000 ppm.

Tabla 12. Criterios para límites del sistema. (Fuente: Elaboración propia)

| CRITERIOS | DEFINICION PARA CHILE |
|--|---|
| 1.1 | Límite del Sistema |
| ¿El sistema comprende un solo edificio o un grupo de edificios? | De libre elección Parámetros distintos para edificios Individuales y grupos |
| ¿Qué tipo de energía fluye en ambos sentidos?, hacia la red y desde la red (electricidad, calefacción, etc.) | Electricidad en el corto plazo Calefacción distrital para grupos de edificios |
| 1.2 | Funcionalidad y Efectividad |
| ¿Qué tipo de edificio es? (habitacional, educacional, oficina, etc.) | Educación y oficinas en el corto plazo Habitacional al mediano y largo plazo |
| ¿Cuál es la relación energía/usuario? | Ganancias 80W x pers |
| ¿Cuál es la intensidad de uso en términos de personas/m ² ? (densidad) | Variable de acuerdo al tipo de edificio 0,4 pers x m ² para colegios, |
| 1.3 | Clima y Confort |
| ¿Cuál es el clima de referencia? | Actualizar NCh 1179 incluir microclimas |
| ¿Qué estándar de confort se han seguido para calcular las cargas? | Actualizar Códigos de Construcción Confort Adaptativo para Colegios Ventilación basado en ind. CO ₂ |

1. Límite del sistema edificio

4.2. Sistemas de ponderación

El indicador mas simple de aplicar es el de la energía final, sin embargo, este indicador no permite evaluar la red eléctrica o las redes a considerar. En ese sentido, lo conveniente es establecer un factor de ponderación para la conversión de energía primaria, de esta manera, se puede considerar la energía como un valor de reemplazo, de la energía producida por la red (Ver **Tabla 13**).

Para el caso de los Edificios Cero Energías, es necesario realizar siempre un análisis de costo a lo largo del ciclo de vida, como se expuso anteriormente, por lo que, el indicador de costo de energía por kW consumido, será siempre reelevante. En la actualidad es factible calcular el valor del kW de consumo final, sin embargo, si se quisiera calcular el valor del kW de energía primaria, la autoridad debería entregar el factor de ponderación necesario.

En el caso de las emisiones, como se ha comentado anteriormente, es necesario crear un base de datos de materiales y procesos que sea confiable y que permita tener la información necesaria para realizar un análisis de ciclo de vida completo. Sin embargo, es factible realizar este análisis, estimando los datos de materiales y procesos, también es posible considerar una cuota de reducción de emsiones utilizando datos estimados, en este caso la autoridad puede premiar o subsidiar los proyectos que consideren estos aspectos dentro de su diseño.

Distintos factores de ponderación son necesarios dependiendo del tipo de energía que se esté considerando en el balance. Uno de los factores comunmente utilizado es la intensidad de uso de energía, el que puede ser calculado en base al tipo de energía (primaria o final), sin embargo, también es factible ponderar la intensidad de uso de energía, con datos de referencia, el ratio resultante es un indicador de la eficiencia energética del edificio. En el caso del costo también es factible ponderar el costo de construcción versus el costo de la energía de consumo, y a la vez ponderarlo con valores de referencia. Ponderar indicadores como los de satisfacción, rendimiento, o reducción del ausentismo, es un poco más complejo, debido a la subjetividad de estos indicadores, además que necesariamente requieren de un período extenso de monitorización.

Tabla 13. Criterios para sistemas de ponderación (Fuente elaboración propia)

| CRITERIOS | | DEFINICION PARA CHILE |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|
| 2. Sistema de ponderación | 2.1 | Indicadores |
| | ¿Que indicador se usará? | Energía final (o del sitio) Si |
| | | Energía de la fuente (primaria) La red debe proporcionar datos para calcular energía primaria |
| | | Costo de la energía Si para análisis de costo |
| | | Emisiones Se debe crear una base de datos de materiales |
| 2.2 | Medición de los Indicadores | |
| | ¿Cuál será el factor de ponderación? | Se deben entregar valores de referencia para utilizar Intensidad de Uso de Energía. |

4.3. Balance Cero Energías

Una definición en Chile debe considerar necesariamente el balance de energías para calefacción, refrigeración y ventilación, el balance para cargas conectadas, agua caliente santiaria e iluminación, puede ser agregado en una segunda etapa o permanecer voluntario en el corto y mediano plazo, pero es necesario que se garantice la provisión de energía para mantener las condiciones de confort ambiental y calidad de aire, de manera que

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

estos sistemas se mantengan en funcionamiento constantemente o estén disponibles cuando se necesiten (Ver **Tabla 14**).

En cuanto al tratamiento y recuperación de aguas lluvias, es factible sobre todo en la zona centro sur del país, y puede ser necesario para las localidades donde exista escases de agua, sin embargo, para poder utilizar agua lluvia para servicios que utilicen agua no potable, es necesario modificar la legislación relativa a las instalaciones de agua potable y alcantarillado, de manera que se permita instalar estos sistemas de manera segura.

La carga de vehiculos eléctricos puede estar incluida, y quizá en el mediano y largo plazo debería ser un requisito obligatorio, preveyendo el auge del mercado de vehiculos eléctricos en el país, sobre todo considerando los desarrollos asociados a la extracción del litio en el norte del país.

Para Chile un periodo de balance adecuado de energías, es un año, sin embargo, se debe considerar que para nuevos edificios el primer año debe ser de ajuste de los sistemas y de adaptación al uso del edificio, por lo que, si bien el balance debe ser anual, el periodo de análisis debe ser de mínimo unos 3 años. Además, para poder condinar el consumo y generación de energía, sería conveniente considad un balance en el periodo de una temporada, sobre todo, en colegios ubicados en la zona centro sur, dónde el consumo en calefacción pueda ser importante en otoño-Iniverno. Un periodo mayor a 10 años debe ser utilizado para analisis de ciclo de vida y análisis de costo y recuperación de la inversión.

Tabla 14. Análisis del Balance Cero Energías (Fuente: Elaboración Propia)

| CRITERIOS | | DEFINICION PARA CHILE | |
|--|---|--|--|
| 3. Balance NZEB | 3.1 | Elementos del Balance | |
| | ¿Qué cargas se incluirán en el balance? | calefacción | Si en el corto o mediano plazo |
| | | refrigeración | En el corto o mediano plazo |
| | | ventilación | Si en el corto o mediano plazo |
| | | energía auxiliar | Si en el corto o mediano plazo |
| | | agua caliente sanitaria | Si en el corto o mediano plazo |
| | | Iluminación | En el mediano o largo plazo |
| | | Cargas conectadas | En el mediano o largo plazo |
| | ¿Existen otros servicios energéticos que tengan un impacto positivo en el ambiente? | tratamiento y recuperación de aguas lluvias | Se debe modificar la legislación de agua potable y sus reglamentos |
| | | carga de vehículos eléctricos | Si en el mediano a largo plazo |
| ¿Se considerará la energía contenida en los materiales e instalaciones? | | Se debe construir una base de datos nacional de materiales en el corto a mediano plazo | |
| ¿Se considerará un análisis de ciclo de vida completo, incluido construcción, demolición, tratamiento de los desperdicios y opciones de reciclaje? | | Factible una vez se obtenga una base de datos confiable de materiales | |

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

| 3.2 | Periodo del balance | |
|--|----------------------------------|--|
| ¿Cuál será el periodo base para calcular el balance? | meses | para ajuste de cargas |
| | estación (otoño, invierno, etc.) | Para ajuste de cargas |
| | un año | Para balance energético |
| | 30 a 50 años | Para análisis de ciclo de vida y para análisis de costos |

Es necesario que las normativas relativas a establecimientos educacionales integren requerimientos mínimos de eficiencia energética, ahora si la meta es lograr un Balance Cero Energías es necesario que los requerimientos de desempeño sean de un alto estándar, pensar en por ejemplo 15 a 30 kWh/m² año, es un objetivo que debe ser estudiado con mas detalle. Además se puede incorporar en estas normativas requerimientos de costo energético, exigiendo por ejemplo, que se cumpla con un ahorro mínimo de energía, sin embargo, estos requerimientos no deben estar por sobre el confort ambiental o las necesidades de ventilación. También, es importante incorporar metodologías para la verificación de los requerimientos de eficiencia energética, utilizado la comparación con un caso base, en este sentido, es factible adoptar estándares como ASHRAE, donde se describe la forma de realizar la simulación y los factores para realizar la comparación con el caso base. Llegar a fijar estos estándares de desempeño en los códigos puede llevar un tiempo, se debe considerar que en el mediano a largo plazo, los nuevos edificios educacionales en Chile deben lograr esa meta, sin embargo, es necesario que de forma voluntaria se incorporen este objetivo en por ejemplo, los Términos de Referencia Estandarizados (TDR) o en la Certificación de Edificios sustentables (CES), de esta manera, se avanzará a la concreción del Balance Cero Energías. .

En cuanto a la provisión de energía, como se aprecia en la **Tabla 15** se debe implementar una escala de ponderación para tipos de energía, dónde se potencie la energía renovable no convencional y las energías con potencial de implementación local, castigando las energías que utilicen combustibles fósiles o altamente contaminantes. También puede ser factible que un establecimiento educacional compre “Energía Limpia“, de una fuente de energía local, pero si se piensa en establecimientos de administración pública, este alternativa no es la más conveniente, generar esta opción puede ayudar a hacer la transición para establecimientos privados, se debe en este caso, pensar en favorecer la compra de energía en las fuentes locales o distritales.

Tabla 15. Análisis Balance Cero Energías (Fuente: Elaboración Propia)

| CRITERIOS | | DEFINICION PARA CHILE | |
|---------------------|--|---|---|
| Balance NZEB | 3.3 | Eficiencia Energética | |
| | ¿Existe alguna reglamentación con requerimientos mínimos de eficiencia energética? | Normativas Nacional | Se debe modificar el Decreto 548 |
| | | Normativas Internacionales | Evaluar ASHRAE |
| | | Normativo comportamiento costo energético | Se puede incorporar en Decrto 548 o en OGUC |
| | | Normativo comparativo con un caso base | Se puede incorporar en Decreto 548 |
| | | Código Voluntario | Se debe modificar TDRé para incorporar Balance Cero Energías |
| | 3.4 | Provisión de Energía | |
| | ¿Existe una jerarquía en las opciones de suministro de energía? | | Se debe generar una escala de ponderación para distintas localidades dependiendo de su factibilidad |
| | ¿La cogeneración de energía con combustibles fósiles será ponderada en el balance? | | Idealmente solo debería utilizarse cogeneración con gas |
| | ¿Es factible comprar energía "verde" o invertir en fondos o proyectos "verdes"? | | Se puede permitir, pero se debe impulsar la producción de ERNC en el sitio |

4.4. Coincidencia temporal de Energía

En la actualidad no existe la capacidad tecnológica en el país para implementar una red inteligente a nivel local, esto es básicamente, por lo nuevo del concepto y por que aún existe muy poca generación local de energía, sin embargo, es necesario preveer que esta situación cambie en el mediano a largo plazo. Para poder medir la interacción con la red, como se aprecia en la **Tabla 16** es necesario considerar el porcentaje de uso de energía de la red, mantener una base de datos de este indicador puede ayudar con el diseño de Smart Grids en el futuro.

Las coincidencias temporales de energía también está relacionadas a la capacidad del edificio de coordinar el consumo/generación de energía, esta es una tarea no menor para los equipos de diseño, y puede ser aún mas complejo en la etapa de uso. Es por ejemplo el caso de los establecimientos educacionales que utilizan generación con paneles fotovoltaicos y calefacción en base a electricidad en la zona central del país, donde el consumo de calefacción está dado principalmente en invierno, en cambio, la mayor generación se da en la temporada de verano, en este sentido, un edificio que puede coordinar de mejor manera su generación/consumo será siempre un edificio más sustentable, entendiendo que la energía de la red eléctrica en este caso no es 100% limpia. Es factible considerar en los códigos de construcción un porcentaje mínimo de coincidencia de cargas para el balance carga generación, y para aquellos establecimientos que

estratégicamente necesiten ser autonomos, esta exigencia debería ser del 100% de coincidencia, por lo menos, para las cargas básicas de calefacción, refrigeración, ventilación iluminación de emergencia y un porcentaje de las cargas conectadas..

Tabla 16. Análisis de Coincidencia Temporal de Energías (Fuene: Elaboración Propia)

| CRITERIOS | | DEFINICION PARA CHILE |
|--|-----|--|
| 4. Características de coincidencia de energía temporal | 4.1 | ¿Cuáles son los indicadores que permitirán evaluar el impacto del intercambio de energía entre el edificio y la red? |
| | | El porcentaje de uso de energía de la red puede se utilizado para evaluar la interacción Mantener una base de datos sobre este indicador puede ayudar a diseñar redes inteligentes en el futuro |

4.5. Monitorización y Verificación

Para los Colegios Energía Neta Cero la monitorización y la verificación es un paso totalmente necesario, y para una definición chilena, como se muestra en la **Tabla 17**. Además, es necesario considerar un periodo de monitorización y un sistema de verificación que permita certificar que se cumple con los estándares requeridos. En el país ya es factible encontrar equipos de monitorización disponibles en el mercado, una masificación de estos equipos ayudaría a que sean cada vez más accesibles. El país ademas debe generar una base de datos de monitorización de este tipo de edificios, de manera de evaluar los rendimientos y compararlos con los estimados en la simulación, considerando el tiempo de normalización discutido en el punto 3.2.3 del Capítulo 2.

En cuanto a la certificación el país ha hecho un gran avance con la certificación CES, explicada en el punto 5.3 del Capítulo 2, diseñada para el contexto chileno, sin embargo, esta debería ser actualizada para incorporar el concepto Cero Energías, además, la coexistencia de certificaciones internacionales como LEED o PassivHaus, que deberían incorporar en el corto plazo el concepto Cero Energías, pueden ayudar a optar por alternativas a la certificación.

Tabla 17. Análisis de Criterios de Monitorización y Verificación (Fuente: Elaboración Propia)

| CRITERIOS | | DEFINICION PARA CHILE |
|----------------------------------|--|---|
| 5. Monitorización y Verificación | 5.1 | ¿Es suficiente el diseño y la simulación para chequear la efectividad del balance? |
| | | Diseño integrado y simulación es necesario para comprobar el balance en la etapa de diseño |
| | ¿Es necesario la monitorización para chequear el balance? La monitorización debe considerar que se cumplan las condiciones de confort, para no llevar a un concepto errado de NZEB | Monitorización y Certificación debería ser obligatoria para establecimientos Educativos Modificación de Certificación CES para incorporar el balance Cero Energías |

Una vez realizado el análisis de los componentes de un “Colegio Energía Neta Cero”, se puede conformar una síntesis de la definición, considerando el enfoque low-tech y el contexto de Chile.

Colegio Energía Neta Cero (Net Zero Energy School): Es un edificio (o grupo de edificios) muy eficiente, que, considerando su densidad de uso, produce en una primera etapa y en el período de un año, la suficiente energía en sitio, para equilibrar el consumo producido por los sistemas que garantizan el confort ambiental al interior de las aulas (calefacción, refrigeración y ventilación), entregando el excedente de producción de energía a la red. En una segunda etapa el edificio equilibrará la cargas conectadas e iluminación, con la producción de energía.

5. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO “CERO ENERGIAS EN COLEGIOS”

Los edificios Cero Energías no pueden ser diseñados y construidos sin un enfoque integrado, a través de este estudio se observó que el panorama político relacionado a la eficiencia energética y condiciones de confort en Chile es insuficiente y fragmentado; por lo que, cualquier mejora debe comenzar con la creación de una política integrada nacional para escuelas que considere criterios multi-objetivos, incluyendo calidad de la educación. Asimismo, los sistemas de certificación y políticas asociadas con una infraestructura de establecimientos educacionales referidos a la eficiencia energética en edificios son necesarias.

Con relación al confort las investigaciones revisadas en este estudio revelan problemas asociados a una situación de pobreza energética en establecimientos educacionales chilenos. Por lo tanto, se recomienda desarrollar modelos de confort adaptativo y combatir la pobreza energética en las zonas más densamente pobladas como Santiago y Concepción, siempre con el foco en la calidad del ambiente interior. En este sentido, es estratégico mejorar las condiciones de confort antes de enfocarse en lograr una mejor eficiencia energética, aunque idealmente deben ir de la mano, y estar asociados a la factibilidad económica y a la operación del edificio.

En el corto plazo, los colegios existentes requerirán una rápida mejora y el concepto NZES puede ser usado como una referencia para mejorar la calidad del ambiente interior, y la eficiencia energética de las escuelas existentes. La posición específica que tiene Chile debido a la naturaleza de sus escuelas, las que no solo son consideradas como lugares de aprendizaje sino también como refugios en época de catástrofe, es una característica que debe ser considerada. El país ha sido testigo en los últimos años, de grandes catástrofes relacionadas con terremotos, incendios, tsunamis y todas las consecuencias sociales que estas catástrofes traen. Es prioritario diseñar y operar estos establecimientos, de una forma que estos sean útiles como centros comunitarios autónomos e independientes de la red de agua y eléctrica. El concepto Cero Energías refuerza esta idea y puede convertirse en parte importante de un plan nacional de manejo de emergencias.

Considerando los aspectos técnicos de los NZESs, se realizó un análisis FODA para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la implementación de este concepto en Chile. El resultado del análisis FODA se resume a continuación:

- **Fortaleza 1:** Una muy buena aislación de la envolvente puede eliminar toda necesidad de calefacción en los espacios, sobre todo, si se considera que existen grandes ganancias internas, debido a la alta densidad de estudiantes en salas de clase. De esta manera, este concepto puede garantizar una temperatura de confort estable, sobre todo en las zonas de Chile donde las necesidades de calefacción dominan la demanda energética.
- **Fortaleza 2:** El concepto de NZES garantizará una buena calidad del aire, e implementando ventilación mecánica, con recuperación de calor, los recambios de aire necesarios no provocarán una gran demanda energética. Sin embargo, las consecuencias de proveer aire fresco que no exceda los 1000 ppm CO₂ en clases tendrá un impacto significativo en el aprendizaje de los estudiantes, y en el proceso educativo. Esto está demostrado por muchos estudios, uno de los más recientes es el estudio de Haverinen-Shaughesessya et al. 2015 [97], el cual encontró una asociación relevante entre los resultados de los estudiantes en test de matemáticas y de lectura, y los índices de ventilación de la sala de clase. Ese estudio también encontró una correlación entre el promedio de visitas de los estudiantes a la enfermería debido a síntomas respiratorios importantes.
- **Oportunidad 1:** Alcanzar el balance energético y mejorar la dependencia de fuentes de energía renovables, puede aliviar el costo operacional y, por lo tanto, mejorar la disponibilidad de recursos que pueden ser gastados directamente en las metas del proyecto educativo.
- **Oportunidad 2:** El concepto NZES permitiría a los colegios volverse más energéticamente independientes y resilientes frente a catástrofes, lo que les aseguraría un funcionamiento continuo. Más allá de esto, existe otra oportunidad al proveer a los colegios de baterías y transformarlos en refugios autónomos para servir a la comunidad en momentos de catástrofes.
- **Oportunidad 3:** Además los NZES pueden ser usados como proyectos demostrativos, como casos de estudio y proyectos pilotos para futuras generaciones y sus familias. Los estudiantes que aprenden en un NZES serán más abiertos y sensibles a los problemas de sostenibilidad, a la necesidad de construir edificios eficientes, y al futuro ecológico del ambiente construido de Chile. Al mismo tiempo, esos colegios pueden ser usados para probar nuevas tecnologías y soluciones para guiar a la industria y a la comunidad de profesionales e investigadores, con el objetivo de un medio ambiente que sea energéticamente neutral.
- **Debilidad 1:** Una sobrestimación del enfriamiento pasivo del edificio, en relación con una envolvente super aislada y hermética es uno de los problemas más comunes con los edificios Cero Energías. Como se mencionó anteriormente en el estudio de Breech et al. 2016 [56] esto puede generar una

necesidad de implementación de sistemas de enfriamiento activo para combatir el sobrecalentamiento, lo cual es muy probable que pueda suceder en colegios de muchos de los climas de Chile. Actualmente en el país, los costos para calefacción y refrigeración en colegios son bajos debido a la pobreza energética presente. Sin embargo, en el largo plazo el crecimiento económico debería resultar en mejoras en el confort ambiental e incluso bajo el concepto de NZES esto puede llevar a generar una mayor demanda energética, debido a la utilización de los sistemas activos de enfriamiento.

- **Debilidad 2:** Es difícil predecir con absoluta certeza el comportamiento del edificio y los usuarios. Así que también puede haber un resultado diferente en cuanto a la eficiencia energética, por lo cual, es necesario incluir un sistema de monitorización y un personal de puesta en servicio.
- **Debilidad 3:** Existe un problema con el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, debido a que la información acerca de la radiación solar en algunos puntos específicos no es 100% precisa. Así que existe el riesgo de que los paneles fotovoltaicos produzcan menos energía que la predicha en la etapa de diseño, así el balance cero (net Zero) sería realmente un balance cercano a cero (Nearly Zero).
- **Debilidad 4:** Falta de regulación que permita construir, certificar y monitorizar la implementación del concepto. Hasta este momento, la normativa para colegios es rudimentaria, incluso si consideramos los esfuerzos realizados por el gobierno de Chile en los últimos años. Por lo tanto, es necesario hacer más esfuerzos e incluir este concepto en las futuras políticas de eficiencia energética en el país.
- **Amenaza 1:** Riesgo de un mal diseño del NZES y de los sistemas de ventilación. Esto puede ser causado por la falta de conocimiento en el sector profesional o la ausencia de un diseño integrado, o la diferencia producida por la intervención de los distintos profesionales que intervienen en el proceso en distinto tiempo, sin una visión global. También puede ser causado por una mala mantención de los sistemas de ventilación, porque sin supervisión continua y mantención de los sistemas de ventilación no se puede proveer la cantidad necesaria de renovaciones de aire fresco a la sala.
- **Amenaza 2:** Este concepto es también dependiente de los sistemas high-tech, los que pueden implicar un mayor costo, debido a la ausencia de este tipo de tecnología en el país. Al mismo tiempo, esto puede ser explotado como una oportunidad para la industria de la arquitectura, construcción e ingeniería para posicionar nuevos productos en el mercado, o para la creación de nuevas definiciones NZES con un enfoque low-tech. Para hacer esto, es necesario mejorar el conocimiento y el “saber hacer” en relación con los NZEB e invertir en transferencia tecnológica e incubación de ideas.

Desde un punto de vista estratégico, el análisis FODA indica que es necesario que, en una primera etapa de cualquier política futura nacional, se mejore el confort y la eficiencia energética en la infraestructura escolar de Chile. Luego, el segundo paso debe apuntar hacia la incorporación de energías renovables, y a la autonomía energética en relación con el rol del colegio en su propia comunidad, y en relación con el manejo de

emergencias. No todas las escuelas en Chile necesitan ser NZES, pero al menos, todas debería alcanzar un nivel cercano a los requerimientos dados por el estándar de desempeño como el “PassivHaus” (≤ 15 kWh/m² año) u otro estándar equivalente, que defina un objetivo medible e Intensidades de Uso de Energía (IUE). En cualquier caso, si cualquier gobierno local decide usar una escuela como refugio, es altamente recomendable transformar o construir ese colegio como un NZES. Esas decisiones pueden ser tomadas e implementadas en un nivel regional o municipal en asociación con planes de manejo de emergencias y expertos en planificación urbana.

5.1. Recomendaciones para la implementación del concepto

- (1) Para implementar en estándar Casa Pasiva (PassivHaus) y los conceptos de edificios con balance cercano a cero (nZES) y balance neto cero (NZES) en colegios en Chile, el país debe actualizar los códigos de construcción nacional para alinearlos con los requerimientos de estos conceptos.
- (2) Se debe potenciar los estudios e investigaciones deben ser conducidos en relación con el comportamiento térmico, instalaciones para edificios, rendimiento energética y tecnologías de fuentes de energía renovables en colegios.
- (3) Chile debe hacer más esfuerzos para transformar los requerimientos voluntarios en obligatorios, también es importante que el gobierno de Chile revise y actualice cada cinco años sus requisitos para colegios, para actualizarlos con las nuevas perspectivas de la industria y la tecnología, la ciencia y los objetivos políticos.
- (4) El gobierno chileno no solo debe estar enfocado en la construcción de nuevas escuelas. Es primordial enfocarse en la renovación de los edificios existentes incorporando altos estándares de desempeño. Mayores y más profundas renovaciones son necesarias para todos los colegios a través del país. El confort térmico debe ser prioridad, y debe ser asociado a medidas de eficiencia energética.
- (5) Chile necesita tener una visión más integral del problema del confort en escuelas. Históricamente las escuelas en Chile solo son construidas con la función de proveer un marco para la educación, sin embargo, estos edificios también son usados de muchas otras maneras, incluyendo la de ser refugio en periodos de catástrofes. Así que, la resolución del problema puede ser una oportunidad para sentar las bases de una nueva tipología de colegios, que considere riesgos de catástrofes, resiliencia al cambio climático, integración con la comunidad y diseño participativo.
- (6) Es vital que se desarrolle o adopte un modelo de confort para escuelas, esto será determinante para evaluar la factibilidad de lograr el balance cero o cercano a cero (NZES o nZES), pero también para la evaluación económica en todo el ciclo de vida de los edificios.
- (7) Es recomendable que el problema del confort ambiental y ventilación al interior de los establecimientos educacionales sea abordado por etapas, dónde uno de los primeros objetivos sea asegurar criterios

CAPITULO IV: IMPLEMENTACION DEL CONCEPTO CERO ENERGIAS EN CHILE

mínimos adecuados para mantener el bienestar de los alumnos y usuarios de estos edificios, luego avanzar en medidas de eficiencia energética e incorporación de energías renovables no convencionales.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

Luego de exponer los resultados de la hoja de ruta para la aplicación de un enfoque low-tech y la definición de Colegios Energía Neta Cero para Chile, el presente capítulo entregará las conclusiones y las futuras líneas de investigación que se desprenden de esta investigación.

1. CONCLUSIONES

De la revisión de literatura y del análisis FODA, se puede confirmar el potencial de aplicar el concepto de NZES en Chile. Chile está en una etapa de transición, donde el bienestar y el confort térmico en escuelas está ganando mayor importancia. Con los compromisos internacionales de reducir el cambio climático, el incremento de la población y el crecimiento económico, las escuelas se han transformado en un objetivo de inversión a corto plazo en Chile. En este estudio se provee una visión de conjunto de las políticas y regulaciones que guían el diseño y construcción de las escuelas en Chile. También se analizó en detalle las condiciones de confort en escuelas y las recomendaciones necesarias para el diseño, construcción y operación de colegios en Chile. Además, se plantea una nueva definición de NZES low-tech para Chile y países en vías de desarrollo, junto con presentar una hoja de ruta, de forma de establecer una guía para futuras políticas y visiones de conjunto. En conclusión, el concepto NZES provee una guía para los esfuerzos nacionales hacia un desarrollo bajo en emisiones de CO₂ y a un medio ambiente resiliente.

Además, a partir de la investigación realizada se concluye que:

- El concepto provee una visión holística, basado en un enfoque multicriterio e interdisciplinario. En el contexto de una institucionalidad y panorama normativo fragmentado, este concepto puede proveer una visión de largo plazo que integra Calidad del Ambiente Interior, Eficiencia Energética, y Fuentes de energía renovable bajo una sola mirada. Chile actualmente no está preparado para abrazar el concepto NZES, sin embargo, el concepto es suficientemente fuerte para condicionar la toma de decisiones y las políticas públicas futuras, para preparar los edificios existentes y los futuros de forma de anticipar los cambios en el parque de edificios del país.
- La fortaleza del concepto descansa en priorizar el confort térmico y la calidad del ambiente interior. Ambos son esenciales en educación y pueden ser alcanzados a través de este concepto, mientras se mantiene la eficiencia energética reduciendo los costos operacionales.
- El concepto provee un marco teórico de pensamiento lógico, que ha sido bien probado a nivel mundial, por lo tanto, debería ser adoptado en establecimientos educacionales y otros tipos de edificios. El concepto fija prioridades e informa a quienes toman decisiones en un orden secuencial de prioridades para alcanzar la neutralidad energética. Las políticas nacionales deben estar en línea con ese marco teórico para permitir la adopción y proliferación de este concepto en el corto y largo plazo.
- Existe suficiente evidencia en literatura de que este concepto es adecuado para los planes de manejo de emergencias, considerando el patrón de constantes catástrofes que suceden en Chile. La necesidad por centros comunitarios y refugios autónomos después de grandes desastres en áreas urbanas necesita de muchos servicios, los que pueden ser provistos por los NZES para estas comunidades.

- El punto anterior es un concepto nuevo, que no ha sido desarrollado hasta el momento en ningún estudio, ni investigación alrededor del mundo, por lo que, Chile puede ser pionero en la investigación y desarrollo de este tipo de instalaciones.
- El concepto NZES low-tech puede ser fácilmente adoptado y adaptado en los códigos de construcción y estándares. Sin embargo, es importante que esta adopción sea representativa de una visión de conjunto, donde se involucre, al gobierno, la industria, instituciones de salud, la comunidad, y los administradores de colegios. Y donde se establezcan metas a corto, mediano y largo plazo.

Finalmente, es importante resaltar que el hecho de que el concepto NZES no es solo un nuevo concepto en Chile. Se descubrió, a través de la revisión, que el concepto es también reciente a nivel mundial, lo que significa que futuras investigaciones son necesarias, no sólo en el plano nacional, con un enfoque en NZES. En este contexto, la investigación provee información valiosa sobre los beneficios sociales y medioambientales, y los desempeños técnicos y normativos para NZES. Este puede ayudar a investigadores y profesionales de la construcción a desarrollar más el concepto, adaptándolo al propósito y contexto del diseño escolar fortaleciendo y sirviendo a los objetivos de aprendizajes del currículo escolar.

2. INVESTIGACIONES FUTURAS

En relación con el estándar PHS, y los conceptos nZES Y NZES, Chile es está en una etapa temprana. En Chile solo existe un edificio certificado PH en Santiago (Passive House Institute 2017) [98] y es un edificio de oficinas. En el año 2011, una investigación sobre el estándar PH fue realizado por T. Hatt et al. 2012 [52] en Concepción y también un proyecto conducido por R Hempel 2014 (Fondef 2011-2014) [99]. Ambas investigaciones probaron la factibilidad técnica del concepto en el clima de Concepción para edificios residenciales. Sin embargo, ningún estudio fue realizado en colegios. Cuando se considera la variedad de climas en Chile, es necesario investigar las modificaciones necesarias en los estándares para los diferentes climas. Aplicando los modelos de confort adaptativo, se puede comenzar a integrar los NZES en Chile.

Al mismo tiempo, Chile tiene un alto potencial en las energías renovables: el potencial de energía solar es muy alto en desde norte hasta el centro sur del país. Intercambiadores geotérmicos, energía eólica y biomasa puede ser parte de cualquier ecuación del balance energético. En este sentido, Chile puede ser un país líder en Sud América, para desarrollar y producir tecnología y servicios relacionados con las fuentes de energía renovable. El país ha desarrollado proyectos interesantes en campo de la energía solar, y que sirven de información para integrar este tipo de energía en los edificios, por ejemplo: El proyecto “explorador solar”, que provee una vista general del potencial solar en el país (Explorador Solar, Ministerio de Energía, Gobierno de Chile 2017) [100], y el proyecto CONFIN, el que provee un detallado mapa del potencial solar de cada edificio en la ciudad de Concepción (CONFIN 2017) [101]. Esos ejemplos pueden ser replicados en un nivel nacional priorizando las más importantes concentraciones urbanas.

Finalmente, la principal normativa sobre colegios en Chile no ha sufrido ningún cambio desde el año 1989. La normativa es antigua y no corresponde a las metas políticas actuales, ni al progreso económico, ni a las necesidades de la sociedad. Cualquier normativa vigente en Chile está bastante lejos de los estándares internacionales de alto desempeño como ASHRAE 66.1 o el estándar Casa Pasiva (PassivHaus). Sin la actualización de las normativas nacionales, o por lo menos, la promoción de infraestructura de emergencia de alto desempeño la factibilidad de construir apuntando a un balance neto cero (NZES) permanecerá bastante bajo. Es factible creer que, con una mejora gradual de la actual situación de las normativas referentes a colegios, Chile puede establecer su propio camino y sus requerimientos para fijar una meta para el balance neto cero energías (NZES) en los códigos y estándares de construcción. Esto debería ser parte de una visión más amplia, si es que el país busca desarrollar comunidades con baja emisiones de carbono y para el desarrollo y uso eficiente de los recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Soto, M. Yañez, R. Figueroa M. Trebilcock, "The right to comfort. A field study on adaptive thermal comfort in free running primary school in Chile," *Building and Environment*, 2016.
- [2] Ministerio de Educación Gobierno de Chile, *Plan Estratégico Nacional de Infraestructura Escolar*. Chile: Gobierno de Chile, 2014.
- [3] Ministerio de Educación, *Decreto 548, Aprueba normas para la planta física de los locales educacionales que establecen las exigencias mínimas que deben cumplir los establecimientos reconocidos como cooperadores de la función educacional del estado*. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional, 1989.
- [4] Ministerio de Vivienda y Urbanismo , "Reconstrucción de Región de Atacama, Información del Catástro de Viviendas y Utilidad Pública," Gobierno de Chile, Díptico Informativo 2015.
- [5] Agencia Chilena de Eficiencia Energética, "Reporte Anual," Reporte 2015.
- [6] A. Napolitano, K.Voss I. Sartori, "Net Zero Energy Buildings: A consistent definition framework," *Energy and Buildings*, 2012.
- [7] P. Heilselberg, JS Bourrelle AJ. Marszal, "Zero Energy Building: A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, 2011.
- [8] S. Pless, M. Deru, D. Crawley P. Torcellini, "Zero Energy Building: A critical look at the definition," *Renewable Energy*, 2006.
- [9] A. Napolitano, AJ. Marzal, A Johana, S. Pless, P. Torcellini, K. Voos I. Sartori, "Criteria for definition of Net Zero Energy Buildings," in *Conference Solar*, 2010.
- [10] F. Allard, D. Braham, G. Coeders J. Kurnitski, "How to define Nearly Zero Energy Buildings nZEB," *Rehva Journal*, 2011.
- [11] Ecofys, "Towards nearly zero energy buildings, Definition of common principles under EPBD," Reporte BESDE10788, 2013.
- [12] G. Foliente, M. Balouktsi T. Lützkendorf, "Net Zero Buildings: Incorporating embodied impacts," *Building Research*, 2015.
- [13] P. Eleftheriou, F. Xeni, R. Morlt, C. Ménézo, V. Kostopoulos, M. Betsi, I. Kalaitzoglou, L. Pagliano, M. Cellura, M. Almeida, M. Ferreira, T. Baracu, V. Badescu, R. Crutescu, J. M. Hidalgo-Betanzos S. Attia, "Current overview and future challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Southern Europe," *Energy and Buildings*, 2017.
- [14] W. Zeiler, "Overview from Passive House Schools and NZEB schools to Plus Energy Schools," in *Plea Conference*, 2011.
- [15] S. Attia A. Bodgan, "Principles for nearly zero energy buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements," BPIE, 2011.
- [16] P. Bampou, "Green Buildings for Egypt: a call for an integrated policy," *Intenational Journal of Sustainable Energy*, 2016.

- [17] S. Nasirov C. Silva, "Chile Paving the way for sustainable energy planning," *Energy Sources*, 2017.
- [18] Ministerio de Energía, "Resumen Agenda Energía," Gobierno de Chile, 2014.
- [19] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, "Estrategia Nacional de Construcción Sustentable," Gobierno de Chile, 978-956-9432-02-6, 2014.
- [20] CS Kim, SH Yoo. YJ. Joo, "Energy consumption, CO2 emission, and economic growth, Evidence from Chile," *International Journal of Green Energy*, 2015.
- [21] J. Sommerhoff, AD. González A. Schueftan, "Firewood demand and energy policy in south-central Chile," *Energy for Sustainable* , 2016.
- [22] MF. Riveros Inostroza, "Institutional framework of energy efficiency in Chile," Universidad de Chile, Tesis de Magister 2014.
- [23] AU. Gómez, AC Fuentes PA. Jofré, "Challenges for Universal Access to Clean Energy in Chile," *Development and Energy* , 2017.
- [24] Gobierno de Chile, *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*, 2016th ed. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional, 1992.
- [25] CITEC UBB, DECON UC, *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 Tipología de Edificios*. Chile: Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas, 2012.
- [26] Instituto de la Constucción, IDIEM, *Manual Evaluación y Calificación Sistema Nacional de Certificación de Calidad Ambiental y Eficiencia Energética para Edificios de Uso Público*, 2014th ed. Santiago, Chile, 2014.
- [27] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), *Evaluaciones del Desempeño Ambiental: Chile 2016*, 1600413th ed. Santiago, Chile: Naciones Unidas, 2016.
- [28] Naciones Unidas, *Acuerdo de París*, 6320167th ed. París, Francia, 2015.
- [29] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía, "Calificación Energética de Viviendas (CEV)," Gobierno de Chile, Informe Técnico 2017.
- [30] Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), *Guía de Eficiencia Energética en Establecimientos Educativos (GEEEduc)*, Pimera Edición ed. Chile, 2012.
- [31] International Energy Agency, "Monthly Energy Statistics March 2017," IEA, Report 2017.
- [32] Intenational Energy Agency, "Energy Efficiency Indicators," IEA, Paris, Statistical Report 2016.
- [33] Ministerio de Medio Ambiente, *Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos SNCAE*, 2015th ed. Chile: Gobierno de Chile, 2004.
- [34] Gobierno de Chile, *Decreto 71 Aprueba Reglamento de la ley N° 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales*, 20012017th ed. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional, 2014.

- [35] International Energy Agency, *Energy and CO2 emissions in the OECD, With detailed data up to 2015*. Paris , Francia, 2017.
- [36] Climate Action Tracker. (2017, Junio) Climate Action Tracker. [Online]. <http://climateactiontracker.org/countries/chile.html>
- [37] Ministerio de Energía, "Programa Techos Solares Públicos," Gobierno de Chile, Santiago, Memoria 2016.
- [38] Instituto Nacional de Normalización, *Norma Chilena 1079 OF 2008*. Chile, 2008.
- [39] Ministerio del Medio Ambiente, *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Santiago, Chile, 2015.
- [40] OECD, "Education at a Glance: OECD indicators," OEDC, Paris, 978-92-64-25980-5, 2016.
- [41] G. Ugarte y B. Williamson, "Hacia la Medición de una Educación de Calidad," Centro de Estudios MINEDUC, 2014.
- [42] J. Soto, R. Figueroa M. Trebilcock, "Thermal Comfort in Primary School," in *Counting the cost of the comfort in a Changing World*, 2014.
- [43] R Garcia Ochoa, "Energy Poverty in Latin America," CEPAL, 2014.
- [44] L. Roubelat, P. Jara, C. Whitman G. Armijo, "Energy Poverty: Perspective from Urban Intervention," *Building and Environment*, 2016.
- [45] G. Walker, "The Right to Energy: Meaning, Specification and the Politics of Definition," *L'Europe en Formation*, 2015.
- [46] R. Moore, "Definitions of Fuel Poverty: Implications for Policy," *Energy Policy*, 2012.
- [47] MP. Jarzebski, F. Dyah, J. Gu YTJ. Khew, "Assessment of social perception on the contribution of hard-infrastructure for tsunami mitigation to coastal community resilience after the 2010 tsunami: Greater Concepcion area," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2015.
- [48] P. Aldunce, C. Adler R. Borquez, "Resilience to Climate Change: from theory to practice through co-production of knowledge in Chile," *Sustainability Science*, 2017.
- [49] S. Hoses, I. Martini G. San Juan, "Learning in Twenty-First Century Schools. Note 5: Enviromental Audit and Comfort Levels in Educational Institutions," BID Education, 2014.
- [50] A. Bobadilla, M. Piderit M. Trebilcock, "Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity," in *PLEA Conference*, 2012.
- [51] M. Tahsildoost, M. Hafezi ZS. Zomorodian, "Thermal comfort in educational buildings: A review article," *Renewable and Sustainable*, 2016.
- [52] G. Saelzer, R. Hempel, A. Gerber T. Hatt, "High interior comfort with minimum energy consumption from the implementation of the "Passivhaus" standard in Chile," *Revista de la Construcción Chile*, 2012.
- [53] S Carlucci S. Attia, "Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate," *Energy and Buildings*, 2015.
- [54] Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), "Principales desastres ocurridos en Chile desde 1980," Informe 2017.

- [55] A. Ruiz-Prado, A. Sierra, J.M. Salmeron, R. Vega O. Irulegi, "Retrofit Strategies towards Net Zero Energy Educational Buildings: A case of study at the University of the Basque Country," *Energy and Buildings*, 2017.
- [56] B. Wauman H. Breesch, "Desing of a new nZEB test school building," *The Rehva European HVAC*, 2016.
- [57] N. Gulati, "Cost Effectiveness in HVAC by Building Envelope Optimization," *Revista AUS*, 2012.
- [58] J. Soto M. Trebilcock, "Methodology for the design of comfortable and resilient educational buildings," *Revista AUS*, 2016.
- [59] B. Piderit, J. Soto, R. Figueroa M. Trebilcock, "A parametric analysis of simple passive strategies for improving thermal performance of school classrooms in Chile," *Architectural Science Review*, 2016.
- [60] A. Barrios-Padura, M. Molina-Huelva, R. Chacartegui M. Gil-Baez, "Natural Ventilation Systems in 21st-century for near zero energy school buildings," *Energy*, 2017.
- [61] K. Hewage, R. Sadiq N. Hossaini, "Spatial life cycle sustainability assessment: a conceptual framework for net-zero buildings," *Springer-Verlag Berlin Heildelber*, 2015.
- [62] International Living Future Institute, *Living Building Challenge 3.1, A visionary Path to a Regenerative Future*, 312016th ed. Canada, 2006.
- [63] U.S. Green Building Council, *LEED v4 para Diseño y Construcción de Edificios*, 4th ed. España, 2014.
- [64] P.A. Torcellini, E. Bonnema, D. Goldwasser S. D. Pless, "Technical Feseability Study for Zero Energy K-12 Schools," National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-5500-67233, 2016.
- [65] S. Reiter AF. Manrique, "A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale," *Energy and Buildings*, 2015.
- [66] G. Kokogiannakis J. Carrasco Eade, "Feasibility of PassivHaus standard and alternative passive design on climatic zones of Chile-Dermination of energy requirements with dynamic simulation," *Habitat Sustentable*, 2012.
- [67] M. trebilcock, A. Perez F J. Soto-Muñoz, "Sustainable educational buildings: A proposal for changes to investment evaluation policies in Chile through the incorporation of thermal comfort and air quality criteria," *Sustainable Energy for a resilient Future*, 2015.
- [68] M.J. Valdebenito, "Landscapes for transformation: a framework for planning greening design strategies in low-income schools in Chile," University of British Colombia, Master Thesis 2014.
- [69] LDD Harvey, "Recent advances in sustainable buildings: review of the energy and cost performance of the state-of-the-art best practices from around the world," *Annual review of environment and resources*, 2013.
- [70] Mercados Energéticos Consultores, "Análisis del Consumo Eléctrico en el Corto, Mediano y Largo Plazo," CONAMA, Resumen Ejecutivo M 1477 - 14, 2014.
- [71] R Arriagada. (2015, Agosto) Física de la Construcción, Reglamentación Térmica. Presentación Power Point.

- [72] Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014) Calificación Energética de Viviendas. Presentación. [Online]. <http://www.calificacionenergetica.cl/media/CEV-2014.pdf>
- [73] Daniela Maldonado, "Eficiencia Energética en Edificios Públicos," *Sustenta BIT*, no. 15, pp. 34-36, Diciembre 2012.
- [74] Ministerio del Medio Ambiente. (2017, abril) Nómima de Establecimientos Educacionales Certificados. Tabla excel. [Online]. <http://educacion.mma.gob.cl/sncae-nomina-de-establecimientos-educacionales/>
- [75] Ministerio de Energía, "Hoja de Ruta 2050 "Hacia una estrategia inclusiva y sustentable para Chile"," Gobierno de Chile, 2015.
- [76] Gobierno de Chile, *Contribución Nacional Tentativa de Chile (INDC) Para el Acuerdo de París 2015*. Santiago, Chile, 2015.
- [77] MAPS Chile, "Proyecto MAPS etapa 3," Reporte de Etapa 2016.
- [78] R.Z. Wang, Y.J. Dai S. Deng, "How to evaluate performance of net zero energy buildings -A literature research," *Energy*, vol. 71, pp. 1-16, Julio 2014.
- [79] Bre-group. (2017, Julio) [Online]. www.bre.co.uk
- [80] PassivHaus Institut. (2017, Julio) Passispedia. [Online]. www.passispedia.org
- [81] S Attia, "Towards regenerative and positive impact architecture: A comparison of two net zero energy buildings," *Sustainable Cities and Society*, vol. 26, pp. 396-406, Oct. 2016.
- [82] T. Theodosiou, D. Bikas P. Chastas, "Embodied energy in residential building-towards the nearly zero energy building: A literature review," *Building and Environment*, vol. 105, pp. 267-282, Aug. 2016.
- [83] M. Hall, M. Wall B. Berggren, "LCE analysis of buildings - Talking the step towards Net Zero Energy Buildings," *Energy and Buildings*, vol. 62, pp. 381-391, July 2013.
- [84] J. Kurnitski, "Technical definition for nearly zero energy buildings," *REHVA Journal*, pp. 22-28, May 2013.
- [85] Energy Star. (2013, Julio) Portafolio Manager Technical Reference. Documento PDF. [Online]. <https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/Source%20Energy.pdf>
- [86] National Institutes of Health. (2016, Agosto) 2015 Definition for Zero Energy Building (ZEB). Boletín Informativo. [Online]. goo.gl/W3dpHT
- [87] D. Rovas, E. Kosmatopoulos, K. Kalaitzakis D. Kolokotsa, "A roadmap towards intelligent net zero and positive-energy buildings," *Solar Energy*, vol. 85, no. 12, pp. 3067-3084, 2011.
- [88] Servicio de Salud Concepción. (2017, febrero) Albergues habilitados en la región del Bío-Bío. Twitter. [Online]. <https://twitter.com/servsaludconce/status/826768275002499072>
- [89] S. Attia, *Net Zero Energy Buildings (NZEB): Concepts, Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation*, 12018th ed.: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [90] Agentschap Voor Infrastructuur in het Onderwijs, "Pilotproject Passiefschol, Bilan 2015," Gobierno de la Región Flamenca, Reporte de Proyecto 2015.

- [91] J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, F. Rubel M. Kottek, "World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated," *Meteorologisch Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259-263, June 2006.
- [92] Climate Data. (2017, Aug.) [Online]. es.climate-data.org/location/13559
- [93] MeteoBlue. (2017, Aug.) Weather Mountain View. [Online]. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana/bilzen_b%C3%A9lgica_2801924
- [94] Bouw-Energie. (2017, Aug.) Bouw-energie. [Online]. <https://www.bouw-energie.be/nl/blog/post/e-peil-berekening>
- [95] J A. Castillo, "Estrategias de diseño sustentables aplicadas a establecimientos educacionales," Universidad del Bío-Bío, Concepción, Seminario de Titulo 2014.
- [96] Corporación Almondale, "Colegio Almondale Valle," Concepción, Reporte 2015.
- [97] R J. Shaughnessya, E. C. Colec, O. Toyinbob, J. Moschandrease U Haverinen-Shaughnessya, "An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance," *Building and Environment* , 2015.
- [98] PassivHaus Insitut. (2017, Aug.) [Online]. http://passivehouse.com/03_certification/02_certification_buildings/02_certification_buildings.htm
- [99] Universidad del Bío-Bío. (2012) proyecto Fondef N° D0911081. [Online]. <http://passivhaus-chile.cl>
- [100] Ministerio de Energía. (2017, Aug.) Explorador Solar. [Online]. www.minergia.cl/exploradorsolar
- [101] Proyecto Confin. (2017, Aug.) Mapa Solar de Concepción. [Online]. <http://mapasolar.cl>

ABREVIACIONES

| | | | |
|----------------|---|------------------------|---|
| NZES | : Colegios Energía Neta Cero / Net Zero Energy Schools | TDR_e | : Términos de Referencia Estandarizado |
| NZEB | : Edificios Energía Neta Cero / Net Zero Energy Buildings | CAI | : Calidad del Ambiente Interior |
| FODA | : Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas | DA | : Autonomía de luz día / Daylight Autonomy |
| nZES | : Colegios Balance de Energías Cercano a Cero / Nearly Zero Energy School | INDC | : Contribución Nacional Tentativa (Siglas en Ingles) |
| nZEB | : Edificios Balance de Energías Cercano a Cero / Nearly Zero Energy Building | PTSP | : Programa Techos Solares Públicos |
| NL | : Norte Litoral | OGUC | : Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones |
| ND | : Norte Desértico | CONAMA | : Comisión Nacional de Medio Ambiente |
| NVT | : Norte Valles Transversales | CNE | : Comisión Nacional de Energía |
| CL | : Centro Litoral | OCDE | : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| CI | : Centro Interior | PIB | : Producto Interno Bruto |
| SL | : Sur Litoral | NAMAS | : Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (Siglas en inglés) |
| SE | : Sur Extremo | PHS | : Passive House for Schools |
| SI | : Sur Interior | PHPP | : Passive House Planning Package |
| An | : Zona Andina | EE | : Eficiencia Energética |
| HVAC | : Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado / Heating, Ventilation and Air Conditioning | EPBD | : Recast of Energy Performance of Building Directive |
| MINVU | : Ministerio de Vivienda y Urbanismo | UE | : Unión Europea |
| IUE | : Intensidad de uso de Energía | DVH | : Doble Vidriado Hermético |
| PH | : Estándar Casa Pasiva / Passive House | ER | : Energía Renovable |
| LEED | : Leadership in energy and environmental design | DGA | : Dirección General de Aguas |
| CES | : Certificación de edificios Sustentable | | |
| MINEDUC | : Ministerio de Educación | | |
| GEEDUC | : Guía de eficiencia energética para establecimiento educacionales | | |
| BID | : Banco interamericano de Desarrollo | | |
| SNCAE | : Sintema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales | | |
| MOP | : Ministerio de Obras Públicas | | |

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de revisión de literatura

| | REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--------------------|---|---|--|---|---|
| Definitions | Net Zero Energy Buildings: A consistent definition framework [25]. I. Sartori, A. Napolitano, K. Voss. 2012. | Criteria in the definition framework: building system boundary, weighting systems, NetZero energy balance, temporal energy match characteristic, measurement and verifications. | Defining a framework for the Concept NZEB and its criteria. - Comparing different existing NZEB definitions and concepts | Too theoretical. - Generic. - One of the earliest studies of energy buildings definitions. - Lacks in detail for a local definition | - The comprising about America, it is market oriented, it is looking for cost affordability discuses of site energy balance, Europe, are focused and high performance and ultra-high energy efficiency, and on-site generation. - The study made a definition of net ZEB, and its important parts. - net zero energy balance depends on the comfort requirements, - the most influential parameter of any definition are comfort, climate, occupant, building use, and use behavior. |
| | Zero Energy Building: A review of definitions and calculation methodologies [24]. <i>AJ Marszal, et al. 2011.</i> | -Existing Definitions of ZEB. - Deliver Energy. - Primary Energy. - Carbon Emissions. - Energy Cost. | 1.- the metric of the balance, 2.- the balance period, 3.- the type of energy use included in the balance, 4.- the type of energy balance, 5.- the accepted renewable supply options, 6.- the connection to the energy infrastructure and (7) the requirements for the energy efficiency, the indoor climate and the grid interaction. | - the paper is highly analytical, providing a technical comparative, without proposal a technical methodology. - The paper is too technical. - The paper remains Generic. - did not propose a common definition. | - Identified a set of parameters that differ between ZEB definitions. – Indicated that the metric, the periods and the types of energy included in the energy balance together with the renewable energy supply options, the connections to the energy infrastructure and energy efficiency, the indoor climate and the building-grid interaction requirements are the most important issues. |
| | A literature Review of Zero Energy Buildigns (ZEB) Definitions. Marszal, A. Johana, Heiselberg, P. Kvolcs 2009 | ¹ - Net Zero Energy Buildings. - Net Zero Carbon Buildings. | - The paper is Focused on comparing Net Zero Energy definitions, with a focus on: - Energy Suply System. - Single Building or Community. - Building Type. - Aplication of renewable Energy. - Type of renewables Sources. | The paper is and earlier version of Reference N°1. - It is considered too theoretical and too Basic. - It does not provide a nouvel undstanding of NZEB Definitions. | - NZEB Definitions Should include primary energy, and its metrics, total energy demand. - Should fix a maximun energy Use. - Should depend on the Building Typology. - It should allow all types of renewables and, - It should discouse the interaction with the grid and national regulation. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|---|---|--|
| Zero Energy Building: A critical look at the definition. <i>P. Torcellini, et al. 2006.</i> | - Definitions | - In four well documented Definitions: - Net Zero Site Energy. - Net Zero Source Energy. - Net Zero Energy Cost. - Net Zero Energy Emissions. | - Is out dated and considered definitions they are not commonly use. - Was written with American Influence, focused on cost and of-site renewal generation. | - A definition summary table has been presented, from the four investigated definitions. - The summary describes advantages and disadvantages of each definition. |
| Criteria for definition of Net Zero Energy Buildings. <i>I. Sartory, et al. 2010.</i> | - Relevant Criteria for a Net Zero Definition. | - Framework for describe relevant criteria of NZEBs: - Boundary conditions. - Crediting System. - Net Zero Energy Balance. - Temporal Energy Match. - Monitoring procedure. | - The paper is an outdated publication. - Too theoretical. - Describe a General Framework | - Identify common parameters for Net Zero Energy Definitions. - The common pathway to achieve net zero balance is: First, reduce energy demand, and Secondly generate the necessary energy to supply that demand. - The monitoring procedure is viewed as an integral part of the definition. |
| How to define Nearly Zero Energy Building nZEB. <i>J. Kurmitnski, et al. 2011.</i> | - Definitions. | - To clarify a definition and a methodology applicable for members of state. - To clarify witch energy flows should be included in the energy Performance Assessment. - How primary factor should be used for primary energy calculation. | - The definition was focused on the context of Europe. | - Propose a detailed an applicable definition for Europe. - Propose a calculation methodology for the nearly Zero Energy Balance Buildings. |
| Towards nearly zero energy buildings, Definition of common principles under EPBD [24]. <i>Ecofys. 2013.</i> | - Approaches and concepts of NZEB. - Literature Review. - study cases - practical applications. | - NZEB concepts in Europe. | - The report is outdated. | - In Europe, there are a lot of definitions, but only a few are mandatories. - The most advances countries are from the north part of Europe Union. |
| A net zero emission concept analysis of a single-family house. <i>AH Wiberg, L Georges, TH Dokka, M Haase, B Time. 2014</i> | - Co2 Emissions. - Emission factor for electricity mix. - Building Envelope. - Building Services - Energy Conversion systems. - LCA and Co2eq calculations. | - Net Zero Emissions Balance. - Focused in energy used for operating. - Emissions for Materials. | - The study is made on a sigle-famaly house in norway, thus, ist results are specific for that context. - Focused on embodied energy for Chile is still a too high target. | - With PV and the estándar of construction in Norway it is possible to achieve Net Zero Energy House. - It is difficult for photovoltaic production to offset the embodied emissions, even assuming a fully decarbonized grid after 2050. - Even whet the calculation of Embodied emission has considerable uncertainties, the results indicate that EE contributed significantly to the Zero Emissions Balance. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|---|--|---|
| Net-zero buildings: incorporating embodied impacts. <i>T Lützkendorf, et al. 2015.</i> | - Primary Energy, Related to Zero House Gas Emissions. | - Evaluation of primary energy related to CO ₂ Emissions on three types of Balance: 1.- Embodied Impact. 2.- Embodied Impact but evaluated separately from the operation stage. 3.- Embodied Impacts included with the operation stage in a life cycle approach. | - Study are only for Norway and its context of buildings. - Chile do not have the information and the background to achieve in this moment this target. | - Identified the fundamental conceptual and methodological issues that need to be considered and specified to support the NZB design approaches. - It is important a more rigorous and transparent approach to providing definitions, and clarifying type and scope of indicator and system boundaries. The study presents a Check List to guide on the process of incorporated embodied impacts across building life cycle. |
| Current overview and future challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Southern Europe. <i>S. Attia, et al. 2017.</i> | - Review literature and study cases, state of the art in 7 countries, Spain, France, Cyprus, Greece, Italy; Portugal and Romania. | - Summarizes the findings of a cross-comparative study. - And the technical and societal barriers of nZEB implementation in 7 Southern European countries. - Focus on new and existing residential building. | - The study is made for the European Context, and focused on countries falling between latitude 35°N and 45°N. - The study does not include the cost. | - Presents an overview of challenges and provides recommendations, to further the lower barriers to implement nZEB in the Southern European construction sector. - Provides recommendations for actions to shift the identified gaps into opportunities for future development of climate adaptive high-performance buildings. - Identifies possible synergies between similar climate regions. - The southern European countries are poorly prepared for nZEB implementation. -Reveals a misunderstanding of nZEB concept. |
| users'behavior and energy performances of net zero energy buildings. <i>A Lenoir, S Cory, M Donn, F Garde 2012.</i> | - Energy Consumption and Energy production of the buildings. - Energy Balance. - Internal heat gain. | - The rol of the user in the operation of the building and its impact in energy performance. - The study focuses in the analysis of four educational buildings. | - The study cases are from european context. - The paper focuses in results of monitorization, does not propose a definition for a Net Zero Energy School | - In high performance buildings such as NZEBs, the consideration of user's behaviour becomes really important, because de choices that they have for achive his comfort. - The differences between the desing calculations and the measurements can be up to 50%. |
| Net Zero Energy School– Reaching the Community-Escola Secundária de Vergílio Ferreira condições ambientes no período de Inverno de 2011. <i>L Matias, C Pina dos Santos, A Pinto</i> | - relevants enviromental parameters, related to thermal comfort evaluation. - Adaptive comfort. - Indoor air quality, concentration of Co ₂ Emissions, temperature and relative humidity. | In the impact of pasives and actvies actions, searching the improve of classroom indoor conditions and energy efficiency. | - Focused in only one School in Portugal. - The project is too specific to the context. - Only focused in the comfort, not mension of Zero Energy Balance. | - There is a difference between the mandatory values, and the result of the adaptive comfort in the students. Mandatory have hight operative tempertures and the mesurements and adptavive comfort survey demonstrate more lower comfort temperatures. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|---|--|--|
| Zero Energy Schools–Beyond Platinum. PC Hutton. 2011 | - Study Cases of Zero Energy School | -How to implement Sustainability as a Learning Tool, using the classroom like a facility resarch. | - Focused in LEED parameters. - Does not propose a methodology or a definition of Net Zero Energy School. | - Find interasting examples for integration of the community schools in the design. - To build this kind of building is a very good tool to teach to students about sustainability, and to be a tool to involve and empowered the school community in the desing a built process. -The common strategy to provide energy is the photovoltaic panels, combined wiith geo-exchange system. |
| Net-zero energy: a case study on renewable energy and policy issues at Richardsville Elementary School, Kentucky. EA Iyiegbuniwe. 2014 | Energy Sources | - Study Case of a high performance LEED. - Energy sources and the potential to student learn about sustainability. | - Too specific to the context of America | - Shows the importance to generate energy from renewables sources without pollutant emissions, and the potential to strategical involve of students to learning and engagement to enhance critical thinking regarding energy conservation and enviromental health. |
| Overview from Passive House schools and NZEB schools to Plus Energy schools. Wim Zeiler. Plea Conferences 2011. | - Energy Efficiency – IAQ parameters. | - Study cases of PassiveHaus Schools in moderate climates. – Plus energy School Concept. | The publication is focused on Europe and his context in moderate climates | - It is possible to pass from passive house school, to NZEB or Plus Energy Schools. – The most used strategies are very good insulation, heat pumps and pv panels |
| 4. Policies | | | | |
| Principles for nearly zero energy buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements. A. Bodgan, S. Attia 2011. | - Existing concepts of NZEB and standards. - Financial and policy implications. | - To study and clear a definition for nZEB, and stablishing sustainable and realistic principles of nZEB. - Possible technical solutions and its implication for national building markets. | This Study is focused on European context. No focused in Schools. | -Provides an outlook on necessary further steps towards a successful implementation of nZEB. - Establish main challenges to achieve a definition. - Establish principles for nZEBs, and implementation approach. - Present a validation for nZEB principles, trough simulation of reference buildings in different climate zones, with comparative results. - Present a financial and policy implications of NZEB principles, with a recommendation for further steps. |
| Green buildings for Egypt: a call for an integrated policy. P- Bampou 2016. | -Green Buildings Definitions. - Green Building Policies in Mena Region and Egypt. - Socio-economic forecast and its implications in E.E. | - In the standards, policies and rating system of E.E in Egypt. | - Only Focused in MENA region. - Not specific for Chilean Context. - Not specific for Schools. | - It is necessary to sets priorities and actions that reflect each country energy needs. - It is important to have an adapted tool to each country, taking also into account the economic and social aspect, even the technological profile. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|--|--|
| Chile paving the way for sustainable energy planning. C. Silva, S. Nasirov. 2017 | Examines strategically important energy alternatives for Chile: - energy efficiency, hydro projects, renewable energy, and nuclear power. | - on identify recent developments and remaining challenges for the country. | - Focuses in country-wide energy alternatives. - It is not specific for the construction sector. - Not specific for schools. | - Presents recommendations to identify the potentialities and barriers of development different types of clean energy alternatives for Chile. - To meet the renewable-energy target of 20% to 2025, it is necessary for Chile establish additional incentive and keep a strategy to eliminate barriers. - To makes E. E. a reality in Chile, it is necessary legislation improvements, development of strategies, commitments for large industry and mining sectors, and support nationwide educational campaigns. |
| Energy agenda summary. Ministry of Energy Chile. 2014. | - Evaluation of Chilean energy situation. - Evaluation of the target of the government program of President Michelle Bachelet. | 1) A new role of the state to energy development. 2) Reducing Energy prices, efficiency and diversification in the energy market. 3) Develop its own resources. 4) Connectivity for energy develop. 5) Efficient Sector that manages the consumption. 6) Impulse energy investment for the development of Chile. 7) Citizen participation and territorial ordering. | - Just a roadmap. - Too General Does not propose concrete measures. - Adjust to the Chilean context. - The target for 2025 is not too ambitious. - Not specific for the construction sector. - Not specific for Schools. | - The agenda proposes to impulse the development of Non-conventional renewables energies, to achieve the target of 20% of the Chilean Energy matrix to 2025. - The agenda proposes to develop the energy efficient use of the energy, to reduce in a 20% the projected consumption to 2025. |
| National Strategy for Sustainable Construction [15]. Ministry of Housing and Urbanism Chile. 2013. | - Strategic Objectives. - Measurement Criteria. - Action lines. | 4 axes: 1) Habitat and Wellness. 2) Education 3) Innovation and competitiveness. 4) Governance. | - Elaborated for the context of Chile. - Is only a roadmap, even when propose a more specific framework for the construction sector. - Does not propose specific measures for Schools. | Proposes to: - Increment the number of edifications and infrastructure with certifications and/ or sustainable constructions standards. - Increment financing, for constructions that considers sustainable criteria. - To reduce the emission and environmental impact level in all life cycle of the buildings. - To define sustainable Construction standards, and improve the regulatory framework of the construction. - To Increment resilience of buildings and infrastructure to climatic change and energy events, and to educate the population in the sustainable construction issue. - To improve E. E. and water systems, and utilization of passive design and Non-conventional renewables energies. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|--|--|---|
| Roadmap 2050, Towards a sustainable and inclusive strategy for Chile [16]. <i>Ministry of Energy of Chile 2016.</i> | - Goals to long and short term. | - To establish guidelines for different sectors related with the energy in Chile. | - the study is a roadmap. - It is specific for Chile. - Even when propose targets that involve Schools, do not propose specific measures to achieve this goal. | - Chile made a target of 70% of the energy matrix will provide from renewable sources. - Proposes 5 main axes, with targets, and actions regarding 2020, 2025, 2030, 2035, 2050. - The most important are: 1) To 2035 100% of new energy project, should count with Net Zero Biodiversity losses, and 2050 Emissions of the sector fixing the targets of OCED. 2) To 2035 50% reduction of the energy poverty gap, and for 2050 100% of the gap reduced. 3) To 2035 100% of the school's curriculums add contents of energy development and 100% of the public edifications achieve sustainability standards. |
| Energy consumption, Co ₂ emission, and economic growth: Evidence from Chile [4]. <i>YJ Joo, CS Kim, SH Yoo. 2015.</i> | - The short- and long-run causality issues among energy consumption. - CO ₂ emissions. - economic growth in Chile. | - to examine the causal relationship among energy consumption, CO ₂ emissions, and economic growth. | - The study was made at the all country level. - It is not specific for Construction sector. - it is not specific for schools. | - Energy consumption can induce economic growth, but not vice versa. - Chile should make more effort to develop energy-efficiency technologies, and renewable energy sources. - there is a unidirectional causality from energy consumption to economic growth. - Unidirectional causality between Co ₂ emissions to economic growth, and from Co ₂ to economic growth. - Unidirectional causality between energy consumption to Co ₂ emissions. |
| Firewood demand and energy policy in south-central Chile. <i>A Schueftan, et al. 2016.</i> | - Thermal efficiency of envelope - Thermal comfort. - Type of energy use for heating. - Energy Cost. | - to identify the major causes of air pollution. - Discusses various strategies for lowering emissions and their effectiveness in reducing air contamination. - focuses on residential sector. | - The study only focuses on a specific zone of Chile (central zone). - Do not analyses another source of pollution. - It is not specific for Schools. | - Present an economic evaluation of strategies and policies, regarding to alleviate the FP in houses in the central zone of Chile. - The result shows that retrofitting thermal conditions in houses led to FP alleviation, in contrast improvement of heating appliances alone does not alleviate FP nor improve indoor comfort. |
| Institutional framework of energy efficiency in Chile. <i>MF Riveros Inostroza 2014.</i> | - Institutional framework in force in Chile. - Advantages and disadvantage of the Chilean Institutionalilty. | - analysis of a new Energy Efficiency institutionalilty. | - The study was made only from one institution of Energy Efficiency. - The study does not involve the construction sector per se, nor the Schools or Buildings. | - The institutionalilty of Energy Efficiency in Chile does not have results in its implementations of politics. - regarding the opening of the agency (2010) and the date of the study (2014), the National Agency of Energy Efficiency of Chile does not propose nor generate public policies either regulations regarding the efficient use of the energy. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|---|---|--|
| Challenges for the universal access to clean energy in Chile. <i>PA Jofré, et al. 2017</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Chilean Energy Matrix - Access to energy in Chile. - Access to energy for heating in Chile | <ul style="list-style-type: none"> - In to establish a diagnosis of the current status quo of the access of the energy in Chile. | <ul style="list-style-type: none"> - Focused in Chilean Policy. - Is an overview study of the conditions to achieve the proposal goal. - Not specific for Schools. | <ul style="list-style-type: none"> - Identifies the follow challenges for the energy policy in Chile, regarding the goals for 2050 establish for the government: - Access to low-emission and modern by products manufactured from forest resources. - Improvement in the thermal insulation of houses to reduce heating demand. - Access to efficient technologies for heating. - Electrification projects with renewable energies in remote areas. |
| Decree 548 Mineduc Infrastructure [8]. <i>Government of Chile 1989.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Minimum parameters of School infrastructure. | <ul style="list-style-type: none"> - In set, the minimum requirements for Schools in Chile. | <ul style="list-style-type: none"> - The Regulation is too basic, with a lack of a lot of parameters related to comfort and energy efficiency. - Does not propose a definition for NZES nor for energy efficient Schools. | <ul style="list-style-type: none"> It establishes the constructive quality of the schools, and its terminations as: - Minimum illumination in corridors and circulations of 30 lux. - The decree imposes to achieve a temperature of 12°C, in classrooms for basic and middle education, in Andean, central interior of the Ñuble and Itata rivers to the south, south coast, inland south and extreme south. - - Illumination of 180 lux measured in the cover of the working table in the less illuminated area of the enclosure and when mechanical system is required a renewal of the air bucket, equivalent to twice per hour. |
| General Ordinance of Urbanism and Constructions [9]. <i>Government of Chile 2016.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - General conditions of habitability. - Conditions of resistance of the materials and structure. - Conditions of universal mobility. - General comfort conditions. | <ul style="list-style-type: none"> - Establish minimum standards of construction and habitability. | <ul style="list-style-type: none"> - As for parameters of comfort in schools is basic. | <ul style="list-style-type: none"> - Establishes the general conditions of impact in the community, the constructive, habitability and universal mobility of school premises. - In illumination, it regulates only surface of windows of the enclosure, through the ratio Sup. Room / window that goes from 14-20%, according to the geographical area. - For the case of ventilation establishes a useful opening surface of the sale of an 8% sup / window. And / or ensure an air volume of 3m3 per pupil in classrooms. |
| Standardized Reference Terms with parameters of Energy Efficiency and Environmental Comfort, for Design and Construction bids of the Architecture direction, according to geographic areas of the country and according to typology of Buildings. [13] <i>Ministry of</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Illumination. - Indoor Air quality | | <ul style="list-style-type: none"> Is a voluntary regulation, mandatory only for new buildings built or principal by the state | <ul style="list-style-type: none"> - It distinguishes between 4 typologies of buildings: Offices, Educational, Health and Security. - Establishes 4 general lines: passive architectural design, energy saving, environmental comfort, water saving. - Most notable is: Zoning in 9 climatic zones, establishing limit values for thermal transmittance, Solar Factor for Crystals, requirements for air permeability for enclosure including windows, performance criteria for boilers and air conditioning systems, EE of lighting systems, Percentage of solar contribution for sanitary hot water, Minimum ventilation in educational enclosures in l / s |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|---|---|---|
| Publics Works of Chile. 2013. | | | | per person or l/s per m^2 , operating temperature frequency for passive buildings and temperature range for buildings with active systems, minimum illuminance of 300lx and percentage of Daylight autonomy (DA) greater than 50%, in addition to incorporating requirements for glare and chromatic performance, acoustic insulation requirements for classrooms, water use efficiency. |
| CES Certification Manual [14]. <i>Institute of Construction of Chile. 2014-</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Passive and Active Thermal Comfort. - Visual Comfort - Active and passive. - Active and passive air quality. - Active and passive acoustic comfort. - Energy Demand. - Hermeticity of the Envelope. - Incorporated Energy. - Water consumption outside. - Water incorporated in the Construction. - Equipment noise. - Efficiency of Artificial Lighting. - Air conditioning and ACS. - Plug Loads. - ERNC contribution. - Drinking water consumption. - Irrigation water. - Integrated Design. - Operation Management | <ul style="list-style-type: none"> - Evaluate, qualify and certify the degree of environmental sustainability of the building. | <ul style="list-style-type: none"> It is not a mandatory certification for the private sector. - It has a focus on building, not holistic, in relation to the environment. - Does not incorporate the Zero Energy concept. - It does not measure the interaction with the network. It is a certification tailored to the context of Chile. | <ul style="list-style-type: none"> - It is composed of two parts: Evaluation and Certification. - Applicable to buildings of "public use", of the private or public sector, of any occupational load. - Applicable to the following destinations: 1) Education; 2) Health, (except hospitals, clinics, cemeteries and crematoria); 3) Services; 4) Security (excluding prisons and detention centers); 5) Social. - Applicable to buildings with built up to 5000m². - The system includes 3 levels of certification: Pre-Certification "Sustainable Building" evaluates the architecture and facilities of the building, mainly in the design stage. Certified "Sustainable Building", evaluate the architecture, facilities and construction of the building. And "Plus Operation" stamp, the management is evaluated during the operation of the building. - The aspects to be evaluated are grouped into 5 areas: 1) Quality of the Inner Environment (passive and active thermal, luminous, acoustic and air), 2) Energy (energy demand, built-in energy, water tightness, artificial lighting, Consumption, ERNC), 3) Water (landscaping, built-in, active systems), 4) Waste (Management), 5) Management (Integrated design, management and operation). - Each of these areas has mandatory and voluntary requirements (which deliver 100pts total). - To obtain the minimum certification "Certified Building": must comply with all mandatory plus 30 to 54.5 pts. - For "Outstanding Certification": 55 to 69,5 pts. - "Outstanding Certification": 70 to 100pts. - The integrated design is scored in addition to the 100PTs |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|---|------|---|
| Environmental Performance Evaluation Chile 2016 [3]. OCDE 2016. | <ul style="list-style-type: none"> - Evaluation of GDP. - Evaluation of the emission of greenhouse gases by sector. - Policy evaluation. - Management of air, waste and water. - Governance and environmental management. - Green growth. - Climate change. - Conservation and sustainable use of biological diversity. | <ul style="list-style-type: none"> - Evaluate Chile's environmental, political and statistical performance. | | <ul style="list-style-type: none"> - Presents an evaluation of performance, recent trends and changes, environmental issues and climate change. The most important observations are: - The institutional and regulatory reforms have not yet reached the desired environmental results, including: Renewable energy accounts for almost a third of Chile's energy needs, representing the fifth largest OECD figure. - The tax system becomes greener, the emission tax is mainly taxed by thermoelectric plants, but it leaves aside copper or other smelters. The tax rate applied is relatively low (US \$ 5) and should be subject to progressive increase. - Green markets grow and the capacity for environmental innovation improves. - Chile is vulnerable to climate change. - The energy intensity of the Chilean economy declined to just below the OECD average, reflecting the unequaled income gap. - The Chilean energy matrix is still mainly composed of fossil fuels. - At the same time, it establishes recommendations, a total of 54, so that Chile continues to advance in the fulfillment of its environmental commitments. |
| Paris Agreement [20] | <ul style="list-style-type: none"> - establish goals Related to climate change. | <ul style="list-style-type: none"> - strengthen the global response to the threat of climate change. - sustainable development and poverty eradication. | | <ul style="list-style-type: none"> - Recognizes that climate change is a problem for all mankind. - Affirms the importance of education, training, public awareness and participation, public access to information and cooperation at all levels. - Keep the average global temperature rise well below 2 ° C with respect to pre-industrial levels. Limit that temperature rise to 1.5 ° C with respect to pre-industrial levels. - To increase the capacity of adaptation to the climatic change, and to promote the resilience to the climate and a development with low emissions of greenhouse gases. - Placing financial flows at a level compatible with a path leading to climate resilient development and low emissions. - Countries must communicate their efforts, with a view to achieving the objectives set. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|---|---|---|
| National Tentative Contribution of Chile (INDC) for the Paris Climate Agreement 2015 [17]. <i>Government of Chile. 2015.</i> | - CO ₂ emissions | - Mitigation parameters for climate change. – Planning actions to aboard climate change. | - Focused on Chilean context – the goals are low compared with the international target. | - Chile made compromises about the Climate Change in Mitigation, Adaptation, Building and Strengthening of capacities, Development and technologies transfer, and Financing. - In Climate Change Mitigation: The compromise of Chile was to 2030, to reduce its CO ₂ emissions, per unit of GIP in a 30%, respect to the level reach in 2007. - Chile also compromise to the sustainable management and recovering of 100,000 ha, of forest, mainly native. And compromise to forest 100,000 ha, mainly with native species. - The country aims to have educated citizens on sustainable, inclusive, resilient and low carbon development. |
| Technical Report Qualification of Housing January 2017 [7]. <i>Ministry of Housing and Urbanism Chile. 2017</i> | - Statistics of rated homes. - Statistics by typology. - Statistics of Average Energy demand and consume by thermal Zone. - Statistics by materiality - Statistics by equipment in houses. | - To deliver data by rated houses, to show their evolution. | - Data are only for new rated houses, not for all houses, due the system is only mandatory for social housing. – Does not present information for other kinds of buildings. | - Shows: an overheating index in houses with the high mark. - Shows also that most of the houses do not use ERNC (89,74%). - In general houses does not have heating system (93,05%) that implies that in most houses use stoves with wood or another system with open flame. - Most of the mix project rated (91,95) use monolithic glass with a poor U factor. - Show the energy demand and consume for climatic zone being the Zona 6-A the most complicated. - average demand in heating is 137,6 Kwh/m ² year. with a consume of primary energy in heating of 234,5 Kwh/m ² año. |
| GEEDUC [10]. <i>ACHEE 2013.</i> | - IAQ parameters - comfort parameter for school. | - To provide recommendations for designing schools. | - Some data are old. | - Listed a series of national programs and initiatives. -Give a series of design recommendation focused in lighting, ventilation, and comfort. |
| Monthly Electricity statistics [5] <i>IEA. 2017</i> | - Electricity production on OCDE countries. - Energy matrix. | - to present a series of statistics related to energy production in OCDE countries and its evolution through the last year. | - Data shows only last year | In general, the electricity production in OCDE countries has an increase of 1,1% or 9,5 TWh, over same month (March 2016). - The production for combustible Fuel grew by 1,2%, compared with March 2016, with a major growing in OCDE Americas with 2,9%. - The production of Geoth/wind/ Solar/ Other grew by 18,7%, and in OCDE Americas increased 18,4%. - For Chile total production for the year 2016-2016, was 18.654 GWh: - Total production was lower by 337 GWh, or 18%. - Combustible fuels production reduced by 4,5% and decrease of 572 GWH. - Geoth/Wind/ Solar/ Other production increased by 74,9% or 721 GWh. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|--|---|--|
| Energy Efficiency Indicators. <i>IEA</i> . 2016 | - Energy efficiency parameters. – Energy consume by sector – Energy intensity of each country. | - To present statistics of energy efficiency in IEA members countries. | - Data shows only countries members of IEA. | - Define energy efficiency as "the first fuel", it is the one energy resource that all countries possess in abundance. - Globally, energy consumption and development have been decoupling, Energy intensity decreased by approx. 20% between 1990 and 2014. - Shows general statistics of Energy Efficiency of IEA countries on: Residential Sector, Industry and services, Transport. - For IEA Members countries, the decoupling was mainly due to efficiency improvements. - In IEA countries EE was responsible for over 80% of the downward pressure on energy consumption. - The EE savings were approx. 4 times larger than the savings associates with structural change. |
| Project MAPS Chile Stage 3 [23]. <i>Maps Chile</i> . 2016 | - Analysis of co-impacts of the selected mitigation measures. - Projection of CO ₂ emissions, related to proposed mitigation measures | - Analysis of mitigation measures related to stabilizing the generation of greenhouse gases. | | - Several co-impacts related to: 1) Transportation, 2) Electric Generation; 3) Residential and Revenue; 4) Use of soils; 5) Industry and Mining. - A sector analysis was carried out, in the context of exploring long-term GHG mitigation options. - Based on the study, and reference of other studies, it takes a rather demanding trajectory to achieve the goal required by science at a global stabilization level of 2 ° C. According to the MAPS scenarios, even with the High Effort scenario (which contained all proposed mitigation measures), the levels required by science by 2050 would be reached. - Even with a scenario of 100% of electricity generation that does not emit CO ₂ could be insufficient by the year 2050, it is necessary that the agricultural, commercial-public-residential, transport and mining sectors also reduce their aggregate emissions. - In the energy sector: (1) a low carbon development should be advanced; 2) High ERNC penetration in the generation sector does not ensure compliance with mitigation goals; 4) development barriers for NCREs must be overcome. 5) Promote flexibility mechanisms 6) Proy. Hydroelectric, 7) market instruments that internalize socio-environmental externalities 8) development of low emission nuclear energy. - In the Mobility-City and Residential sector: 1) Thermal conditioning of new and old homes, 2) Intelligent |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|--|--|--|
| | | | | networks (electric) 3) District heating and other technologies. |
| National System of Environmental Certification of Educational Institutions [11]. <i>Environmental Ministry of Chile. 2015.</i> | -Education quality – intersectoral coordination- spread educational experience | Education quality through sustainable knowledge, and community and environmental conscience. | - The evaluation of the environmental situation of the school, do not include parameters of comfort or energy consumption. - The certification of the school is based in an auto-evaluation. | - Efforts are in two areas: 1.- Strengthen the educations quality, generated high levels of intersectoral coordination in the formation and training programs of formal education. 2.- Spread successfully educational experience, to generate educative communities engaged with their own educative process. - It promotes the installation of a system of environmental management, which includes and takes the historic frame, the culture and territory which it's insert in the educative unit. - SNCAE have three levels of certification: Basic- Medium - Excellent, the both first have 2 years and excellent for 4 years. - The SNCAE counts with three instances of intersectoral organizations: 1) National Committee of Environmental Certification. 2) Regional Committee of Environmental Certification and 3) Ambiental management committee of the School Establishments. - Al the process counts with an auto evaluation of the environmental education situation. - The SNCAE propose include variables like: Scope of educative job - Scope curricular and scope relationship with the environment. |
| Strategic School Infrastructure Plan [12]. <i>Ministry of Education Chile. 2014.</i> | - Evaluation of quality of school in Chile - imagen and context – Innovation – Functionality- Flexibility – Opening to the community- Inclusion- Secure spaces- Sustainable, comfort and energy efficiency – art interventions – Furniture and equipment – maintenance – enclosures program- | To propose a new strategy for new school buildings. And propose new criteria for educative spaces. | - It is a strategy only for the school manages for the government. | - Incorporate higher standards of infrastructure in both new and existing buildings, to improve quality at all levels of the education system. - Provides information on the cadaster of school infrastructure carried out in 2012-2013. - The plan is to be able to benefit to 2000 public educational establishments of the country, guaranteeing high infrastructural standards in the school constructions. - Work in 6 lines of action: 1) Public Education seal works, which considers the construction of educational establishments with high infrastructure standards, 2) Integral improvement |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|-------------------|--|
| Decree 71, Approves Regulation of Law No. 20571, which regulates the payment of electric tariffs of residential generators. <i>Government of Chile 2014.</i> | - Procedures for the regulation of electricity tariffs in Chile | - Regulation of electrical tariffs. | | works, which through integral solutions and incorporating better quality standards, allows solving deficiencies or infrastructure deficit. 3) School Continuity Works, projects to expand and improve the levels of kindergarten and pre-kindergarten levels. 4) Preventive Works, which consists of minor works, which contribute to the maintenance of school infrastructure. 5) Equipment; Furniture and equipment, financing for the acquisition of school equipment. 6) Emergency works, Projects that respond to situations resulting from natural disasters, affecting the operation of the school. - It proposes criteria of design based on 16 aspects, within which is the sustainability, comfort and energy efficiency. - Stipulates that end users, who have their own electric power generation equipment, renewable non-conventional means or efficient cogeneration facilities, shall have the right to inject the energy they generate to the distribution network through the respective splices. - It establishes the technical and safety specifications that must comply with the equipment required to affect the injections. - The mechanism for determining the costs of adjustments. - The installed capacity allowed by each end user and by the set of users in the same distribution network. |
| Energy and CO ₂ emissions in the OECD. <i>IEA 2017.</i> | - Energy consumption for region. - Energy production for region. - Energy Efficiency for region. - Emissions related to energy for region. | - Energy and CO ₂ emissions in OECD Countries. | - General Report. | - In general, continued decrease in CO ₂ emission from fuel combustion. In total OECD countries decreased emissions by 9,5% (1,2 GtCO ₂) since their peak level of 12,9 GtCO ₂ in 2007. - Europe Increase their emissions driven by transport and climate. Europe increase in 1,5% their emissions, due to transport and residential sectors. - In General Oil remained the largest source of OECD emissions. (40%), followed by coal (32%), gas (27%) whilst 20% of total primary energy supply derives from carbon neutral sources. - Over the longer period of 1990-2015 the decoupling of economic growth from energy consumption has been very significant (TPES/GDP= -31%). - OECD Americas (Chile, Mexico, Canada, USA) reached self-sufficiency, although still |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|---|--|--|
| Climate Action Tracker Report [22]. <i>Climate action Tracker 2017.</i> | - Co ₂ Emissions projection for Chile - Rating of goal projection. | - To assess the goal proposes for Chile, and compare with the global objective. | | <p>needing to import some fuels and export others. Primary energy production from solar, tide and wind significantly increased by 15% (10 Mtoe)</p> <p>- The assessment rates Chile's NDC for Paris Agreement "inadequate", based on both conditional and unconditional intensity-based emissions reduction targets. - A fair and equitable emissions pathway would require Chile's emissions to stabilize and decrease over time. However, under both NDC targets, Chile's emissions will continue to increase by 38-75% by 2030. - An increasing number of ambitious policy interventions will be needed to limit emissions to its conditional NCD target. - If most other countries followed Chile's approach, global warming would exceed 3-4°C. - Between 1990 and 2010, Chile's emissions increased by 84% from 50 MTCO_{2e} to 92 MTCO_{2e}, excluding LULUCF. The study estimate that emissions will reach 134-138 MTCO_{2e} per year in 2020, which represent a 169-177% increase above 1990 levels. in 2030 that emissions will be 161-167 MTCO_{2e} (224-234% above 1990 levels).</p> |
| Memory Public Solar Roofs Program [18]. <i>Energy Ministry of Chile 2016.</i> | - Technical characteristics of the installed systems. - Associated investment. | - Installation of Photovoltaic Systems in Public Buildings. | <p>- None of the evaluation variables considers Energy Efficiency.</p> <p>- The interior comfort of the building is not taken into consideration.</p> <p>- The Net Zero concept is not considered.</p> | <p>- Up to now, the installation of photovoltaic systems for 99 buildings in nine regions of Chile has been contracted with a cumulative capacity of 3MWp. - They are considered projects connected to the network (on-grid). - The program is intended to benefit public institutions of the different powers of the State and municipalities. - Of the 99 projects awarded 33 correspond to schools and schools from the 1st to the seventh region. - Within the requirements to access the benefit is to own the property, or have a lease with option to purchase for more than 15 years. - It examines the consumption of electrical energy of the building to project the PV system. - The capacity of the roof and its constructive quality are evaluated.</p> <p>- The connected power of the property is evaluated.</p> |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|--|--|
| Annual Report 2015 [2]. <i>ACHEE. 2015.</i> | - Investments parameters – save parameters – Co ₂ emissions | Energy Efficiency in Buildings, Mining and industry, Education and Measure verification | The report is not updated. | - Chile is beginning to apply EE concepts in all its productive areas, which brings good savings and a decrease of Co ₂ emissions. The principal investments are in Public buildings – Public lighting – Cogeneration program in industry – programs for efficient driving – Educative programs – and know how formation. |
| NCH 1079 OF 2008. <i>National Institute of Normalization. 2008</i> | - Outdoor temperature – Rainfall index – Daylight index. | To provide a more accurate climate zoning of Chile. | Does not consider microclimates | - Chile is compounds for 9 different climatic zones. Some of that very different like desertic zone, and south extreme zone. |
| National Plan for Adaptation to the Clime Change [21]. <i>Environmental Ministry of Chile. 2014.</i> | - Ambient temperature. – Rainfall regimen – Sectorial impacts - | To make a diagnostic of the impact of Climate Change in Chile. And propose the measure for afford it. | Specific for Chile. | Propose and operative structure to afford the climate change in Chile. With transversal and sectorial actions, to central and regional level – propose a monitoring process – define responsibilities for each task. |
| Education at Glance [41]. <i>OCDE 2016.</i> | Output of educational institutions and the impact of learning – Financial and human resources invested in education – Access to education progress and participation – the learning environment and organization of schools - | To provide statistics and information about the different parameters which affects the educational level in OCDE countries. | - Does not provide specific information about school buildings. | Chile is one of the countries which have a less educational spending on OCDE countries – Also Chile has one of least progress in to accomplish the educational target propose for OCDE. |
| Towards Measuring a Quality Education [42]. <i>Education Ministry of Chile. 2014.</i> | Spend for student – initial and operational costs. | To provide an overview of the educational spend in Chile. | The information for operational cost referred to school building is only estimated not measured. | In Chile, the average initial cost of a school building is 1139,8 USD/m ² y in a building without EE criteria, and 1610 USD/m ² y in a building with EE criteria. The operational cost of a school building is estimated in 20USD/m ² y. |
| 3.- Comfort, Energy Poverty and Social Resilience | | | | |
| Thermal Comfort in Primary Schools: a field Study in Chile [31.] <i>M. Trebilcock, J. Soto, R. Figueroa 2014</i> | - Thermal parameters: internal temperature in classroom, Thermal sensation vote, Climate context, vulnerability index, air velocity, relative humidity. | - Determining comfort temperature of students in state-owned primary schools. | - this is an old version of reference [1]. - does not consider air quality. - does not consider energy efficiency. | - The comfort temperature derived from the field work is significantly lower than comfort temperature calculated from Humphreys formula. - Also shows that students from highly vulnerable Schools voted lower comfort temperatures than those from less vulnerable realities. |
| Energy Poverty in Latin America. <i>R García Ochoa. 2014</i> | - Energy consumption per capita. - Emissions per capita. - Human Development Index. | - Highlight the social dimension of energy uses, and thus have an integral and more equitable | - The study is based on the reality of Latin America. | - Proposes the concept of "Energy Poverty in the Home" and the method of "satisfying absolute Energy Needs". - Shows the relationship between energy consumption per capita greenhouse gas emissions and human |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|--|---|--|
| | - Relationship between needs, satisfactions, economic goods and end uses of energy. - Background of energy poverty. | vision of the link between energy, poverty and the environment. | - It is necessary to carry out a deeper analysis of the reality of each country. - Work is a frame of reference. | development in the world. - The results also show that it is pertinent to introduce and strengthen energy poverty as a line of research and as an axis of analysis in Latin American development plans and instruments. |
| Energy Poverty: Perspective from Urban Intervention, Building and the Environment. G Armijo, et al. 2016 | - Residential social segregation. - Government policies for social integration. - Use of firewood. - | - General evaluation of energy poverty in Chile | - It is a general study. | - The vast majority of residential buildings, both in low and high socioeconomic strata, do not provide adequate interior Hygrothermic comfort since thermal regulation is insufficient. - All socioeconomic strata, except the highest, suffer from energy poverty, since heating systems are inefficient, polluting, and urban policies increase dependence on transport. - Energy poverty depends not only on housing but also on the wealth and connectivity of the urban context. |
| The Right to Energy: Meaning, Specification and the Politics of Definition. G Walker. 2015 | - universal rights meaning. - definitions of right to the energy. | - Study of meaning and specification of a right to energy. - characterize the space for political work focused on defining the right of energy, its specification and implementation. - recognizing the differing roles that the use of energy plays in enabling well-being | | - The right to energy is often quite rightly deployed by developing countries who argue that they need to develop their energy infrastructures and increase levels of energy consumption and carbon emissions to expand their economies and lift people out of poverty. - can be a problematic for the global climate, if the right to energy is taken to mean rolling out a fossil-fuel based infrastructure. |
| Definitions of fuel poverty: Implications for policy. R Moore. 2012 | - fuel cost related as percentage of income. - Definitions. - Supplementary indicators. | - on Former and analyses data from the 2008 English Housing Survey, and previous annual English House Condition Survey, to explore the implications for policy. | - Focuses in England context. - The paper does not propose a definition. - the paper is a framework. | - The paper study a series of definition of fuel poverty, and made recommendation for everyone. - It concludes that the Government's current preferred definition is not directed at those most in need. |
| Assessment of social perception on the contribution of hard-infrastructure for tsunami mitigation to coastal community resilience after the 2010 tsunami: Greater Concepcion | - Coastal areas. - permanence of urban areas in the Greater Concepcion Region in tsunami prone areas. - Physical tsunami mitigation structures. - Co-benefit of tsunami mitigation infrastructure. | - Assesses the contribution of "hard-infrastructure", for increasing disaster resilience. | - The study is specific to the context of Chile and the study cases. - the study is strongly dependent on the social perception of residents. - Only take in to account two types of infrastructure | - Structures were considered beneficial to resilience-building if they had multi-functional proprieties which aided in the social and/or economic recovery of the affected community. - The former structures without a purely protective function, contributed positively to building economic resilience in Dichato, Talcahuano and Penco, through the promotion of tourism and small-scale fishing activities. - Only in Tumbes the elevated houses were |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|--|--|---|
| area, Chile [35]. <i>YTJ Khew, et al. 2015</i> | | | (promenades, and elevated houses) | shown to help restore community economic function, by providing safe area to store fishing goods. - The study provides a clear classification of hard and soft resilience - It is ideal that the design of new tsunami mitigation infrastructure maximizes positive multi-functional qualities, especially those which reinforce a culture of tsunami preparedness. |
| Resilience to climate change: from theory to practice through co-production of knowledge in Chile. <i>R Borquez, et al. 2017</i> | - resilience theory and climate change. - Participative process to product knowledge. | - Drought in Chile 2014. - How resilience theory can be applied and articulated into practice. | - Focused in Chilean reality, and only to the community studies. - The study not involve another type of disasters. | - It is necessary a participatory process and co-production of knowledge, and participation of stakeholders and decision makers. - To build resilience to climate change, require active participation from governments, citizens, scientists, and private sector. - The framing of resilience as a capacity not only to recovering but also to adapt, to learn, to transform, and to reorganize. - equitable/ universal access to information and education and to enhance preparedness, is a key for building resilience, especially in countries frequently exposed to disasters related to climatic hazards. |
| Learning in Twenty-First Century Schools: Note 5: Environmental Audit and Comfort Levels in Educational Institutions. <i>G San Juan, et al. 2014.</i> | - Ambiental conditions: hydrothermal comfort, light comfort, acoustic, and air quality. - Architectural conditions: adaptability of the space, visual contact, auditory contact, esthetic contact. | - Show the status of school buildings in different countries. - Determine comfort conditions in school buildings of six countries of Latin America. | - the study does not consider, policies related to school building. | - Hydrothermal conditions generally do not respond to the recommended standards. - In some cases, the levels of illuminance and uniformity do not correspond to the physiological needs. - The opinion of the students verifies a degree of accustomed to unfavorable conditions. - The sound levels in the sample have been recorded outside the comfort ranges, which becomes a critical aspect. - It has been detected that there are situations in which winter periods and uncoordinated Co ₂ concentrations coincide. In these cases, the need for regulation of ventilation generates other problems, thermal, hydrothermal, olfactory. - Temperature and natural illumination are the critical parameters from an objective point. - The sound and quality of the air are indicated by the students as the aspects that produce greater discomfort, but of difficult solution, since its mitigation compromises the ventilation strategies or hermetic closure of the classroom. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|--|--|---|
| Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity [28]. <i>M Trebilcock, A Bobadilla, M Piderit. 2012.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Measurements of environmental performance. - Air temperature. - relative humidity. - Co₂ emissions. - Perception on thermal, visual and acoustic comfort. - Air quality. | <ul style="list-style-type: none"> - The performance evaluation of school buildings, with and without energy efficiency design. | <ul style="list-style-type: none"> - the study is limited to the study cases, and the specific climate, and sociocultural environment. | <ul style="list-style-type: none"> - The study shows several contrasts between measured data and the responses from the occupants that can be attributed to poverty and resilience. - It is important to include cultural principles in architectural poverty, because improves the resilience of the occupants and its perception of wellbeing. - It is also necessary to improve environmental performance of rural schools located in areas of extreme poverty, based on an improvement of construction quality and passive design strategies. - It is important to join energy efficiency with comfort, to obtain better results. |
| Thermal comfort in educational buildings: A review article. <i>ZS Zomorodian, M Tahsildoost, M Hafezi. 2016. [30]</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Methodologies. - reviewing result based on: climate zone, educational stage, and applied thermal comfort approach. | <ul style="list-style-type: none"> - Focuses in to present an overview of existing studies related to comfort in classrooms. | <ul style="list-style-type: none"> - Focused only in comfort studies. - Does not made a relationship with energy efficiency. - The study is a framework, does not propose a standard. | <ul style="list-style-type: none"> - Most of the studies concluded that students' thermal preferences were not in the comfort rage provide in standards. - Ventilation has been highlighted in most studies, as an essential determinant of indoor air quality and thermal comfort. - Currently used thermal comfort standards, such as ISO 7730, EN 15251 and Ashrae 55, CIBSe environmental guide A, were mainly found to be inappropriate for the assessment of classroom thermal environments. - A wide disparity in thermal neutralities has been observed. - Local discomfort evaluation in classroom could be useful for decreasing the percentage of dissatisfied occupants. - Reviewed studies showed that students prefer cooler environments and are more sensitive to warm conditions. - Energy conservation measures should be carefully applied in classrooms, because saving energy is the secondary concern in educational building. - developing spatial and temporal thermal comfort metrics could be useful for design evaluations in classrooms. |
| High interior comfort with minimum energy consumption from the implementation of the "PassivHaus" standard in Chile. <i>T Hatt, et al. 2012.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Energy Demand. - Energy Consume. - Indoor Comfort. - Location, Orientation and Form Factor. - Glazed surface, temporary shade. - Reference cases and case studies. | <ul style="list-style-type: none"> - To demonstrate that in the South-center Zone of Chile, it is possible to apply the passive Haus standard, in Houses. | <ul style="list-style-type: none"> - Study based only on simulation, not monitoring. - Study limited to three Chile regions studied and the type of building studied. | <ul style="list-style-type: none"> - Buildings that achieve the Passive Haus standard, have a higher initial investment cost than a traditional construction, but an operating cost of 80% lower. This allows to recover the investment during the life of the construction. - The study establishes recommendations for the design of PassivHaus houses in Santiago, Concepción and Puerto Montt or similar climates. |

| | REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--------------------------|---|--|---|---|---|
| | The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary school in Chile [1]. <i>M. Trebilcock, et al. 2016</i> | - thermal comfort, on school, complemented with questionnaires based in the adaptive comfort. - | - thermal comfort, on School in Santiago. - Determine the thermal satisfaction of children in relation to indoor temperature. | - The study does not deepen the subject of energetic consume for fulfill a better standard of comfort. - Focused only in schools in Santiago. – They do not afford the cost of the solutions. | - The children have a different Thermal perception as compared to adults. - the thermal comfort standards and guidelines are based on perceptions of adults. - In Chile there are no regulations on energy efficiency for school buildings. |
| | Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. [29] <i>S. Attia, S. Carlucci. 2015.</i> | - Models of Comfort: Fanger’s, Givoni’s, ASHRAE 55 adaptive, EN 15251 adaptive. | - Compare the influence of using different thermal comfort models for zero energy buildings in hot climates. | - The study is related with a one type of building. - the study is related to a one type of weather. | - comfort is fundamental because it has direct impact on defining NZEB, and requirements that influence the design. - The adoption of an available thermal comfort model is of paramount importance since reference conditions for the indoor environment are significantly different and this cause a high different in the energy performance. - More energy savings can be expected for buildings in hot climates with greater cooling demands. - There is a difference, in the energy performance when the different criteria of comfort are adopted, |
| | Major Disasters Since 1980 in Chile [32]. <i>Sernageomin Chile. 2017</i> | Types of catastrophes – Year in which its occurred- zone which was affected. | To present information about all the most important catastrophes happened in Chile from 1980 till now. | They do not summarize the catastrophes and not provide clear information. | Chile in constantly affected by a lot of types of catastrophes, in the last time situations like floods, alluvions, earthquakes are the most constantly facts. |
| | Reconstruction of Atacama [33]. <i>Onemi Chile 2015.</i> | Refuges center- action measures against the catastrophe | To provide information about refuges centers and food collector center. | It is informative – specific for that catastrophe. | All the centers for refuges and food collector are schools. |
| Design Strategies | Retrofit Strategies towards Net Zero Energy Educational Buildings: A case of study at the University of the Basque Country. [37] <i>O. Irulegi, et al. 2017</i> | - Questionnaire and monitoring campaign. - Energy consumption. | To propose a method to define and assess strategies to achieve NZEB in university buildings, based on student’s comfort analysis. | - strategies are focused only in one building. - The work in this sense is not comprehensive. | - Students prefer lower indoor temperatures (20-22,5°C) than stated by theoretical comfort models. - Based in comfort analysis, they propose retrofitting strategies for winter period like: 1) eliminating thermal bridges, using air-to-air heat recovery systems and improving the windows in the north facade of the building. - The result shows a potential energy saving of to 62%, and reduction of two months in the heating period. - overheating problems during summer and shoulder seasons could be solved using 4 ACH day and night ventilated cooling. |
| | Design of a new nZEB test school building [38]. | - how to fulfill the requirements of a passive school building. | -Difficulties to reach a good thermal comfort. - Design | - Focused in a specific building, and a smaller area. - | - It is important to consider the difference between the net Colling demand, and the comfort temperature, |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|---|--|--|
| <i>H. Breesch, B. Wauman. 2016</i> | | Choices. - Focus in thermal comfort. - Night Ventilation Impact. - There is a difference in the thermal summer comfort, in the timber frame construction. - Focused in the verification of the application of Passive House Standard. | They never talk about the energy balance.- Focused in a summer thermal comfort, they do not analyses the comfort of whole year. - there is no explain of what is the type of nZEB, they wanted to reach. - does no analyses the importance of the thermal mass. | because they do not fix necessarily. - There are few steps before meeting the energy balance. |
| Cost Effectiveness in HVAC by Building Envelope Optimization. <i>Nishita Gulati. 2012.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Energy Consumption. - Envelope parameters. - Orientation. - Window to wall ratio (WWR). - Roof and Wall. - window assembly. - Shading devices. | - Focused in Cost Effectiveness in optimization of HVAC in Net Zero Energy Homes | <ul style="list-style-type: none"> - The study results and optimization strategies are limited to study case, and its context. - The study does not consider, the occupant behavior. - Is not referred to schools | <ul style="list-style-type: none"> - It was observed that from base design case to optimized design case, percentage reduction in heat load through envelop is about 71%. - Effective incorporation of energy efficiency measures in a building reduces the size of the renewable energy system required to achieve net-zero energy. - The proper building design can optimize air conditioning system performance, minimize energy cost and improve comfort. |
| Methodology for the design of comfortable and resilient educational buildings. <i>M Trebilcock Kelly, J Soto Muñoz. 2016</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Temperatures of comfort in schools. - Relationship between comfort and academic performance of children. | <ul style="list-style-type: none"> - Present a methodological proposal to support the design of comfortable and resilient educational buildings, based on the determination of comfort temperatures for children in different climatic contexts. | <ul style="list-style-type: none"> - The journal and the study, only applies to the context of Chile. - The relationship between thermal comfort and school performance has not been clearly established. - It is not explained how buildings are more resilient. | <ul style="list-style-type: none"> - The results of the fieldwork, suggest that the current thermal comfort standards are not appropriate for the case of children of school age. As these feel in comfort at temperatures that can vary between 2 ° C and 4 ° C lower than those derived from the adaptive comfort model. - The socio-economic situation of children makes them more resilient at low temperatures. - The case studies do not present a clear relationship between environmental comfort indicators and the academic performance indicator SIMCE. - The project developed a tool to predict temperatures, in relation to the thermal simulation of the building. |
| A parametric analysis of simple passive strategies for improving thermal performance of school classrooms in Chile. <i>M. Trebilcock, B. Piderit, J.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Thermal Performance, and passive design strategies. | <ul style="list-style-type: none"> - Assessment of the thermal conditions inside primary school classrooms in winter and summer. - Parametric analysis of a basic school classroom. - three different climates in Chile. | <ul style="list-style-type: none"> - the analysis is limited to three types of climates, but in Chile there are nine types. | <ul style="list-style-type: none"> - Many local administrations find it difficult to afford the cost of fuel to keep the system running along the winter. - The inadequate indoor thermal conditions in the classrooms, could be improved by simple passive design solutions. - they use the energy demand ratio, to verify the better solution. - the two bigger energy |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS | |
|---|--|--|---|--|---|
| Soto y R. Figueroa. 02 March 2016 | Natural Ventilation Systems in 21st-century for near zero energy school buildings. M. Gil-Baez, et al. 2017. | Indoor Co ₂ . - Temperature and humidity levels. | - Compare the effectiveness of air renewal systems, in school buildings. | - The study case is from a very specific climate, and context. - They not present a definition for schools. | demands for this analysis are from heating and lighting in the south part of the country. - Results shows that, by using a Natural Ventilation System, and even when heat losses due to winter operation are considered, the energy over the academic year is lower than when a Mechanical Ventilation System is used. - The primary energy savings lie within the range of 18-33% with the natural ventilation system, while maintaining classroom comfort levels. |
| Spatial life cycle sustainability assessment: a conceptual framework for net-zero buildings. N. Hossaini, et al. 2015 | - regional characteristics. - life cycle sustainability assessment. - Energy, Water and Materials. | - Discusses a new methodology for assessment of net-zero buildings. | - The concept of Net Zero propose is not totally clear. - they have a wide focus - the study is a framework, not tested | - The study proposes a new framework to assessment and rating Net Zero Energy Buildings. - They define 3 main components of Net Zero Building (Usage of Energy, Water, and Materials). - They also made a review of most important assessment systems. | |
| Living Building Challenge [39] | Landscape – water – Energy – Health and Happiness – Materials – Equity – beauty. | To provide a certification with a wide holistic vision. | - Does not provide standards for specific types of buildings. | The propose a certification for net zero energy building and net zero water. They consider the scale of the project and his ambit of influence- its seven petals realize his focus in the life cycle of the building. | |
| LEED [40]. 2017 | Pacification and integrated design- Location and transport – Sustainable site – water efficiency – Energy and Atmosphere – Materials and resources – Indoor quality – Innovation and regional priority | To Provide a holistic certification for buildings. | Does not consider NZEB in its approaches – it is based in USA and ASHRAE standards. | Provide specific criteria for School buildings, energy efficiency and renewable energy. It is possible to applied worldwide. - It is a more commercial certification. | |
| Technical Feasibility Study for Zero Energy K-12 Schools. S. D. Pless, et al. 2016. | Type of Envelope – Fenestration – Infiltration – Lighting – Plug and Process Loads – Heating, Ventilating and Air Conditioning – Service Water Heating- Energy Use Intensity | To present a simulation-based technical feasibility study to show the type of technologies required. | Study focuses in USA context | It is possible for K-12 schools to achieve zero energy when the EUI is between 20 and 26 Kbtu/ft ² /year. – Temperate climates required a smaller percentage of solar panel coverage than very hoy or very cold climates. | |

| | REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|-------------------------|--|---|---|---|---|
| 5. Economic feasibility | A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighborhood/community scale. <i>AF Marique, S Reiter. 2015.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - The impact of urban form on energy needs. - On site production of renewable energy. - the impact of location on transportation energy consumption. | <ul style="list-style-type: none"> - Investigate zero energy neighborhood. | <ul style="list-style-type: none"> - The study does not mention the importance of the context, and climate. | <ul style="list-style-type: none"> - Propose a simplified framework and calculation method related to the net-zero neighborhood scale. - Shows the potentialities of an integrated approach linking transportation and building energy consumption. - Find that is necessary a better integration of the individual building into its context in policies dealing with energy efficiency. - It is not sufficient promoting the building retrofitting of energy-efficient buildings, it is crucial to consider parameters and interactions linked to a larger scale, the urban planning, scale. - The location of new buildings appears to be crucial in the total balance. |
| | Feasibility of PassivHaus standards and alternative passive design on climatic zones of Chile-Determination of energy requirements with dynamic simulation. <i>J Carrasco Eade, G Kokogiannakis. 2012.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Current Chilean energy regulation. - Passive Haus concept. - Energy demand | <ul style="list-style-type: none"> - in to identify useful design strategies for achieving energy results comparable to those proposed by PassivHaus standard. | <ul style="list-style-type: none"> - It is important to analyses more deeply the comfort variable. – The study is not focused in Schools. | <ul style="list-style-type: none"> - The current technical aspects of Chilean thermal regulation, should be enhanced in the future, especially in important aspects like energy efficiency, air leakage, and the avoidance of thermal bridges. - Dynamic simulation results, suggest that PassivHaus energy performance can be achieved with more affordable construction standards than those prescribed by PassiveHaus tool. - Passive design could also significantly reduce the heating energy requirements of the building, and constitutes a feasible alternative to PassiveHaus. - It is important to assess passive design through dynamic simulation tools. |
| | Sustainable educational buildings: A proposal for changes to investment evaluation policies in Chile through the incorporation of thermal comfort and air quality criteria [19]. <i>Jaime Soto-Muñoz, Maureen Trebilcock, Alexis Pérez-Fargallo. 2015.</i> | <ul style="list-style-type: none"> - The current constructive reality of public schools located in different geog. Areas of Chile. - Chilean state policies and methods of investment evaluation. | <ul style="list-style-type: none"> - On temperature, humidity, CO₂ concentration (environmental conditions). | <ul style="list-style-type: none"> - Focused only in Chile. - The study does not involve all the climates in Chile. - There is no comprehensive analysis of evaluation public project system in Chile. | <ul style="list-style-type: none"> - Demonstrated that in Chilean public schools' thermal comfort and air quality conditions are not satisfactory for the welfare academic performance. - The study not found a direct relationship between the dropout rate and the vulnerability index, but IVE was more related to the percentage of attendance. - The percentage of attendance was the factor most closely related to thermal comfort and air quality conditions. - Concluded that the classroom temperature should be between 18 and 21°C, to increase attendance rates and consequently lower the dropout rate and increase student performance. - It is necessary to include temperature, humidity and CO₂ conc. sensor in the design educational buildings. - It is necessary to establish strategies for economic evaluation when |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|--|
| Landscapes for transformation: a framework for planning greening design strategies in low-income schools in Chile. <i>MJ Valdebenito. 2014.</i> | - Physical environment to education. - Opportunities and challenges of greening schools | - To provide a framework for planning a school ground greening process. | - The numbers of schools within the study is limited. | heating and cooling systems are not present. - The procedures for the evaluation of investment in building projects in Chile, do not take into consideration sustainability issue, such as saving energy by including energy efficiency in passive strategies in the envelope or having better air quality inside classrooms. - The results indicated that applicable actions can be grouped in four categories: building engagement, aligning management, integrating curriculum, and creating partnerships. - A greening process is successful only as it involves and engages the entire school community included children, teachers, parents, neighbors, administrators, broader community of stakeholders. - To effectively sustain design outcomes, these need to firmly connect to the curriculum during the planning. - It is necessary that educational authorities convey a clear and strong message for schools by providing supportive greening policies, which is the only way to make these processes effective and become mainstream. |
| Recent advances in sustainable buildings: review of the energy and cost performance of the state-of-the-art best practices from around the world. <i>LDD Harvey. 2013.</i> | Principles of energy low design- Energy intensity – cost of new buildings - Cost of meeting passive house standard. | To present and discussed the most recent technologies and approaches that have been used for energy efficiency savings. | The information is focused in USA, Europe and Asia. | The additional costs of meeting the Passive Standard for heating loads in new buildings, which represents a factor of 5 to 10 reduction of heating load compared to current standard practice, have ranged from 0% to 16% of the construction costs of reference buildings. High-performance commercial buildings, with overall energy intensities of 25–50% that of recent conventional buildings, have been built at less cost, or only at a few percent more cost, than conventional buildings. |

Anexo 02. Poster SBD LAB, Universidad de Liège.



Towards an integrated approach for zero energy schools in Chile: a comparative study with Belgium.

Authors: Franklin Lester Vivanco Garrido
 Beatriz Pident
 Shady Atia
 E-mail: frankvivanco@gmail.com
 Address: Building Design Lab (SBD)
 Quartier Polytech 1
 Allée de la Decouverte 9
 4000 Liège, Belgium
 www.sbd.ulg.ac.be
 Tel: +32 43.66.91.56
 Fax: +32 43.66.29.09

ABSTRACT

In Chile, there is a shortfall in the quality of school buildings, that is seen in the low standards of thermal comfort in the classrooms with temperatures as low as 8° C in a city with a Mediterranean climate in winter [1]. The Chilean Government has promoted some policies and investigation projects to improve this kind of buildings, however, none of them have become in a regulation, leaving the decision of what and how to improve in hands of the owners. The aim of this work was to inform and influence decision makers at government level to adopt Net Zero Energy Schools policy. Highlighting the importance for Chile to have strategic NZES to be useful in a catastrophe case, exploring also, the feasibility to become more attractive to owners and administrators, to improve in a right way their buildings and to build new ones with better indoor conditions and high energy efficiency standards. At the present, no study has been carried out related to the NZES goal in Chile. The follow work presents an assessment of the state of the art of regulations, concepts, and technologies to reach the NZES, to provide a snapshot of the existing scenario of the school buildings and the perspective to applied the NZEB concept in Chile. Several definitions of NZEB, regulations, studies and standards that are in force in Chile were analyzed and put them in perspective. Then a comparative study was made with Belgium in order to establish a pathway of strategies to the implementation of this target in Chile. A holistic analysis of the Strength, Weakness, Opportunities and Threats (SWOT) was made to establish the lacks, and the feasibility of implement NZES and a group of recommendations was delivered to reach this goal in Chile.

KEYWORDS

Thermal Comfort – Recommendations – Energy Regulation – Fuel Poverty – Social resilience – Zero Energy Buildings.

PROBLEM

Chile is having a serious challenge with the educational infrastructure and facilities in the future years and in its expectations of grows.

- A low standard of indoor quality in the scholar buildings, which usually are working as free running even in climates with low temperatures in winter and high temperatures in summer. The year 2012 the Ministry of Education made a cadaster of infrastructure which result was a total of 7538,2 m² built in a 5530 schools [2], none of the study variables was indoor comfort or energy efficiency.
- There is a limited regulation on environmental comfort in schools, classrooms only required to achieve a minimum of 12°C when they have a heating system (south latitude 36°) and 2 air changes per hour when mechanical system is required [3], there is no regulation for energy efficiency in schools.
- Due to the constant happening of catastrophes in Chile, it is common that the government use the scholar infrastructure like refuge or operation center. For example for the alluvion of 2015 in the north of the country 15 schools buildings of the Atacama region were use like refuge [4].
- It is projected that Electricity consumption in Chile will increase from 49.518 Gwh in 2015 a 81.652 Gwh in 2035, the energetic matrix of Chile in 2014 it was a 35,3% coal and 31,3% hydroelectric, renewables only reach to 2,7% [5], which is why Chile need to find strategies to diversify its source energy production.

OBJETIVE / HYPOTHESIS

- Propose a definition of Net Zero Energy Schools for Chile.
- Identify gaps, needs and opportunities to implement Net Zero Energy Schools.
- Share and disseminate the results of the study.

AUDIENCIA

Schools Owners, Government Decision Makers, Design Teams.

RESEARCH QUESTION

- How to develop an integrated policy for Net Zero Energy Schools in Chile?
- How to influence government entities and regulatory bodies to adopt the NZES Target?

ORIGINALITY

At present, no study has been carried out related to the Net Zero Energy Schools goal in Chile. The present work seeks to establish recommendations related to the implementation of the NZES target, finding the barriers and potentialities, in this way to influence the decision making regarding this type of buildings.

METHODOLOGY

1. Literature Review of several topics to establish a base line of the state of the art in Chile about the NZES.
2. A comparative study and lesson learned between the case of Chile and Belgium in order to extract strategies, to implement an integrated policy view.
3. A Holistic analysis of the Strength, Weakness, Opportunities and Threats was made to establish the lacks, and feasibility of implement this target in Chile.
4. Interviews and brainstorming sessions to establish recommendations for implementing the target NZES in Chile.

RESULTS

SWOT Analysis for zero NZES in Chile

Strengths

- Strong academic interest that includes Energy Efficiency research and sustainable construction.
- Clear presence of regulatory institutions for building regulation.
- European standard conditions and B2B for construction.
- Experience in Accredited Engineering and Construction of building and materials to make order for high performance building to labor markets.

Weakness

- Low educational budget for research and building.
- Lack of national standards and integration of research for technological development.
- Lack of knowledge regarding energy efficiency for energy and construction of buildings.
- Lack of knowledge regarding energy efficiency, that covering indoor and outdoor air quality, thermal and acoustical, that will have the impact on the user.
- The Chile government regarding the educational sector is still very governmentalized.

Table 2. Comparison results

| |
|-------------------------------|
| • Performance requirements |
| • Comfort and Air quality |
| • Envelope and Passive design |
| • HVAC + REs |
| • Controls and occupants |

Opportunities

- Construction in urban Chilean growth.
- Building codes around integration in the building.
- Growing construction market and a growing building in Chile.
- Transitioning the built environment, by increasing energy efficiency and green construction to energy production.
- Education may finally be Net Zero energy of construction facilities (small scale schools).

Threats

- The building building management to achieve the study and operation of NZES.
- Public for built construction using materials and labor market, government work and activities.

Table 1. SWOT analysis



Figure 1. Roadmap Low-tech approach to NZEB target

Figure 2. Roadmap High-tech approach to NZEB target

CONCLUSION

- 1.- In order to implement the NZEB target in Chile, the national building codes has to update to align them with the NZEB requirements.
- 2.- More detailed studies and research should be conducted in the area of thermal behavior of schools.
- 3.- This study present an overview of the state of the art of regulations and standards that are now in force in Chile.

Resources

Design Builder Software, Data of occupancy measure of the actualize studies.

References

[1] M. Trubczok, J. Soto-Munoz, M. Yanez, R. Figueroa-San Martín, The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. Building and Environment 114 (2017) 495-499.
 [2] (http://web.emvivi.cl/Default.aspx?siteid=2&cat_id=3&pageid=107&id_contenido=97996, 2012.
 [3] US 349. Aprobadas normas para la pronta fiscal de los locales educacionales que establecen las exigencias mínimas que deben cumplir los establecimientos reconocidos como cooperaciones de la función educacional del estado, según el nivel y modalidad de la enseñanza que imparten. Boletín del Congreso Nacional de Chile, Santiago, 2012.
 [4] Reconstrucción de la Región de Atacama. Información del catastro de viviendas y utilidad pública, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, Abril 2015.
 [5] Energy Supply Security, Emergency Response of IEA Countries 2014.



Anexo 03. Artículo enviado: “Energy Efficiency in Chilean School Buildings: a literature review”



Franklin Vivanco <arquitecto.fvivanco@gmail.com>

Submission Confirmation

1 mensaje

Renewable & Sustainable Energy Reviews <eesserver@eesmail.elsevier.com>
 Responder a: Renewable & Sustainable Energy Reviews <rser@elsevier.com>
 Para: frankvivanco@gmail.com, arquitecto.fvivanco@gmail.com
 Cc: mpiderit@ubiobio.cl, shady.attia@ulg.ac.be

19 de julio de 2017, 9:27

Dear Fvivanco,

We have received your article "Energy Efficiency in Chilean School Buildings: A Literature Review" under article type: Review Article for consideration for publication in Renewable & Sustainable Energy Reviews.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <https://ees.elsevier.com/rser/>
2. Enter these login details.
 Your username is: frankvivanco@gmail.com
 If you can't remember your password please click the "Send Password" link on the Login page.
3. Click [Author Login]
 This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
 Renewable & Sustainable Energy Reviews

 Please note that the editorial process varies considerably from journal to journal. To view a sample editorial process, please click here:
http://ees.elsevier.com/eeshelp/sample_editorial_process.pdf

For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of

To: Renewable & Sustainable Energy Reviews Chief Editor
Sustainable Buildings Design Lab
Quartier Polytech 1, Allée de la Découverte 9
4000 Liège, Belgium

Dear Sir,

I am sending herewith a copy of the manuscript, which I would like to submit to the Electronic Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews.

The paper is entitled:

Energy Efficiency in Chilean school buildings: a literature review.

By Franklin Vivanco. María Beatriz Piderit and Shady Attia

Copy of the Abstract:

In Chile, there is a shortfall in the quality of school buildings regarding thermal comfort in classrooms. Studies reported indoor temperatures as low as 8°C during winter in Santiago de Chile, which is a city with a Mediterranean climate. In the recent years, Chile has proposed some policies to improve school buildings indoor quality, however, none of those proposals turn into regulations. In this context, it is necessary to provide an overview on the state of the art of high performance school buildings and reflect on the potential improvement opportunities regarding thermal comfort in energy efficiency in school buildings. With the emergence of the Net Zero Energy Schools (NZES) concept there is an opportunity to improve indoor environmental quality and propose a vision for schools' infrastructure in Chile. Therefore, the aim of this research is to inform researches and decision makers, about the opportunities of achieving high performance and energy neutral schools. A literature review was conducted, presenting the latest definitions, policies, comfort standards, design strategies and feasibility studies on NZES. Finally, the paper presents the results of a SWOT analysis highlighting the strength, weakness, opportunities and threats of implementing energy neutral schools and it's socio-economic and technical implications.

Corresponding Author:
Franklin Vivanco
Sustainable Buildings Design Lab
Quartier Polytech 1, Allée de la Découverte 9
4000 Liège, Belgium
E-mail: frankvivanco@gmail.com

I hereby certify that this paper consists of original, unpublished work which is not under consideration for publication elsewhere.

The original manuscript and figures are submitted, following the instruction by the Editorial Committee. I hope your favourable consideration for publication to the Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews.

Sincerely,

Franklin Vivanco Garrido

Elsevier Editorial System(tm) for Renewable
& Sustainable Energy Reviews
Manuscript Draft

Manuscript Number: RSER-D-17-01916

Title: Energy Efficiency in Chilean School Buildings: A Literature Review

Article Type: Review Article

Section/Category: Renewable Energy: Developing Countries

Keywords: Net Zero; Nearly Zero; Passive House; Energy Policy; Social Resilience; Comfort

Corresponding Author: Mr. Franklin Lester Vivanco, Jr

Corresponding Author's Institution: Universidad del Bio-Bio

First Author: Franklin Lester Vivanco, Jr

Order of Authors: Franklin Lester Vivanco, Jr; María Beatriz Piderit; Shady Attia

Abstract: In Chile, there is a shortfall in the quality of school buildings regarding thermal comfort in classrooms. Studies reported indoor temperatures as low as 8°C during winter in Santiago de Chile, which is a city with a Mediterranean climate. In the recent years, Chile has proposed some policies to improve school buildings indoor quality, however, none of those proposals turn into regulations. In this context, it is necessary to provide an overview on the state of the art of high performance school buildings and reflect on the potential improvement opportunities regarding thermal comfort in energy efficiency in school buildings. With the emergence of the Net Zero Energy Schools (NZES) concept there is an opportunity to improve indoor environmental quality and propose a vision for schools' infrastructure in Chile. Therefore, the aim of this research is to inform researches and decision makers, about the opportunities of achieving high performance and energy neutral schools. A literature review was conducted, presenting the latest definitions, policies, comfort standards, design strategies and feasibility studies on NZES. Finally, the paper presents the results of a SWOT analysis highlighting the strength, weakness, opportunities and threats of implementing energy neutral schools and it's socio-economic and technical implications.

ENERGY EFFICIENCY IN CHILEAN SCHOOL BUILDINGS: A LITERATURE REVIEW

Franklin Vivanco ^{1 2}, M. B. Piderit¹, Shady Attia².

¹ *Department of Design and Theory of Architecture, University of Bío-Bío, Concepción, Chile.*

² *Sustainable Buildings Design Lab, Dept. UEE, Applied Sciences, Université de Liège, Belgium.*

ABSTRACT

In Chile, there is a shortfall in the quality of school buildings regarding thermal comfort in classrooms. Studies reported indoor temperatures as low as 8°C during winter in Santiago de Chile, which is a city with a Mediterranean climate. In the recent years, Chile has proposed some policies to improve school buildings indoor quality, however, none of those proposals turn into regulations. In this context, it is necessary to provide an overview on the state of the art of high performance school buildings and reflect on the potential improvement opportunities regarding thermal comfort in energy efficiency in school buildings. With the emergence of the Net Zero Energy Schools (NZES) concept there is an opportunity to improve indoor environmental quality and propose a vision for schools' infrastructure in Chile. Therefore, the aim of this research is to inform researches and decision makers, about the opportunities of achieving high performance and energy neutral schools. A literature review was conducted, presenting the latest definitions, policies, comfort standards, design strategies and feasibility studies on NZES. Finally, the paper presents the results of a SWOT analysis highlighting the strength, weakness, opportunities and threats of implementing energy neutral schools and it's socio-economic and technical implications.

KEY WORDS

Net Zero, Nearly Zero, Passive House, Energy Policy, Social Resilience, Comfort.

ABBREVIATIONS

| | |
|--------------|--|
| NZES | Net zero energy school |
| nZES | Nearly zero energy school |
| PHS | Passive house for schools |
| NZEB | Net zero energy building |
| nZEB | Nearly zero energy building |
| SWOT | Strength, weakness, opportunities and threats. |
| GDP | Gross domestic production |
| OECD | Organization for economic cooperation and development. |
| GHG | Greenhouse gases |
| PH | Passive house |
| PV | Photovoltaic |
| EE | Energy efficiency |
| AChEE | Chilean energy agency of energy efficiency |
| CORFO | Corporation for the promotion of production |
| EUI | Energy use intensity |
| RES | Renewable Energy Source |
| OGUC | General ordinance of urbanism and constructions |
| PHPP | Passive house planning package |
| EPBD | Energy performance of building directive |
| EU | Europe union |
| HVAC | Heating, Ventilation and Air Conditioning |
| IEQ | Indoor environmental quality |
| US | United States |
| AEC | Architectural, engineering and construction |
| CES | Sustainable building certification |

HIGHLIGHTS

- A literature review on energy neutral schools has been conducted.
- Recommendations on future energy efficiency and comfort policies in schools are developed.
- SWOT analysis for Net Zero Energy and Passive House Schools is presented.
- Potential and challenges of implementing NZES in Chile are discussed.
- NZES can help in developing Chile natural catastrophes prevention plans.

1. INTRODUCTION

Chilean school buildings suffer from serious indoor quality problems and comfort conditions [1]. In the capital Santiago, it is common to reach 8°C indoor during winter in public school buildings. In the recent years, several studies investigated those problems. The Chilean Government has promoted some policy proposals and investigation projects to improve energy efficiency and thermal comfort in school buildings. However, none of those proposals have become a regulation, leaving school managers uncertain about how to improve the situation for new and existing schools. There is a serious problem with the building quality, energy efficiency and comfort conditions of most public schools in Chile, which jeopardize the educational learning targets and the wellbeing of pupils in schools.

In the same time, Chile has set targets related to the reduction of greenhouse gases (GHG) and increase of renewables in its energy mix. The country is promoting independent energy generation from renewable sources. This includes serious efforts to increase energy efficiency of the existing and future building stock. One of the key influential emerging concepts in Chile is the Net Zero Energy Buildings (NZEB) concepts. It is a very promising concept that emphasizes energy efficiency while guaranty comfort and energy neutrality. Moreover, the concept matches the needs for autonomous community centers and refuges during national catastrophes. National catastrophes such as earthquakes, tsunamis, fires and flooding's are common in Chile resulting in to devastating conditions in urban agglomerations. Therefore, we find a potential of investigating the NZEB concept for school buildings as the first step to achieve Chile's greenhouse gases, energy efficiency and renewable energy increase.

In this context, the aim of this study is to inform researches and decision makers, about the potential of achieving high performance and energy neutral schools, while maintaining indoor environmental quality. In the same time, the research highlights the importance to develop schools and turn them in to a useful community service infrastructure during catastrophes. The main objective is to review literature and policies and to provide a general snapshot of high performance schools in Chile, and to document the current state of the art regarding the potential and challenges of implementation of Passive house for Schools (PHS), nearly Zero Energy Schools (nZES) and Net Zero Energy Schools (NZES). One of the main contribution of this paper is that it covers a knowledge gap, found in literature, in relation to NZES. Surprisingly no previous study investigated or discussed NZES, including the associated aspects of comfort, energy efficiency, policies and operation. Therefore, the work provides a state of the art of high performance schools in Chile and Worldwide.

The research methodology was based on reviewed more than 125 documents that were published in the last eleven years. Then, a meticulous screening and classification process was followed grouping those papers namely under five titles: Definitions, Policies, Comfort and Social Resilience, Design Strategies and economic feasibility. The work included reviewing key studies and learned lessons from projects Europe and North America. Also, a SWOT analysis regarding the Net Zero Energy concept and the Passive House (PH) standard was performed. The study outcomes shed important findings and ideas that can help researchers and professionals and educators, working in high performance schools.

The paper is organized in eight sections. In the first part, the research problem, the objective and significance are identified. The second section describes the methodology of the literature review. The third section describes the findings of the publications reviewed in relation to policies and regulations of schools' energy efficiency and environmental performance. The fourth section presents a description of definitions and concepts related to NZES and high-performance school buildings. Sections five shows an overview of the comfort, fuel poverty and social resilience situation of school

buildings in Chile. In section six, we present a review of design strategies to achieve the NZES goal. Section seven presents the principal findings related to the economic feasibility and energy efficiency of NZES. Then, section eight presents an elaborated discussion on the outcomes of the study and presents recommendations and future perspectives. Finally, the last section provides the study conclusions.

2. METHODOLOGY

This paper is a part of a master thesis in the field of building energy efficiency in schools' design at Bío-Bío University in Concepción Chile [2]. The literature review analysis was elaborated by exploring resources related to school building energy performance Worldwide and in Chile. The reviewed publications included standards, codes, books, manuals, conference papers and journal papers. The first level of investigation reviewed topics related to building energy performance, design strategies and energy comfort in the Chilean school building stock. The publication presented in the literature survey list were organized under the following categories: 1) Net Zero and nearly Zero Definitions, 2) Policies and Regulations, 3) Comfort – Fuel Poverty and Social Resilience, 4) Design Strategies and 5) Economical Feasibility. We made sure to highlight both the current state of the art of building stock in Chile, and the aspects that need to be improved on different levels of energy performance in schools. A literature review matrix was developed and analyzed. The classification allowed us to identify the important findings of previous studies and the knowledge gaps related to our five categories. In total, 126 documents were reviewed in a previous study conducted by the first author [2], however, for this study, we filtered 73 references (see Table 1). After the review process, we conducted a SWOT analysis, which evaluates the strengths, the weaknesses, the opportunities and the threats involved in reaching nZES or NZES approach targets in school buildings in Chile.

Table 1. Literature Review Matrix

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|--|
| 6. Definitions I. Sartori, A. Napolitano, K. Voss. 2012. [25]. | Criteria in the definition framework: building system boundary, weighting systems, NetZero energy balance, temporal energy match characteristic, measurement and verifications. | Defining a framework for the Concept NZEB and its criteria. - Comparing different existing NZEB definitions and concepts | Too theoretical. - Generic. - One of the earliest studies of energy buildings definitions. - Lacks in detail for a local definition | - The comprising about US is market oriented, it's looking for cost affordability discuses of site energy balance, EU, are focused and high performance and ultra-high EE, and on-site generation. - They made a definition of net ZEB, and its important components. The concept depends on the comfort requirements. - the most influential parameter is comfort, climate, occupant, building use, and use behavior. |
| <i>AJ Marszal. et al. 2011</i> [24]. | -Existing Definitions of ZEB. - Deliver Energy. - Primary Energy. - Carbon Emissions. - Energy Cost. | 1.- Metric of the balance, 2.- Balance period, 3.- Type of energy use included in the balance, 4.- Type of energy balance,5.-Accepted renewable supply options, 6.- connection to energy infrastructure,7.-Requirements for the energy efficiency, the indoor climate and the grid interaction. | - the paper is highly analytical, providing a technical comparative, without proposal a technical methodology. - The paper is too technical. - The paper remains Generic. - did not propose a common definition. | - Identified a set of parameters that differ between ZEB definitions. - Indicated that the metric, the periods and the types of energy included in the energy balance together with the renewable energy supply options, the connections to the energy infrastructure and energy efficiency, the indoor climate and the building-grid interaction requirements are the most important issues. |
| <i>P. Torcellini, S. et al. 2006.</i> [49] | - Definitions | - In four well documented Definitions: - Net Zero Site Energy. - Net Zero Source Energy. - Net Zero Energy Cost. - Net Zero Energy Emissions. | - Is out dated and considered definitions they are not commonly use. - Was written with American Influence, focused on cost and of-site renewal generation. | - A definition summary table has been presented, from the four investigated definitions. - The summary describes advantages and disadvantages of each definition. |
| <i>I. Sartory, et al. 2010.</i> [50] | - Relevant Criteria for a Net Zero Definition. | - Framework for describe relevant criteria of NZEBs: - Boundary conditions. - Crediting System. - Net Zero Energy Balance. - Temporal Energy Match. - Monitoring procedure. | - The paper is an outdated publication. - Too theoretical. - Describe a General Framework | - Identify common parameters for Net Zero Energy Definitions. - The common pathway to achieve net zero balance is: First, reduce energy demand, and Secondly generate the necessary energy to supply that demand. - The monitoring procedure is viewed as an integral part of the definition. |
| <i>J. Kurnitnski, et al. 2011.</i> [51] | - Definitions. | - To clarify a definition and a methodology applicable for members of state. - To clarify witch energy flows should be | - The definition was focused on the context of Europe. | - Propose a detailed an applicable definition for Europe. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|--|
| | | included in the energy Performance Assessment. - How primary factor should be used for primary energy calculation. | | - Propose a calculation methodology for the nearly Zero Energy Balance Buildings. |
| <i>Ecofys. 2013. [24].</i> | - Approaches and concepts of NZEB. – Literature Review. – study cases – practical applications. | - NZEB concepts in Europe. | - The report is outdated. | - In Europe, there are a lot of definitions, but only a few are mandatories. – The most advances countries are from the north part of Europe Union. |
| <i>T Lützkendorf, et al. 2015. [52]</i> | - Primary Energy, Related to Zero House Gas Emissions. | - Evaluation of primary energy related to CO ₂ emissions on three types of Balance: 1.- Embody Impact. 2.- Embody Impact evaluated separately from the operation. 3.- Embodied Impacts included with the operation stage in a life cycle approach. | - Study are only for Norway and its context of buildings. - Chile do not have the information and the background to achieve in this moment this target. | - Identified the fundamental conceptual and methodological issues that need to be considered and specified to support the NZB design approaches. - The study presents a Check List to guide the process of incorporated embodied impacts across building life cycle. |
| <i>S. Attia, et al. 2017. [53]</i> | - Review literature and study cases, state of the art in 7 countries, Spain, France, Cyprus, Greece, Italy; Portugal and Romania. | - Summarizes the findings of a cross-comparative study. - And the technical and societal barriers of nZEB implementation in 7 Southern European countries. - Focus on new and existing residential building. | - The study is made for the European Context, and focused on countries falling between latitude 35°N and 45°N. - The study does not include the cost. | - Presents an overview of challenges and provides recommendations, to further the lower barriers to implement nZEB in the Southern European construction sector. - Provides recommendations for actions to shift the identified gaps into opportunities for future development of climate adaptive high-performance buildings. -The southern European countries are poorly prepared for nZEB implementation. |
| <i>Wim Zeiler. Plea Conferences 2011. [54]</i> | - Energy Efficiency – IAQ parameters. | - Study cases of PHS in moderate climates. – Plus energy School Concept. | The publication is focused on Europe and his context in moderate climates | - It is possible to pass from PHS, to NZEB or Plus Energy Schools. – The most used strategies are very good insulation, heat pumps and PV panels |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|--|---|--|
| 7. Policies <i>A. Bodgan, S. Attia 2011. [55]</i> | - Existing concepts of NZEB and standards. - Financial and policy implications. | - To study and clear a definition for nZEB, and stablishing sustainable and realistic principles of nZEB. - Possible technical solutions and its implication for national building markets. | This Study is focused on European context. No focused in Schools. | -Provides an outlook on necessary further steps towards a successful implementation of nZEB. - Establish main challenges to achieve a definition. - Establish principles for nZEBs, and implementation approach. - Present a validation for nZEB principles, trough simulation of reference buildings in different climate zones, with comparative results. - Present a financial and policy implications of NZEB principles, with a recommendation for further steps. |
| <i>P- Bampou 2016. [56]</i> | -Green Buildings Definitions. - Green Building Policies in Mena Region and Egypt. - Socio-economic forecast and its implications in E.E. | - In the standards, policies and rating system of E.E in Egypt. | - Only Focused in MENA region. - Not specific for Chilean Context. - Not specific for Schools. | - It is necessary to sets priorities and actions that reflect each country energy needs. - It is important to have an adapted tool to each country, taking also into account the economic and social aspect, even the technological profile. |
| <i>Silva, S. Nasirov. 2017 [57]</i> | Examines strategically important energy alternatives for Chile: - energy efficiency, hydro projects, renewable energy, and nuclear power. | - on identify recent developments and remaining challenges for the country. | - Focuses in country-wide energy alternatives. - It is not specific for the construction sector. - Not specific for schools. | - Recommendations to identify the potentialities and barriers of development different types of clean energy alternatives for Chile. - To makes EE a reality in Chile, it is necessary legislation improvements, development of strategies, commitments for large industry and mining sectors, and support nationwide educational campaigns. |
| <i>Ministry of Energy Chile. 2014. [58]</i> | - Evaluation of Chilean energy situation. - Evaluation of the target of the government program of President Michelle Bachelet. | 1) New role of the state to energy development. 2) Reducing energy prices, efficiency and diversification in the energy market. 3) Develop its own resources. 4) Connectivity for energy develop. 5) Efficient sector that manages consumption. 6) Impulse energy investment for the development. 7) Citizen participation and territorial ordering. | - Just a roadmap. - Too General Does not propose concrete measures. - Adjust to the Chilean context. - The target for 2025 is not too ambitious. - Not specific for the construction sector. - Not specific for Schools. | - The agenda proposes to impulse the development of Non-conventional renewables energies, to achieve the target of 20% of the Chilean Energy matrix to 2025. - The agenda proposes to develop the energy efficient use of the energy, to reduce in a 20% the projected consumption to 2025. |
| <i>Ministry of Housing and Urbanism Chile. 2013. [15].</i> | - Strategic Objectives. - Measurement Criteria. - Action lines. | 4 axes: 1) Habitat and Wellness. 2) Education 3) Innovation and | - Elaborated for the context of Chile. - Is only a roadmap, even when propose a more | Proposes to: - Increment the number of buildings and infrastructure with certifications and sustainable constructions standards. - To reduce |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|--|--|---|
| | | competitiveness. Governance. | 4) specific framework for the construction sector. - Does not propose specific measures for Schools. | the emission and environmental impact level in all life cycle of the buildings. - To define sustainable Construction standards, and improve the regulatory framework of the construction. - To Increment resilience of buildings and infrastructure to climatic change and energy events, and to educate the population in the sustainable construction issue. |
| <i>Ministry of Energy of Chile 2016. [16].</i> | - Goals to long and short term. | - To stablish guidelines for different sectors related with the energy in Chile. | - the study is a roadmap. - It is specific for Chile. - Even when propose targets that involve Schools, do not propose specific measures to achieve this goal. | - Chile target of 70% of the energy mix will be provide from RES. - Proposes 5 axes, with targets, and actions regarding 2020, 2025, 2030, 2035, 2050. -The most important: 1) To 2035 100% of new energy project, should count with a Net Zero Biodiversity loss, and 2050 Emissions of the sector fixing the targets of OECD. 2) To 2035 50% reduction of the energy poverty gap, and for 2050 100% of the gap reduced. 3)To 2035 100% of the schools' curriculums add contents of energy development and 100% of the public edifications achieve sustainability standards. |
| <i>YJ Joo, CS Kim, SH Yoo. 2015. [4]</i> | - The short and long-run causality issues among energy consumption. -CO ₂ emissions. -economic growth in Chile. | - to examine the causal relationship among energy consumption, CO ₂ emissions, and economic growth. | - The study was made at the all country level. -It is not specific for construction sector. - it is not specific for schools. | - Energy consumption can induce economic growth, but not vice versa. - Chile should make more effort to develop EE technologies, and renewable energy sources. - there is a correlation from energy consumption to economic growth. - Correlation between CO ₂ emissions to economic growth, and form CO ₂ to economic growth. - Correlation between energy consumption to Co2 emissions. |
| <i>A Schueftan, J Sommerhoff, AD González. 2016. [59]</i> | - Thermal efficiency of envelop and comfort. - Type of energy use for heating. - Energy Cost. | - to identify the major causes of air pollution. -Discusses various strategies for lowering emissions and their effectiveness in reducing air contamination. -Focuses on residential sector. | - The study only focuses on a specific zone of Chile (central zone). -Do not analyses another source of pollution. - It is not specific for Schools. | - Present an economic evaluation of strategies and policies, regarding to alleviate the FP in houses in the central zone of Chile. - The result shows that retrofitting thermal conditions in houses led to FP alleviation, in contrast improvement of heating appliances alone does not alleviate FP nor improve indoor comfort. |
| <i>MF Riveros Inostroza 2014. [60]</i> | - Institutional framework in force in Chile. - Advantages and disadvantage of the Chilean Institutionalilty. | - analysis of a new Energy Efficiency institutionalilty. | - The study was made only from one institution of Energy Efficiency. - The study does not involve the construction sector per | - The institutionalilty of Energy Efficiency in Chile does not have results in its implementations of politics. - regarding the opening of the agency (2010) and the date of the study (2014), the National Agency of Energy Efficiency of Chile does |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|---|---|--|
| . PA Jofré, AU Gómez, AC Fuentes. 2017 [61] | - Chilean Energy Matrix - Access to energy in Chile. - Access to energy for heating in Chile | - In to establish a diagnosis of the current status quo of the access of the energy in Chile. | - Focused in Chilean Policy. - Is an overview study of the conditions to achieve the proposal goal. - Not specific for Schools. | not propose nor generate public policies either regulations regarding the efficient use of the energy. - Identifies the follow challenges for the energy policy in Chile, regarding the goals for 2050 establish for the government: - Access to low-emission and modern by products manufactured from forest resources. - Improvement in the thermal insulation of houses to reduce heating demand. - Access to efficient technologies for heating. - Electrification projects with renewable energies in remote areas. |
| Ministry of Education Government of Chile 1989 [8]. | - Minimum parameters of School infrastructure. | - In set, the minimum requirements for Schools in Chile. | - The Regulation is too basic, with a lack of a lot of parameters related to comfort and energy efficiency. -Does not propose a definition for NZES nor for energy efficient Schools. | It establishes the constructive quality of the schools, and its terminations as: - Minimum illumination in corridors and circulations of 30 lux. - The decree imposes to achieve a temperature of 12°C, in classrooms for basic and middle education, in Andean, central interior of the Ñuble and Itata rivers to the south, south coast, inland south and extreme south. -Illumination of 180 lux measured in the cover of the working table in the less illuminated area of the enclosure and when mechanical system is required a renewal of the air bucket, equivalent to twice per hour. |
| Government of Chile 2016 [9]. | - General conditions of habitability, resistance of the materials and structure. - Conditions of universal mobility and comfort. | - Establish minimum standards of construction and habitability. | - As for parameters of comfort in schools is basic. | - Establishes the general conditions of impact in the community, the constructive, habitability and universal mobility of school premises. -In illumination, it regulates only surface of windows of the enclosure, through the ratio Sup. Room / window that goes from 14-20%, according to the geographical area. - For the case of ventilation establishes a useful opening surface of the sale of an 8% sup / window. And / or ensure an air volume of 3m ³ per pupil in classrooms. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|---|
| <i>Ministry of Publics Works of Chile 2013</i> [13]. | - Illumination. - Indoor Air quality | | Is a voluntary regulation, mandatory only for new buildings built or principal by the state | - Most notable is: Zoning in 9 climatic zones, limit values for thermal transmittance, Solar Factor for crystals, Air permeability for enclosure including windows, performance for boilers and air conditioning systems, EE of lighting systems, solar contribution for sanitary hot water, Minimum ventilation in educational enclosures, operating temperature frequency for passive buildings, temperature range for active systems, Illuminance, Daylight autonomy, glare and chromatic performance criteria, acoustic insulation requirements. |
| <i>Institute of Construction of Chile. 2014.</i> [14]. | - Passive and Active Thermal Comfort. - Visual Comfort Active and passive. - Active and passive air quality. - Active and passive acoustic comfort. - Energy Demand. - Hermeticity of the Envelope. - Incorporated Energy. -Efficiency of Artificial Lighting. - Air conditioning and ACS. - Plug Loads. - ERNC contribution. Integrated Design. - Operation Management | - Evaluate, qualify and certify the degree of environmental sustainability of the building. | It is not a mandatory certification for the private sector. - It has a focus on building, not holistic, in relation to the environment. - Does not incorporate the Zero Energy concept. - It does not measure the interaction with the network. It is a certification tailored to the context of Chile. | - The aspects to be evaluated are: 1) Quality of the Inner Environment (passive and active thermal, luminous, acoustic and air), 2) Energy (energy demand, built-in energy, water tightness, artificial lighting, Consumption, ERNC), 3) Water (landscaping, built-in, active systems), 4) Waste (Management), 5) Management (Integrated design, management and operation). - Each of these areas has mandatory and voluntary requirements (which deliver 100pts total). - To obtain the minimum certification: must comply with all mandatory plus 30 to 54.5 pts. |
| <i>OCDE 2016.</i> [3] | - Evaluation of GDP, the emission of GHG by sector, policies, management of air, waste and water, governance and environmental management, green growth, climate change, - Conservation and sustainable use of biological diversity. | - Evaluate Chile's environmental, political and statistical performance. | | Renewable energy accounts for almost a third of Chile's energy needs, representing the fifth largest OECD. -The tax system becomes greener, but it leaves aside copper or other smelters. The tax rate applied is relatively low (US \$5) and should be subject to progressive increase. -Green markets grow and the capacity for environmental innovation improves. - Chile is vulnerable to climate change. - The energy intensity of the Chilean economy declined to just below the OECD average, reflecting the unequaled income gap. -The Chilean energy |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|--|
| | | | | matrix is still mainly composed of fossil fuels. - It establishes recommendations, a total of 54. |
| Paris Agreement [20] | - establish goals Related to climate change. | - strengthen the global response to the threat of climate change. - sustainable development and poverty eradication. | | - Keep the average global temperature rise well below 2 ° C with respect to pre-industrial levels. Limit that temperature rise to 1.5 ° C with respect to pre-industrial levels. - To increase the capacity of adaptation to the climatic change, and to promote the resilience to the climate and a development with low emissions of greenhouse gases. - Placing financial flows at a level compatible with a path leading to climate resilient development and low emissions. - Countries must communicate their efforts, with a view to achieving the objectives set. |
| <i>Ministry of Housing and Urbanism Chile. 2017</i> [7]. | - Statistics of rated homes, typology, average energy demand and consume by thermal zone, by materiality, by equipment in houses. | - To deliver data by rated houses, to show their evolution. | - Data are only for new rated houses, not for all houses, due the system is only mandatory for social housing. - Does not present information for other kinds of buildings. | - Shows: an overheating index in houses with the high mark. - Shows also that most of the houses do not use ERNC (89,74%). - In general houses does not have heating system (93,05%) that implies that in most houses use stoves with wood or another system with open flame. - Most of the mix project rated (91,95) use monolithic glass with a poor U factor. - Show the energy demand and consume for climatic zone being the Zona 6-A the most complicated. - average demand in heating is 137,6 Kwh/m ² year. with a consume of primary energy in heating of 234,5 Kwh/m ² year. |
| <i>AChEE 2013.</i> [10]. | - IEQ parameters comfort parameter for school. | - To provide recommendations for designing schools. | - Some data are old. | - Listed a series of national programs and initiatives. -Give a series of design recommendation focused in lighting, ventilation, and comfort. |
| <i>IEA. 2017</i> [5]. | - Electricity production on OCDE countries. - Energy matrix. | - to present a series of statistics related to energy production in OCDE countries and its evolution through the last year. | - Data shows only last year | In general, the electricity production in OCDE countries has an increase of 1,1% or 9,5 TWh, over same month (March 2016). -The production for combustible Fuel grew by 1,2%, compared with March 2016, with a major growing in OCDE Americas with 2,9%. -The production of Geoth/wind/ Solar/ Other grew by 18,7%, and in OCDE Americas increased 18,4%. - For Chile total production for the year 2016-2016, was 18.654 |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|--|--|--|
| <i>IEA. 2016 [62]</i> | - Energy efficiency parameters. – Energy consume by sector – Energy intensity of each country. | - To present statistics of energy efficiency in IEA members countries. | - Data shows only countries members of IEA. | GWh: - Total production was lower by 337 GWh, or 18%. - Combustible fuels production reduced by 4,5% and decrease of 572 GWH. -Geoth/Wind/ Solar/ Other production increased by 74,9% or 721 GWh. - Define energy efficiency as "the first fuel", it is the one energy resource that all countries possess in abundance. - Globally, energy consumption and development have been decoupling, Energy intensity decreased by approx. 20% between 1990 and 2014. - Shows statistics of EE of IEA countries on: Residential Sector, Industry and services, Transport. - For IEA Members, the decoupling was mainly due to efficiency improvements. - In IEA countries EE was responsible for over 80% of the downward pressure on energy consumption. - The EE savings were approx. 4 times larger than the savings associates with structural change. |
| <i>Environmental Ministry of Chile. 2015. [11].</i> | -Education quality – intersectoral coordination- spread educational experience | Education quality through sustainable knowledge, and community and environmental conscience. | - The evaluation of the environmental situation of the school, do not include parameters of comfort or energy consumption. - The certification of the school is based in an auto-evaluation. | - Efforts are in two areas: 1.- Strengthen the educations quality. 2.- Spread successfully educational experience, to generate educative communities engaged with their own educative process. - It promotes the installation of a system of environmental management. - Have three levels of certification: Basic- Medium - Excellent, the both first have 2 years and excellent for 4 years. - Counts with three instances of intersectoral organizations: 1) National Committee of Environmental Certification. 2) Regional Committee of Environmental Certification and 3) Ambiental management committee of the School Establishments. - Counts with an auto evaluation of the environmental education situation. - Include variables like: Scope of educative job - Scope curricular and scope relationship with the environment. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|--|--|--|---|
| <i>Ministry of Education Chile. 2014. [12]</i> | Evaluation of quality of school in Chile - imagen and context – Innovation – Functionality- Flexibility – Opening to the community- Inclusion- Secure spaces- Sustainable, comfort and energy efficiency – art interventions – Furniture and equipment – maintenance –enclosures program-. | To propose a new strategy for new school buildings. And propose new criteria for educative spaces. | - It is a strategy only for the school manages for the government. | - Incorporate higher standards of infrastructure in both new and existing buildings, to improve quality at all levels of the education system. - Provides information on the cadaster of school infrastructure carried out in 2012-2013. - The plan is to be able to benefit to 2000 public educational establishments of the country, - Work in 6 areas: 1) Public Education seal works, considers the construction of schools with high infrastructure standards, 2) Integral improvement works. 3) School Continuity Works, projects to expand and improve the levels of kindergarten and pre-kindergarten levels. 4) Preventive Works. 5) Equipment; Furniture and equipment financing. 6) Emergency works, Projects that respond to situations resulting from natural disasters. - It proposes 16 criteria of design, among them is the sustainability, comfort and energy efficiency. |
| <i>Government of Chile 2014. [63]</i> | - Procedures for the regulation of electricity tariffs in Chile | - Regulation of electrical tariffs. | | - Stipulates that end users, who have their own electric power generation equipment, renewable non-conventional means or efficient cogeneration facilities, shall have the right to inject the energy they generate to the distribution network through the respective splices. - It establishes the technical and safety specifications that must comply with the equipment required to affect the injections. - The mechanism for determining the costs of adjustments. - The installed capacity allowed by each end user and by the set of users in the same distribution network. |
| <i>IEA 2017 [64].</i> | - Energy consumption, production, efficiency and emissions related for region. | - Energy and Co2 emissions in OECD Countries. | - General Report. | - In general, continued decrease in Co2 emission from fuel combustion. OECD countries decreased emissions by 9,5% (1,2 GtCo2) since their peak level in 2007. - In General Oil remained the largest source of OECD emissions. (40%), followed by coal (32%), gas (27%) whilst 20% of total primary energy supply derives from carbon neutral sources. - Over the longer period of 1990-2015 the decoupling of economic growth from energy consumption has been very significant (TPES/GDP= -31%). - OECD |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|---|---|---|
| | | | | Americas (Chile, Mexico, Canada, USA) reached self-sufficiency, although still needing to import some fuels and export others. Primary energy production from solar, tide and wind significantly increased by 15% (10 Mtoe) |
| <i>Climate action Tracker 2017.</i> [22]. | - CO ₂ Emissions projection for Chile -Rating of goal projection. | - To assess the goal proposes for Chile, and compare with the global objective. | | - If most other countries followed Chile's approach, global warming would exceed 3-4°C. -Between 1990 and 2010, Chile's emissions increased by 84% from 50 MTCO ₂ e to 92 MTCO ₂ e, excluding LULUCF. The emissions will reach 134-138 MTCO ₂ e per year in 2020, which represent a 169-177% increase above 1990 levels. in 2030 that emissions will be 161-167 MtCO ₂ e (224-234% above 1990 levels). |
| <i>Energy Ministry of Chile 2016.</i> [18]. | - Technical characteristics of the installed systems. - Associated investment. | - Installation of Photovoltaic Systems in Public Buildings. | - None of the evaluation variables considers EE. - IEQ of the building is not taken into consideration. - The Net Zero concept is not considered. | - The installation of PV systems for 99 buildings in nine regions of Chile has been contracted with a cumulative capacity of 3MWp. -The program is intended to benefit public institutions of the different powers of the State and municipalities. - Of the 99 projects awarded 33 correspond to schools and schools from the 1st to the 7th region. - It examines the consumption of electrical energy of the building to project the PV system. - The capacity of the roof and its constructive quality are evaluated. - The connected power of the property is evaluated. |
| <i>AChEE. 2015</i> [48]. | Investments parameters – save parameters –CO ₂ emissions | EE in buildings, Mining and industry, Education and measure verification | The report is not updated. | Chile is beginning to apply EE concepts in all its productive areas, which brings good savings and a decrease of CO ₂ emissions. The principal investments are in Public buildings – Public lighting – Cogeneration program in industry – programs for efficient driving – Educative programs – and know how formation. |
| <i>National Institute of Normalization. 2008</i> [65] | Outdoor temperature – Rainfall index –Daylight index. | To provide a more accurate climate zoning of Chile. | Does not consider microclimates | Chile is compounds for 9 different climatic zones. Some of that very different like desert zone, and south extreme zone. |
| <i>Environmental Ministry of Chile. 2014</i> [21]. | Ambient temperature. – Rainfall regimen – Sectorial impacts - | To make a diagnostic of the impact of Climate Change in | Specific for Chile. | Propose and operative structure to afford the climate change in Chile. With transversal and sectorial actions, to central and regional level – |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|---|---|---|
| | | Chile. And propose the measure for afford it. | | propose a monitoring process –define responsibilities for each task. |
| OCDE 2016. [41] | Financial and human resources invested in education – Access to education progress and participation – the learning environment and organization of schools - | To provide statistics and information about the different parameters which affects the educational level in OCDE countries. | - Does not provide specific information about school buildings. | Chile is one of the countries which have a less educational spending on OCDE countries – Also Chile has one of least progress in to accomplish the educational target propose for OCDE. |
| Education Ministry of Chile. 2014. [42] | Spend for student –initial and operational costs. | To provide an overview of the educational spend in Chile. | The information for operational cost referred to school building is only estimated not measured. | In Chile, the average initial cost of a school building is 1139,8 USD/m ² y in a building without EE criteria, and 1610 USD/m ² y in a building with EE criteria. The operational cost of a school building is estimated in 20USD/m ² y. |
| 3.- Comfort, Energy Poverty and Social Resilience | <i>M. Trebilcock, J. Soto, R. Figueroa 2014 [31].</i> | - Thermal parameters: internal temperature in classroom, Thermal sensation vote, Climate context, vulnerability index, air velocity, relative humidity. | - Determining comfort temperature of students in state-owned primary schools. | - The comfort temperature derived from the field work is significantly lower than comfort temperature calculated from Humphreys formula. - Also shows that students from highly vulnerable Schools voted lower comfort temperatures than those from less vulnerable realities. |
| <i>R García Ochoa. 2014 [66]</i> | - Energy consumption per capita. -Emissions per capita. -Human Development Index. -Relationship between needs, satisfactions, economic goods and end uses of energy. - Background of energy poverty. | - Highlight the social dimension of energy uses, and thus have an integral and more equitable vision of the link between energy, poverty and the environment. | - this is an old version of reference [1]. - does not consider air quality. - does not consider energy efficiency. | - The study is based on the reality of Latin America. - It is necessary to carry out a deeper analysis of the reality of each country. - Work is a frame of reference. |
| <i>G Armijo, L Roubelat, P Jara, C Whitman. 2016 [67]</i> | - Residential social segregation. -Government policies for social integration. -Use of firewood. | - General evaluation of energy poverty in Chile | - It is a general study. | - Most of residential buildings, both in low and high socioeconomic strata, do not provide adequate interior hygrothermic comfort since thermal regulation is insufficient. -All socioeconomic strata, except the highest, suffer from energy poverty, since heating systems are inefficient, polluting, and urban policies increase dependence on transport. - |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|-----------------------------------|---|--|---|--|
| | | | | Energy poverty depends not only on housing but also on the wealth and connectivity of the urban context. |
| <i>G Walker. 2015 [68]</i> | <ul style="list-style-type: none"> - universal rights meaning. - definitions of right to the energy. | characterize the space for political work focused on defining the right of energy, its specification and implementation. - recognizing the differing roles that the use of energy plays in enabling well-being | | <ul style="list-style-type: none"> - The right to energy is often quite rightly deployed by developing countries who argue that they need to develop their energy infrastructures and increase levels of energy consumption and carbon emissions to expand their economies and lift people out of poverty. - can be a problematic for the global climate, if the right to energy is taken to mean rolling out a fossil-fuel based infrastructure. |
| <i>R Moore. 2012 [69]</i> | <ul style="list-style-type: none"> - fuel cost related as percentage of income. - Definitions. - Supplementary indicators. | - on Former and analyses data from the 2008 English Housing Survey, and previous annual English House Condition Survey, to explore the implications for policy. | <ul style="list-style-type: none"> - Focuses in England context. - The paper does not propose a definition. - the paper is a framework. | <ul style="list-style-type: none"> - The paper study a series of definition of fuel poverty, and made recommendation for everyone. - It concludes that the Government's current preferred definition is not directed at those most in need. |
| <i>YTJ Khew et al. 2015 [35].</i> | <ul style="list-style-type: none"> -Coastal areas. -permanence of urban areas in the Greater Concepcion Region in tsunami prone areas. -Physical tsunami mitigation structures. -Co-benefit of tsunami mitigation infrastructure. | - Assesses the contribution of "hard-infrastructure", for increasing disaster resilience. | <ul style="list-style-type: none"> - The study is specific to the context of Chile and the study cases. - the study is strongly dependent on the social perception of residents. - Only take in to account two types of infrastructure (promenades, and elevated houses) | <ul style="list-style-type: none"> - Structures were considered beneficial to resilience-building if they had multi-functional proprieties which aided in the social and/or economic recovery of the affected community. - The former structures without a purely protective function, contributed positively to building economic resilience in Dichato, Talcahuano and Penco, through the promotion of tourism and small-scale fishing activities. - Only in tumbes the elevated houses were shown to help restore community economic function, by providing safe area to store fishing goods. - The study provides a clear classification of hard and soft resilience - It is ideal that the design of new tsunami mitigation infrastructure maximizes positive multi-functional qualities, especially those which reinforce a culture of tsunami preparedness. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|---|--|--|--|
| <i>R Borquez, P Aldunce, C Adler. 2017 [70]</i> | <ul style="list-style-type: none"> - resilience theory and climate change. - Participative process to product knowledge. | <ul style="list-style-type: none"> - Drought in Chile 2014. - How resilience theory can be applied and articulated into practice. | <ul style="list-style-type: none"> - Focused in Chilean reality, and only to the community studies. - The study not involve another type of disasters. | <ul style="list-style-type: none"> - It is necessary a participatory process and co-production of knowledge, and participation of stakeholders and decision makers. - To build resilience to climate change, require active participation from governments, citizens, scientists, and private sector. - The framing of resilience as a capacity not only to recovering but also to adapt, to learn, to transform, and to reorganize. - equitable/universal access to information and education and to enhance preparedness, is a key for building resilience, especially in countries frequently exposed to disasters related to climatic hazards. |
| <i>G San Juan, et al. 2014. [71]</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Ambiental conditions: hydrothermal comfort, light comfort, acoustic, and air quality. -Architectural conditions: adaptability of the space, visual contact, auditory contact, esthetic contact. | <ul style="list-style-type: none"> - Show the status of school buildings in different countries. - Determine comfort conditions in school buildings of six countries of Latin America. | <ul style="list-style-type: none"> - the study does not consider, policies related to school building. | <ul style="list-style-type: none"> - Hydrothermal conditions generally do not respond to the recommended standards. -It has been detected that there are situations in which winter periods and uncoordinated CO₂ concentrations coincide. In these cases, the need for regulation of ventilation generates other problems, thermal, hydrothermal, olfactory. - Temperature and natural illumination are the critical parameters from an objective point. |
| <i>M Trebilcock, A Bobadilla, M Piderit. 2012 [28].</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Measurements of environmental performance. -Air temperature. -relative humidity. – CO₂ emissions. - Perception on thermal, visual and acoustic comfort. - Air quality. | <ul style="list-style-type: none"> - The performance evaluation of school buildings, with and without energy efficiency design. | <ul style="list-style-type: none"> - the study is limited to the study cases, and the specific climate, and sociocultural environment. | <ul style="list-style-type: none"> - The study shows several contrasts between measured data and the responses from the occupants that can be attributed to poverty and resilience. - It is important to include cultural principles in architectural poverty, because improves the resilience of the occupants and its perception of wellbeing. - It is also necessary to improve environmental performance of rural schools located in areas of extreme poverty, based on an improvement of construction quality and passive design strategies. - It is important to join energy efficiency with comfort, to obtain better results. |
| <i>ZS Zomorodian et al. 2016. [30]</i> | <ul style="list-style-type: none"> -Methodologies. -reviewing result based on: climate zone, educational stage, and applied thermal comfort approach. | <ul style="list-style-type: none"> -Focuses in to present an overview of existing studies related to comfort in classrooms. | <ul style="list-style-type: none"> - Focused only in comfort studies. -Does not made a relationship with energy efficiency. -The study is a | <ul style="list-style-type: none"> Local discomfort evaluation in classroom could be useful for decreasing the percentage of dissatisfied occupants. -Reviewed studies showed that students prefer cooler environments and are more sensitive to warm conditions. - Energy conservation measures should be carefully applied in |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|--|---|
| | | | framework, does not propose a standard. | classrooms, because saving energy is the secondary concern in educational building. - developing spatial and temporal thermal comfort metrics could be useful for design evaluations in classrooms. |
| <i>T Hatt, et al. 2012. [72]</i> | - Energy Demand. - Energy Consume. -Indoor Comfort. -Location, Orientation and Form Factor. -Glazed surface, temporary shade. - Reference cases and case studies. | - To demonstrate that in the South-center Zone of Chile, it is possible to apply the PH standard, in Houses. | - Study based only on simulation, not monitoring. - Study limited to three Chile regions studied and the type of building studied. | - Buildings that achieve the PH standard, have a higher initial investment cost than a traditional construction, but an operating cost of 80% lower. This allows to recover the investment during the life of the construction. -The study establishes recommendations for the design of PH in houses in Santiago, Concepción and Puerto Montt or similar climates. |
| <i>M. Trebilcock, et al. 2016 [1].</i> | - thermal comfort, on school, complemented with questionnaires based in the adaptive comfort. | -thermal comfort, on School in Santiago. -Determine the thermal satisfaction of children in relation to indoor temperature. | - The study does not deepen the subject of energetic consume for fulfill a better standard of comfort. - Focused only in schools in Santiago. -They do not afford the cost of the solutions. | - The children have a different Thermal perception as compared to adults. - the thermal comfort standards and guidelines are based on perceptions of adults. - In Chile, there are no regulations on energy efficiency for school buildings. |
| <i>S. Attia, S. Carlucci. 2015 [29].</i> | - Models of Comfort: Fanger's, Givoni's, ASHRAE 55 adaptive, EN 15251 adaptive. | - Compare the influence of using different thermal comfort models for zero energy buildings in hot climates. | - The study is related with a one type of building. - the study is related to a one type of weather. | - comfort is fundamental because it has direct impact on defining NZEB, and requirements that influence the design. - The adoption of an available thermal comfort model is of paramount importance since reference conditions for the indoor environment are significantly different and this cause a high different in the energy performance. - More energy savings can be expected for buildings in hot climates with greater cooling demands. - There is a difference, in the energy performance when the different criteria of comfort are adopted, |
| <i>Sernageomin Chile. 2017 [32].</i> | Types of catastrophes – Year in which its occurred- zone which was affected. | To present information about all the most important catastrophes happened in Chile from 1980 till now. | They do not summarize the catastrophes and not provide clear information. | Chile in constantly affected by a lot of types of catastrophes, in the last time situations like floods, alluvions, earthquakes are the most constantly facts. |

| | REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--------------------------|--|--|--|---|--|
| Design Strategies | <i>Onemi Chile 2015.</i> [33]. | Refuges center- action measures against the catastrophe | To provide information about refuges centers and food collector center. | It is informative – specific for that catastrophe. | All the centers for refuges and food collector are schools. |
| | <i>O. Irulegi, et al. 2017</i> [37] | -Questionnaire and monitoring campaign. - Energy consumption. | To propose a method to define and assess strategies to achieve NZEB in university buildings, based on student's comfort analysis. | - strategies are focused only in one building. -The work in this sense is not comprehensive. | - Students prefer lower indoor temperatures (20-22,5°C) than stated by theoretical comfort models. -Based in comfort analysis, they propose retrofitting strategies for winter period like: 1) eliminating thermal bridges, using air-to-air heat recovery systems and improving the windows in the north facade of the building. - The result shows a potential energy saving of to 62%, and reduction of two months in the heating period. - overheating problems during summer and shoulder seasons could be solved using 4 ACH day and night ventilated cooling. |
| | <i>H. Breesch, B. Wauman. 2016</i> [38] | - how to fulfill the requirements of a passive school building. | -Difficulties to reach a good thermal comfort. - Design Choices. - Focus in thermal comfort. - Night Ventilation Impact. - There is a difference in the thermal summer comfort, in the timber frame construction. - Focused in the verification of the application of PH Standard. | - Focused in a specific building, and a smaller area. - They never talk about the energy balance. - Focused in a summer thermal comfort, they do not analyses the comfort of whole year. – there is no explain of what is the type o nZEB, they wanted to reach. - does no analyses the importance of the thermal mass. | - It is important to consider the difference between the net Colling demand, and the comfort temperature, because they do not fix necessarily. - There are few steps before meeting the energy balance. |
| | <i>. Nishita Gulati. 2012.</i> [73] | -Energy Consumption. - Envelope parameters. - Orientation. -Window to wall ratio (WWR). - Roof and Wall. -Window assembly. -Shading devices. | -Focused in Cost Effectiveness in optimization of HVAC in Net Zero Energy Homes | - The study results and optimization strategies are limited to study case, and its context. -The study does not consider, the occupant behavior. -Is not referred to schools | - It was observed that from base design case to optimized design case, percentage reduction in heat load through envelop is about 71%. - Effective incorporation of energy efficiency measures in a building reduces the size of the renewable energy system required to achieve net-zero energy. - The proper building design can optimize air conditioning system performance, minimize energy cost and improve comfort. |
| | <i>M Trebilcock Kelly, J Soto Muñoz. 2016</i> [74] | - Temperatures of comfort in schools. -Relationship between comfort and | - Present a methodological proposal to support the design of comfortable and resilient | - The journal and the study, only applies to the context of Chile. -The relationship | - The results of the fieldwork, suggest that the current thermal comfort standards are not appropriate for the case of children of school age. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|--|---|---|---|---|
| | academic performance of children. | educational buildings, based on the determination of comfort temperatures for children in different climatic contexts. | between thermal comfort and school performance has not been clearly established. -It is not explained how buildings are more resilient. | As these feel in comfort at temperatures that can vary between 2 ° C and 4 ° C lower than those derived from the adaptive comfort model. - The socio-economic situation of children makes them more resilient at low temperatures. |
| <i>M. Trebilcock, B. Piderit, J. Soto y R. Figueroa. 2016 [75]</i> | - Thermal Performance, and passive design strategies. | - Assessment of the thermal conditions inside primary school classrooms in winter and summer. -Parametric analysis of a basic school classroom. -Three different climates in Chile. | - the analysis is limited to three types of climates, but in Chile there are nine types. | - Many local administrations find it difficult to afford the cost of fuel to keep the system running along the winter. -The inadequate indoor thermal conditions in the classrooms, could be improved by simple passive design solutions. -They use the energy demand ratio, to verify the better solution. - the two bigger energy demands for this analysis are from heating and lighting in the south part of the country. |
| <i>M. Gil-Baez, et al. 2017. [76]</i> | - Indoor CO ₂ , Temperature and humidity levels. | - Compare the effectiveness of air renewal systems, in school buildings. | - The study case is from a very specific climate, and context. - They not present a definition for schools. | - Results shows that, by using a Natural Ventilation System, and even when heat losses due to winter operation are considered, the energy over the academic year is lower than when a Mechanical Ventilation System is used. - The primary energy savings lie within the range of 18-33% with the natural ventilation system, while maintaining classroom comfort levels. |
| <i>N. Hossaini, et al. 2015 [77]</i> | -Regional characteristics. -Life cycle sustainability assessment. -Energy, Water and Materials. | -Discusses a new methodology for assessment of net-zero buildings. | - The concept of Net Zero propose is not totally clear. - they have a wide focus - the study is a framework, not tested | -The study proposes a new framework to assessment and rating NZEB. - They define 3 main components of NZEB (Usage of Energy, Water, and Materials). -They also made a review of most important assessment systems. |
| Living Building Challenge [39] | Landscape –water – Energy –Health and Happiness –Materials – Equity – beauty. | To provide a certification with a wide holistic vision. | Does not provide standards for specific types of buildings. | The propose a certification for net zero energy building and net zero water. They consider the scale of the project and his ambit of influence- its seven petals realize his focus in the life cycle of the building. |
| LEED [40]. 2017 | Pacification and integrated design -Location and transport –Sustainable site –water efficiency –Energy and Atmosphere – Materials and resources – | To Provide a holistic certification for buildings. | Does not consider NZEB in its approaches – it is based in USA and ASHRAE standards. | Provide specific criteria for School buildings, energy efficiency and renewable energy. It is possible to applied worldwide. -It is a more commercial certification. |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|---|--|---|---|---|
| | Indoor quality –Innovation and regional priority | | | |
| <i>S. D. Pless, et al. 2016. [78]</i> | Type of Envelope – Fenestration – Infiltration – Lighting – Plug and Process Loads – Heating, Ventilating and Air Conditioning – Service Water Heating- Energy Use Intensity | To present a simulation-based technical feasibility study to show the type of technologies required. | Study focuses in USA context | It is possible for K-12 schools to achieve zero energy when the EUI is between 20 and 26 Kbtu/ft ² /year. –Temperate climates required a smaller percentage of solar panel coverage than very hot or very cold climates. |
| 8. Economic feasibility | | | | |
| <i>AF Marique, S Reiter. 2015. [79]</i> | - The impact of urban form on energy needs -On site production of renewable energy. -the impact of location on transportation energy consumption. | Investigate zero energy neighborhood. | - The study does not mention the importance of the context, and climate. | -Propose a simplified framework and calculation method related to the net-zero neighborhood scale. -Shows the potentialities of an integrated approach linking transportation and building energy consumption. - Find that is necessary a better integration of the individual building into its context in policies dealing with energy efficiency. - It is not sufficient promoting the building retrofitting of EE buildings, it is crucial to consider parameters and interactions linked to a larger scale, the urban planning, scale. -The location of new buildings appears to be crucial in the total balance. |
| <i>J Carrasco Eade, G Kokogiannakis. 2012. [80]</i> | -Current Chilean energy regulation. -PH concept. - Energy demand. | -To identify useful design strategies for achieving energy results comparable to those proposed by PH standard. | - It is important to analyse more deeply the comfort variable. –The study is not focused in Schools. | - The current technical aspects of Chilean thermal regulation, should be enhanced in the future, especially in important aspects like energy efficiency, air leakage, and the avoidance of thermal bridges. -Dynamic simulation results, suggest that PH energy performance can be achieved with more affordable construction standards than those prescribed by PH tool. - Passive design could also significantly reduce the heating energy requirements of the building, and constitutes a feasible alternative to PH. -It is important to assess passive design through dynamic simulation tools. |
| <i>Jaime Soto-Muñoz et al. 2015. [19]</i> | - The current constructive reality of public schools located in different geographical areas of | -On temperature, humidity, CO ₂ concentration (environmental conditions). | -Focused only in Chile. -The study does not involve all the climates in Chile. -There is no comprehensive | - Concluded that the classroom temperature should be between 18 and 21°C, to increase attendance rates and consequently lower the dropout rate and increase student performance. - It is necessary to |

| REFERENCE | STUDY PARAMETERS | FOCUS | GAPS | FINDINGS |
|-----------------------------------|--|---|--|---|
| | Chile. -Chilean state policies and methods of investment evaluation. | | analysis of evaluation public project system in Chile. | include temperature, humidity and CO ₂ sensor in the design educational buildings. -It is necessary to establish strategies for economic evaluation when heating and cooling systems are not present. |
| <i>MJ Valdebenito. 2014. [81]</i> | -Physical environment to education. -Opportunities and challenges of greening schools | -To provide a framework for planning a school ground greening process. | -The numbers of schools within the study is limited. | -The results indicated that applicable actions can be grouped in four categories: building engagement, aligning management, integrating curriculum, and creating partnerships. -A greening process is successful only as it involves and engages the entire school community included children, teachers, parents, neighbors, administrators, broader community of stakeholders. -To effectively sustain design outcomes, these need to firmly connect to the curriculum during the planning. -It is necessary that educational authorities convey a clear and strong message for schools by providing supportive greening policies, which is the only way to make these processes effective and become mainstream. |
| <i>LDD Harvey. 2013. [82]</i> | Principles of energy low design- Energy intensity – cost of new buildings - Cost of meeting PH standard. | To present and discussed the most recent technologies and approaches that have been used for energy efficiency savings. | The information is focused in USA, Europe and Asia. | The additional costs of meeting the PH standard for heating loads in new buildings, which represents a factor of 5 to 10 reduction of heating load compared to current standard practice, have ranged from 0% to 16% of the construction costs of reference buildings. High-performance commercial buildings, with overall energy intensities of 25–50% that of recent conventional buildings, have been built at less cost, or only at a few percent more cost, than conventional buildings. |

3. ENERGY POLICIES IN CHILEAN SCHOOL BUILDINGS

In this section, we provide an overview on the state of energy efficiency (EE) and carbon emissions reduction measures in Chile. We describe briefly the climate and the dominant climate zones. As part of our review on energy efficiency in Chilean schools we present a basic overview on the state of the national building stock and the regulations landscape. The evolution of regulation and policies are described. Also, we discuss the Paris agreement implications in Chile. Finally, we present a review on energy efficiency policies for NZES in Europe and North America. This final part of the section, allows us to identify the state of the art of policies Worldwide an enable us to make a comparison with Chile.

According to data from Chilean Energy Efficiency Agency (AChEE) (Fig. 1), in the year 2013, Chile imported 59.3% of its primary energy needs. The most used energy fuel was coal, natural gas and oil. The total energy consumption in the country was 531.94 TWh, of which 35% (184.17 TWh) are lost in energy transformation and distribution. Out of the total energy consumed in the country, 24.6% (85,55 TWh) is consumed by buildings [48]. In addition, it is expected that energy demand will grow in the coming years according to CORFO projections, which is the agency that promotes production in Chile. According to CORFO, the growth of the country will be sustained by 5 -5.5% as the demand for energy is coupled with growth by 5% in the next 10 years (Corfo 2014).

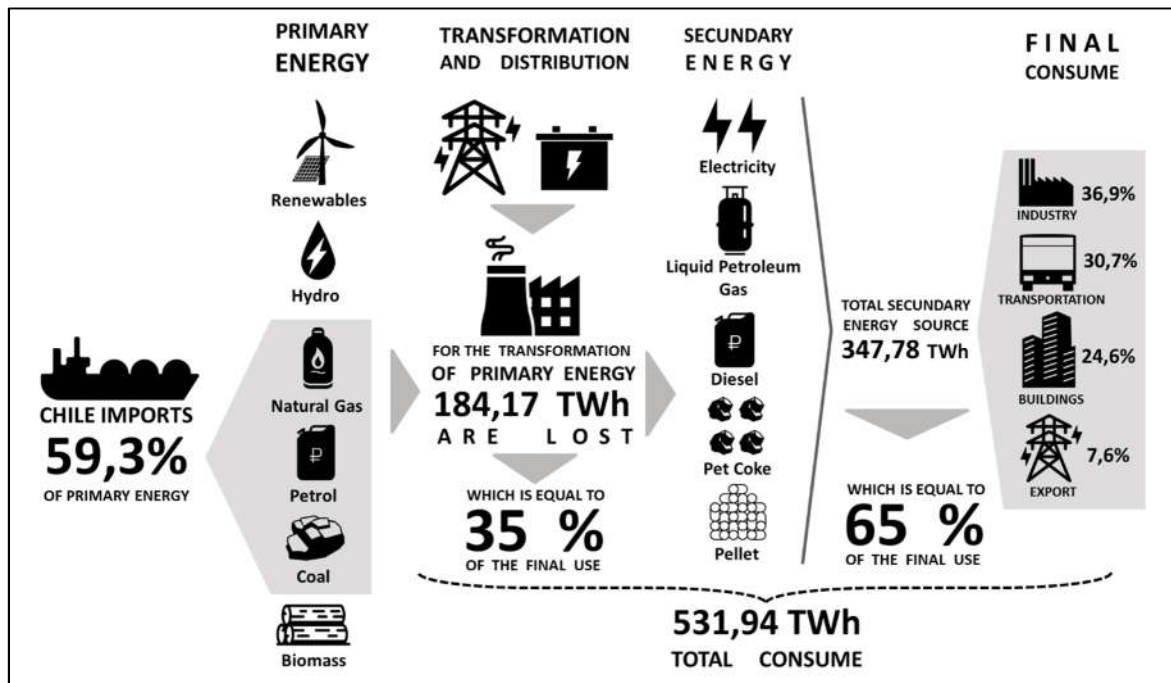


Figure 1. **Consume and distribution of Chilean Energy Matrix.** Adapted from the annual report of Chilean Energy Efficiency Agency [48] (2015).

Chile's energy mix is based mainly on fossil fuels as primary source of energy, as shown in Figure 2. The major contributors are oil and coal, which together in the year 2016, contributed to about 51464 GWh. This is equal to 67,99% of the energy matrix. While

renewable energies, only contributed 6,37% (4825 GWh), the share of hydro power generation is relatively important reaching around 20% with the potential of increase in the future. While Chile has increased its energy generation from renewable sources, energy consumption has also increased in relation to the GDP. The increase of energy consumption was linked to imported fuels associated with high carbon emissions [3]. In Chile, there is a direct causality between energy consumption and economic growth [4]. Therefore, maintaining the current energy mix causes the country to be subject to high economic instability, due to the constant variation of the prices of fossil fuels. Chile follows the tendency of the OECD countries, where the main sources are dominated fossil fuels. In the recent years, there is a tendency of fossil fuel energy consumption decrease. In contrast, the renewable energies are in rise but still are not leading or dominating the energy mix shares [5].

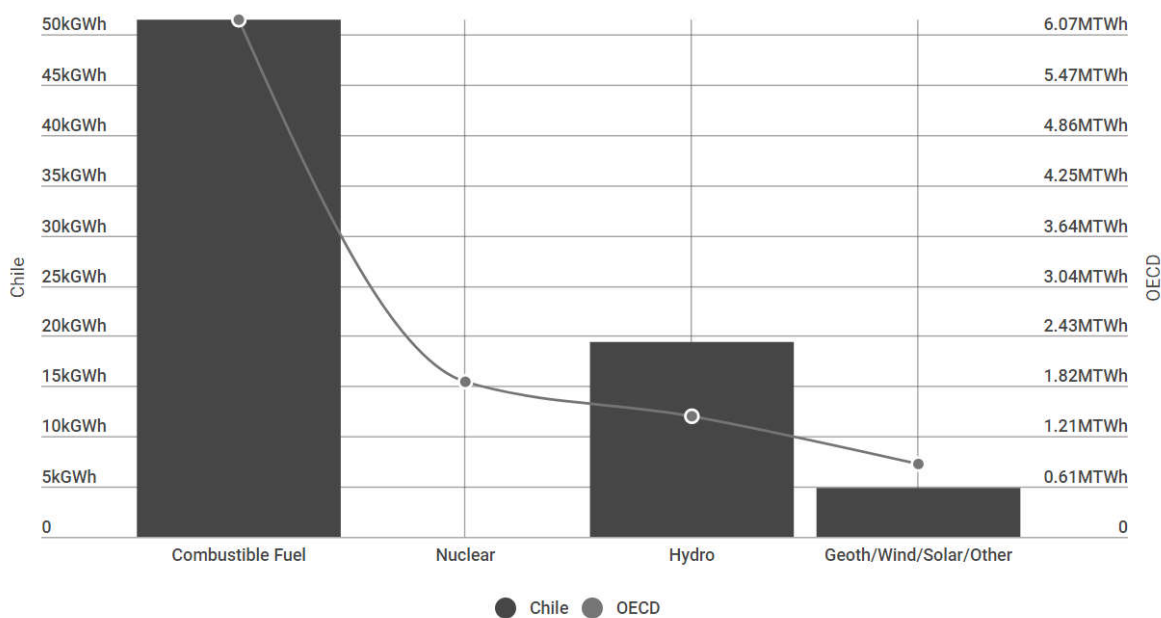


Figure 2. **Comparative Electricity Production by Fuel Type, in Chile and OCDE**, adopted from IEA Monthly Electricity Statistics, March 2017

It is necessary to emphasize that due to its great extension and to its varied geography Chile has a great variety of climates. According to the climatic zoning of the Chilean Standard [6], Chile has 9 climatic types. The northern part of the country has 3 types of climate:

- North Coast (NL), which is a deserted zone with a dominant maritime climate, with little daily temperature fluctuation, with strong sunning in the afternoons and a scarce rainfall regime;
- North Desert (ND) corresponding to a deserted zone without precipitation, and warm, with a clean atmosphere and strong solar radiation, with a strong daily oscillation of temperatures, dry environment and null vegetation;
- North Transverse valleys (NVT) is a semi desert area, with long, hot summers and microclimate in the valleys, low rainfall and strong thermal oscillation and high solar radiation, irregular winds and low cloudiness.

The central zone of the country has two types of climate:

- Central Coast (CL), which is an area with a maritime climate and short winters from 4 to 6 months, temperate, summer cloudiness that dissipates at midday high and medium precipitations and prevailing winds of SW;
- Central Interior (CI) Mediterranean climate zone with temperate temperatures, winters from 4 to 5 months, with average precipitation and frost, intense sunshine in Summer, moderate daily temperature fluctuation and prevailing SW winds.

The southern zone has 3 climates:

- Sur Littoral (SL) is a zone of maritime climate, rainy, long winters, saline and humid soils and environment, irregular north and southwest winds, cold to cold temperature.
- South Extreme (SE) Very cold rainy area, with precipitations throughout the year, almost permanent cloudiness, short summers, very humid soil and environment, frost and snow in Altura and to the south of the zone, strong winds, and Moderate summer solar radiation;
- South Interior (SI) Rainy and cold zone with frost frequently, short summers of 4 to 5 months with moderate sunshine, has numerous lakes and rivers, environment and humid soil predominating the southern winds;
- To which the Andean Zone (An) is added, is an area of dry atmosphere, with great fluctuations of temperature between day and night, summer storms in the plateau, blizzards and snow in winter, great content of ultraviolet radiation, being in conditions.

Based on this classification we can group the Chilean climates in to three major categories the first category is between latitude 17°29' and 32°27' South (Hot Climate), the second category between latitude 32°27' and 36°7' South (Temperate Climate) and the third category between latitude 36°7' and 54°55' South (Cold Climate). With the topographical sharp variations and extended coastal line of Chile we prove the diversity and variety of the Chilean climate.

The housing stock in Chile is estimated to be around 4,5 Million building and facility. We could not find a characterization of the Chilean building stock. Most studies reviewed in Table 1 are reporting about housing related topics, without considering educational buildings. In Chile, the quality of buildings in terms of their energy efficiency tends to be quite low. Most buildings are running in free mode without HVAC or renewables energy systems. For example, the average demand in masonry houses (CITEC UBB), in Chile is 189.42 kWh/m² per year. The national average consumption of dwellings built before the year 2000 is 268 kWh/m² [84]. This means that Chile has a large building stock which is inefficient and energy intensive.

In fact, Chile has only one mandatory regulation on buildings thermal performance dedicated mainly for residential buildings [9]. The regulation was introduced in the year 2000 and upgraded in 2007. As shown in Figure 3, the different energy use intensity (EUI) of code complying dwellings are presented. Despite the improvement of energy efficiency due to applying the thermal regulation the EUI of newly constructed residential buildings remains high when compared to the PH requirements. For other building types such as commercial,

educational and industrial facilities there is no mandatory thermal regulations. A little number of buildings is energy efficient following voluntary initiatives for green buildings in Chile.

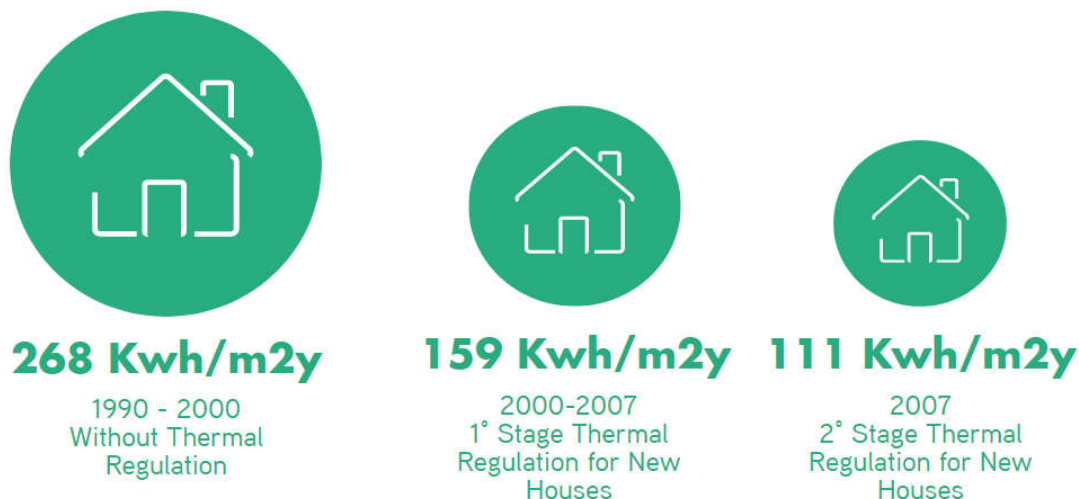


Figure 3, **dwelling energy performance in Chile**, elaborated based on information of CEV 2015.

In Chile, the development of policies, regulations, standards and strategies related to energy performance and environmental comfort in schools is still new. Even policies that have been developed and implemented so far, do not follow a comprehensive approach we identify two types of transformations. The first are the regulatory changes and the second are public or private initiatives. In the following paragraph, we list the two major groups of transformation. From our literature review we identified two regulations that mainly regulate school infrastructure:

- **Decree 548 [8]** in force since 1989, which regulates the minimum requirements that must be met by establishments recognized as cooperators of the function of the state. The Decree defines the spatial program that a school building must have, including the construction quality and finishing. In terms of comfort, this regulation imposes that a minimum temperature of 12°C should be achieved in classrooms in the Andean zones (AN), Central Interior of the Ñuble and Itata rivers region, South Coast, Inland South and Extreme South [6]. For lighting, it requires only 180lux measured in the working plane, and only 2 air renewals when the enclosure needs a mechanical system.
- **The General Ordinance of Urbanism and Constructions (OGUC) [9]**, regulates in general some conditions of environmental impact in the community, the constructive conditions of habitability and mobility to the school premises. In terms of comfort measures the ordinance regulates the lighting of classrooms through a specific ratio. The window to wall ratio ranges from 14-20% depending on the geographical area. As for ventilation, the ordinance sets a ratio of windows openings in relation to the floor plan.

Secondly, a series of initiatives have been implemented, aiming at improving the quality and comfort of the school premises and their relationship with the environment.

- **The pilot scheme for establishments of the state's delegated administration system 2011 [10]** was carried out. Through an agreement between MINEDUC, the Ministry of Energy and the Chilean Energy Efficiency Agency, which were designed and implemented during 2011.
- **The Guide to Energy Efficiency for educational establishments 2012** (Geeduc), which contains a series of strategies and guidelines for passive design for educational spaces by climatic zone [10].
- INNOVA-CORFO Project "**Evaluation of strategies for constructive design and environmental quality standards and efficient use of energy in public buildings, through monitoring of built buildings**". Where a method of environmental energy assessment and certification of Public buildings was developed.
- IDB Project "**Learning in the Schools of the XXI Century**" had an objective to analyze the relationship between schools' infrastructure and learning, with emphasis on green schools and the impact of interior comfort, in which 12 countries from Latin America and the Caribbean participated [10].
- **The National System for Environmental Certification of Educational Institutions** (SNCAE) [11]. Was created in 2003, based on Law No. 19300 (Bases of the Environment), and the Chilean Association of Municipalities, together with the National Commission for the Environment, the National Forestry Corporation (CONAF), the General Directorate of Waters (DGA-MOP) and the Council for Sustainable Development. Its aimed to incorporate sustainability standards in schools in three aspects: curricular-pedagogical aspects, management of schools and the relations between schools and their environment. In general, the SNCAE promotes the installation of an environmental self-management system, which includes considering the historical framework, culture and territory where the educational community is inserted. It has 3 levels of certification: Basic, Medium and Excellent, the latter lasts for 4 years, and the Basic and average certification lasts for two years. As of April 2017, there are 1249 certified schools, including schools, kindergartens, high schools and special schools, of which 482 have the Excellence Certificate (National List SNCAE Abr.2017).
- **The 2014-2018 Strategic School Infrastructure Plan** launched in 2014, which aims to incorporate high infrastructure standards for new and existing buildings. It works in 6 lines of action: High Performance Schools for Public Education, Integral School Renovations, Extend the continuity K-5 Schools to K-12, Schools Maintenance Works, Furniture and Equipment (Strategic School Infrastructure Plan 2014) [12].
- The "**Standardized Reference Terms**"[13] (TDRé) is an initiative of the Ministry of Publics Works in conjunction with the CITEC of the Universidad del Bío-Bío and DECON of the Universidad Católica. The project aims to improve environmental quality (IEQ) and energy efficiency throughout the country's public building. Incorporating performance criteria, energy efficiency standards and environmental comfort in the bidding rules for public building projects. This standard distinguishes between 4 types of buildings including educational buildings, and proposes 4 general lines to deal with the projects: Passive Architectural Design, Energy Saving, Environmental Comfort and Water Saving. Within the most important requirements for schools, it proposes: Thermal transmittance limit values for all enclosures according to climatic zone, percentage of solar minimum contribution for domestic

hot water, minimum ventilation for educational enclosures, operating temperature frequency for passive buildings and range of temperature for buildings with active systems, minimum illuminance for classrooms of 300lx and percentage of daylight (DA) greater than 50%, besides incorporating requirements for glare and light chromatic performance, among many others [13].

- In 2014, a building certification system adapted to the Chilean context was implemented, the **"Sustainable Building Certification" [14]**. An instrument developed by the Institute of Construction, supported by the Ministry of Architecture of Public Works, The Chilean Chamber of Construction and the Syndicate of Architects. This certification has an approach based on the performance of the building and addresses both passive and active systems in 5 important aspects: 1) IEQ (Associated with thermal, acoustic, lighting and air quality comfort); 2) Energy (Demand and Energy Consumption, Built-in Energy, Airtightness, Artificial Lighting, Unconventional Renewable Energy Production); 3) Water (landscaping, built-in, active systems and consumption); 4) Waste (Management); 5) Management (Integrated Design, Management and Operation) [14]. The strategic plan for school infrastructure in 2014, made it mandatory for all High-Performance Schools built for Public Education, to comply with the sustainable building certification [12].

Also, Chile developed some policies, which consider the school buildings and their communities:

- In December 2013, the General Secretariat for Sustainable Construction, composed of the Ministry of Energy, the Ministry of Public Works, the Ministry of Housing and Urban Development and the Ministry of the Environment, published the **"National Strategy for Sustainable Construction" [15]**. The National Strategy for Sustainable Construction sets out strategic objectives to promote construction with sustainability criteria in Chile, working on 4 main aspects: 1) Habitat and Welfare; 2) Education; 3) Innovation and competitiveness; and 4) Governance. Within the field of education, the strategic objective is to *"Integrate criteria for sustainable construction into the formation of new generations"* [15].
- The **Roadmap 2050, "Towards a sustainable and inclusive strategy for Chile" [16]**, proposes as a goal that by the year 2025, 100% of the formal education plans incorporate transversal contents on energy development.
- One of the aims of the **Chilean National Contribution Mission (INDC) to the Paris Agreement [17] 2015** is to have citizens educated about sustainable development, environmental awareness, climate change resilience and low carbon communities. The Ministry of Education, is involve in incorporating this concepts in schools' curricula.
- In 2014, the Ministry of Energy created **the Public Solar Roofs Program (PTSP) [18]** with a main objective to enable and encourage the installation of photovoltaic systems in public buildings. Until the year 2016, this program supported 99 projects, of which 33 of them are public schools. However, this program does not consider energy efficiency (which would greatly enhance the program), nor the interior comfort of the building (which can greatly alter consumption), nor energy neutrality or nZES concept.

As shown for the previous review, the regulatory landscape is too basic and not well coordinated. However, it is obvious that the initiatives that have been taken in the recent ten years, are diverse and ambitious but their effectiveness remains limited to the scale of the implementation. If we compare those initiatives with efforts made for the northern countries we can state that Chile is aware about the importance of low carbon and energy efficient schools. This means that a better coordination and consolidated regulation landscape is required to formulize those initiatives and made the best out of them. In the discussion section, we will further elaborate on the implications of this review. In the same time, we will continue our review by evaluating the schools' infrastructure in Chile and evolution of policies of regulation related to energy efficiency. We will also map the governmental entities and authorities that group the main stakeholders related to the field of environment, infrastructure, education, emergency and energy.

After listing regulations and initiatives, we summarize in this paragraph the state of schools' infrastructure in Chile. Based on consulting the national Chilean cadaster we developed our assessment of Chilean schools. Between 2012 and 2013 the Ministry of Education completed the cadaster of school infrastructure [12]. The cadaster show that 5,509 schools are administered by Chilean local municipal entities. The cadaster indicates that 2,472,834m² are available classrooms spaces and 691,441m² are available for library, laboratories, and other functions spaces (see Figure 4). According to Figure 4, out of 5048 schools in Chile, 10% are in precarious conditions. Those 10% of schools that are in precarious conditions are damage by more than 40%. Some of those schools suffer from structural pathologies, envelope pathologies and no connection to public water network. For example, 1146 schools do not have access to potable water and they rely on: cisterns, water wells or public water hoses. 75 schools had sewage problems, and 61 had issues with electricity. The cadaster shows that the most affected region of the country is Region VIII of Bío-Bío and Region in Santiago Metropolitan.

None of the variables of the cadaster, took into consideration criteria related to comfort in classroom or energy efficiency. Also, heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems and renewable energy systems (RES) where not considered by the cadaster. In fact, we estimate that almost all the 5048 public schools are running in free mode. Furthermore, we could not find information about IEQ in those schools. However, some studies have been carried by Trebilcock et al. 2016 [1] and Soto et al., 2015 [19] measured and monitored the IEQ. The findings of those studies confirm our conclusion that most of these classrooms do not have the minimum conditions for IEQ and thermal comfort. To sum up, through our review we discovered that the existing school infrastructure is lacking several technical criteria for comfort and energy efficiency. The following paragraph will provide an overview of the history of Chilean governance structure and regulations landscape.

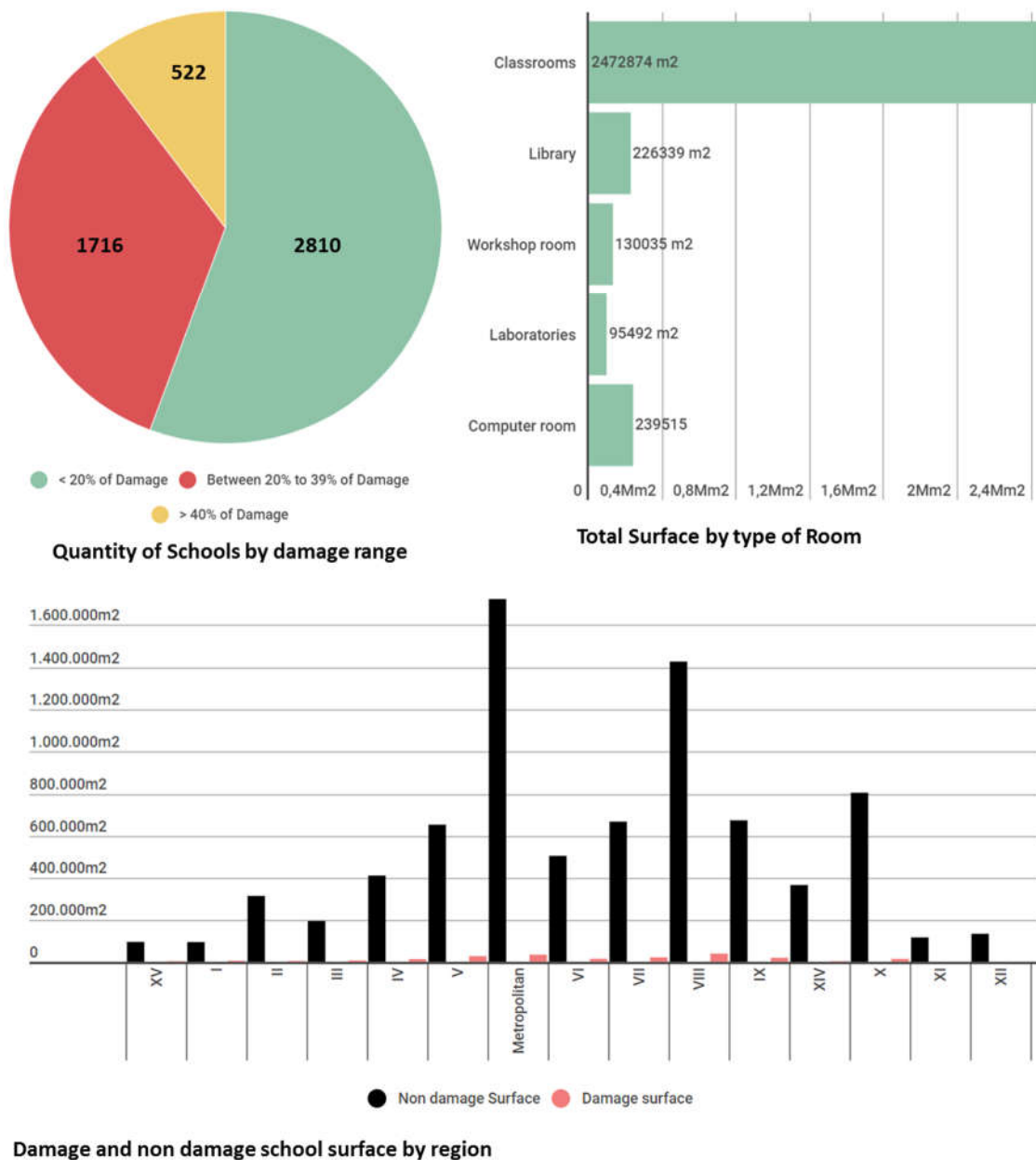


Figure 4, **school Infrastructure data**, elaborated based on information of cadaster 2012-2013. MINEDUC 2014

Chile still does not have the regulatory capacity to meet its own self-imposed goals in the field of energy efficiency and renewable energies applied to construction. Figure 5 illustrates the series of regulations, standards and initiatives regarding improving energy efficiency between 1989 and 2017. The earliest regulation for schools in Chile was established by decree 548 in 1989. The decree 548 [8], of the Ministry of education, set minimum criteria of temperature and air quality for schools (see Section 5). Then, the OGUC was first modified in the year 2000 to include energy efficiency measures. Based on an initiative presented by the congress a set of energy efficiency requirements for roofs in new homes was introduced.

In a second stage, implemented in the year 2007, energy efficiency regulations were set for walls, windows and above grade ground floors. Then, the creation of the Ministry of Energy in 2010 led to the creation of the National Energy Efficiency Agency which released its 2014 Energy Agenda. This agenda proposes a long-term national energy strategy. However, very few of these standards have been transformed into mandatory regulations or building codes. In the case of the building integrated renewable energy systems a similar situation occurred. In the year 2014, the Chilean government promulgated the standard 20571. This standard allows the transfer of energy from a renewable energy source to the electricity grid. Again, this is a voluntary for the new buildings to incorporate RES. Moreover, Chile has no target to integrate a specific share of renewable energy in the building stock.



Figure 5, **evolution of the policies and regulations related to energy efficiency and renewable energy**, based on official data of Chilean Government.

In Chile, the institutional regulatory structure related to environmental issues and energy is quite fragmented. Although it is possible to carry out holistic policies, the implementation of these policies and their enforcement remains challenging. Figure 6 illustrates the main governmental regulation bodies and entities that operated in the field of energy efficiency and RES. Between 2000-2010, the environmental were under the responsibility of CONAMA. CONAMA was a body under the Ministry Secretariat General of the Presidency. In 2010, the Ministry of the Environment was created, which became responsible for the development, promotion and control of public policies related to habitat and Chile's international environmental. In parallel, the energy issues became in charge of the National Energy Commission, which operates under the Ministry of Mining. In same year 2010, the Ministry of Energy was created, its function was to develop, measure and oversee all public policies related to energy efficiency and RES. Then in 2015, Chile published an integrated policy called Energy 2050 [16], where different ministries such as the Ministry of Housing and Urban Development, Environment, Public Works, Education and Mining work under the umbrella of the Ministry of Energy. The integrated policy Energy 2050 sets a long-term

objective, and aims to reduce energy consumption at the country level and to promote a new, more balance fossil-based and renewable based energy mix while facing out coal.

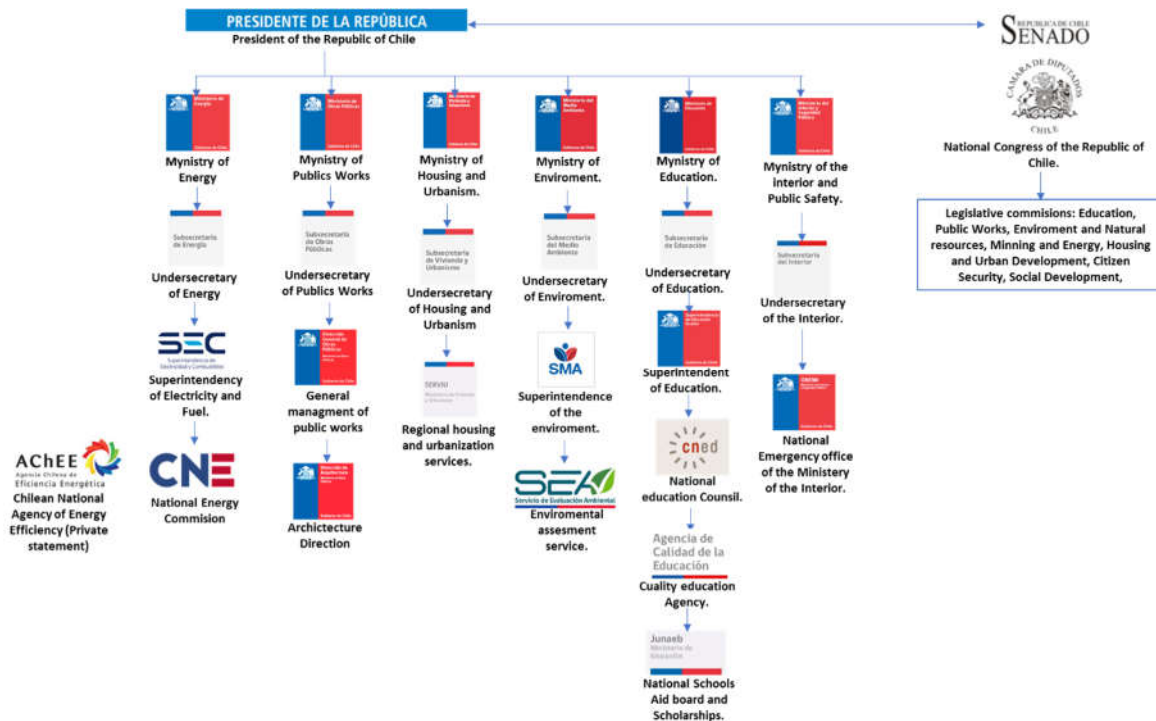


Figure 6, **organizational chart of Chilean bodies that intervene in the creation and application of policies and laws related to: environment, infrastructure, education, emergency and energy**, elaborated based on information of Comptroller General of the Republic of Chile and Library of the Chilean National Congress 2016.

Furthermore, like most OECD member countries, Chile has subscribed to several initiatives on climate change at the international level. The most recent was the Paris agreement, which was ratified on February 10, 2017, and which has as a general objective of keeping the world average temperature rise below 2 ° C. The country must increase adaptive capacity and promote resilience to climate change, and allocate financial means compatible to the country development. This effort should lead to climate resilient development and low greenhouse gas emissions [20]. Within the framework of this agreement Chile proposed to work in four important areas regarding climate change: 1) mitigation, 2) adaptation, 3) construction and capacity building, 4) technology development and transfer and financing.

1. For mitigation, Chile proposes, as unconditional target, a reduction target of 30% of CO₂ emissions per unit of GDP per year in 2030, compared to the level achieved in 2000. As a conditional target, for international support and financing, it has been proposed to reduce CO₂ emissions by a 35-45% its. Chile is also committed to the sustainable management and recovery of 100,000 ha of mainly native forest. To achieve this objective, Chile proposes the creation and implementation of several instruments including: National Greenhouse Gas Inventories System (with bi-annual updates), National Action Plan for Climate Change 2016-2021, National Energy Agenda, National Construction Strategy Sustainable, Appropriate National Mitigation Actions (NAMAS), CO₂ Emission Tax.

2. For adaptation, Chile has developed the **National Plan for Adaptation to Climate Change [21]**, which seeks to implement concrete actions to increase resilience in the country, developing specific plans for each sector and seeks integrating different efforts between the government decision makers.
3. For construction and capacity building and as mention before, Chile will have to educate citizens about sustainable development, environmental awareness, climate change resilience and low carbon communities. For that purpose, in coordination with the Ministry of Education, Chile is gradually introducing this issue in school curricula. In addition to the holding of international seminars and the development of instruments for the promotion of research.
4. In terms of technology transfer Chile expects to have in the year 2018 strategy for development and technology transfer. In 2018, Chile is scheduled to have a National Financial Strategy for Climate Change, which serves as a baseline on financing climate change at the national level [17].

We think that this goal seems ambitious for the country and its level of development, the reality is that these goals are far from a consistent emissions path with warming limits of 1.5 ° C. According to the Climate Action Tracker report 2017 [22], current policies in Chile are only aimed at its unconditional objective. Therefore, to achieve its conditional objective, it needs to generate a greater number of policies, much more ambitious than those that have been developed so far. In coincidence with this, Chile would only be meeting the goal of stabilizing the temperature by 2 ° C by 2050 [23]. Chile's largest commitment in this regard, is in Non-Conventional Renewable Energies, where the goal is for 2025 to achieve that 20% of the energy mix comes from this type of energy. However, even with a scenario with 100% CO2-free electricity generation, it could be insufficient to achieve the required target. It is necessary that each productive sector reduce its emissions in a balanced way, especially the agricultural, commercial-public-residential, transport and mining sectors, which exceed the proposed reference levels [23]. In this same line YJ Joo et al [4] also concludes that Chile should make more effort to develop energy efficiency and renewable energy technologies.

Finally, after reviewing most relevant documents listed in Table 1 we summarize our review findings in Table 2. Table 2 presents the outcomes of a SWOT analysis that investigate the challenges and opportunities of adopting the NZES concept in Chile. After understanding the regulatory framework in Chile and the evolution of building standards and regulations we summarize our analysis and findings and the suitability of NZES in relation to Energy 2050 policy in the table below.

Table 2. SWOT analysis for adopting the NZES concept in Chile.

| SWOT Analysis for apply NZES in Chile | |
|---|---|
| <p>Strengths</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proving a Holistic concept that embrace Energy Efficiency, comfort and renewables sources. • Can Provide refuge during catastrophes for local communities. | <p>Weakness</p> <ul style="list-style-type: none"> • Low dedicated budget for to construct school buildings. • Lack of industrial infrastructure and dependence of imports for technological components. |

- Improve comfort conditions and IEQ for school buildings.
- Reduce operational energy cost.
- Improve the Architectural, Engineering and Construction industry and maintain as leadership for high performance building in Latin-American.
- Lack of knowledge competency and skills labor for design and construction of NZES.
- Lack of technological infrastructure including heat recovering system, and controls or building materials and components, this will force the imports and increase the cost.
- The silo phenomena regarding the collaboration between different governmental authorities.

Opportunities

- Accelerate, to achieve Chilean goals to increase the renewal integration in the building.
- Develop adaptive comfort model for school building in Chile.
- Transferring the built environment, by demonstrating NZES as pilot project or show cases for energy neutral buildings.
- Can be a way to apply the Net Zero concept to another kind of key infrastructure in Chile.

Threats

- Not embracing facility management to maintain the quality and operation of NZES.
- Failing to build consensus among educator, children families, government and local authorities.

4. ZERO ENERGY SCHOOLS DEFINITIONS AND CONCEPTS

The energy balance or energy neutrality represents the core concept of NZEBs [24] [25]. There are several informal and formal definitions of NZEBs (see table 1). The most important definitions are summarized below.

Net Zero Energy Buildings (NZEB), a net zero energy building is an ultra-efficient building that produces 100% or more of its required energy using onsite renewable energy annually. The minimum energy efficiency threshold should vary between 15-30 kwh/m²/year for cooling and heating energy demand annually according to most European national definitions (Attia et al. 2017) [53].

Nearly Zero Energy Buildings (nZEB), produces 30% or more of its required energy using onsite renewable energy (Attia et al. 2017) [53].

Net Zero Site Energy, A site zero energy building produces at least as much energy as it uses annually, when accounted for at the site. The measurement time range is annual (Fig. 7).

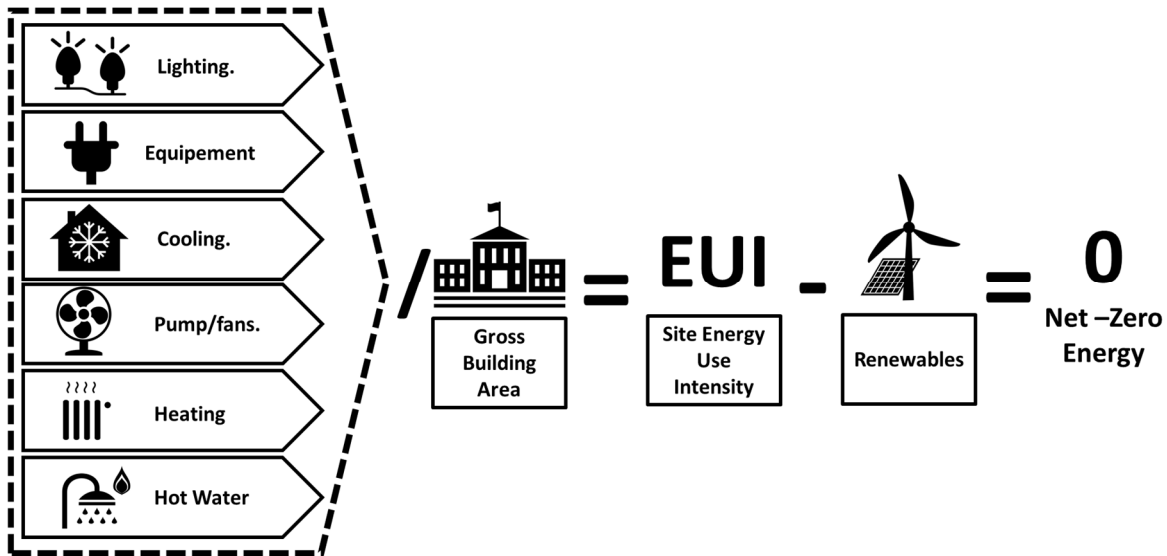


Figure 7. Measuring Energy Net Zero Energy Site

Net Zero Source Energy (Primary Energy), A source zero energy building produces at as much energy as it uses annually, when accounted for at the source. Source energy refers to the primary energy required to generate and deliver the energy to the site. To estimate building total source energy, imported and exported energy is multiplied by the appropriate site to source conversion factor (Fig. 8).

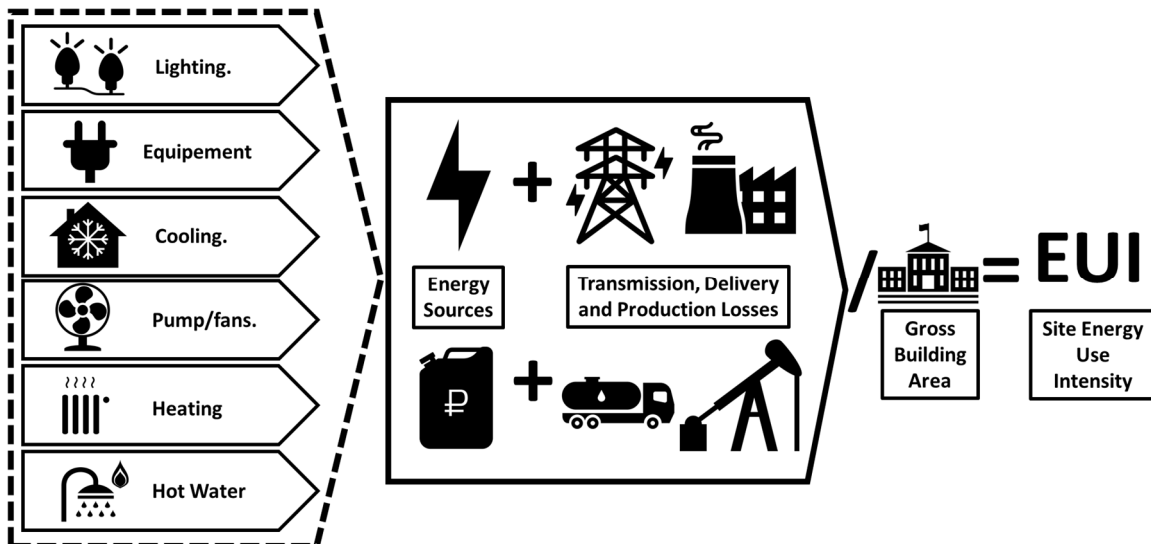


Figure 8, graphical equation for the primary energy use breakdown and intensity for net zero energy balance calculation.

Passive House for Schools, the focus of Passive House design is to “dramatically reduce the requirement for space heating and cooling” [26]. The requirements to achieve a PH standard for school are:

- 1) Each modern school should have controller ventilation which meets the criteria for acceptable IEQ.

- 2) The air flow rates of the school's ventilation system should be based on health and educational objectives and not on the upper limits of the comfort criteria (CO₂ limit values between 1200 and 1500 ppm, and air flow rates between 15 and 20 m³/person/h).
- 3) The ventilation systems in schools must be operated periodically or according to demand (Time control).
- 4) PHS should be designed so that besides the usual heating using supply air, it is also possible to heat up the rooms to a comfortable level during the preliminary purge phase in the morning.
- 5) The building envelope and heat recovery are designed so that the annual heating demand according to the PHPP is less than or equal to 15 kWh/m²a.
- 6a) A window U-value of less than or equal to 0,85 W/m²K, including installation for thermal bridges is also recommended for windows.
- 6b) The building envelope must be built in a very airtight way (n50 < 0,6 h⁻¹, is required and < 0,3 is recommended).
- 7) The annual primary energy demand for all non-renewable energy supplied to the school building should be less than or equal to 120 kWh/ (m²a).
- 8) To ensure comfort in summer, the frequency of temperatures over 25°C should be limited to less than 10% of the hours of use.
- 9) The total effective area-specific heat capacity of the space-enclosing components should be > 150 wH/m²L (540kJ /m²K) [27].

Based in our literature review we found most of the reviewed documents related to Northern Countries. We found, the largest share of definitions papers coming from Europe. However, those definitions were mainly for residential and commercial buildings. In the same time, those definitions are climate and context dependent which makes it difficult to get applied to our study context. Also, we found that most of review definitions in Table 1, are too theoretical and generic. This may be due to the novelty of the topic and the little research that has been done to formulate definitions for NZES. By reviewing the different definitions and targets in European countries we realize that the Net Zero target is in its early stages and forms a serious challenge in many European countries. Therefore, we find it essential and timely to elaborate and develop a definition for NZES based on universal or national definition frameworks.

In parallel, we could not find any, energy efficiency (EE) or high-performance target for Schools in Chile. From our literature review we could not identify any published work or definition for NZES. We did not even find a definition for another building functions or types in Chile, neither in English or in Spanish. This means that we should focus on European definitions until we can rely on Chilean contextualization, understanding and application of the NZEBs concept. So far Europe is more advanced regarding high performance schools. In Europe, the recast of energy performance of the building directive (EPBD), mandates that all newly constructed buildings should have a nearly zero energy building performance by the year 2020. Europe Union (EU) member countries must meet several objectives: by December 31, 2020, all new buildings must be nZEB and after December 31, 2018, new public administration buildings must be nZEB. State Members shall develop policies and

take measures such as the setting targets to stimulate the transformation of buildings that are refurbished into nZEB. Also, they shall introduce in their building regulations and codes appropriate measures to increase the share of all kinds of energy from renewables. Since 2014, EU member states shall require the use of minimum levels of renewables sources in new buildings. They must set minimum energy performance requirements that get them closer to energy neutrality. According to an Ecofys report, the state of the art of research and definitions respects the implementation of this target. Until this moment, net zero buildings definitions exceeded 75 definitions in the various EU members [24]. According to Attia et al. (2016) [86] only Greece, Portugal, Romania and Spain, had not developed any policy or measure to support new NZEBs. In this sense, among the countries that have submitted their report, the policies that have been most developed have been financially supported and followed by awareness raising and information and energy performance certificates [24]. The United States instead set a target level to 2030 in all new public and commercial buildings to reach the Net Zero Energy target. The state of California adjusted its building codes to require Net Zero Energy performance in housing by 2020 and for Commercial buildings for 2030.

5. SCHOOLS COMFORT AND SOCIAL RESILIENCE

Chile has already interesting studies about comfort in school buildings, including several analyses for school buildings in Metropolitan Region of Santiago [1]. Also, there are studies that analyses the performance of some schools in the Andes Region of Southern Chile [28]. Another study investigated the performance of 15 schools in different geographic areas of Chile [19]. Those studies show that in general the main problem in school buildings is fuel poverty, which directly related to the social economic status of Chilean children. Those studies also propose a series of strategies for improve indoor conditions, but none of the variables of the studies are related to energy consumption or EE, even though, the strategies involve EE. In this sense, it is indubitable to deny that a large percentage of Chilean public-school buildings suffer from serious problems of comfort. This is confirmed in the study of Trebilcock et al. [1], which found that temperatures in winter go down to reach 8°C while the medium temperature in classroom was 14,1°C. The reason of this discomfort is related to a very poor construction quality, regulations and standards noncompliance and the lack of awareness IEQ and indoor comfort. Another example is shown in the study of Soto et al. [19], that found that there is a high correlation between students and the vulnerability index for each school. As mention, earlier in the policies section, the Decree 548 tolerates indoor temperatures in schools to reach 12°C.

According to those reviewed studies it is also important to consider the influence of the comfort model on EE and the zero-energy target. For example, in the study of Attia et al. [29] the influence of adopting different comfort models for NZEBs was investigated comparing the influence of Fanger model, Givoni model, ASHRAE 55 adaptive comfort model and EN 15251 adaptive comfort model. The study found that Fanger model achieves indoor comfort (operative temperature) using a narrow temperature range while Givoni's model in contrast rely on a wide temperature range. They found also that in generally the, application of the adaptive models can be applied with a wider range of temperatures than the Fanger model. In consequence, in some situations it is possible to maintain building

interior conditions within the adaptive comfort limits entirely by natural means. The study also found that the difference in energy savings using and adaptive comfort model was estimated as 10 to 18%. Therefore, we must consider the influence of comfort model on reaching the NZES target [30]. In the study of Zomorodian et al. [30] a Worldwide review concluded that in general students prefer cooler environments and are more sensitive to warm conditions. In the same line, the field studies in Chile used the Fanger model and adaptive model of ASHRAE 55. For example, in the study conducted by Soto et al. [19], which applied Fanger's model, classroom temperatures were recommended to be maintain between 18 and 21°C. In the study made in Trebilcock et al. [1], they concluded that mean comfort temperatures derived from the thermal sensation vote being as low as 15,6°C – 14,8°C – 14,7°C in winter and 22,5°C – 23,1°C in spring. Therefore, we recommend for Chile to adopt an adaptive comfort model approach, because, the concept of fuel poverty is relatively unknown in the country, and there is the factor of the lack of good standards of comfort in schools and houses. Based on our review of literature it is possible to fix a low temperature of comfort following the recommendations of Trebilcock [31], which estimate a lower temperature of 3°C to 4°C compared to Humphreys Formula.

Another factor should be considered, which is mainly related to Chile's sensitivity to catastrophes. In the last seven years, Chile has suffered from 3 earthquakes over 8 degrees Richter, 7 major alluviums, 5 floods of rivers, 12 events of severe flooding and rainfalls, 2 tides, 9 landslides, 4 important fires and 2 eruptions (cadaster sernageomin 2017) [32]. During most these events, schools were used as refuges and strategic infrastructure, providing shelter for the affected people. Schools in Chile are used as distribution and storage center during catastrophes. The government and the non-governmental organizations launch their rescue efforts and community support from schools. Although there is no statistic on the number of schools that have been used as shelters, we estimate a significant role of this schools. For example, during the floods of Copiapó and Chañaral cities, in the region of Atacama in 2015, 21 schools were used as shelters (Reconstruction of Atacama Gov. Chile 2015) [33]. Another example, are the fires that affected the central zone of the country in January 2017. In the Bío-Bío Region, 9 shelters (all schools) were enabled to rescue efforts (Concepción Health Service 2017) [34]. All this suggests that, school buildings a key infrastructure, that is used strategically on a regional and local level during crisis management in Chile. However, no studies have been carried out in the country regarding how to reinforce this strategic condition. For example, a study made by Khew et al 2015 [35], investigated the resilience of public infrastructure, placed after 2010 major earthquake, to sustain peoples' activities. Another example is the study made by Trebilcock et al. [28], where they found that the participatory and societal role of schools increase occupant's tolerance to low temperatures and their perception of wellbeing. The study made by M. Valdebenito 2014 [36], discovered that the design of the physical environment transmits a powerful message to children about the importance of schools in providing security, care and education. This study found that a greening intervention of school buildings allows children to become ecologically literate and acquire skills related to democracy, participation, and citizenship, and increase a sense of appropriation. Therefore, school's buildings play a strategical role in Chile and can be an opportunity to improve interior comfort conditions, but also to incorporate cultural criteria of the region, and to

improve resilience to disasters and climate change. In this context, it is necessary to guaranty the school's energy autonomy and involve the community in their design and use as a vital infrastructure.

Finally, we conducted a comparative review between the different school standards in Chile, EU and USA. As can be seen in Table 2, there is an important difference between the mandatory code in Chile and the voluntary standard and other ASHRAE or EU standards for schools. This review provides valuable insights and comparatives between the performance requirements and different comfort thresholds in the three continents.

Table 2, comparison of school building standards in Chile, USA and EU

| Type of Comfort | | CHILE | | US | EU |
|-----------------|--|---|--|--|--|
| | | Regulation | Voluntary | | |
| Thermal | | DS 580 / mod. 2010 | TDR_e DA-MOP 2016 | ASHRAE 55-2010 | EN 15251 |
| | Recomended Operative Temperature | Classrooms min. 12°C / Preschool min. 15°C (in ZL, SI, SE and Andina Zones) | Classrooms in winter 20°C with heating. Passive Classrooms: adaptive model according climatic zone. | According PMV and adaptive model, and based on monthly weighted outside t° | Adaptive model, according PMV-PPD, and based on weekly weighted outside t° |
| | Thermal transmittance of the envelope. | N/A | Define U limits values for envelopes according climatic Zone | N/A | |
| Air quality | | DS 580 / mod. 2010 | TDR_e DA-MOP 2016 | ASHRAE 62.1-2004 | EN 15251 |
| | Minimum operable window area | 8% of floor surface | Variable surface according to climatic zone | 4% of floor surface | |
| | Air Volume | 3 m3 per student | N/A | N/A | |
| | Air Flux | N/A | Greater flow between 5l/s/pp or 0,6 l/s/m2 | 5 l/s/pp min | Minimum between 10 - 4 l/s person Additional between 0,8 - 10 l/s x m2 |
| | Air Changes | 2 ach | N/A | N/A | |
| | Co2 Concentrations | N/A | N/A | 1000 ppm max | 1265 ppm max |
| | Free interior high of the classrooms | 2,2m minimum | N/A | N/A | N/A |
| Illumination | | DS-548 | TDR_e DA-MOP 2016 | IESNA Lighting Handbook 2000 | EN 12464-2 2008 |
| | Illumination Levels | 180 lux in classrooms | 300 lux in classrooms 500 lux for boards 500 lux in classrooms inform. 750 lux in drowing classrooms. | Classrooms max. 1500-2000 lux and min 300lux. 500 lux for boards 160 lux for PC 500 lux for drowing and reading | > 300 lux classrooms > 500 lux boards 50 lux PC > 500 lux drowing and lecture |
| | Daylight Factor | N/A | N/A | N/A | 2% |
| | Uniformity | N/A | > or = 0,7 | N/A | N/A |
| | Glare index | N/A | 19 UGR | N/A | N/A |
| | View to the outside | N/A | N/A | N/A | N/A |
| | Window surface | 14%-17%-20% by North, Center and South Zone | N/A | N/A | N/A |
| | Interior Reflection factor | N/A | Cealing: > 0,7 Walls: 0,5 - 0,7 Floors: 0,2 - 0,5 Whiteboard: 0,5-0,7 | N/A | N/A |

6. SCHOOL DESIGN STRATEGIES AND RATING SYSTEMS

Based in our literature review we classified the literature under three main streams. The first stream describes the design strategies for high performance schools in direct relation with the PH standard and the European approaches to design and construct NZES. The second group of publications are related to schools rating systems with a focus on US Green Building Council LEED Schools rating system. The third group classified key publications and guidelines related to passive a bioclimatic design of schools in Chile.

The NZEB design concept is fundamentally based on reducing the energy consumption of buildings using passive design and ultra EE measures. Based on our review the PH standard is the first milestone to reach the net zero energy target. Five major design strategies are applied to guaranty the energy efficiency of schools:

- 1) Continuous insulation based on maximum heat losses reduction and minimum heat gains.
- 2) Continuous airtightness preventing air leakages and moisture problems.
- 3) Ultra-efficient windows, opening sizing and appropriate shading to increase passive heating during winter and avoid solar gains during summer.
- 4) Ultra-efficient mechanical ventilation with heat recovering systems to provide good air quality and maximize heat exchange also recognize the necessity of a very good ventilation in classrooms and fix air rates flows between 15 and 20m³/person/h.
- 5) High quality construction and inspection to limit errors and failures of operation.

Once those strategies are achieved the building energy needs can be reduced to more than 80% the following milestone will be to depend on reducing plug loads and using ultra-efficient appliances. The last milestone is to size the RES and couple them to the HVAC systems. As shown in Figure 9, the demand reduction of energy needs to 15kWh/m²/year is the key factor to reduce the energy consumption. During this process comfort and IEQ are assured using state of the art standards. In fact, comfort is a basic cornerstone for PHS. According to our review and with the pressing needs to guaranty comfort in European schools exceeding the 15kWh/m²/year thresholds up to 40kWh/m²/year was found to be tolerated lesson learned from PHS having problems with ventilation systems sizing and discomfort point to the importance of keeping comfort always above EE. There is a tendency in literature to warn professionals from discomfort problems associated with applying the PH standard in the Mediterranean climate (Attia 2016) [83]. There is an overestimation of the effect of passive cooling and the favorable climate conditions that can guarantee heat dissipation during extended hot periods (Attia 2017) [53]. Therefore, the design guidelines and requirements of the PHS standard should be strictly verified during design [27]. Another challenge to apply the PH standard in Chilean schools with most probably related to the high technology that this concept requires for operation [72].

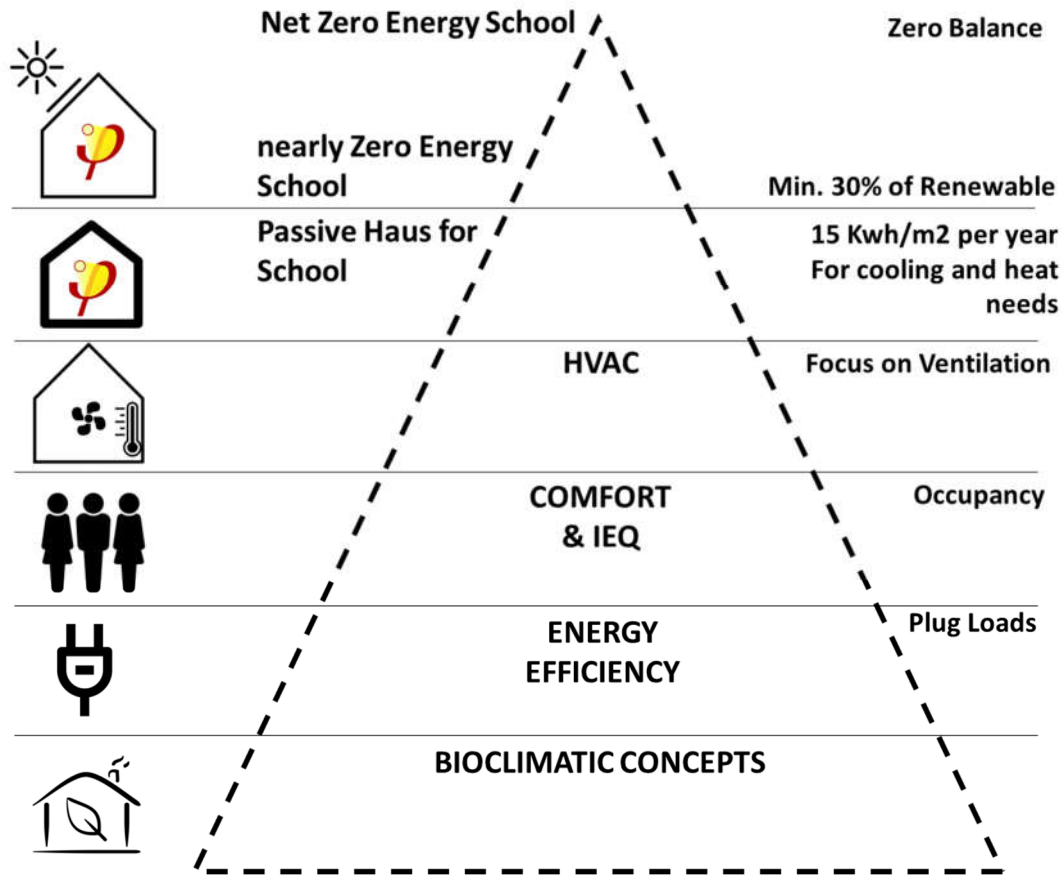


Figure 9, **stages of strategies towards NZES.**

The second group of publications that discuss schools design strategies can be found under rating systems. Building rating systems have positioned themselves in the international context, promoting high standards of green buildings. Green buildings rating systems follow holistic and multicriteria assessment approaches. There are several different rating systems the most important ones are: Energy Star from USA, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Living Building Challenge international (LBC), among others. However, most of these certifications fail to consider the net zero target or to consider school buildings typology. The LBC, developed a generic scheme for NZEBs, however, it does not define requirements for schools [39]. LEED has a special rating system for schools which recently allowed to adopt more stringent standards such as the PH through alternative compliance path. However, the number of LEED rated schools that are energy neutral in the US or outside Europe is trivial [40]. For LEED rated schools in the US the EE requirements depend on ASHRAE standards requirements. ASHRAE requirements compared to PH and even to national European codes are relaxed. They are designed for the climate, technological and economic context of USA, which limits reaching ultra-efficiency in schools. In addition, LEED certification is mostly based on following a prescriptive compliance, so it is possible to obtain a certification, without necessarily having a high energy performance. LEED has the advantage of providing a holistic approach based in the entire life cycle of the building, and has also a more commercial spread, which make it attractive especially for private owners.

The third group of publications are classified under the title of schools' design strategies in Chile. Chile, recently launched its own certification System CES (Sustainable Building Certification), which was made for the context of the country, and it is focused in the building performance. This certification considers educational buildings, like a specific typology, and provide requirements in all its categories. The CES also consider the climatic variation and technological context of Chile. However, the certification does not consider energy neutrality and therefore does not provide guidance on performance targets, performances thresholds or renewables share [14]. Another important document is the Guide to Energy Efficiency for Educational Establishments 2012 (Geeduc). This guide is a well-developed guide that provide a framework for passive design of schools' buildings for different climatic zones of Chile. The guide provides valuable design recommendations in relation to IEQ and was sponsored by the in 2012 for the AChEE. However, the guide does not set energy performance target or EUI thresholds and its dominated by prescriptive recommendations [10]. Similarly, the Standardized Reference Term (TDR_e) is another comprehensive guide that aims to improve IEQ and EE in public buildings. As we mentioned before in Section 3, this guide explicitly address schools and proposes a series of EE measures and passive design guides. This standard does not consider energy neutrality with in its requirements, and only consider RES for hot water.

Another relevant study that was cited before is the study of Trebilcock et al (2016) [1]. This recently publish study does not explicitly addresses the net zero energy target but it proposes a viable and interesting methodology. The study recommends defining as a first step the comfort requirements for the investigated schools depending on its climatic and socio-economic characteristics. In a second step, it proposes passive design measures depending of the comfort expectations. In this sense, the study provides a flexible methodology and performance target, which is tangible in the case of Chile. The propose passive measures depend on climate and include strategies such as: solar control and heat dissipation for warm climates, insulation and airtightness for cold climates.

We found other publications that provides guidelines on schools' renovation in Spain. This include the work of Irulegi et al. 2017 [37], who propose an approach to determine the temperature of comfort in classrooms, once this parameter is fixed. The authors propose a series of measures to renovate schools based in passive design measures. The measures include elimination of thermal bridges, integration of mechanical heat recovering system and improvement of window glassing conductive proprieties. Finally, we could not find specifics study for NZES in Chile. The only experimental study for schools' design we found in literature was the study of Breesch et al. 2016 [38]. In this study, they relate comfort temperatures to energy demand, seeking to comply the PHS standard. The study finds that despite meeting the standard, there is a high risk of overheating in the summer season. To solve this, they propose some passive strategies such as nocturnal natural ventilation and an active indirect evaporation cooling system.

7. ECONOMICAL FESEABILITY

Chile is a developing country with a disparity of income inequality that rank it the highest of the OECD countries [3]. The benefits of economic growth in the country are not directly reflected in most people. The country is already under some pressures and commitments

that force it to reverse the climate change phenomena and more importantly address the problems of energy poverty in its built environment and more particularly educational buildings. Therefore, it is necessary to seek a comprehensive solution to the problem of comfort in schools, which must be, also economically feasible. According to Education at Glance of OECD [41], Chile is one of the countries that invests least in education per student, spending a little more than 5000 USD per student per year, which is low considering that in the OECD, the average per pupil is more than 10,000 USD per student. According to statistics of the ministry of education of Chile, it can be observed that the operational cost per student, considering the establishments of basic education is of \$ 67000 Chilean Pesos in monthly average. Regarding the distribution of operational expenditure, the national average indicates that most of the operating budget is spent on personnel (87%) and only 13% on other matters including building operation and maintenance (Mineduc 2013) [42]. The operation expenses for schools are estimated to be 41% for electricity, 23% for potable water and sewerage, 19% for fuel and 17% for communication. This can be translated into an assumption of 0.5 development unit per m^2 year (UF/m^2 per year). This means that the operational energy cost is currently low in most Chilean schools compared to European and US schools as shown in Table 3. In fact, this is due to fuel poverty and the free running mode of most public schools. The low running cost of schools in Chile should not be interpreted as a sign of increase EE. In the research carried out by Trebilcock et al. 2016 [1], it was found that investigated school administrators, cannot pay the fuel cost to keep the heating systems running during winter. This means that even if the school is equipped with a heating system the budget shorted will force school administrators to run the school in free mode. Therefore, a high-performance target like NZEB, should be based on proper lifecycle costing analysis and consequently affordable solutions.

One way to achieve cost effective school designs is to implement passive design strategies, which do not necessarily imply a higher investment in construction cost. Lesson learned from practice indicated that passive design measures are cost-effective. However, there must be based on solid long-term economic studies. Also, they should be able to quantify other social and environmental values including security, comfort, wellbeing, knowledge uptake and learning progress [19]. This assessment should include criteria such as resilience to natural disasters, or production of renewable energy, including the ability of the building to be a community learning center and demonstration beacon. This can be only achieved by monitoring the performance of current space conditions schools to quantify their comfort performance and energy consumption and compared with future NZES. As a conclusion, we believe that NZES can be achieved if we assume that the schools are already mechanically heated and ventilated. Unless comfort is valorized and achieved in schools any economical comparative will not be in favor in the NZES concept.

Table 3. **Comparative education building spends, in Chile, U.S.A and E.U.**

| | Suface per student | Promedio de alumnos por Curso según OCDE (2) | Average Initial cost for new Buildigns and refurbishment | Operating Cost | Ratio Between Initial and operational cost | Useful life of the school Buildings |
|--------------|--------------------|--|--|-------------------------------------|--|---|
| CHILE | 1,1 m2/student (1) | 30 | 1139,8 USD/m2 (without EE) 1610 USD /m2 (with EE) (1) | 20 USD/m2 per year (without EE) (1) | 0,017 | depends of the materiality 20 to 80 years |
| US | 2 m2/student (1) | 21 | 2277,1 USD/m2 (3) | 71,47 USD/m2 (4) | 0,03 | 50 years (4) |
| EU | 1,8 m2/student | 21 | 2291 USD/m2 | 45,91 USD/m2 | 0,02 | 60 years |

(1) Towards measuring the cost of quality education MINEDUC 2015

(2) Education at Glance 2016 OCDE

(3) from School Planing and managment's 20th Annual School Construction Report USA 2015.

(4) State of Our Schools America's K-12 facilities.

8. DISCUSSION

ZES cannot be done without an integrated approach. We discovered from the study that the political landscape regarding EE and comfort conditions in schools in Chile underfunded and fragmented. So, any improvement, should start with creating a national board for schools that consider, multi-objective criteria, including education quality. Also, certification schemes, and policies associated with an infrastructure of knowledge centers related to building EE are needed. Our study revealed serious problems with comfort and fuel poverty in Chilean schools. Therefore, we find it essential to develop adaptive comfort models and address fuel poverty in high density urban zone such as Santiago and Concepcion, with a focus on IEQ. In this sense, it will be strategical to improve comfort conditions prior to achieving EE.

On the short term, existing schools will require a fast track upgrade and the NZES concept can be used as a reference to improve the IEQ, and EE of existing schools. The specific nature of Chile position schools not only as educational facilities but also as refugees' centers. Chile is in a zone with high risk of natural catastrophes. Chile witnessed in the last years, serious catastrophes related to earthquakes, fires, tsunamis and all associates social unrest. It will be intelligent to use schools as refugees during catastrophes and to design them and operate them in a way which makes them serve as community centers that are autonomous, water and energy independent. The zero-energy concept can enforce this idea and become part of the national risk management plans.

Regarding the technical aspects of NZES, we made a SWOT analysis to identify the strengths, opportunities, weakness and threats of the implementation of this concept in Chile. The result of the SWOT analysis can be summarized below:

- **Strength 1:** One of the most important strengths of this concepts is that the high insulation can eliminate any need for heating spatially when coupled with the high internal gains of occupancy of densely populated classes. Thus, this concept can guarantee a stabilized comfort temperature in heating dominated regions of Chile.
- **Strength 2:** Another strength is that the NZES concept will guarantee indoor air quality. By implementing mechanical ventilation with heat recovery changing the air,

will not be energy intensive. The consequences of providing fresh air and not exceeding 1000 ppm CO₂ in classes will have a significant impact on students' knowledge uptake, and learning progress. This is demonstrated by many studies one of the most recent is the study of Haverinen-Shaughnessya et al. [47], which found significant association between students scoring satisfactory in mathematics and reading test, and ventilation rate. The study found a correlation between the mean number of school nurse visits by students and significant respiratory symptoms.

- **Opportunity 1:** Also, there is an opportunity to achieve an energy balance and reliance on RES, which will reduce operational cost, and will improve the budget spending of schools towards educational goals. The NZEB concept will enable schools to become resilient and energy independent. Furthermore, there is another opportunity to couple those schools to batteries and transform them to catastrophes refuges that serve local communities during crises. This is not a minor issue, because as explained before, Chile is constantly affected by catastrophes and the use of schools as refuge is already a common practice during crisis.
- **Opportunity 2:** Another advantage of NZES is that they can be used as demonstration projects, show cases and pilot projects for future generations and their families. Students who will learn in NZES will be more open and sensitive to the problems of sustainability and green buildings, and the green future of the Chilean built environment. In the same time, those schools can be used to test new technologies and solutions to guide industry and professional community towards an energy neutral built environment.
- **Weakness 1:** On the other hand, the weakness of the concept relies on an overestimation of passive cooling in relation to a super insulated and airtight envelope. As mentioned earlier by the study of Breech et al. [38], this can cause a need for active cooling systems to avoid overheating, which can be easily expected for schools in Chilean climate. Currently in Chile, the heating and cooling energy costs in school's buildings are low due to fuel poverty. However, on the long term the economy improvement will result in comfort improvements and under the NZES concept this may lead to the need for energy intensive cooling systems.
- **Weakness 2:** Another weakness is the problem to meet net Zero. It is difficult to predict with absolute certainty the building and occupant behavior. So always can be a different result in EE, whereby, it is necessary include monitoring system and commissioning personal. Also, there is a problem with under sizing photovoltaics panels, due to the information about solar radiation in specific places. So, there is a risk that the photovoltaic panel produce less energy that the predicted design, thus net zero will become a nearly zero.
- **Weakness 3:** Another important weakness that we detected is that there is a lack of regulation which allow to build, certificate and monitor the implementation of the concept. Until this moment, the regulation for schools is rudimentary even if we consider the efforts taken by the Chilean government in the last years. Therefore, it is necessary to make the effort and include this concept in the future building EE policies of Chile.
- **Threats 1:** As for threats, one of the most important threats is the risk of poor design of NZES buildings and ventilation systems. This can be due to lack of knowledge in the professional sector or absent of integrated design or outdated relationships between the different professionals whose intervene in the built process. Also, the

poor maintenance of ventilation systems could be a threat, because without continuous commissioning and maintenance ventilation systems cannot provide the necessary ratio of ventilation and fresh air.

- **Threats 2:** This concept also is dependent on high-tech systems, so this issue would imply a high cost, due to the lack of this advanced technology in the country. At the same time, this could be exploited as an opportunity for the architectural, construction and engineering (AEC) industry to put new products in the market. To do that it is necessary to improve the knowledge and know how regarding the NZEB know-how and invest in technology transfer and incubation.

From strategic point of view, our SWOT analysis indicate that it is wiser to target comfort and EE in school buildings in Chile at the first stage of any national future strategy including renovation projects. Then, the second step should address the renewables energy systems, and autonomy in relation to the role of the school in its community in relation to risk management. Not all school in Chile need to be a NZES, but at least schools should be performing on the level or near the level of the PH standard requirements or other equivalent standards that define measurable performance targets in EUI indicators. In any case, if any local government decides to use a school as a refuge we highly recommend transforming or built this school as a NZES. Such decisions can be decided and implemented on regional or municipal governance levels in association with risk assessments plans and urban planning experts.

Study recommendations.

- (1) To implement the PHS, nZES and NZES concept and goals in schools in Chile, the country must update the national building codes to align them with the requirements of those targets.
- (2) More studies and research should be conducted in relation to thermal behavior, building services energy performance and renewable technologies in schools.
- (3) Chile must make more effort to transform the voluntary requirements to be mandatory, also it is important that the Chilean government reviews and updates in every five years its requirements for schools, to couple them to the new perspectives of AEC industry technology, science and political target.
- (4) The Chilean government should not only focus on new schools' construction. The government must be focused on the renovation of existing school buildings with a high-performance standard. Major and deep renovations are needed for school buildings across the country. Thermal comfort should be the priority couple to EE.
- (5) Chile need to have a more holistic view of the problem of comfort in schools. Historically schools in Chile are only have the function of education, but also, they are used in a variety of ways including shelter in catastrophe moments. So, the resolution of the problem can be an opportunity to set the basis of the new typology of schools, which consider catastrophes risks, resilience to climate change, community integration and participative design.
- (6) It is imperative that Chile develop or adopt a model of comfort for schools, this will be determinant to evaluate the feasibility of achieve NZES or nZES, but also the economic feasibility in all life cycles of buildings.

Future Work on Chile

Regarding the PHS, nZES and NZES concepts, Chile is in an early stage. In Chile, there is only one certified PH building in Santiago (Passive House Institute 2017) [43] and it is an office building. In 2011, a research project about the PH standard was conducted by T.Hatt et al 2012 [72]. in Concepción (Fondef 2011-2014) [44]. The research proved the technical feasibility of the concept in the climate of Concepción for residential buildings. However, no study was investigated school buildings. When we consider the variety of climates in Chile, it is necessary to investigate the modifications necessary for the different weather climates. Applying adaptive comfort models can be a start to integrate NZES in Chile.

In the same time, Chile has a high potential of renewable energy sources: the solar energy potential is high in the north to center south of the country. Geothermal heat exchange, wind energy and biomass can be part of any energy balance equation. In this sense, Chile can be a leading country in the South American Region to develop and produce RES technologies and services. The country has developed interesting projects in the field of solar energy technologies integrated in to buildings, for example: The solar explorer, which provide a general overview of the solar potential in al country (Solar explorer, Energy Ministry of Chile 2017) [45], and the Confin project, which provide a detailed map of the solar potential of each building in the city of Concepcion (Confin 2017) [46]. Those examples can be replicated on a national level prioritizing the most important urban agglomeration.

Finally, the Chilean main regulation on schools, did not witness any change since 1989. The regulation is outdated and does not correspond to the actual political ambitions, economic progress, and societal needs. Any existing Chilean building standard or regulation is far away from international high standards such as ASHRAE 189 standard or the PH standard. Without upgrading the national regulations or at least supporting the emergence of high performance building standards the feasibility of NZES will remain low. We believe that with a gradual improvement of the current school regulations Chile can set its own path and standard requirement to reach NZEBs. This should be part of a wider vision for low carbon community development and resource efficiency.

9. CONCLUSION

Out of our literature review and SWOT analysis we can confirm the potential of applying the NZES concept in Chile. Chile is in a transitional stage where wellbeing and thermal comfort in schools is gaining greater importance. With the international commitment to slower down climate change, the increasing population and economic growth schools are becoming the shorter investment assets in Chile. In this study, we provided an overview on the policies and regulations that guide the design and construction of schools in Chile. We also discuss in detail the comfort conditions in schools and the necessary recommendations for schools' design, construction and operation. The NZES provides a serious opportunity to guide national efforts towards low carbon and resilient built environment. Below we summarize the study findings and the opportunity to adopt the NZEB concept for educational buildings in Chile:

- The concept provides a holistic approach that is based on a multi-criteria and interdisciplinary vision. In the context of a fragmented institutional and regulatory landscape this concept can provide a long-term vision that integrates IEQ, EE, and

RES under one umbrella. Even if Chile is not prepared to embrace the NZES today, the concept is robust enough to condition policy makers and prepare existing and future buildings to anticipate the future transformations in the Chilean built environment.

- The concept strengths rely on prioritizing comfort and IEQ. Both are essential in education and can be achieved through this concept while maintaining ultra EE and reducing operational costs.
- The concept provides a carrying framework of logical thinking. The concept has been tested Worldwide and therefore, should be adopted in Chile for schools and other building typologies. The concepts set priorities and informs decision makers on the sequential order of priorities to reach energy neutrality. National policies should be in line with this framework to prepare the adoption and proliferation on this concept on the short and long-term.
- We found strong evidence in literature that this concept is suitable for the risk management and reoccurring catastrophe pattern in Chile. The need for autonomous and community centers refuges after major catastrophes in urban areas matches the qualities and services that NZES can provide for local communities.

Finally, we would like to point to the fact that the NZEB concept is not only a new concept in Chile. We figured out from our review the novelty of the concept Worldwide which means that further research and investigation is required with a specific focus on NZES. In this context, the study provides valuable insights on the social and environmental benefits and technical performance requirements for NZES. This can help researches and building professionals to further develop the concept and formulate fit to propose and fit to context school designs that are robust and serve the educational learning objectives of schools.

REFERENCES

- [1] M. Trebilcock, J. Soto, M. Yañez, R. Figueroa. The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary school in Chile. *Building and Environment* 2016.
- [2] Vivanco, F. (2017), Towards an integrated policy for Net Zero Energy Schools in Chile: A comparative study with Belgium, Master Thesis, in Spanish, Department of Design Theory Architecture, University of Bío- Bío, Concepción Chile.
- [3] OCDE – CEPAL. Evaluación de Desempeño Ambiental Chile 2016.
- [4] YJ Joo, CS Kim, SH Yoo. Energy consumption, Co2 emission, and economic growth: Evidence from Chile. *International Journal of Green Energy*. 2015.
- [5] Monthly Energy Statistics March 2017. International Energy Agency. 2017.
- [6] NCH 1079 Of 2008. National Institute of Normalization. 2008.
- [7] Informe Técnico Calificación Energética de Viviendas Enero 2017. CEV 2017.
- [8] Decree 548 Ministry of Education Infrastructure, approve regulations for physical plant of schools, which establish minimum requirements for school establishments recognized like aided of state's educational function must accomplish, by level and teaching modality that they make. Ministry of Education of Chile. 1989.

- [9] General Ordinance of Urbanism and Constructions. Library of National Congress of Chile. Last Edition April 2016.
- [10] Energy Efficiency Guide for School Buildings (GEEDUC). Chilean Energy Efficiency Agency 2014.
- [11] National System of Environmental Certification (SNCAE). Chilean Environmental Ministry. 4TH Edition 2014.
- [12] Strategic Plan of National School Infrastructure. Ministry of Education Chile. 2014.
- [13] Standard Reference Terms with parameters
- [14] Manual of Sustainable Building Certification (CES). Institute of Construction. 2014.
- [15] National Strategy for Sustainable Construction. Ministry of Houses and Urbanism. 2014.
- [16] Roadmap 2050, "Towards a sustainable and inclusive strategy for Chile". Ministry of Energy. Chile 2015.
- [17] Chilean National Contribution of Attention (INDC) to the Paris agreement. Government of Chile. 2015.
- [18] Public Solar Roofs Program Memory. Ministry of Energy. 2016
- [19] J. Soto Muñoz, M. Trebilcock, A. Perez F. Sustainable educational buildings: A proposal for changes to investment evaluation policies in Chile through the incorporation of thermal comfort and air quality criteria. SUSTAINABLE ENERGY FOR A RESILIENT FUTURE. 2015.
- [20] Paris Agreement. 2014.
- [21] National Plan for Adaptation to Climate Change. Environmental Ministry of Chile. 2014.
- [22] Climate Action Tracker Report 2017. Climate action tracker web. Accessed on June 2017.
- [23] Maps Chile. Maps project Stage 3. 2016.
- [24] AJ Marszal, P. Heiselberg, JS Bourrelle. Zero Energy Building: A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Buildings. 2011.
- [25] I. Sartori, A. Napolitano, K. Voss. Net Zero Energy Buildings: A consistent definition framework. Energy and Buildings. 2012.
- [26] www.bre.co.uk .Bre-group. Accessed on July 2017.
- [27] www.passispedia.org. Requirements for Passive House Schools. Accessed on July 2017.
- [28] M Trebilcock, A Bobadilla, M Piderit. Environmental performance of schools in areas of cultural sensitivity. PLEA Conference 2012.
- [29] S. Attia, S. Carlucci. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. Energy and Buildings. 2015.
- [30] ZS Zomorodian, M Tahsildoost, M Hafezi. Thermal comfort in educational buildings: A review article. Renewable and Sustainable. 2016.

- [31] M. Trebilcock, J. Soto, R. Figueroa. Thermal Comfort in Primary Schools: a field Study in Chile. 8th Windsor Conference: Counting the cost of the comfort in a Changing world. 2014.
- [32] Principales desastres ocurridos desde 1980 en Chile. Sernageomin. 2017.
- [33] Reconstruction of Atacama. Onemi. 2015.
- [34] Servicio de Salud Concepción Twitter. January 2017.
- [35] YTJ Khew, MP Jarzebski, F Dyah, J Gu. Assessment of social perception on the contribution of hard-infrastructure for tsunami mitigation to coastal community resilience after the 2010 tsunami: Greater Concepcion area, Chile. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2015.
- [36] MJ Valdebenito. Landscapes for transformation: a framework for planning greening design strategies in low-income schools in Chile. Master Thesis of University of British Colombia. 2014
- [37] O. Irulegi, A. Ruiz-Prado, A. Serra, J.M. Salmeron, R. Vega. Retrofit Strategies towards Net Zero Energy Educational Buildings: A case of study at the University of the Basque Country. Energy and Buildings. Energy and Buildings. 2017.
- [38] H. Breesch, B. Wauman. Desing of a new nZEB test school building. The REHVA European HVAC. 2016.
- [39] Living Building Challenge. 2017.
- [40] LEED.
- [41] Education at Glance 2016. OCDE.
- [42] Hacia la Medicion de Una educación de Calidad. Mineduc. 2014.
- [43] Web page of passive house institute. http://passivehouse.com/03_certification/02_certification_buildings/02_certification_buildings.htm. Accessed on July 2017.
- [44] Web page project Fondef N° D09I1081. <http://passivhaus-chile.cl/>. Accessed on July 2017.
- [45] Web page Solar explorer. <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>. Accessed on July 2017.
- [46] Web page Solar map of Concepcion. <http://mapasolar.cl/>. Accessed on July 2017.
- [47] Ulla Haverinen-Shaughnessya. Richard J. Shaughnessya. Eugene C. Colec. OluyemiToyinbob. J. Moschandrease. An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. Building and Environment. 2015.
- [48] Chilean Energy Agency Report 2015. ACHEE 2015.
- [49] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley. Zero Energy Building: A critical look at the definition. Renewable Energy. 2006.
- [50] I. Sartory, A. Napolitano, Aj. Marzal, A Johana, S Pless, P. Torcellini and K. Voos. Criteria for definition of Net Zero Energy Buildings. Conference Solar 2010. 2010.

- [51] J. Kurnitnski, F. Allard, D. Braham, G. Coeders. How to define Nearly Zero Energy Building nZEB. *Rehva Journal*. 2011.
- [52] T Lützkendorf, G Foliente, M Balouktsi. Net-zero buildings: incorporating embodied impacts. *Building Research*. 2015.
- [53] S. Attia, P. Eleftheriou, F. Xeni, R. Morlt, C. Ménézo, V. Kostopoulos, M. Betsi, I. Kalaitzoglou, L. Pagliano, M. Cellura, M. Almeida, M. Ferreira, T. Baracu, V. Badescu, R. Crutescu, J. M. Hidalgo-Betanzos. Current overview and future challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) design in Southern Europe. *Energy and Buildings*. 2017.
- [54] W ZeiLer, TU Eindhoven. Overview from Passive House schools and NZEB schools to Plus Energy schools. *Plea Conference 2011*. 2011.
- [55] A. Bodgan, S. Attia. Principles for nearly zero energy buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements. *BPIE*. 2011.
- [56] P- Bampou. Green buildings for Egypt: a call for an integrated policy. *International Journal of Sustainable energy*. 2016.
- [57] C. Silva, S. Nasirov. Chile paving the way for sustainable energy planning. *Energy Sources*. 2017.
- [58] Ministry of Energy Chile. Energy agenda summary. 2014.
- [59] A Schueftan, J Sommerhoff, AD González. Firewood demand and energy policy in south-central Chile. *Energy for Sustainable*. 2016.
- [60] MF Riveros Inostroza. Institutional framework of energy efficiency in Chile. Master Thesis. In Spanish. University of Chile.
- [61] PA Jofré, AU Gómez, AC Fuentes. Challenges for Universal Access to Clean Energy in Chile. *Development and Energy*. 2017.
- [62] International Energy Agency. Energy Efficiency Indicators. 2016.
- [63] Government of Chile. Decree 71, Approves Regulation of Law No. 20571, which regulates the payment of electric tariffs of residential generators. 2014.
- [64] International Energy Agency. Energy and CO2 emissions in the OECD. 2017.
- [65] National Institute of Normalization. NCH 1079 OF 2008. 2008.
- [66] R García Ochoa. Energy Poverty in Latin America. *CEPAL*. 2014.
- [67] G Armijo, L Roubelat, P Jara, C Whitman. Energy Poverty: Perspective from Urban Intervention, Building and the Environment. 2016.
- [68] G Walker. The Right to Energy: Meaning, Specification and the Politics of Definition. *L'Europe en Formation*. 2015.
- [69] R Moore. Definitions of fuel poverty: Implications for policy. *Energy Policy*. 2012.
- [70] R Borquez, P Aldunce, C Adler. Resilience to climate change: from theory to practice through co-production of knowledge in Chile. *Sustainability Science*. 2017.
- [71] G San Juan, S Hoses, I Martini. Learning in Twenty-First Century Schools: Note 5: Environmental Audit and Comfort Levels in Educational Institutions. *Bid Education*. 2014.

- [72] T Hatt, G Saelzer, R Hempel, A Gerber. High interior comfort with minimum energy consumption from the implementation of the "PassivHaus" standard in Chile. *Revista de la Construcción Chile*. 2012.
- [73] Nishita Gulati. Cost Effectiveness in HVAC by Building Envelope Optimization. *Revista AUS*. 2012.
- [74] M Trebilcock Kelly, J Soto Muñoz. Methodology for the design of comfortable and resilient educational buildings. *Revista AUS*. 2016.
- [75] *M. Trebilcock, B. Piderit, J. Soto y R. Figueroa*. A parametric analysis of simple passive strategies for improving thermal performance of school classrooms in Chile. *Architectural Science Review*. 2016.
- [76] M. Gil-Baez, Á. Barrios-Padura, M. Molina-Huelva, R. Chacartegui. Natural Ventilation Systems in 21st-century for near zero energy school buildings. *Energy*. 2017.
- [77] N. Hossaini, K. Hewage, R. Sadiq. Spatial life cycle sustainability assessment: a conceptual framework for net-zero buildings. Springer - Verlag Berlin Heidelberg. 2015.
- [78] *S. D. Pless, P. A. Torcellini, E. Bonnema, D. Goldwasser*. Technical Feasibility Study for Zero Energy K-12 Schools. 2016.
- [79] AF Marique, S Reiter. A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale. *Energy and Buildings*. 2015.
- [80] J Carrasco Eade, G Kokogiannakis. Feasibility of PassivHaus standards and alternative passive design on climatic zones of Chile-Determination of energy requirements with dynamic simulation. *Revista Habitat Sustentable*. 2012.
- [81] MJ Valdebenito. Landscapes for transformation: a framework for planning greening design strategies in low-income schools in Chile. Master Thesis. University of British Columbia. 2014.
- [82] LDD Harvey. Recent advances in sustainable buildings: review of the energy and cost performance of the state-of-the-art best practices from around the world. *Annual review of environment and resources*. 2013.
- [83] Attia, 2018, NZEB: Concepts, Frameworks and Roadmap for project analysis and implementation, Elsevier.
- [84] Ministry of Housing and Urbanism of Chile. Dwellings Energy Rating (CEV) presentation. Web CEV: <http://www.calificacionenergetica.cl/media/CEV-2014.pdf>. Accessed on July 2017.